

*13 - я Международная
научно-
техническая
конференция*

*ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮ-
ТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ*

*19 – 20 апреля
2008г*

г. Харьков

Харьковская научно-производственная корпорация "ФЭД"
Харьковский национальный экономический университет
Одесский национальный политехнический университет
Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"
Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
Институт сверхтвердых материалов НАН Украины
Институт проблем машиностроения НАН Украины
Институт машин и систем НАН Украины
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»
Харьковский национальный технический университет радиоэлектроники
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта
Донецкий национальный технический университет
Сумской государственный университет
Национальная Металлургическая Академия Украины
Севастопольский национальный технический университет
Восточнoукраинский национальный университет им. В. Даля
Луцкий государственный технический университет
Московский государственный открытый университет
Тульский государственный университет
Курский государственный технический университет
Ульяновский государственный технический университет
Саратовский государственный технический университет
Пермский государственный технический университет
ГП "Завод им. Малышева"
АО "Мотор - Січ"
ХГ Авиационное производственное предприятие
ХГ Приборостроительный завод им. Шевченко
ОАО Завод "Потенциал"
ЗАО Завод "Южкабель"
ОАО ХМЗ "Свет шахтера"
НТК "Эльбор-4", г. Харьков
ЧП "Физико-техническая лаборатория", г. Днепропетровск
Высшая техническая школа, Цвикау, Германия
Международная академия по развитию технологий, Кельн, Германия
Компания "Foxenergy", Верона, Италия
Жешувский технологический университет, Польша
Кафедра UNESCO "Интеллектуальное моделирование и адаптация нетрадиционных технологий к проблемам перспективного обучения и общественного прогресса"

ТРУДЫ 13-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

"ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND
TECHNICAL CONFERENCE**

Харьков 2007

УДК 62-65: 621.382.82

Физические и компьютерные технологии.

Труды 13-й Международной научно-технической конференции, 19-20 апреля 2007г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2007. – 684 с.

Представлены труды, в которых рассмотрены проблемы технологии машиностроения и обработки материалов; прогрессивные технологии, оборудование, инструменты и технологические системы; проблемы динамики и прочности машин, математики, механики, электрофизики и электроэнергетики, экономики и организации производства; проблемы создания и применения компьютерных технологий.

Для специалистов в области машиностроения, научно-технических работников и студентов.

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ ПО ПРОВЕДЕНИЮ КОНФЕРЕНЦИИ:

Сопредседатели:

Якимов А.В., д.т.н. (Одесса)
Новиков Ф.В., д.т.н. (Харьков)
Фадеев В.А., к.т.н. (Харьков)

Крюк А.Г., к.т.н. (Харьков)
Ларшин В.П., д.т.н. (Одесса)
Малыхин В.В., к.т.н. (Курск)
Мовшович А.Я., д.т.н. (Харьков)
Морачковский О.К., д.т.н. (Харьков)
Новиков Г.В., к.т.н. (Харьков)
Проволоцкий А.Е., д.т.н. (Днепропетровск)
Тимонин А.М., к.э.н. (Харьков)
Шепелев А.А., д.т.н. (Киев)
Шкурупий В.Г., к.т.н. (Харьков)
Ямников А.С., д.т.н. (Тула)

Члены совета:

Гринева В.Н., д.э.н. (Харьков)
Дудко П.Д., к.т.н. (Харьков)
Дитиненко С.А., к.т.н. (Харьков)
Воробьев Ю.С., д.т.н. (Харьков)
Ковальчук А.Н. (Харьков)
Коломиец В.В., д.т.н. (Харьков)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

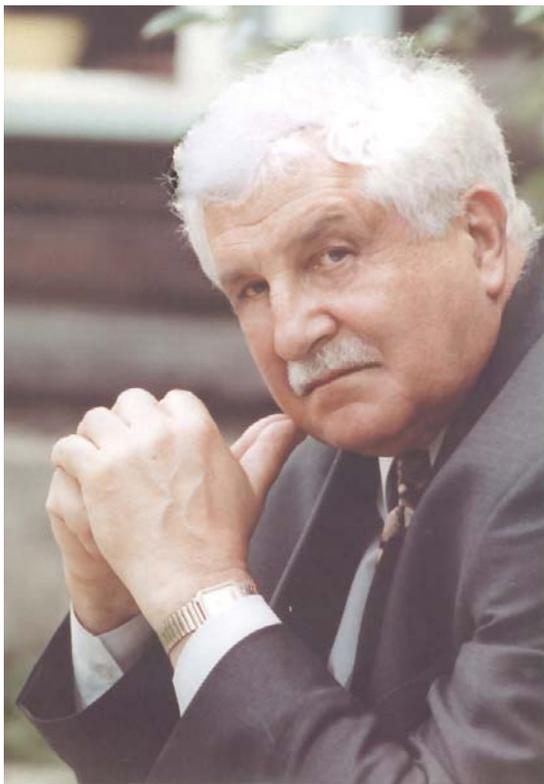
Гапонов В.С., д.т.н. (Харьков)
Золотарев В.М., к.т.н. (Харьков)
Бреславский Д.В., д.т.н. (Харьков)
Карпушенко В.П., к.э.н. (Харьков)
Кленов О.С. (Харьков)
Клименко С.А., д.т.н. (Киев)
Королев А.В., д.т.н. (Саратов)
Лавинский В.И., д.т.н. (Харьков)
Лавриненко В.И., д.т.н. (Киев)
Линчевский П.А., д.т.н. (Одесса)
Марчук В.И., д.т.н. (Луцк)
Матюха П.Г., д.т.н. (Донецк)
Назаров Ю.Ф., д.т.н. (Москва)

Новоселов Ю.К., д.т.н. (Севастополь)
Новиков С.Г., к.т.н. (Курск)
Орлов П.А., д.э.н. (Харьков)
Осипов В.А., к.т.н. (Сумы)
Савченко Н.Ф., к.т.н. (Харьков)
Свищев В.И., д.т.н. (Пермь)
Сизый Ю.А., д.т.н. (Харьков)
Скобло Т.С., д.т.н. (Харьков)
Степанов М.С., д.т.н. (Харьков)
Тернюк Н.Э., д.т.н. (Харьков)
Ткачук Н.А., д.т.н. (Харьков)
Усов А.В., д.т.н. (Одесса)
Худобин Л.В., д.т.н. (Ульяновск)

Труды воспроизводятся непосредственно с авторских оригиналов.

© Харьковская научно-производственная
корпорация «ФЭД», 2007

Поздравляем



к 75-летию

**академика
Национальной академии
наук Украины**

**НОВИКОВА НИКОЛАЯ
ВАСИЛЬЕВИЧА**

10 апреля 2007 года исполняется 75 лет со дня рождения и 52 года научной, научно-организационной и педагогической деятельности академика НАН Украины, профессора, доктора технических наук, Заслуженного деятеля науки и техники Украины Николая Васильевича Новикова, директора Института сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Н.В. Новиков – ученый, известный достижениями в области механики твёрдого тела, материаловедения, технологического развития машиностроения, обработки материалов. В 2000 году его научные работы в области высоких технологий отмечены Дипломом Международной академии «КОНТЕНАНТ».

Он начал самостоятельный трудовой путь после окончания с отличием в 1954 г. механического факультета Киевского политехнического института, затем занимался преподавательской работой одновременно с обучением в аспирантуре. В 1958 г. защитил кандидатскую диссертацию и работал в Институте металлокерамики и сплавов АН УССР. С 1961 г. до 1968 г. был привлечен на работу как консультант, а затем зав.сектором естественных и технических наук в отделе науки и культуры аппарата ЦК КПУ. В эти годы по совместительству продолжает научную и педагогическую деятельность. Был активным участником научной школы академика АН УССР Г.С. Писаренко и одним из организаторов Института проблем прочности АН УССР (1966), который сейчас носит имя Г.С. Писаренко. В 1968-1977 гг. Н.В.Новиков работал зав. отделом этого института, а со временем заместителем директора по научной работе. Вместе со своими сотрудниками и учениками им была создана современная, мирового уровня исследовательская база для изучения свойств конструкционных материалов. Были разработаны новые методы оценки условий разрушения,

долговечности и надежности приборов и оборудования, средства автоматизации эксперимента. Данные об усталостной прочности, зарождении и кинетике трещин, упругость многих материалов при гелиевой температуре (4,2 К) были получены впервые, они вошли в публикации в международных журналах и справочниках. За разработку и внедрение новых материалов в конструкцию лунохода и другую специальную технику Н.В. Новиков в 1974 г. удостоенный Государственной премии Украинской ССР в области науки и техники.

В 1975 г. Н.В. Новиков защитил докторскую диссертацию. Исследования этого периода опубликованы более чем в 100 научных работах, в т.ч. 6 книг, коллективная монография в 2-х томах «Прочность материалов и конструкций в экстремальных условиях» в 1982 г. удостоена Государственной премии СССР. Работы Н.В. Новикова тех лет издавались в США, ФРГ, Польше, Голландии.

В 1977 г. Н.В. Новиков избирается директором Института сверхтвердых материалов АН УССР и продолжает работать в этой должности к настоящему времени. Под руководством Н.В. Новикова институт вырос в научно-технологический центр мирового значения, находит внебюджетную поддержку исследовательской работы в Украине и зарубежных фирмах. Гранты и контракты разрешают выполнять в стране и за границей фундаментальные исследования мирового уровня в области материаловедения сверхтвердых материалов. Работы проводятся в содружестве с зарубежными коллегами на уникальных приборах в лабораториях Франции, Германии, США, Японии. Результаты работ публикуются в ведущих мировых научных изданиях.

Под руководством и личном участии Н.В. Новикова, как ученого исследователя, в институте развиты теоретические основы синтеза сверхтвердых материалов при экстремально высоких давлениях и температурах, созданы научно обоснованные методы прогнозирования сопротивления разрушению алмазосодержащих, композиционных материалов и высокопрочной керамики в условиях их эксплуатации в инструментах и изделиях, разработаны новые высокоэффективные технологические процессы.

За эти годы были созданы новые образцы техники сверхвысоких давлений, новые марки высокопрочных термостойких алмазов, алмазных поликристаллов и композитов, получен новый сверхтвердый материал – кубический карбонитрид бора и данные о его физико-механических свойствах. Теоретически обоснованы и впервые созданы методы оценки прочности и трещиностойкости, техники микроиспытаний малых за размером монокристаллов алмаза и кубического нитрида бора. Развиты методики нанотестирования многих соединений, в частности с использованием наноиндентирования и туннельной микроскопии.

Н.В. Новикову принадлежат большие заслуги в создании новых направлений развития современного материаловедения - синтеза крупных высокопрочных кристаллов алмаза, с разноцветной окраской, КНБ, исследований поведения материалов при сверхвысоких давлениях в алмазных наковальнях, получения алмазных и алмазоподобных пленок и покрытий, высокотемпературной керамики, применения сверхтвердых материалов в конструктивных элементах, электронной и космической технике. В исследованиях сверхтвердых материалов широко развиты методы компьютерного моделирования, нанотехнологии. За совокупность работ в области синтеза алмазов Н.В.Новиковым получена премия НАН Украины им. И.М. Францевича (1996).

За научно-технические достижения в создании новых технологий получения сверхтвердых материалов и разработки инструментов с их использованием, технологий применения таких инструментов в металлообработке, породоразрушении и других областях промышленности Н.В. Новикову присуждены Государственные премии в области науки и техники СССР (1981) и Украины (1996).

Постоянное внимание Н.В. Новиков уделяет подготовке молодых ученых. За время его работы в институте подготовлено 40 докторов и 209 кандидатов наук, в том числе непосредственно под его научным руководством выполнено 12 докторских и 38 кандидатских диссертаций. На протяжении 22 лет он возглавлял Специализированный ученый совет института по присуждению ученых степеней докторов и кандидатов наук, 6 лет возглавляет экспертный совет ВАК Украины по общему машиностроению и других 20 технических специальностях.

Н.В. Новиков опубликовал более 920 научных работ, в числе которых 16 монографий, 37 монографий под его редакцией, он автор 170 авторских свидетельств и патентов. Научные заслуги Н.В. Новикова трижды отмечены Государственными премиями в области науки и техники УССР, СССР, Украины (1974, 1981, 1996), он лауреат премий выдающихся ученых НАН Украины им. Е.О. Патона (1983), им. И.М. Францевича (1996), почетный профессор и почетный доктор Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (1995, 1999), почетный доктор Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» (1998), технологических университетов Подолья (2001), Чженчжоу (Китай, 2002), Житомира (2004).

Вклад академика НАН Украины Н.В. Новикова в развитие науки отмечено государственными наградами Украины - орденом «За заслуги» III степени (1998), орденом «Ярослава Мудрого» V степени (2002) и другими орденами, медалями, почетными знаками. Международным биографическим центром (Кембридж, Англия) Н.В.Новикова признано «Человеком достижений» (1994), награждено Серебряной медалью и Дипломом «За выдающиеся достижения в XX столетии» (1995), его имя внесено в книгу 2 тысяч выдающихся ученых XX столетие (1998). Он награжден персонифицированным золотым отличием «За достижение жизни» Американским биографическим институтом (1995), золотым орденом «Кирилл и Мефодий» (1985, Болгария), орденом Святого Николая Чудотворца Международного фонда «За приумножение добра на земле» (1998), медалями Чехословакии и Болгарии. В 2006 году Н.В. Новиков отмечен Международной наградой имени Сократа (Оксфорд, Англия) и Дипломом лауреата всеукраинского конкурса успешных управленцев «Топ-менеджер Украины».

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины под руководством Н.В. Новикова получил ряд международных премий, в т.ч. «Золотой Меркурий» за международное сотрудничество и экспорт продукции (1982, Аддис-Абеба), знак Всемирного признания «Золотая Звезда-Арка Европы» за высокий уровень научной деятельности, вклад в развитие мирового бизнеса, постоянное усовершенствование системы управления и производства, профессионализм (1998, Мадрид), Дипломом «Одиссей» Международной Академии «КОНТЕНАНТ» за выдающиеся достижения в области высоких технологий (2000, Москва), «Золотая медаль SPI» Международной ассоциации содействия национальной промышленности за достигнутые производственно-коммерческие результаты (2000, Париж).

Поздравляем



к 65-летию

**Заслуженного деятеля
науки и техники Украины,
доктора технических наук,
профессора**

ПРОВОЛОЦКОГО АЛЕКСАНДРА ЕВДОКИМОВИЧА

Проволоцкий Александр Евдокимович родился 27 марта 1942г. в Кировоградской обл. Сельская школа, ремесленное училище, слесарь-монтажник и вечерняя школа рабочей молодёжи, служба в рядах Советской Армии 1961–1964 г.г., студент Днепропетровского металлургического института 1964–1969 г.г. – таков его начальный жизненный путь.

Вся последующая трудовая и научная деятельность связана с Национальной металлургической академией и кафедрой «Технология машиностроения»: инженер, заведующий отраслевой лабораторией, доцент, профессор, директор научно-исследовательского института специальных технологий (НИИСТ), заведующий кафедрой. В текущем году исполнилось 50 лет трудовой деятельности.

Надо благодарить Бога за то, что он подарил нам Александра Евдокимовича, привел его в Науку, где с обилием раскрылись его дарования, человеческие и профессиональные качества, и помог узнать, кого можно называть настоящим Ученым.

Еще будучи студентом, Александр Евдокимович активно участвовал в выполнении научных работ, проводимых на кафедре. Его курсовые и дипломные работы тогда уже отличались творческим порывом и были посвящены решению актуальных задач технологии машиностроения – повышению качества обработки деталей машин. Работая затем инженером и заведующим лабораторией на кафедре, Александр Евдокимович много сил и времени отдал разработке и особенно внедрению на предприятиях своих технологий. Его хорошо знают как рабочие в цехах, так и руководители предприятий.

Прекрасный специалист, эрудит, новатор, человек, обладающий большим чувством юмора, он везде пользуется огромным авторитетом, покоряет сердца и умы студентов и профессоров, производителей и всех, кому повезло с ним общаться. С ним легко и приятно работать. Своими идеями и безграничной преданностью делу Науки он вдохновлял и вдохновляет нас к творческой работе.

Итогом его студенческих устремлений стали прекрасно выполненные кандидатская и докторская диссертации, являющиеся своего рода этапами в развитии отечественного машиностроения и посвященные технологическому обеспечению качества изготовления изделий с помощью нетрадиционных методов механической и физико-технической обработки. Кандидатскую диссертацию Александр Евдокимович успешно защитил в 1975г. в Одесском политехническом институте, а докторскую диссертацию – в 1989г. в Белорусском политехническом институте. Его монография «Струйно-абразивная обработка деталей машин», подготовленная по результатам докторской диссертации, сразу стала признанной классикой, настольной книгой для многих специалистов и ученых. В ней Александру Евдокимовичу удалось сформулировать технологические основы финишной обработки и принципы создания поверхностей деталей с особыми свойствами, применяемыми в зависимости от условий их работы.

Своими научными работами по проблемам струйно-абразивной обработки, электроэрозионного упрочнения, шлифования кругами на гибкой основе, создания комбинированных методов обработки с применением физико-химических процессов и интегрированных технологий в машиностроении он внес огромный вклад в современную технологию машиностроения, обогатил ее новыми научными подходами.

Александр Евдокимович – автор более 300 научных и методических изданий, в том числе 4 монографий и 90 изобретений. В 2003г. он удостоен звания «Заслуженный деятель науки и техники Украины». Постоянно уделяет большое внимание подготовке научных кадров: руководит работой аспирантов и докторантов, щедро делится с ними своими знаниями и богатым практическим опытом, за что они его очень любят и ценят.

Активно участвует в аттестации научных кадров, являясь членом Учёных Советов по защитах докторских диссертаций, членом редакционных Советов специализированных журналов и членом экспертного Совета ВАК Украины.

Александр Евдокимович и руководимый им коллектив кафедры «Технология машиностроения» Национальной металлургической академии постоянно участвуют в работе наших конференций. Представляют большую научную ценность разделы, написанные им в 10-ти томном издании «Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения», подготовленном в рамках проводимых нами конференций.

Александр Евдокимович полон сил, энергии и творческих замыслов. Желаем ему крепкого здоровья, счастья и больших творческих успехов в научной и педагогической работе.

1. НАУЧНЫЕ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ, МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПАР ТРЕНИЯ ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, **Яценко С.М.** (г. Харьков, Украина)

The results theoretical and experimental researches of parameters of thermal process are given at grinding. The conditions of reduction of temperature are determined at grinding and as a whole at machining. The practical recommendations are given.

Для нагнетания рабочей жидкости (минерального масла) в мощные гидрофицированные машины широко применяются аксиально- и радиально-поршневые насосы, которые по своим технико-экономическим показателям превосходят шестеренные и другие типы насосов. Как установлено практикой, их работоспособность во многом зависит от качества изготовления пар трения. Поэтому к шероховатости, точности и параметрам качества обрабатываемых поверхностей (плоских, цилиндрических и сферических) ответственных деталей пар трения поршневых насосов предъявляются высокие требования, выполнение которых вызывает большие сложности. Особенно это относится к операциям шлифования деталей из закаленных сталей в связи с тем, что в зоне обработки возникают высокие температуры, которые приводят к появлению прижогов и микротрещин на обрабатываемых поверхностях, снижению физико-механических свойств поверхностного слоя (главным образом микротвердости). Это, в свою очередь, отрицательно сказывается на работоспособности пар трения и изготовленных насосов.

Традиционно, основным путем уменьшения температуры и обеспечения высококачественной обработки является снижение режимов шлифования. Однако, это не всегда эффективно, т.к. предполагает уменьшение производительности обработки. Поэтому с целью повышения эффективности шлифования, выбор оптимальных условий бездефектной обработки необходимо производить на основе обеспечения максимально возможной производительности, обусловленной температурным фактором и установленной с учетом баланса тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь. Это позволит в максимальной степени реализовать потенциальные возможности шлифования. Вместе с тем, в данном направлении фактически нет практических рекомендаций, поскольку в научно-технической литературе отсутствует аналитическое решение задачи об определении температуры при шлифовании, полученное на основе учета теплового баланса. Это требует проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований тепловых процессов при шлифовании, что является, по сути, дальнейшим развитием фундаментальных научных работ по теплофизике механической обработки. В связи с этим целью работы является повышение эффективности технологии финишной механической обработки

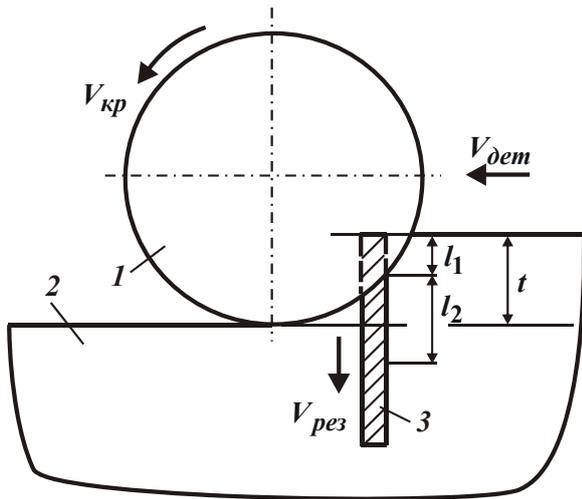


Рис. 1. Расчетная схема процесса шлифования: 1 - шлифовальный круг; 2 - обрабатываемая деталь; 3 - адиабатический стержень.

ответственных деталей пар трения поршневых насосов за счет выбора оптимальных условий высококачественной обработки на основе учета теплового баланса при шлифовании.

Для реализации поставленной цели разработана математическая модель определения температуры при шлифовании, основанная на учете баланса тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь [1-5]. В расчетной схеме, показанной на рис. 1, снимаемый припуск (по аналогии с работами проф. Якимова А.В.) представлен пакетом бесконечно тонких адиабатических стержней, которые в процессе шлифования перерезаются со скоростью $V_{рез}$.

Для выполнения расчетов принято, что за время действия теплового источника τ произошло перерезание стержня длиной l_1 , т.е. тепловой источник переместился вдоль стержня на величину $l_1 = V_{рез} \cdot \tau$, и за это время в результате резания выделено количество тепла Q . Это тепло, во-первых, ушло на нагревание образующихся стружек, т.е. участка стержня длиной l_1 (затрачено количество тепла Q_1), во-вторых, на нагревание участка стержня длиной l_2 за счет теплопроводности обрабатываемого материала (затрачено количество тепла Q_2). Исходя из этого, уравнение баланса тепла $Q = Q_1 + Q_2$ представлено в виде дифференциального уравнения относительно температуры при шлифовании $\theta = \theta(\tau)$:

$$\frac{d\theta}{d\tau} \cdot \theta + A \cdot \theta = B, \quad (1)$$

где $A = \frac{V_{рез} \cdot N}{\lambda \cdot S}$; $B = \frac{N^2}{c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot S^2}$; где N - мощность теплового источника, Вт; λ - коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К; c - удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); ρ - плотность обрабатываемого материала, кг/м³; S - площадь поперечного сечения стержня, м².

Решение дифференциального уравнения для начального условия $\theta(\tau = 0) = 0$:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \left[1 - e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{рез}^2 \cdot \tau}{\lambda}} \cdot e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot \theta}{\sigma}} \right] = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \left[1 - e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{рез} \cdot l_1}{\lambda}} \cdot e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot \theta}{\sigma}} \right] \quad (2)$$

или в относительных величинах:

$$l_1 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{рез}} \cdot \bar{l}_1; \quad \bar{l}_1 = -\ln(1-z) - z; \quad z = \frac{\theta}{\left(\frac{\sigma}{c \cdot \rho}\right)}, \quad (3)$$

где z – относительная величина температуры; $\sigma = q / V_{рез}$ – условное напряжение резания, Н/м²; q – плотность теплового потока, Вт/м².

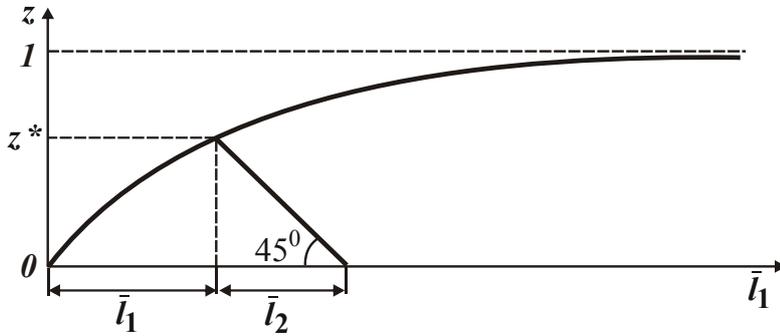


Рис. 2. Зависимость z от \bar{l}_1 .

Из зависимости (3) вытекает, что относительная величина температуры z с увеличением длины стержня $l_1 = V_{рез} \cdot \tau$ (или времени τ контакта шлифовального круга со стержнем) увеличивается примерно по экспоненциальному закону, асимптотически приближаясь к единице (рис. 2). Это свидетельствует о существовании установившегося во времени теплового процесса при шлифовании, реализуемого при относительно больших значениях \bar{l}_1 (или τ), например, при глубинном шлифовании. Данное решение является принципиально новым, т.к. согласно известному теоретическому решению, не учитывающему функционально количество тепла Q_1 , уходящего в образующиеся стружки, а учитывается лишь количество тепла, которое уходит в обрабатываемую деталь, относительная величина температуры z неограниченно увеличивается с увеличением времени (относительной величины $\bar{\tau} = z^2 / 2$), рис. 3. При $z < 1$ расхождение результатов

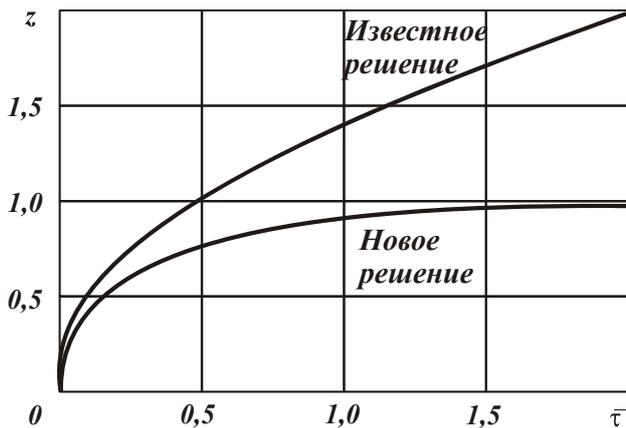


Рис. 3. Зависимость z от $\bar{\tau}$.

расчетов, полученных с использованием нового и известного решений, не существенно (до 1,5 раз), а при $z \rightarrow 1$ – весьма значительно, что требует применения для расчетов более точного нового решения. Безразмерная величина $\bar{l}_1 = -\ln(1-z) - z$ в работе протабулирована, что позволяет достаточно просто по известному значению \bar{l}_1 установить относительную величину температуры z .

Используя полученное решение, определены основные параметры теплового процесса при шлифовании: длина стержня l_2 , равная толщине поверхностного слоя обрабатываемой детали, в котором концентрируется тепло, мгновенная скорость V_θ распространения тепла вглубь рассматриваемого адiabатического стержня, доли тепла Q_1 / Q и Q_2 / Q , уходящие соответственно в

образующиеся стружки и обрабатываемую деталь:

$$l_2 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{рез}} \cdot \bar{l}_2; \quad \bar{l}_2 = z; \quad V_\theta = V_{рез} + \frac{dl_2}{d\tau} = \frac{V_{рез}}{z}, \quad (4)$$

$$\frac{Q_1}{Q} = 1 - \frac{z^2}{2 \cdot \bar{l}_1}; \quad \frac{Q_2}{Q} = \frac{z^2}{2 \cdot \bar{l}_1}. \quad (5)$$

Из приведенных зависимостей следует, что длина стержня l_2 изменяется по закону изменения относительной величины температуры z (рис. 2, табл. 1). Мгновенная скорость V_θ , наоборот, с увеличением z непрерывно уменьшается, асимптотически приближаясь к значению $V_{рез}$.

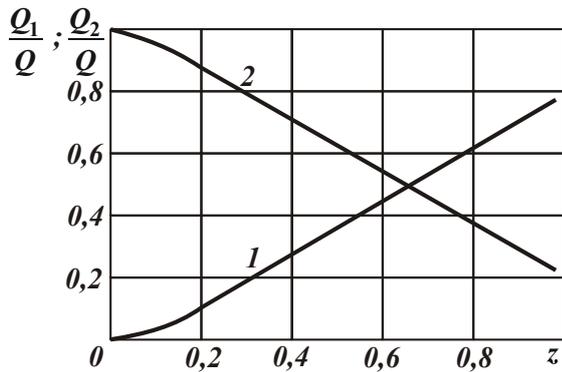


Рис. 4. Зависимости величин Q_1/Q (1) и Q_2/Q (2) от параметра z .

Относительные величины Q_1/Q и Q_2/Q определяются лишь одним параметром – относительной величиной температуры z , рис. 4. Следовательно, уменьшение z предполагает уменьшение Q_1/Q и увеличение Q_2/Q за счет уменьшения произведения параметров $\bar{l}_1 \cdot V_{рез}$ в соответствии с зависимостью (3). Таким образом показано, что распределение тепла между образующимися стружками и поверхностным слоем обрабатываемой детали обусловлено

температурой шлифования. Это хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований различных процессов механической обработки, приведенных в научно-технической литературе. Например, с известными экспериментальными данными проф. Даниеляна А.М., согласно которым с увеличением скорости резания и соответственно температуры резания при точении, доля тепла, уходящего в стружку, увеличивается, асимптотически приближаясь к значению 80%, а доля тепла, уходящего в обрабатываемую деталь, наоборот, уменьшается до значения 20%.

Таблица 1

Расчетные значения безразмерных величин \bar{l}_1 , \bar{l}_2 и \bar{l}_2/\bar{l}_1

z	0,091	0,167	0,333	0,5	0,632	0,85	0,9	0,99	0,999	0,9999
\bar{l}_1	0,004	0,015	0,072	0,193	0,368	1,047	1,4	2,005	3,6	6,0
\bar{l}_2	0,091	0,167	0,333	0,5	0,632	0,85	0,9	0,99	0,999	0,9999
\bar{l}_2/\bar{l}_1	22,75	11,13	4,625	2,59	1,717	0,818	0,643	0,495	0,278	0,167

На основе проведенного теоретического анализа сформулированы основные условия уменьшения температуры при шлифовании θ (рис. 5), состоящие в уменьшении параметров σ, l_1 (равной глубине шлифования) и $V_{рез}$. В работе также получена зависимость, позволяющая в явном виде выразить относитель-

ную величину температуры z через параметры теплового процесса при шлифовании:

$$z = 1 - e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{рез}}{\lambda} \cdot (l_1 + l_2)} = 1 - e^{-(\bar{l}_1 + \bar{l}_2)}. \quad (6)$$

Установлено, что относительная величина температуры z вполне однозначно определяется суммарной длиной стержня $(l_1 + l_2)$, подвергнутого тепловому воздействию. Чем меньше данная величина, тем меньше z и соответственно температура при шлифовании θ .

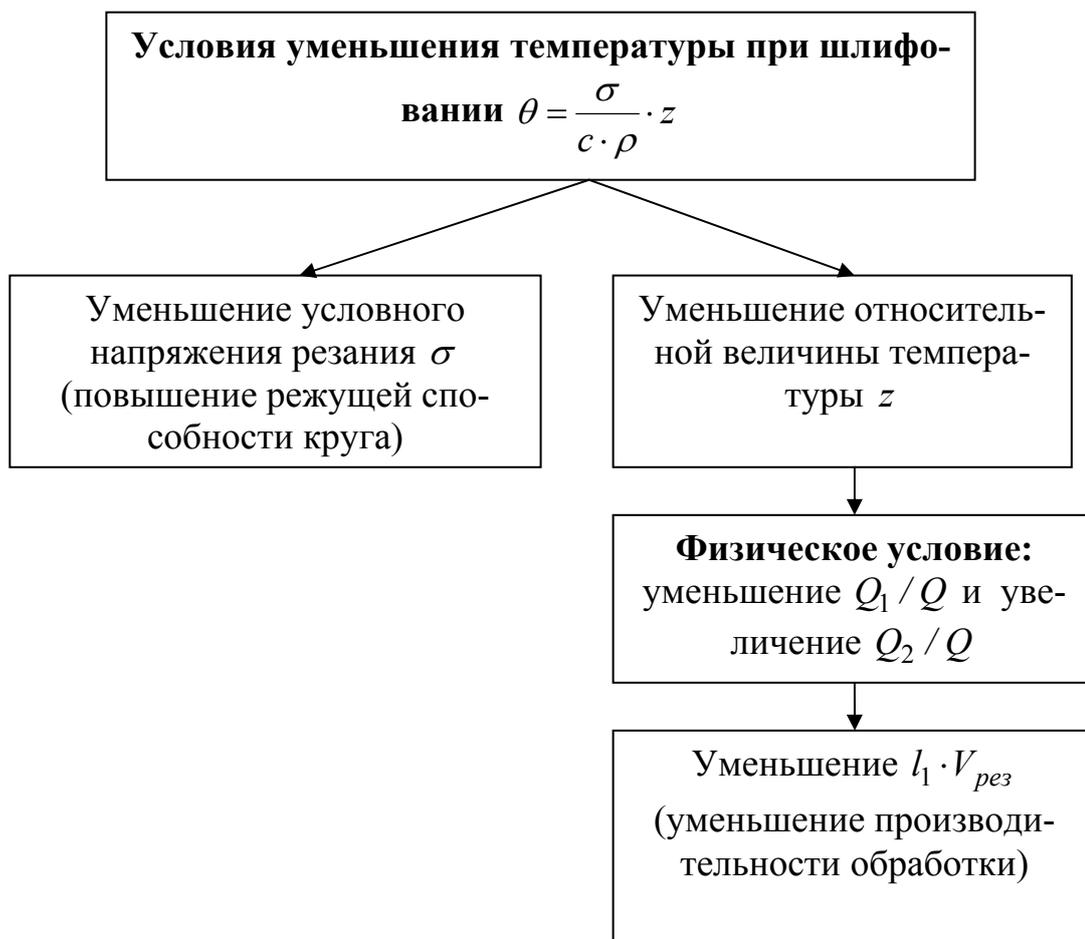


Рис. 5. Структурная схема условий уменьшения температуры при шлифовании θ .

На основе полученных зависимостей проведены исследования условий уменьшения температуры при шлифовании и в целом при механической обработке. Показано, что наибольшая температура при плоском шлифовании достигается при условии $l_1 = t$ (рис. 1), т.е. в момент выхода шлифовального круга из контакта с рассматриваемым адиабатическим стержнем. Тогда зависимость (3) примет вид:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{y\partial} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} = \bar{l}_1 \quad (7)$$

где t – глубина шлифования, м; $Q_{y\partial} = t \cdot V_{дет}$ – удельная производительность обработки, м³/(м·с); $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; $R_{кр}$ – радиус круга, м.

Исходя из этого, произведена количественная оценка основных парамет-

ров теплового процесса при плоском многопроходном ($t_1=0,01 \cdot 10^{-3}$ м) и глубинном ($t_2 = 10^{-3}$ м) шлифовании наиболее труднообрабатываемого материала – твердого сплава ВК8, осуществляемого с достаточно высокой удельной производительностью обработки $Q_{y0}=600$ мм³/(мм·мин), табл. 2.

Из табл. 2 вытекает, что относительная величина температуры z принимает небольшие значения, значительно меньшие единицы. Это свидетельствует о том, что для данных условий шлифования имеет место неустановившийся тепловой процесс.

Таблица 2

Расчетные значения параметров $\tau, V_{рез}, \bar{l}_1, z, \theta, \frac{Q_1}{Q}, \frac{Q_2}{Q}, \frac{Q_2}{Q_1}, \frac{\bar{l}_1}{\bar{l}_2}, V_\theta, \frac{V_\theta}{V_{рез}}$
 ($\lambda = 50$ Вт/(м·К); $c = 175,9$ Дж/(кг·К); $\rho = 15 \cdot 10^3$ кг/м³; $2R_{кр} = 0,3$ м)

Вид шлифования	$\tau \cdot 10^{-2},$ с	$V_{рез} \cdot 10^{-3},$ м/с	$\bar{l}_1 \cdot 10^{-2}$	$z \cdot 10^{-2}$	θ, K	$\frac{Q_1}{Q}$	$\frac{Q_2}{Q}$	$\frac{Q_2}{Q_1}$	$\frac{\bar{l}_1}{\bar{l}_2}$	$V_\theta \cdot 10^{-3},$ м/с	$\frac{V_\theta}{V_{рез}}$
Многопроходное	0,17	5,8	0,3	7,7	466	0,077	0,923	12,0	0,04	75,4	13
Глубинное	173	0,58	3	22,8	1385	0,228	0,772	3,38	0,14	2,55	4,4

Таблица 3

Расчетные значения параметров τ, l_2, θ для $\sigma = 16 \cdot 10^9$ Н/м²

Вид шлифования	τ, c	$l_2 \cdot 10^{-3},$ м	θ, K
Многопроходное	0,28	3,27	6064
Глубинное	28,2	32,67	6064

Параметры установившегося теплового процесса ($z \rightarrow 1$), описываемые зависимостями:

$$\tau = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{рез}^2}; \quad l_2 = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot V_{рез}}; \quad \theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho}; \quad V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}}, \quad (8)$$

для рассматриваемых условий обработки принимают весьма большие значения (табл. 3), не свойственные процессу шлифования. Следовательно, практически невозможно осуществить установившийся тепловой процесс при шлифовании труднообрабатываемого твердого сплава. Он может быть реализован при шлифовании более “мягких” материалов, например, машиноподелочных сталей. Это подтверждается экспериментальными данными проф. Силина С.С., полученными при высокопроизводительном плоском глубинном абразивном шлифовании сталей и жаропрочных сплавов: с увеличением глубины шлифования и скорости детали температура шлифования первоначально увеличивается, затем стабилизируется. Такой же характер изменения температуры установлен нами

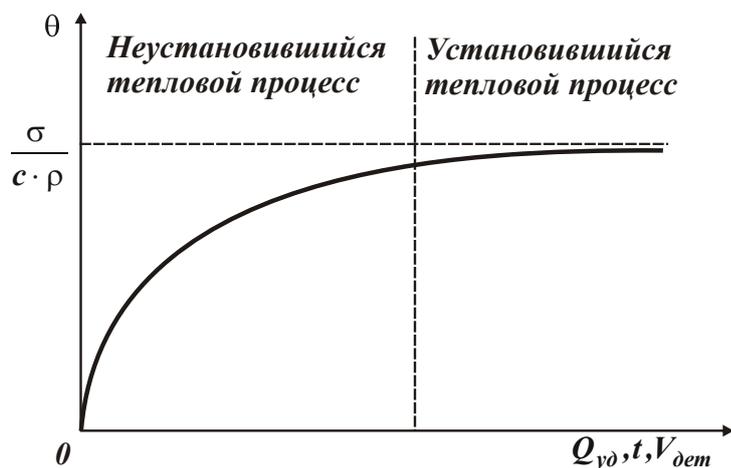


Рис. 6. Зависимость θ от Q_{vd} (t и V_{dem}).

температурных дефектов на обрабатываемой поверхности, что достигается, главным образом, за счет уменьшения условного напряжения резания σ в соответствии с зависимостью, полученной Новиковым Ф.В.:

$$\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{K_{рез}}, \quad (9)$$

где $\sigma_{сж}$ - предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м²; $K_{рез} = P_z / P_y$ - коэффициент резания; P_z , P_y - тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н.

Как видно, условное напряжение резания σ тем меньше, чем больше коэффициент резания $K_{рез}$. Поэтому с целью уменьшения температуры поверхностного слоя обрабатываемой детали эффективно переходить от шлифования к лезвийной обработке, например, тонкому точению, характеризующемуся большими значениями $K_{рез}$, т.к. при шлифовании $K_{рез} < 1$, а при лезвийной обработке $K_{рез} > 1$. Исходя из этого, на основе зависимости (3) с учетом соотношений $l_1 = a$ и $V_{рез} = V \cdot tg\beta$ определена относительная величина температуры z применительно к процессу продольного точения:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot a \cdot V \cdot tg\beta = \bar{l}_1 = -\ln(1-z) - z, \quad (10)$$

где a - толщина среза, м; V - скорость резания, м/с; β - условный угол сдвига обрабатываемого материала.

Как видно, безразмерная величина \bar{l}_1 и соответственно относительная величина температуры z в одинаковой степени зависят от толщины среза a и скорости резания V . С их увеличением относительная величина температуры z первоначально увеличивается, затем стабилизируется, табл. 1. Количественными расчетами установлено, что при точении, в отличие от процесса шлифования, условие $z \rightarrow 1$ выполняется в широком диапазоне режимов резания, которые реализуются на практике. Следовательно, при точении типичной зависимостью, определяющей характер изменения температуры резания от скорости ре-

теоретически, рис. 6. Из этого вытекает, что реализация установившегося теплового процесса при шлифовании открывает новые возможности существенного увеличения производительности обработки без увеличения температуры и ухудшения качества обрабатываемых поверхностей. Однако для этого необходимо обеспечить при шлифовании заданную температуру, исключая образование

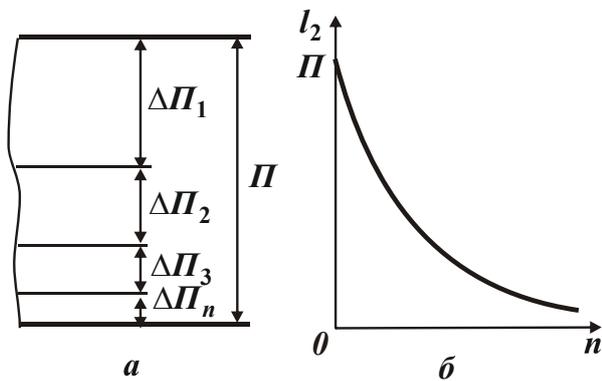


Рис. 7. Расчетная схема съема припуска (а) и характер изменения параметра l_2 в зависимости от количества проходов круга n (б).

мых поверхностей, что является важным резервом повышения эффективности финишной механической обработки. Этим теоретически обоснована возможность применения при определенных условиях процесса точения взамен шлифования с точки зрения повышения качества и производительности обработки.

В работе определены условия уменьшения длины участка стержня l_2 (рис. 1), в котором концентрируется выделившееся при шлифовании тепло и который определяет толщину дефектного поверхностного слоя обработанной детали, обусловленного температурным фактором. Исходя из зависимости (4), при заданной (критической) температуре шлифования, определяемой относительной величиной z , уменьшить параметр l_2 можно лишь уменьшением скорости

$$V_{рез} = V_{дем} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} = \frac{Q_{y\partial}}{\sqrt{2 \cdot t \cdot R_{кр}}}, \text{ т.е. уменьшением глубины шлифования}$$

t и соответственно увеличением скорости детали $V_{дем}$ при условии $Q_{y\partial} = V_{дем} \cdot t = const$ (применением многопроходного шлифования). При глубинном шлифовании ($z \rightarrow 1$) также можно уменьшить параметр l_2 за счет увеличения удельной производительности обработки $Q_{y\partial}$. В этом случае практически все выделяющееся тепло, как следует из зависимости (5), уходит в образующиеся стружки, в обрабатываемую деталь уходит небольшая доля тепла. Этим, собственно, и объясняется основной физический эффект глубинного шлифования, состоящий в возможности высококачественной обработки при одновременном повышении производительности.

В работе получено новое аналитическое решение, определяющее условие существенного уменьшения параметра l_2 . Его суть состоит в необходимости ограничения пределов изменения параметра l_2 величиной снимаемого припуска Π , т.е. в обеспечении таких условий обработки, при которых параметр l_2 формировался бы “внутри” слоя снимаемого припуска, рис. 7. Для этого аналитически описан характер изменения глубины шлифования с течением времени обработки (по проходам). Показано, что для выполнения данного условия глу-

зания V , является зависимость, показанная на рис. 6. Такая же зависимость установлена экспериментально проф. Даниеляном А.М. и проф. Лоладзе Т.Н. при исследовании процесса точения, а также других видах лезвийной обработки.

Реализация установившегося теплового процесса при точении предполагает существенное увеличение удельной производительности обработки $Q_{y\partial} = a \cdot V$ без увеличения температуры резания и соответственно ухудшения качества обрабатываемых

бину шлифования необходимо изменять по закону бесконечно убывающей геометрической прогрессии, рис. 8. Аналитически установлено, что по такому же закону уменьшается фактическая глубина шлифования при выхаживании, т.е. при шлифовании с отключенной радиальной подачей. Поэтому из условия равенства знаменателей двух прогрессий определена оптимальная скорость детали $V_{дет}$, при которой возможна реализация условия существенного уменьшения параметра $l_2 \rightarrow 0$:

$$V_{дет} = \left(\frac{2\theta^*}{\theta} - 1 \right) \cdot \frac{c_1 \cdot K_{ш}}{\sigma} \cdot \frac{V_{кр}}{B}, \quad (11)$$

где $\theta^* = \frac{\sigma}{c \cdot \rho}$ – максимально возможная температура, К; θ – заданная температура, К ($\theta < \theta^*$); c_1 – приведенная жесткость технологической системы, Н/м; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; B – ширина шлифования, м.

Зависимость (11) устанавливает связь между температурой шлифования θ и условиями обработки. Задавая необходимое значение θ , по зависимости (11) можно определить соответствующую ей скорость детали $V_{дет}$. Как видно, чем больше θ , тем меньше должна быть скорость детали $V_{дет}$. Увеличению $V_{дет}$ также способствуют повышение режущей способности шлифовального круга (увеличение коэффициента шлифования $K_{ш}$ и уменьшение условного напряжения резания σ), увеличение параметров c_1 , $V_{кр}$ и уменьшение B .

Установлено, что с физической точки зрения параметр l_2 равен величине упругого перемещения y_n , возникающего в технологической системе при выхаживании (погрешности размера обработки). Уменьшение величины y_n до значений 0...10 мкм с течением времени обработки ведет автоматически к уменьшению параметра l_2 (толщины дефектного слоя обработанной детали) в таких же пределах. Этим показано, что применение схемы выхаживания при шлифовании позволяет добиться уменьшения тол-

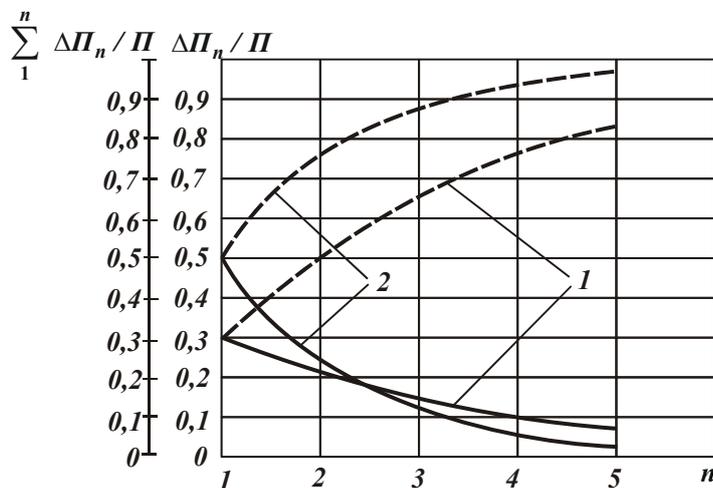


Рис. 8. Характер изменения отношения величины снимаемого припуска на каждом проходе к общему снимаемому припуску $\Delta\Pi_n / \Pi$ (сплошная линия) и относительного значения снятого припуска $\sum_1^n \Delta\Pi_n / \Pi$ (пунктирная линия) в зависимости от количества проходов круга n для $z_1=0,3$ (1) и $z_1=0,5$ (2), где $z_1 = \theta / (2 \cdot \theta^*)$.

шины дефектного слоя обрабатываемой детали, который затем несложно устранить на последующей операции доводки.

Для оценки достоверности полученных теоретических результатов проведены экспериментальные исследования твердости (по Виккерсу) поверхности и толщины дефектного слоя обработанной детали (накладного диска из закаленной стали ШХ15 – ответственной детали пары трения “подпятник – накладной диск” аксиально-поршневого насоса) при плоском шлифовании абразивным

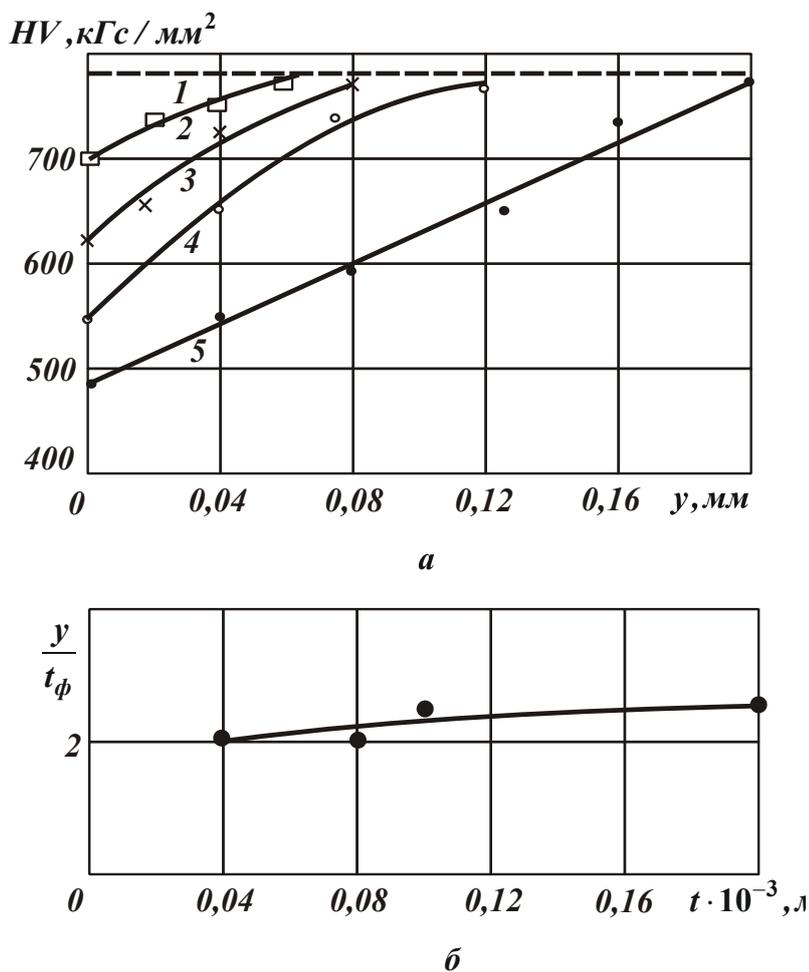


Рис. 9. Изменение твердости HV (а) по глубине дефектного слоя детали после ее шлифования с разными глубинами t (1 - исходная твердость до шлифования; 2 - $t = 0,04$ мм; 3 - $t = 0,08$ мм; 4 - $t = 0,1$ мм; 5 - $t = 0,2$ мм) и зависимость y/t_ϕ от глубины шлифования t (б).

фактической глубины шлифования t_ϕ (обусловленной упругими перемещениями в технологической системе) и толщины дефектного слоя детали после ее шлифования (определяемой величиной y , при которой твердость HV равна исходной твердости детали до обработки) и обосновано условие существенного уменьшения толщины дефектного слоя при выхаживании: $l_2/t = t/t_\phi$. Этим подтверждено полученное в работе теоретическое решение об эффективности

кругом 1А1 450х63х203 24А40СМ1К6, рис. 9,а. Установлено значительное снижение твердости поверхности (в 1,63 раза) с увеличением глубины шлифования в пределах 0,01–0,2 мм, что свидетельствует о существенном ограничении глубины шлифования в связи с температурным фактором. Показано, что обеспечить твердость обработанной поверхности, близкую к исходной, и одновременно относительно высокую производительность обработки можно за счет выполнения операции плоского шлифования в три перехода (предварительное и окончательное шлифование и последующее выхаживание), реализуя на первом переходе максимально возможную производительность, а на втором и третьем переходах – добиваясь удаления дефектного слоя детали, образовавшегося на первом переходе.

Экспериментально установлена связь (рис. 9,б)

применения процесса выхаживания для удаления дефектного слоя детали, образующегося при шлифовании.

На основе аналитических зависимостей (7) и $l_2 = t \cdot z / \bar{l}_1$ определены параметры z , l_2 / t и l_2 (рис. 10) применительно к плоскому шлифованию детали из закаленной стали ШХ15 (коэффициент температуропроводности стали ШХ15 $a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\lambda = 42 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$; $R_{кр} = 0,225 \text{ м}$; $V_{дем} = 30 \text{ м/мин}$). Теоретические результаты согласуются с экспериментальными данными, приведенными

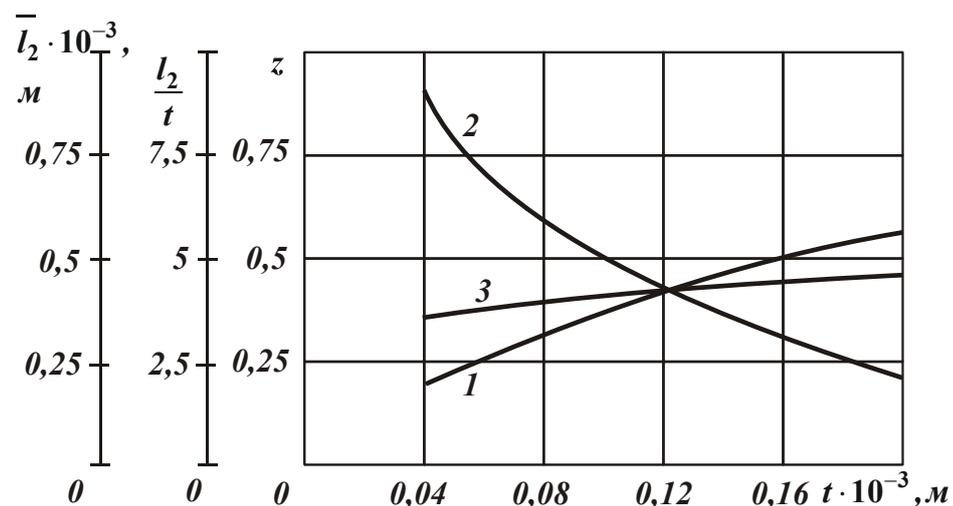


Рис. 10. Характер изменения расчетных значений z (1), отношения l_2 / t (2) и параметра l_2 (3) в зависимости от глубины шлифования t .

экспериментальных значений толщины дефектного слоя y и расчетных значений толщины слоя l_2 , в котором концентрируется образующееся при шлифовании тепло, свидетельствует о том, что условия формирования дефектного слоя детали при шлифовании подчиняются более сложным физическим законам и не могут быть однозначно описаны параметром l_2 .

Экспериментально установлены значения мощности и производительности шлифования, что позволило расчетно-экспериментальным методом определить (табл. 4) условное напряжение резания σ и температуру θ при плоском шлифовании закаленной стали ШХ15 с учетом значений z , приведенных на рис. 10.

Таблица 4

Значения z , σ и θ ($V_{дем} = 30 \text{ м/мин}$)

$t, \text{ мм}$	0,04	0,08	0,12	0,2
z	0,19	0,3	0,4	0,55
$\sigma, \text{ кгс/мм}^2$	1333	1000	889	800
$\theta, ^\circ\text{C}$	506	600	711	880

Установлено, что в момент появления прижога на обрабатываемой поверхности ($t=0,2 \text{ мм}$) температура θ принимает значение 880°C , а наибольшее значение θ (при $z=1$) равно 1600°C , что приблизительно соответствует темпе-

ратуре плавления стали ШХ15. Следовательно, при плоском шлифовании закаленной стали ШХ15, в отличие от шлифования твердого сплава (как это показано в третьем разделе работы), может быть реализован установившийся тепловой процесс (относительная величина температуры $z \rightarrow 1$). Это хорошо согласуется с основными положениями разработанной математической модели формирования температуры при шлифовании.

Проведены экспериментальные исследования при плоском шлифовании шероховатости и параметров точности обработки: отклонения от плоскостности и отклонения от параллельности. Установлено, что обеспечить требуемые значения отклонения от плоскостности - 0,005 мм и отклонения от параллельности - 0,01 мм можно в процессе выхаживания, а шероховатость обработки на уровне $R_a=0,16$ мкм за счет применения дополнительной операции доводки абразивными пастами М16 - М20.

Предложенная методика выбора оптимальных режимов шлифования по критерию бездефектной обработки была использована для совершенствования операции бесцентрового шлифования цилиндрической части поршня из закаленной стали ШХ15. С этой целью была разработана технология бесцентрового шлифования в три перехода, позволившая повысить твердость обработанной поверхности и эксплуатационные свойства пары трения “поршень - цилиндр (штулка корпуса)”. Технология обеспечивает шероховатость поверхности $R_a=0,32$ мкм и отклонение от цилиндричности 0,005 мм. Последующей доводкой свободным абразивом достигается требуемая шероховатость $R_a=0,16$ мкм.

Экспериментально установлено, что замена операции шлифования, осуществляемой на профиле-шлифовальном станке мод. Л3190, на операцию тонкого точения, осуществляемой на сферо-токарном станке мод. 16М25, сферической поверхности поршня из закаленной стали ШХ15 позволяет обеспечить твердость обработанной поверхности, близкую к исходной, в широких пределах изменения режимов резания. Это свидетельствует о снижении интенсивности теплонапряженности обработки при точении по сравнению с шлифованием и подтверждает полученные в работе в данном направлении теоретические решения.

На основе проведенных экспериментальных исследований разработаны научно обоснованные рекомендации по выбору оптимальных условий высококачественной финишной механической обработки, созданы и внедрены в основное производство ОАО “Харьковский завод Гидропривод” эффективные технологические процессы плоского и бесцентрового шлифования, тонкого точения (в том числе резцами из синтетических сверхтвердых материалов) и доводки абразивными пастами ответственных деталей пар трения поршневых насосов. Это позволило исключить температурные дефекты обработки и обеспечить твердость обработанной поверхности, близкую к исходной, при одновременном увеличении на 30–50% производительности обработки, сокращении расходов по режущему инструменту (шлифовальным кругам) и снижении трудоемкости последующих операций доводки свободным абразивом. Повышение качества обработки деталей пар трения позволило повысить ресурс работы изготавливаемых поршневых насосов более чем в два раза и достичь уровня мировых произ-

водителей подобной продукции (например, зарубежной фирмы “Parker Hydraulics”). Экономический эффект от внедрения разработанных технологических процессов финишной абразивной и лезвийной обработки деталей пар трения поршневых насосов в ОАО “Харьковский завод Гидропривод” составил более ста тысяч гривен в год.

Литература: 1. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Расчет теплового баланса и температуры резания при шлифовании // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. – 2005. – Вип. 33. – С. 125-129. 2. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Обоснование структуры и параметров технологического процесса механической обработки с учетом температурного фактора // Вісник НТУ ”ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Енергетичні і теплотехнічні процеси і устаткування. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2005. - № 28. – С. 117-125. 3. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Формирование температуры поверхностного слоя обрабатываемой детали при резании и шлифовании // Вісник НТУ”ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Енергетичні і теплотехнічні процеси і устаткування. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2005. - № 29. – С. 115-122. 4. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Новый упрощенный подход к расчету температуры поверхностного слоя детали при ее механической обработке // Физические и компьютерные технологии. – Труды 11-й Международной научно-технической конференции, 2-3 июня 2005г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2005. – С. 137-146. 5. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Расчет температуры шлифования с учетом движения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали // Физические и компьютерные технологии. – Труды 12-й Международной научно-технической конференции, 7-8 июня 2006г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2006. – С. 105-111.

УДК 621.923

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗЬБОВОГО
ОТВЕРСТИЯ В ГОРЛОВИНЕ БАЛЛОНА В УСЛОВИЯХ МАССОВОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, **Иванов И.Е.**

(г. Харьков, г. Мариуполь, Украина)

The results of experimental researches of parameters of accuracy of machining of an aperture with a groove in the top part of a cylinder are given and the practical recommendations are given.

При изготовлении баллонов в условиях массового производства на высокопроизводительных автоматических линиях возникает ряд сложных задач по обеспечению точности и стабильности механической обработки отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов. Это связано, во-первых, с необходимостью обработки отверстий, имеющих начальную неправильную цилиндрическую форму и характеризующихся неравномерностью снимаемого припуска, что приводит к неуравновешенности сил резания, действующих на режущие зубья инструмента, деформации элементов технологической системы и возникновению значительных погрешностей обработки. Во-вторых, сложностью точной установки и базирования габаритной заготовки баллона при обработке. Применение типовых технологических процессов обработки отверстий с традиционным базированием по наружной цилиндрической поверхности гор-

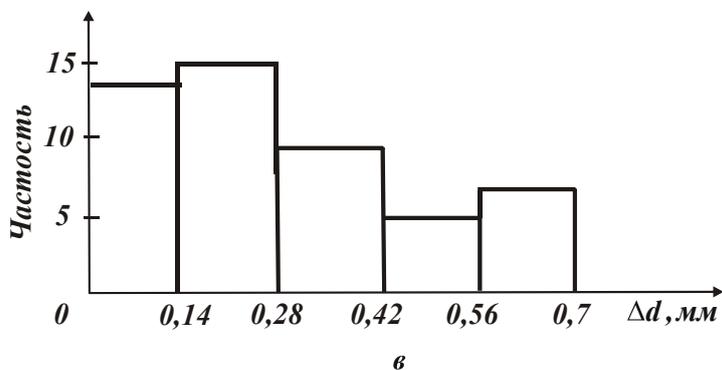
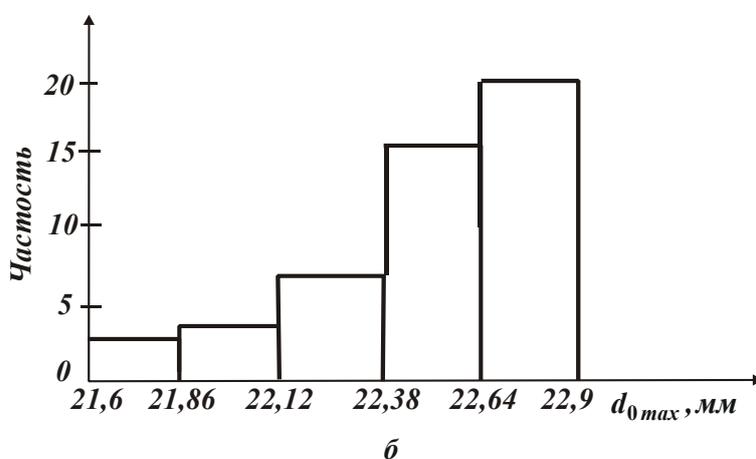
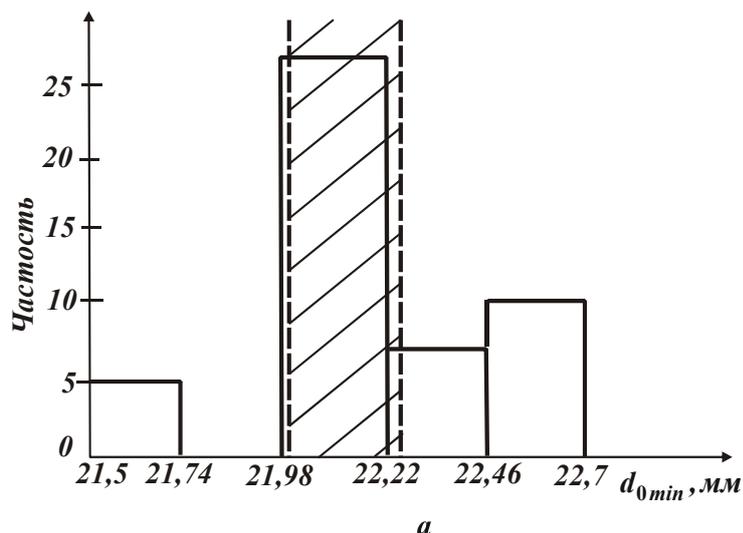


Рис. 1. Гистограммы распределения наименьшего d_{0min} (а) и наибольшего d_{0max} (б) диаметров отверстий и разности диаметров отверстий Δd (в) после сверления.

точности отверстий после сверления и развертывания. Для этого выполнялись измерения наименьшего d_{0min} и наибольшего d_{0max} диаметров отверстий после сверления сверлом $\varnothing 22$ мм из стали Р6М5 у 50-ти баллонов. Результаты измерений наибольшего d_{0max} и наименьшего d_{0min} диаметров отверстий, а также их разности $\Delta d = d_{0max} - d_{0min}$ представлены в виде гистограмм распределения, рис. 1. Как следует из рис. 1,а, значения наименьшего диаметра отверстий d_{0min}

ловины баллона не позволило решить указанные задачи. Потери от брака в связи с низким качеством нарезаемой конической резьбы в отверстиях остаются достаточно высокими - на уровне 15%. Это требует изыскания новых технологических решений по обеспечению точности и стабильности механической обработки (в условиях преобладания случайных погрешностей обработки), состоящих в научно обоснованном выборе оптимального технологического маршрута и параметров технологических переходов, прогрессивных схем базирования заготовок баллонов и т.д. [1-5]. Поэтому целью работы является экспериментальное исследование параметров точности механической обработки резьбовых отверстий в баллонах в условиях массового производства.

Были проведены экспериментальные исследования параметров

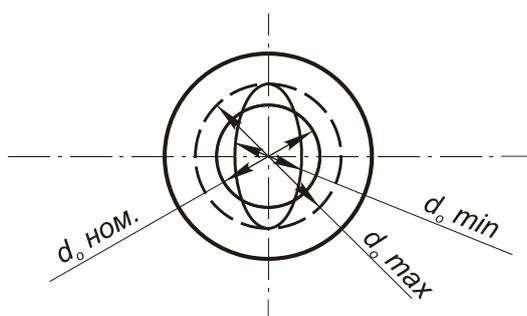


Рис. 2. Геометрические параметры обработанного отверстия.

концентрируются в основном в интервале 21,98 - 22,22 мм, т.е. приближаются к диаметру сверла 22 мм. Следовательно, при сверлении не существенна разбивка отверстия, связанная с биением сверла. В тоже время, исходя из рис. 1,б, имеет место смещение оси отверстия относительно оси сверла, в результате чего наименьший $d_{0 \text{ min}}$ и наибольший $d_{0 \text{ max}}$ диаметры отверстия отличаются и отверстие принимает

форму эллипса (рис. 2). Причем, наблюдается тенденция к увеличению наибольшего диаметра отверстия $d_{0 \text{ max}}$. С физической точки зрения это может быть связано с тем, что по сути, обработка отверстия производится не в сплошном материале, а путем рассверливания начального отверстия в горловине баллона, имеющего неправильную цилиндрическую форму. В результате этого происходит съем неравномерного припуска. А это ведет к погрешности обработки отверстия вследствие изгиба сверла и горловины баллона и смещения оси отверстия относительно оси сверла. Разбивка отверстия, определяемая разностью наибольшего диаметра отверстия $d_{0 \text{ max}}$ и диаметра сверла, равна 0,9 мм. Это чрезвычайно большая величина, свойственная для обработки отверстия, имеющего начальную неправильную цилиндрическую форму.

Приведенные на рис. 1,в статистические данные разности наибольшего и наименьшего диаметров отверстия Δd указывают на существование приблизительно равномерного закона распределения этой величины, изменяющейся в довольно больших пределах - 0...0,7 мм. Таким образом показано, что после сверления погрешность наименьшего диаметра отверстия $d_{0 \text{ min}}$ относительно небольшая, а погрешность формы отверстия, обусловленная величиной Δd , значительна. Причиной тому является неравномерность снимаемого припуска начального отверстия в горловине баллона.

На рис. 1,а заштрихованным показано поле допуска на диаметр отверстия 22 мм после сверления. Как следует из рис. 1,а, поле рассеяния наименьшего диаметра отверстия $d_{0 \text{ min}}$ превышает поле допуска на диаметр отверстия. Это указывает на то, что при сверлении не обеспечивается требуемая точность размера отверстия для части обработанных баллонов.

Были проведены аналогичные экспериментальные исследования параметров точности отверстий после их развертывания для 50-ти баллонов. На рис. 3 приведены результаты исследований в виде гистограмм распределения наименьшего $d_{0 \text{ min}}$ и наибольшего $d_{0 \text{ max}}$ диаметров обработанных отверстий, а также их разности Δd . Как следует из рис. 3,а, диапазон изменения значений наименьшего диаметра отверстий $d_{0 \text{ min}}$ после развертывания меньше, чем после сверления (рис. 1,а) - 0,8 мм вместо 1,2 мм. Вместе с тем, сравнивая гистограммы, приведенные на рис. 1,а и рис. 3,а, видим, что после развертывания распределение значений наименьшего диаметра отверстий $d_{0 \text{ min}}$ более равномерно,

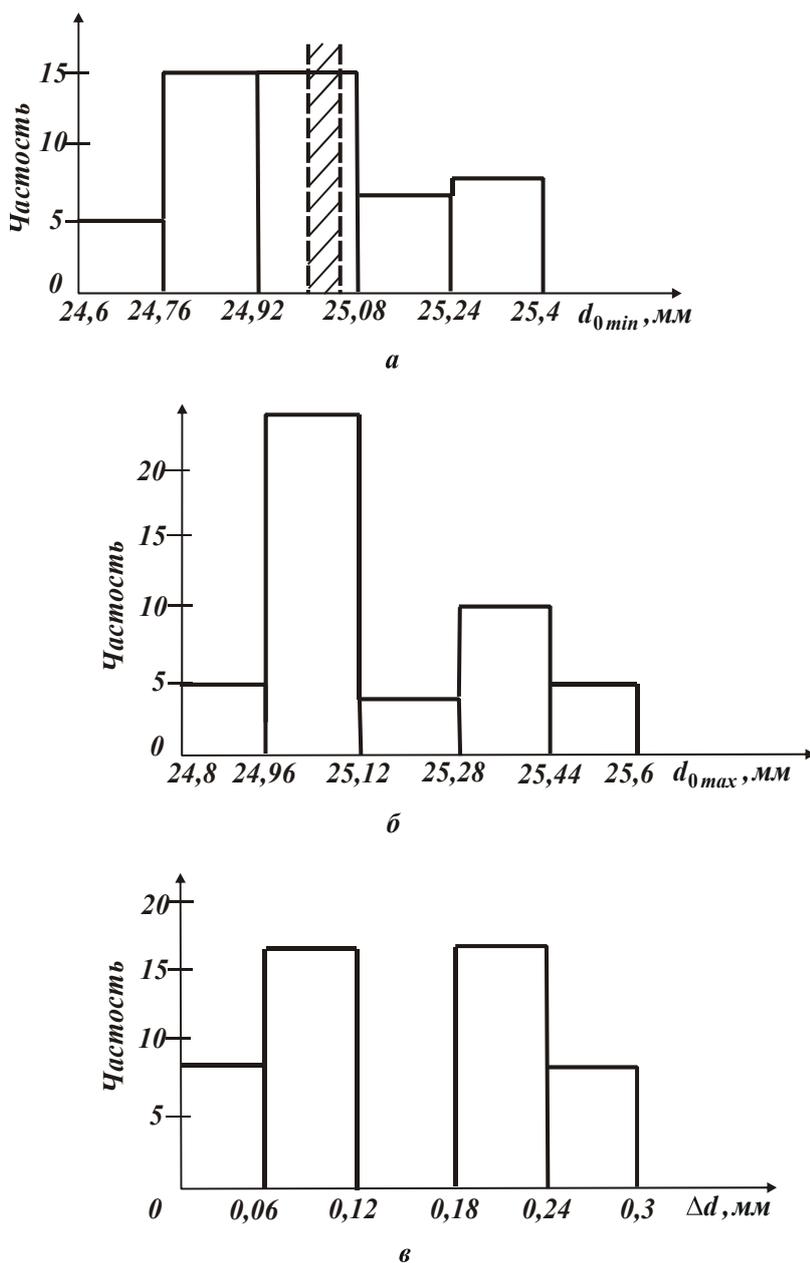


Рис. 3. Гистограммы распределения наименьшего d_{0min} (а) и наибольшего d_{0max} (б) диаметров отверстий и разности диаметров отверстий Δd (в) после развертывания.

закономерность вытекает из рис. 3,б. Основная часть значений наибольшего диаметра отверстий d_{0max} концентрируется в интервале 24,96 - 25,12 мм, что соответствует примерно такому же интервалу значений наименьшего диаметра отверстий, в котором концентрируется их наибольшая часть.

Разброс значений разности наибольшего и наименьшего диаметров отверстий Δd (рис. 3,в) после развертывания меньше аналогичного разброса значений Δd после сверления (рис. 1,в) - 0,3 мм вместо 0,7 мм. Таким образом показано, что применение технологического перехода развертывания позволяет повысить точность размера (диаметра) и формы обработанного отверстия по сравнению с точностью отверстия после сверления. Следовательно, приме-

чем после сверления. Хотя, учитывая то, что при развертывании неравномерность снимаемого припуска меньше, чем при сверлении, результат должен быть противоположным. Следовательно, наряду с неравномерностью снимаемого припуска, при развертывании действует и другой важный фактор, который существенно влияет на характер распределения значений наименьшего диаметра отверстий d_{0min} . Им может быть неодинаковая длина хода конической развертки в направлении подачи.

Проведем анализ изменения значений наибольшего диаметра отверстий d_{0max} после развертывания, рис. 3,б. Опять же, учитывая то, что при развертывании неравномерность снимаемого припуска меньше, чем при сверлении, разброс значений наибольшего диаметра отверстий d_{0max} должен практически отсутствовать. Примерно такая же

ние многопереходной обработки позволяет уменьшить погрешности отверстия, связанные с неравномерностью снимаемого припуска. Однако при этом появляются погрешности обработки, обусловленные неравномерностью длины хода конической развертки в направлении подачи. Для их уменьшения необходимо создание и применение системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода конической развертки.

Используя данные измерений параметров d_{0min} и d_{0max} , была произведена количественная оценка отклонения от круглости отверстия после его сверления и развертывания по формуле:

$$\Delta_{cp} = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{0max} - d_{0min}}{2}}{1}, \quad (1)$$

где n - количество измеренных отверстий в горловинах баллонов ($n=50$).

Установлено, что отклонение от круглости отверстия после сверления составило 0,205 мм, а после развертывания - 0,085 мм. Это свидетельствует о повышении точности обработки отверстия после развертывания.

На рис. 3,а заштрихованным показано поле допуска на диаметр отверстия 25 мм после развертывания. Как видно, рассеяние значений наименьшего диаметра отверстия превышает поле допуска на диаметр отверстия. Следовательно, погрешности обработки, образующиеся на предшествующих технологических переходах сверления и зенкерования, все же не удалось уменьшить до требуемого уровня на технологическом переходе развертывания. Это привело к значительному разбросу значений припусков на последующем переходе нарезания в отверстии конической резьбы. В результате в 15,5% обработанных отверстий, как установлено экспериментально, была нарезана некачественная резьба, что привело к значительным потерям от брака баллонов.

Экспериментальные исследования несоосности баллона и шпинделя инструментальной головки. Существенным фактором повышения точности обработки отверстия, имеющего начальную неправильную цилиндрическую форму, может быть обеспечение соосности обрабатываемого баллона и сверла. Поэтому была произведена оценка несоосности обрабатываемого баллона и шпинделя инструментальной головки (сверла) для 50-ти баллонов методом математической статистики. Первоначально оценивали точность заготовки баллона по отклонению оси горловины от оси цилиндрической части баллона X (т.е. несоосности горловины баллона и его цилиндрической части), в соответствии со схемой, показанной на рис. 4. Установлено, что разброс значений X находится в пределах 0,8 мм (рис. 5). При этом основная часть значений X сосредоточена в интервале 0,36 - 0,52 мм. Анализируя характер рассеяния значений X , можно сделать вывод, что он близок к нормальному закону распределения.

Была произведена оценка несоосности пояска горловины (после точения) и цилиндрической части баллона, по сути, несоосности шпинделя инструментальной головки и цилиндрической части баллона. Измерения отклонения оси пояска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1 проводили по схеме, показанной на рис. 6, у 50-ти баллонов. Результаты измерений, обработан-

ные методом математической статистики и представленные в виде гистограмм распределения величины X_1 , показаны на рис. 7, из которого следует, что разброс значений X_1 находится в пределах 1,7 мм. Это значительно больше, чем разброс значений величины X (0,8 мм). Следовательно, при обработке отверстий в горловинах баллонов имеет место значительная несоосность шпинделя инструментальной головки и цилиндрической части баллона. Очевидно, это приводит к несоосности обрабатываемого отверстия и сверла, что выражается в неравномерности снимаемого припуска при рассверливании начального отверстия в горловине баллона. По сути, производится рассверливание отверстия, имеющего начальную неправильную цилиндрическую форму. Собственно, этим объясняется значительная некруглость отверстия после рассверливания. При этом следует обратить внимание на то, что разброс значений X_1 примерно такой же как и разброс значений наибольшего диаметра отверстия d_{0max} после сверления (1,3 мм), рис. 1,б. Уменьшить несоосность цилиндрической части баллона и инструментальной головки можно в первую очередь за счет применения более прогрессивной схемы базирования заготовки баллона.

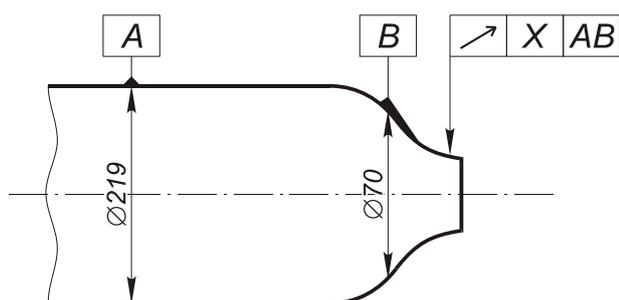


Рис. 4. Схема измерения отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона X .

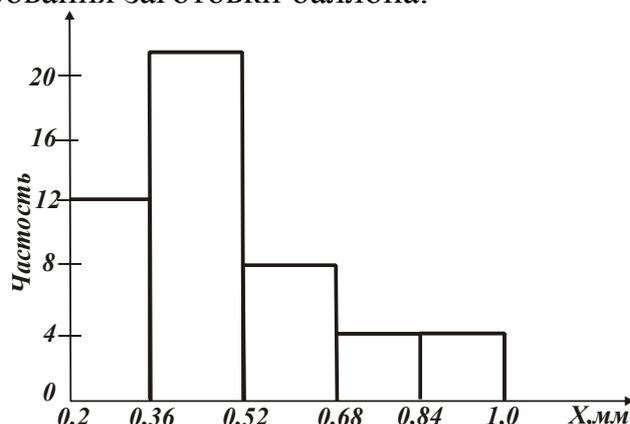


Рис. 5. Гистограмма распределения отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона X .

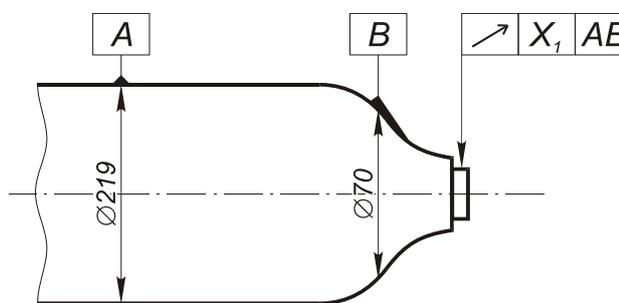


Рис. 6. Схема измерения отклонения оси пояска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1 .

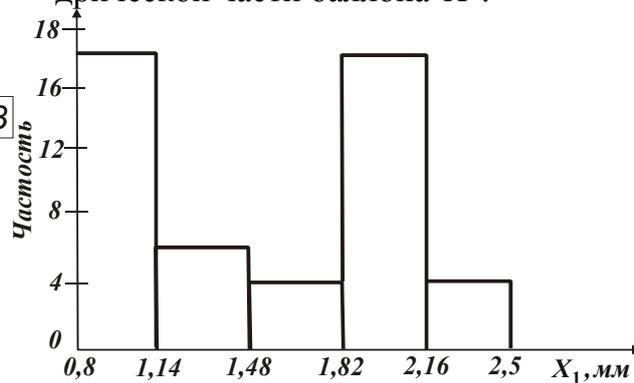


Рис. 7. Гистограмма распределения отклонения оси пояска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1 .

Экспериментальные исследования отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности. Выше установлено, что после развертывания имеет место большой разброс значений наименьшего d_{0min} и наибольшего

d_{0max} диаметров отверстий горловины баллона, рис. 3. При этом сделано предположение, что этот разброс обусловлен неодинаковой длиной хода инструментальной головки в направлении подачи. С целью проверки данного утверждения были проведены экспериментальные исследования на основе метода математической статистики отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y для 50-ти баллонов в соответствии со схемой, показанной на рис. 8. Результаты измерений величины Y представлены в виде гистограмм распределения, рис. 9.

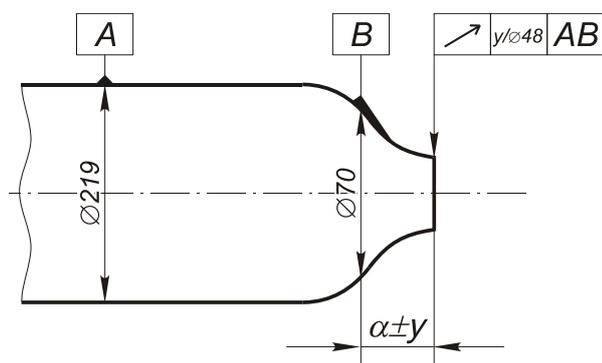


Рис. 8. Схема измерения отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y .

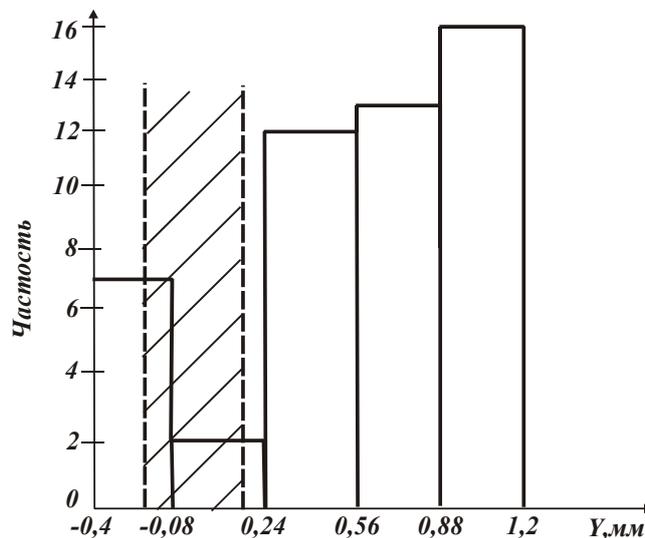


Рис. 9. Гистограмма распределения отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y .

Как видно, имеет место весьма большой разброс значений величины Y (1,6 мм), значительно превышающий поле допуска на величину Y (на рис. 9 поле допуска заштриховано). Данный разброс значений Y соизмерим с разбросом значений наименьшего d_{0min} и наибольшего d_{0max} диаметров отверстий горловины баллона (рис. 3) после развертывания конической разверткой. Это свидетельствует о существенном влиянии разброса значений Y на разброс значений d_{0min} и d_{0max} . Следовательно, для повышения точности обработки отверстий в горловинах баллонов необходимо, во-первых, уменьшить отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y , во-вторых, при обработке регулировать длину хода инструментальной головки в направлении подачи для каждого баллона на переходах развертывания конической разверткой и нарезания конической резьбы.

Экспериментальные исследования качества нарезанной конической резьбы в отверстиях горловин баллонов. Была произведена экспериментальная оценка качества нарезанной конической резьбы в отверстиях 1670 горловин баллонов. Установлено, что в 260 баллонах (а это соответствует 15,5% общего количества баллонов) нарезана некачественная резьба (см. таблицу).

В таблице приведены данные о браке по видам дефектов нарезанной конической резьбы в отверстиях горловин баллонов. Как видно, наибольший процент брака достигается в связи с образованием так называемой “рваной резьбы”

(4,31%). Затем, в порядке уменьшения процента брака резьбы - в связи с поломкой метчиков (3,35%), образованием прослабленной (2,84%) и тугой (2,75%) конической резьбы, а также образованием неполного профиля резьбы (2,27%).

Таблица

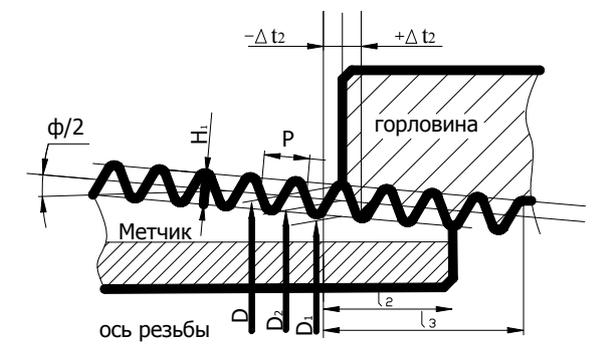
Результаты контроля резьбы W 27.8 ГОСТ 9909-81 в баллонах, обработанных по базовому технологическому процессу

Всего обработано баллонов, шт	Всего забраковано баллонов, шт/процент	В том числе по видам дефектов, шт / процент				
		рваная резьба	прослабленная резьба	тугая резьба	неполный профиль резьбы	поломка метчика
1670	260/15,5	72/4,31	48/2,84	46/2,75	38/2,27	56/3,35

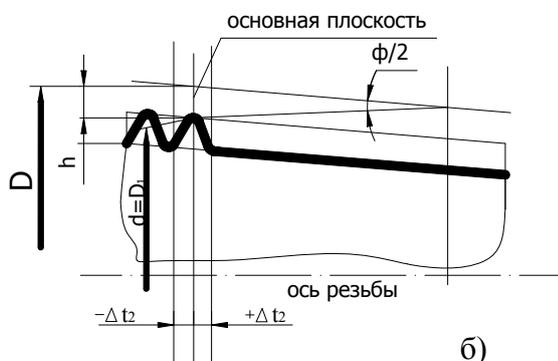
Проведем анализ причин, вызывающих такие большие потери готовой продукции от брака по резьбе. Для этого рассмотрим схему формирования профиля конической резьбы W 27,8 в отверстии горловины баллона, рис. 10. Как следует из рисунка, для того чтобы нарезать полную коническую резьбу, метчик должен совершить перемещение в направлении подачи на величину:

$$l = \frac{h}{\operatorname{tg} \varphi / 2}, \quad (2)$$

где $h = \frac{D - D_1}{2}$, мм; $\varphi/2$ - угол уклона резьбы ($\varphi/2 = 3^\circ 26' 22''$; $\operatorname{tg} \varphi/2 = 0,06$); H_1 - ра-



а)



б)

Рис. 10. Схема формирования профиля конической резьбы W 27,8 в отверстии горловины баллона.

бочая высота профиля по нормали к образующей ($H_1 = 1,161553$ мм); P - шаг резьбы ($P = 1,814$ мм); D - наружный (номинальный) диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D = 27,8$ мм); D_1 - внутренний диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D_1 = 25,472$ мм); D_2 - средний диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D_2 = 26,636$ мм); l_2 - длина наружной резьбы на вентиле ($l_2 = 17,667$ мм); l_3 - длина резьбы в горловине, не регламентируется; Δl_2 - осевое смещение основной плоскости от ее номинального расположения ($\Delta l_2 = \pm 1,5$ мм).

Как установлено выше, после развертывания конической разверткой имеет место разброс наименьшего диаметра d_{0min} отверстий, значительно превышающий поле допуска на диаметр, рис. 3. Следовательно, у

части баллонов, у которых диаметр отверстия превышает допустимый диаметр, при условии $L = const$ будет образовываться неполный профиль резьбы, и она будет прослаблена. У тех баллонов, у которых диаметр отверстия меньше допустимого диаметра, будет образовываться тугая резьба. Чтобы добиться в этом случае образования качественной резьбы, необходимо увеличить длину перемещения l метчика в направлении подачи. Однако, это может привести к срыву резьбы или поломке метчика вследствие увеличения силы резания.

Таким образом, показано влияние разброса диаметров отверстий (после развертывания) на качество нарезанной конической резьбы. Оценим теперь влияние отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y (рис. 9) на качество нарезанной конической резьбы. На рис. 10 показаны предельные значения этой величины - $\Delta l_2 = \pm 1,5$ мм. Нетрудно видеть, что с геометрической точки зрения влияние отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y на качество нарезанной конической резьбы аналогично рассмотренной схеме (рис. 10). Чем больше отклонение Y (или Δl_2) в отрицательном направлении, тем, очевидно, более протяженный путь метчика в обрабатываемом металле. А это ведет к увеличению величины снимаемого припуска, силы резания и вероятности поломки метчика или срыву резьбы.

С увеличением отклонения Y (или Δl_2) в положительном направлении, наоборот, длина пути метчика в металле уменьшается. В результате будет образовываться неполный профиль резьбы, и она будет прослаблена.

Из проведенного анализа можно сделать вывод о том, что для получения качественной конической резьбы необходимо обеспечить разброс значений отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y и наименьшего диаметра d_{0min} отверстия в пределах полей допусков. В противном случае будет образовываться некачественная резьба. Выполнить это условие можно за счет регулирования длины перемещения конической развертки и конического метчика в направлении подачи при обработке каждого баллона, характеризующегося своим вполне конкретным значением Y . Реализовать это условие можно применением системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода конической развертки и конического метчика. Неуправляемым фактором в этом случае остается некруглость отверстия после развертывания, обусловленная главным образом неравномерностью снимаемого припуска при рассверливании начального отверстия в горловине баллона, имеющего неправильную цилиндрическую форму.

Проведем более детальные исследования влияния точности расположения основной плоскости конического отверстия в осевом направлении на качество резьбы в соответствии с расчетной схемой, показанной на рис. 10. На рисунке показаны основные параметры осевого перемещения метчика при нарезании резьбы. Формирование полного профиля внутренней резьбы начинается частью метчика, расположенной слева от основной плоскости. В этой плоскости наружный диаметр метчика равен внутреннему диаметру резьбы в горловине, т.е. $d = D_1$. Часть метчика, расположенная справа от основной плоскости, будет формировать резьбу на длине l_3 , в том числе ее сбеги.

Для получения полного профиля резьбы метчик должен переместиться вдоль оси на расстояние l , которое определяется рабочей высотой профиля

резьбы в основной плоскости h и углом наклона резьбы $\varphi/2$. Исходя из рис. 10, данные значения равны:

$$h = \frac{D - D_1}{2} = \frac{27,8 - 25,472}{2} = 1,164 \text{ и}$$

$$l = \frac{h}{\text{tg} \varphi / 2} = \frac{1,164}{0,06} = 19,4 \text{ и}$$

Длина участка внутренней резьбы с полным профилем и регламентированными стандартными размерами равна $l=19,4$ мм, а длина наружной резьбы на вентиле равна $l_2=17,667$ мм. Это обеспечивает свинчиваемость резьбового соединения, в том числе и при отрицательном смещении основной плоскости.

При осевом смещении основной плоскости от ее номинального расположения величина осевого перемещения метчика будет составлять:

– при отрицательном смещении: $l_{-Δl_2} = l - 1,5 = 19,4 - 1,5 = 17,9$ мм;

– при положительном смещении: $l_{+Δl_2} = l + 1,5 = 19,4 + 1,5 = 20,9$ мм.

Число витков резьбы с полным профилем, нарезанных метчиком, равно:

– при номинальном положении основной плоскости: $n = \frac{l}{P} = \frac{19,4}{1,814} = 10,7$;

– при отрицательном смещении основной плоскости: $n = \frac{17,9}{1,814} = 9,9$;

– при положительном смещении основной плоскости: $n = \frac{20,9}{1,814} = 11,5$.

Расположение основной плоскости резьбы относительно торца горловины определяется технологическим процессом обработки конического отверстия (точность которого устанавливается предельным калибром-пробкой), является относительным и определяет то, что размеры отверстия не выходят за ее пределы допуска на осевое смещение, т.е. $\pm l_2$. Однако этот метод контроля не определяет действительного положения основной плоскости относительно торца горловины. Следовательно, определить необходимое количество нарезаемых витков резьбы в отверстии для получения полного профиля резьбы для конкретного баллона не представляется возможным.

Если в результате неточного определения положения основной плоскости будет нарезано меньшее количество витков, то профиль резьбы получится не полным. Если же будет нарезано большее количество витков, то это приведет к существенному увеличению суммарного сечения среза. Размер срезаемого слоя в этом случае будет большим, чем высота профиля резьбы h , т.е. металл будет срезаться не только зубьями метчика, имеющими треугольный профиль резьбы, но и частью зубьев, расположенных глубже профиля. А это приведет к существенному усложнению процесса стружкообразования и увеличению крутящего момента. В результате может наблюдаться срыв части витков, увеличение шероховатости поверхности резьбы. Резкий рост крутящего момента также может привести к поломке метчика.

Таким образом, установлено, что точность и качество нарезаемой конической резьбы в отверстиях горловин баллонов связаны с положением основной плоскости относительно торца горловины. Используемые методы контроля

точности конического отверстия под резьбу с помощью калибра-пробки не дают возможности определить точное расположение основной плоскости. Это ведет к тому, что глубина входа метчика в отверстие и соответственно количество нарезанных витков в действующем технологическом процессе определяется, по сути, «на глаз». Поэтому на технологических переходах обработки отверстия и нарезания резьбы можно рекомендовать использование указанной выше системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода осевого режущего инструмента или регулируемых упоров, настройка которых обеспечит постоянное положение основной плоскости относительно торца горловины. В этом случае обработка прекращается при касании упора в торец горловины.

Литература: 1. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Повышение эффективности механической обработки высокоточного резьбового отверстия в горловине газового баллона // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. - Харьков: НТУ “ХПИ”, 2006. - Вып. 70. - С. 350-355. 2. Иванов И.Е., Новиков Ф.В. Влияние методов формообразования на точность механообработки. – Физические и компьютерные технологии. - Труды 11-й Международной научно-технической конференции, 2-3 июня 2005г. - Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2005. - С. 108-113. 3. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Технологическое обеспечение точности и стабильности изготовления внутренних герметических резьб в горловинах газовых баллонов в условиях крупносерийного и массового производства // Физические и компьютерные технологии. - Труды 12-й Международной научно-технической конференции, 7-8 июня 2006г. - Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2006. - С. 3-9. 4. Иванов И.Е. Повышение точности изготовления ответственных поверхностей деталей гидрогазовой аппаратуры // Захист металургійних машин від поломок – Збірник наукових праць - Маріуполь, 2005. – Вип. 8. – С. 184-190. 5. Иванов И.Е. Исследование процесса нарезания внутренней резьбы в баллонах // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. - “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. - 2006. - Вип. 42. - С. 209-214.

УДК621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ ШЛИФОВАНИИ

Якимов А.В., докт. техн. наук, **Лебедев В.Г.,** докт. техн. наук,
Якимов А.А., канд. техн. наук (г. Одесса, Украина)

Definition of conditions of occurrence of a parametrical resonance at faltering grinding.

Периодичность изменения возмущающей силы в режиме прерывистого шлифования приводит к изменению жесткости упругой системы во времени (рис. 1).

В момент контакта режущего выступа жесткость упругой системы равна $C + k_0$, а в момент разрыва, процесса резания – C . Жесткость “ C ” характеризует свойства упругой системы станка в разомкнутом состоянии и определяется его конструкцией.

$$\text{Динамическая жесткость резания } k_0 = C \cdot \left(\frac{t_{\dot{\epsilon}}}{t} - 1 \right),$$

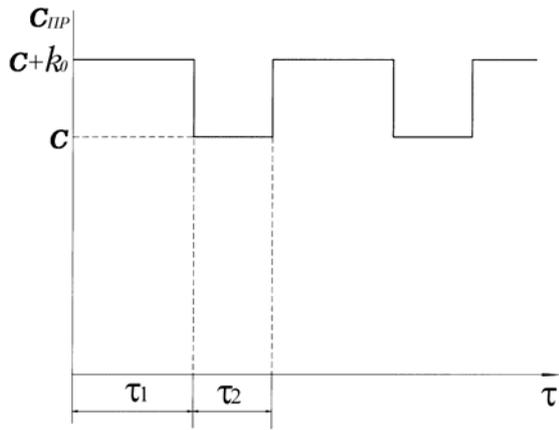


Рис. 1. Изменение жесткости упругой системы зубошлифовального станка при прерывистом шлифовании.

где $\tau_1 = \frac{l_1}{V_{kp}}$; $\tau_2 = \frac{l_2}{V_{kp}}$; l_1, l_2 – длина режущего выступа и впадины.

Дифференциальные уравнения движения системы в период контакта выступа с деталью и разрыва процесса резания имеют вид

$$\begin{cases} m_{i\delta} \ddot{y}_1 + b\dot{y}_1 + \tilde{N}y_1 = -k_0 y_1 \\ m_{i\delta} \ddot{y}_2 + b\dot{y}_2 + \tilde{N}y_2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Решение системы уравнений (2) можно представить в виде:

$$\begin{cases} y_1 = e^{-\eta\tau} [A \sin(\omega_1\tau) + B \cos(\omega_1\tau)] \\ y_2 = e^{-\eta\tau} [M \sin(\omega_2\tau) + D \cos(\omega_2\tau)] \end{cases} \quad (3)$$

где $\omega_1 = \sqrt{\frac{C+k_0}{m} - \eta^2}$; $\omega_2 = \sqrt{\frac{C}{m} - \eta^2}$; m – приведенная масса; $\eta = \frac{k_0 \cdot C^2 \cdot t_{\tilde{e}}^2}{(\tilde{N} + k_0)^2 \cdot m}$

– коэффициент затухания.

Для определения постоянных A, B, M, D необходимо учесть граничные условия.

$$y_1(\tau_1) = y_2(\tau_2); \quad \dot{y}_1(\tau_1) = \dot{y}_2(\tau_2) \quad (4)$$

$$\lambda_0 y_1(0) = y_2(\tau_1 + \tau_2); \quad \lambda_0 \dot{y}_1(0) = \dot{y}_2(\tau_1 + \tau_2),$$

где λ_0 – некоторое постоянное число.

После подстановки граничных условий (4) в уравнение (3) имеем

$$\begin{cases} e^{-\eta\tau_1} [A \sin(\omega_1\tau_1) + B \cos(\omega_1\tau_1)] = e^{-\eta\tau_2} [M \sin(\omega_2\tau_2) + D \cos(\omega_2\tau_2)] \\ e^{-\eta\tau_1} [A\omega_1 \cos(\omega_1\tau_1) - B\omega_1 \sin(\omega_1\tau_1)] = e^{-\eta\tau_2} [\omega_2 M \cos(\omega_2\tau_2) - \omega_2 D \sin(\omega_2\tau_2)] \\ \lambda_0 [A \sin 0 + B \cos 0] = e^{-\eta(\tau_1 + \tau_2)} [M \sin \omega(\tau_1 + \tau_2) + D \cos \omega(\tau_1 + \tau_2)] \\ \lambda_0 [A \cos 0 - B \sin 0] = e^{-\eta(\tau_1 + \tau_2)} [\omega M \cos \omega(\tau_1 + \tau_2) - \omega D \sin \omega(\tau_1 + \tau_2)] \end{cases} \quad (5)$$

где $t_{\tilde{e}}$ – заданная по лимбу станка глубина резания; t – истинный съем металла.

Эти колебания жесткости, при определенных условиях, могут вызывать параметрический резонанс.

Для выявления области возникновения параметрического резонанса рассмотрим уравнение движения системы в установившемся режиме.

$$m\ddot{y} + Cy = (F - k_0 y) f(\tau), \quad (1)$$

$$\text{где } f(\tau) = \begin{cases} 1, & \text{аиñë } 0 < \tau < \tau_1 \\ 0, & \text{аиñë } \tau_1 < \tau < (\tau_1 + \tau_2) \end{cases};$$

После определения постоянных АВМД из системы уравнений (5) и постановки их в уравнения (3) получено решение[1]

$$\lambda_0^2 - 2\lambda \cdot \left\{ \frac{1}{2} e^{-\eta(\tau_1 + \tau_2)} \left[\frac{w_1^2 + w_2^2}{w_1 w_2} \sin(w_1 \tau_1) \sin(w_2 \tau_2) - 2 \cos(w_1 \tau_1) \cos(w_2 \tau_2) \right] \right\} + e^{-2\eta(\tau_1 + \tau_2)}. \quad (6)$$

Решение (6) можно представить в виде следующего квадратного уравнения

$$\lambda_0^2 - 2 \cdot L' \cdot \lambda_0 + P' = 0, \quad (7)$$

где

$$L' = \frac{1}{2} e^{-\eta \left(\frac{l_1}{V_{kp}} + \frac{l_2}{V_{kp}} \right)} \cdot \left[\frac{\left(\frac{2C + k_0}{m} \right)}{\left(\sqrt{\frac{C + k}{m}} - \eta^2 \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{C}{m}} - \eta^2 \right)} \times \right. \\ \times \sin \left(\sqrt{\frac{C + k_0}{m}} - \eta^2 \cdot \frac{l_1}{V_{kp}} \right) \cdot \sin \left(\sqrt{\frac{C}{m}} - \eta^2 \cdot \frac{l_2}{V_{kp}} \right) - \\ \left. - 2 \cos \left(\sqrt{\frac{C + k_0}{m}} - \eta^2 \cdot \frac{l_1}{V_{kp}} \right) \cdot \cos \left(\sqrt{\frac{C}{m}} - \eta^2 \cdot \frac{l_2}{V_{kp}} \right) \right]. \quad (8)$$

$$P' = e^{-\eta \left(\frac{l_1}{V_{kp}} + \frac{l_2}{V_{kp}} \right)}.$$

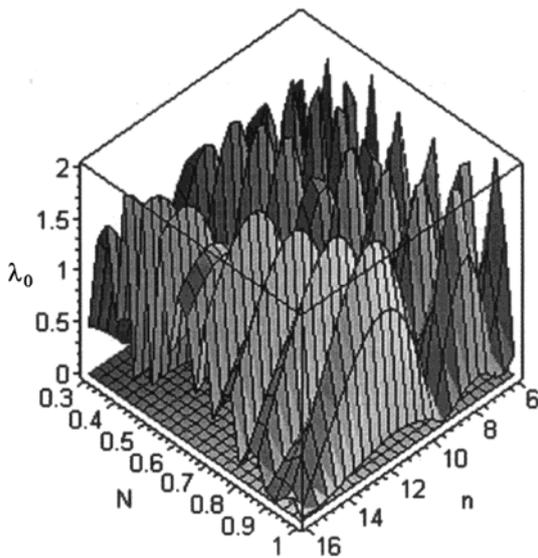


Рис.2. Зависимость параметра λ_0 от числа режущих выступов и отношения $\frac{l_2}{l_1}$ при $k'_0 = 16 \cdot 10^6$ н/м; $D_{kp} = 0,25$ м; $tl = 0,00010$ м в диапазоне изменения $\frac{l_2}{l_1}$ $0,3 \div 1,0$.

Квадратное уравнение описывает параболические фигуры.

С использованием пакета прикладных программ "MAPLE-9.5" были произведены расчеты зависимости параметра λ_0 от отношения параметров круга $N = \frac{l_2}{l_1}$, от числа режущих выступов круга "n" и от обобщенного показателя шлифования k_0 .

На рис. 2 представлены объемные параболические фигуры. Параметры располагаются симметричными рядами в направлениях осей n и N.

Количество рядов в диапазоне изменения жесткости упругой системы "k₀" от $6 \cdot 10^6$ н/м до

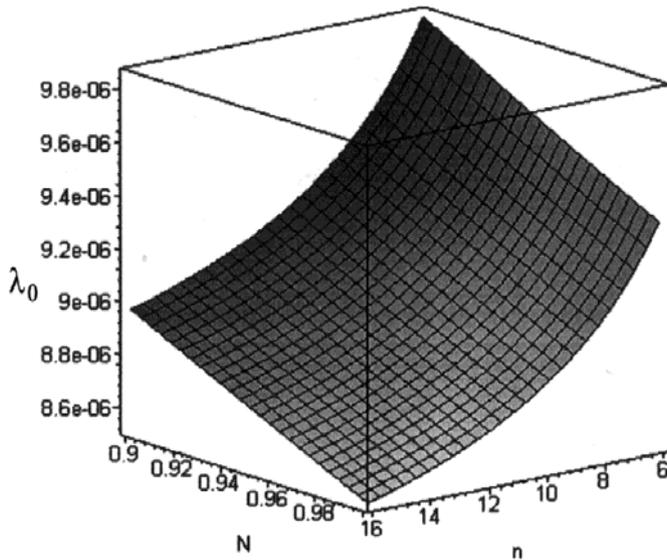


Рис. 3. Поверхность, разделяющая зоны устойчивой и неустойчивой работы зубошлифовального станка при $\lambda_0 = 1$; $k'_0 = 6 \cdot 10^6$ н/м; $D_{kp} = 0,2$ м; $t_l = 0,00010$ м.

На рис.4 представлены параболические фигуры, пересекаемые плоскостью, разделяющей области динамической устойчивости и неустойчивости работы системы.

Если $|\lambda_0| > 1$, то колебания в каждый последующий период будут усиливаться, а если $|\lambda_0| < 1$, то они будут наоборот в каждый последующий период постепенно затухать.

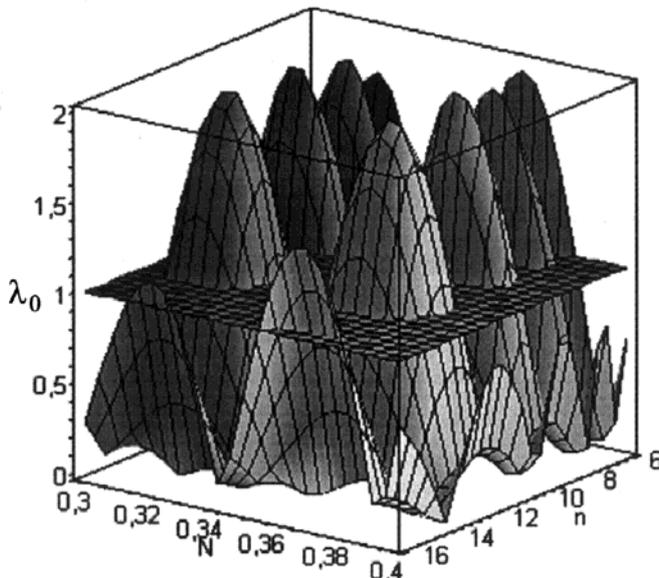


Рис.4. Внешний вид парабол, с плоскостью, разделяющей области устойчивой $\lambda_0 < 1$ и неустойчивой $\lambda_0 > 1$ работы станка при $k'_0 = 6 \cdot 10^6$ н/м; $D_{kp} = 0,2$ м; $t_l = 0,00010$ м для $N = 0,3 \div 0,4$, $n = 6 \div 16$.

$18 \cdot 10^6$ н/м изменяется соответственно в направлении оси $N = 0,3 \div 1$ от 0,3 до 1 и в направлении оси $n = 6 \div 16$ от 6 до 16.

Выражение

$P' = e^{-\eta \left(\frac{l_1}{V_{kp}} + \frac{l_2}{V_{kp}} \right)}$ описывает плоскость, разделяющую области динамической устойчивости и динамической неустойчивости работы системы (рис.3).

Характер расположения плоскости в системе координат λ_0 , N , n зависит от режимов шлифования, параметров прерывистого круга l_1 и l_2 и динамической жесткости упругой системы шпиндельного узла " k_0 ".

Условие неустойчивости $|\lambda_0| > 1$ можно записать так $L' > \frac{1+P'}{2}$.

Следовательно, выбор числа режущих выступов прерывистого круга должен учитывать условие $|\lambda_0| < 1$.

Однако проведенные расчеты параметров прерывистых кругов l_1 и l_2 в ряде случаев не позволяет реализовать условие $|\lambda_0| < 1$. В связи с этим была поставлена задача, найти границы, очерчивающие зоны неустойчивой работы станка в области

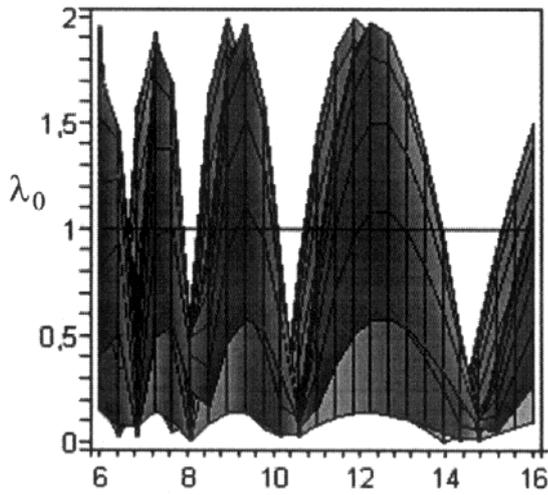


Рис. 5. Рис. 5. Фронтальная проекция парабол при $k'_0 = 6 \cdot 10^6$ Н/м; $D_{kp} = 0,2$ м; $t_n = 0,00004$ м.

$|\lambda_0| > 1$ и с учетом этих зон назначить число режущих выступов, исключающих параметрический резонанс в области $|\lambda_0| > 1$.

Для определения границ, ограничивающих зоны неустойчивой работы станка использовались фронтальные виды парабол (рис.5), которые изменяются от жесткости упругой системы станка.

На рис.5 показана плоскость, проходящая на уровне $|\lambda_0| = 1$, разделяющая зоны устойчивой и неустойчивой работы станка.

На основании изменяющихся форм парабол на фронтальных видах $\lambda_0 = \varphi(n)$

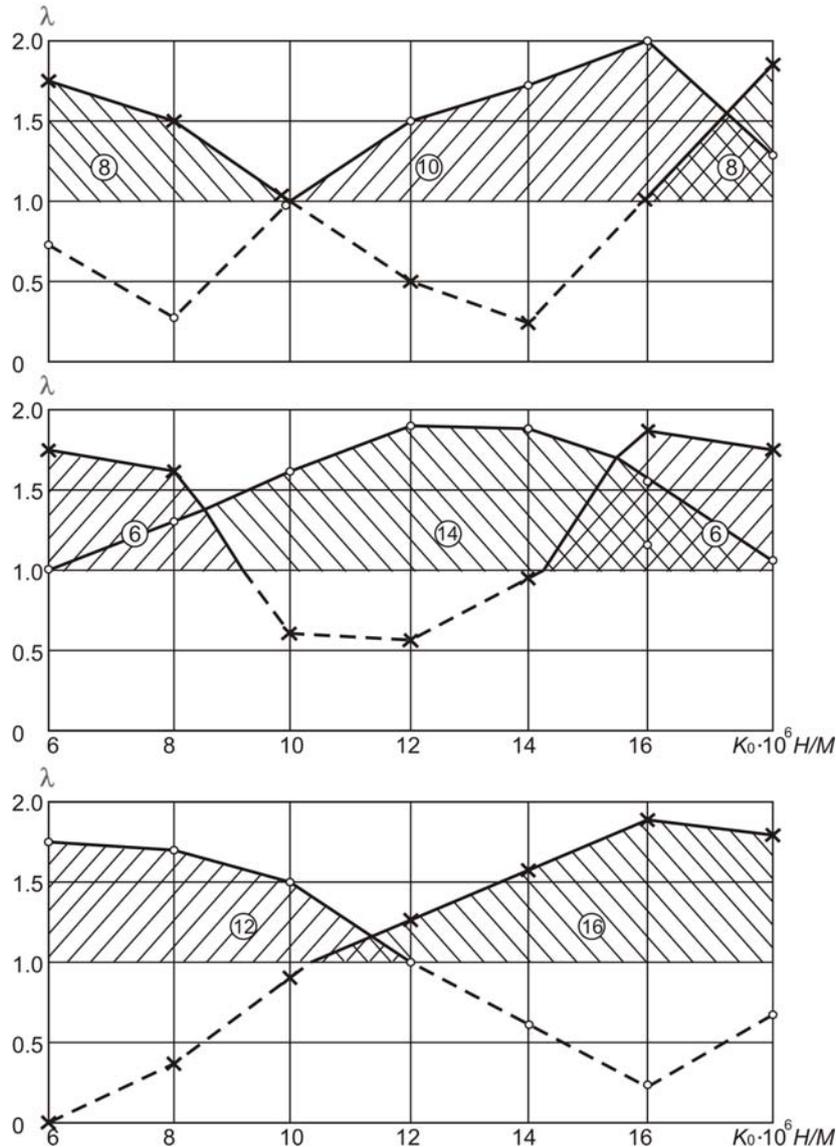


Рис.6,а. Области неустойчивой работы упругой системы зубошлифовального станка при различных n в диапазоне $N=0,9-1,0$.

определены границы зон устойчивой и неустойчивой работы станка при прерывистом шлифовании кругами с различным числом режущих выступов.

На рис.6 показаны области неустойчивой работы станка при различных "n" при ($N = 0,9 \div 1,0$) (рис.6,а) и при ($N = 0,3 \div 0,4$) (рис.6.б).

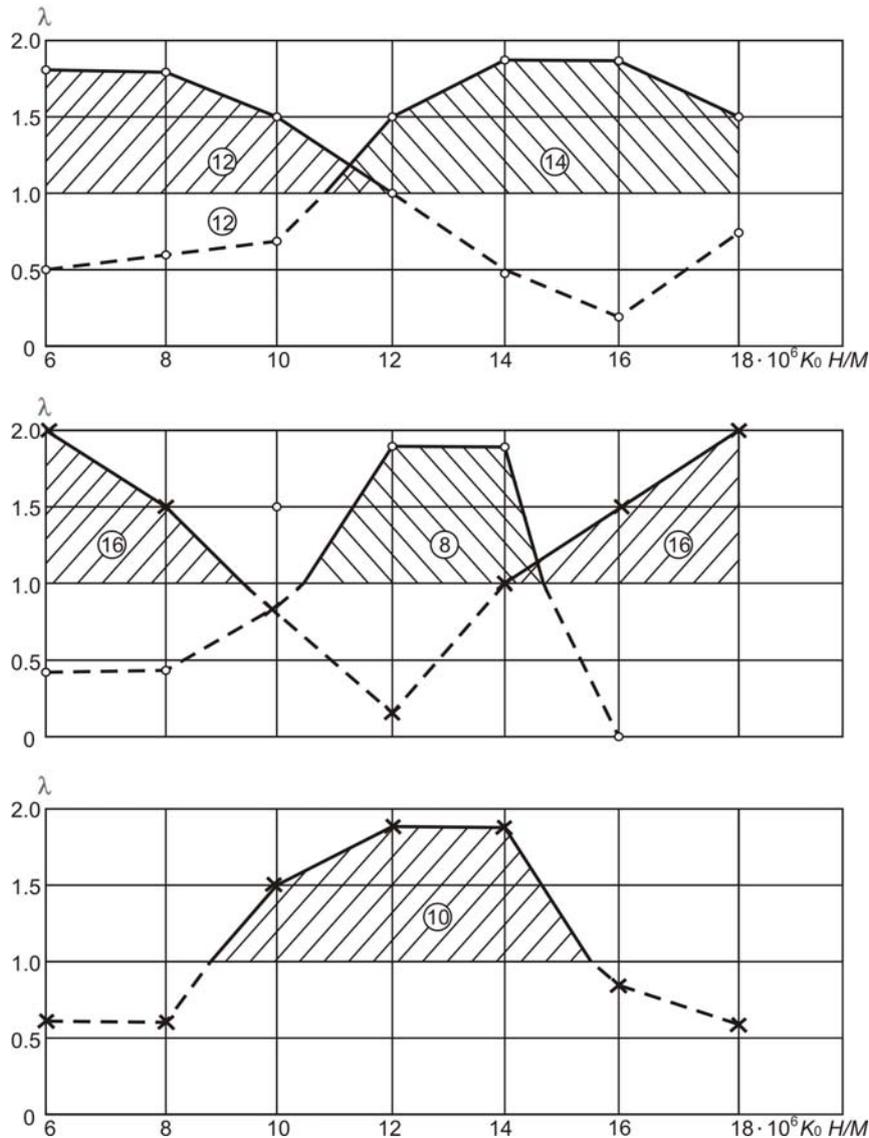


Рис.6.б. Области неустойчивой работы упругой системы зубошлифовального станка при различных n в диапазоне $N=0,3-0,4$.

Например, при заданном значении $k_0 = 14 \cdot 10^6 \text{ н/м}$ ($N = 0,9 \div 1,0$) (рис. 6,а) динамическую устойчивость обеспечивают круги с числом режущих выступов $n = 6,8,12$, а в диапазоне ($N = 0,3 \div 0,4$) динамическую устойчивость обеспечивают круги с числом режущих выступов $n = 16,12$.

При заданном значении $k_0 = 10 \cdot 10^6 \text{ н/м}$ ($N = 0,9 \div 1,0$) динамическую устойчивость обеспечивают прерывистые круги с $n = 6,8,10,16$, а в диапазоне ($N = 0,3 \div 0,4$) динамическую устойчивость обеспечивают круги с $n = 8,14,16$.

Литература: 1. Управление процессом шлифования //А.В. Якимов, А.Н.Паршаков, В.П. Ларшин и др. – К.:Техника, 1983. – 184 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕРЫВИСТЫХ КРУГОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТРЕБУЕМУЮ СТЕПЕНЬ ПониЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Лебедев В.Г., докт. техн. наук, Якимов А.А., канд. техн. наук
(г. Одесса, Украина)

Definition of geometrical parameters of faltering circles ensuring a required degree of downturn of temperature.

Для определения геометрических параметров прерывистых кругов, обеспечивающих требуемую степень понижения температуры, необходимо знать время, в течение которого температура поверхности достигнет заранее заданную величину.

Для решения поставленной задачи примем следующую тепловую схему. По поверхности полубесконечного тела в положительном направлении оси Z движется бесконечно длинный полосовой источник тепла шириной $2h$. Плотность теплового потока равномерно распределена по всей поверхности источника.

При этих условиях задача формулируется следующим образом.

Имеем дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + V \frac{\partial \theta}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где a – температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с}$; V – скорость источника, $\text{м}/\text{с}$; θ – температура, $^{\circ}\text{C}$.

При начальных и краевых условиях

$$\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} + q = 0, \quad \theta \Big|_{\tau=0} = 0, \quad -h < z < h \quad (2)$$

$$\theta \Big|_{x=\infty} = 0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{\substack{x=0 \\ z>h; \\ z<-h}} + q = 0,$$

где λ – теплопроводность.

Требуется определить время, в течение которого температура поверхности не будет превышать заранее заданную величину.

Температурное поле движущегося источника в направлении оси Z описывается уравнением [1]

$$\theta = \int_0^{2h} dz' \int_{-\infty}^{\infty} dy' \int_0^{\tau} \frac{2qd\tau}{C\gamma(4\pi a\tau)^{3/2}} \exp \left[-\frac{x^2 + (y-y')^2 + (z-z'+V\tau)^2}{4a\tau} \right]. \quad (3)$$

После интегрирования уравнения (3) по y получим

$$\theta = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_0^{2h} dz' \int_0^{\tau} \frac{d\tau}{\tau} \exp \left[-\frac{x^2 + (z-z'+V\tau)^2}{4a\tau} \right]. \quad (4)$$

После интегрирования по z и τ и некоторых преобразований выражение (4) примет вид

$$\theta = \frac{2qa}{\lambda V \pi} \left[\frac{V \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}} \left\{ 1 - \Phi \left(\frac{V \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}} \right) \right\} - \frac{\left(e^{-\frac{V^2 \tau}{4a}} - 1 \right)}{\sqrt{\pi}} \right]. \quad (5)$$

Выражение (5) устанавливает связь температуры с временем действия движущегося теплового источника.

Представим выражение (5) в критериальной форме. Введя обозначение безразмерной температуры $\theta^x = \frac{\pi \lambda V \theta}{2qa}$ и представляя безразмерный комплекс

$\frac{V^2 \tau}{4a}$ в виде произведения квадрата критерия Пекле $\left(Pe = \frac{Vh}{2a} \right)$ на критерий Фурье $\left(Fo = \frac{a\tau}{h^2} \right)$ получим уравнение для расчета безразмерной температуры.

$$\theta^x = \sqrt{\pi} \cdot \sqrt{\chi} \cdot \left[1 - \Phi \left(\sqrt{\chi} \right) \right] - \frac{\left(e^{-\chi} - 1 \right)}{\sqrt{\pi}}. \quad (6)$$

Задаваясь значением безразмерного параметра χ в интервале от 0,02 до 1,4 по уравнению (6), произведены расчеты безразмерной температуры θ^x .

В таблице представлены расчетные значения безразмерной температуры θ^x от безразмерного параметра χ , а на рис.1 зависимость:

$$\chi = \varphi \left(\theta^x \right).$$

Таблица

χ	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
θ^x	0,2316	0,3495	0,4784	0,5599	0,623	0,672	0,714	0,747
χ	0,04	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80
θ^x	0,776	0,813	0,823	0,841	0,857	0,870	0,881	0,899
χ	0,85	0,90	0,95	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
θ^x	0,906	0,911	0,917	0,919	0,923	0,9232	0,924	0,9241

Задаваясь безразмерной температурой $\theta^x = \frac{\theta_{i\delta}}{\theta_{\ddot{m}\ddot{e}}}$, где $\theta_{i\delta}$ – температура при прерывистом шлифовании; $\theta_{\ddot{m}\ddot{e}}$ – температура при сплошном шлифовании.

Из таблицы определяется безразмерный комплекс χ

$$\chi = \frac{V^2 \tau}{4a}.$$

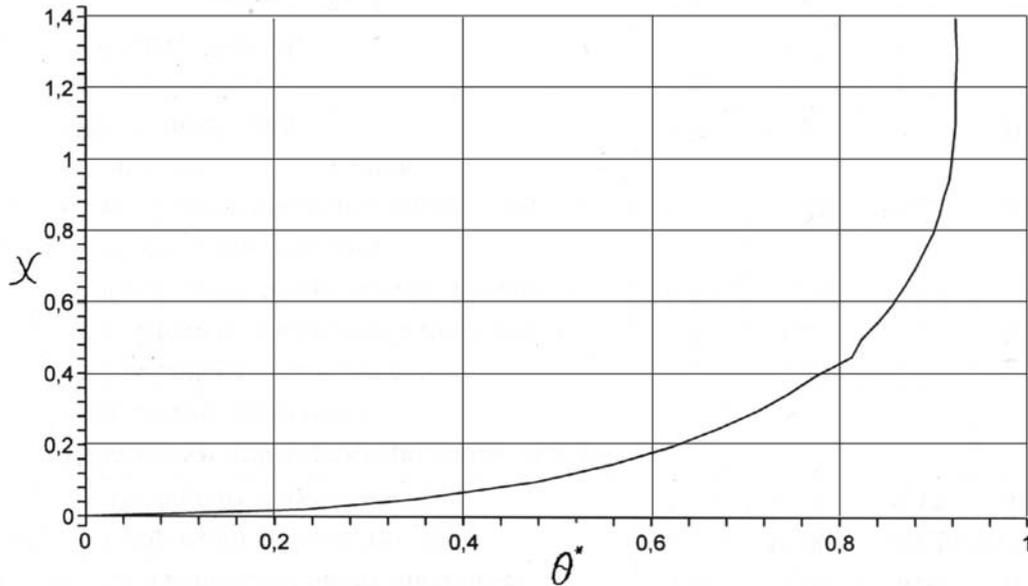


Рис.1. Зависимость безразмерного параметра χ от $\theta^x = \frac{\theta_i \delta}{\theta_{\text{нн}} \ddot{e}}$.

По формуле

$$\tau = \frac{4a}{V^2} \cdot \chi \quad (7)$$

определяется время работы режущего выступа прерывистого круга.

Длина режущего выступа l_1 определяется из выражения

$$l_1 = \pi \cdot D_{kp} \cdot n \cdot \tau, \quad (8)$$

где D_{kp} – диаметр круга; n – частота вращения круга.

Для определения протяженности вырезов при прерывистом круге воспользуемся графической зависимостью безразмерной температуры θ^x от отношения l_2/l_1 [2] (рис.2), l_2 – длина выреза на круге.

На графике каждая кривая соответствует постоянному значению

$$Fo_1 = \frac{a \cdot l_1}{h^2 \cdot V_{kp}},$$

где l_1 – протяженность режущего выступа; h – полуширина зоны контакта круга с деталью.

На графике, на уровне $\theta_{i \delta i}^x$ проведена пунктирная линия, которая пересекает 7 кривых. Каждой

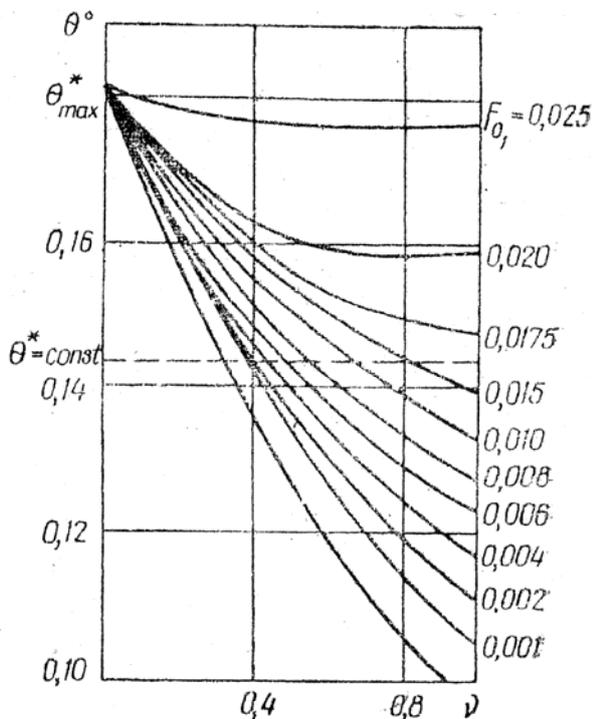


Рис.2. Зависимость безразмерной температуры θ^x от ν при $U = 75$ для различных значений Fo , $\nu = l_2/l_1$.

точке пересечения соответствует конструкция прерывистого круга с конкретным значением l_1 и l_2 . Причем все круги имеют постоянную степень понижения температуры $\theta_{i\delta i}^x$.

Следовательно, постоянная степень понижения температуры может быть обеспечена бесчисленным множеством прерывистых кругов, из которых одни могут вызывать параметрический резонанс, другие – ударный резонанс, третьи работают в режиме интенсивного самозатачивания, обеспечивая непрерывную правку круга в процессе работы.

Из графика на рис. 2 определяется размер впадины между режущими выступами $l_2 = \nu \cdot l_1$.

Из формулы $n = \frac{\pi \cdot D}{l_1 + l_2}$ определяется число режущих выступов на прерывистом круге.

Пример расчета параметров прерывистого круга. Исходные данные: материал – сталь 12Х2Н4А; $D_{kp} = 0,2$ м; частота вращения круга $n' = 46,6$ об/с; скорость обкатки $V = 6,67 \cdot 10^{-2}$ м/с; $a = 4 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $t = 0,05$ мм.

Задавая степень понижения температуры

$$\theta_{i\delta i}^x = \frac{\theta_i \delta}{\theta_{\bar{m} \bar{e}}} = 0,6.$$

Из таблицы определим безразмерный параметр $\chi = 0,18$.

Определяем время работы режущего выступа τ

$$\tau = \frac{4a}{V^2} \cdot \chi = \frac{4 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{44,49} \cdot 0,18 = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Длина режущего выступа определяется из выражения

$$l_1 = \pi \cdot D_{kp} \cdot n \cdot \tau = 3,14 \cdot 0,2 \cdot 46,6 \cdot 6,5 \cdot 10^{-4} = 0,019 \text{ м} = 19 \text{ мм.}$$

Определяем безразмерный параметр F_{o1} по формуле $F_{o1} = \frac{a \cdot l_1}{h^2 \cdot V_{kp}}$.

$$h = 0,5 \cdot \sqrt{D_{kp} \cdot t} = 0,5 \cdot \sqrt{0,2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3}} = 0,00158 \text{ м} = 1,6 \text{ мм.}$$

$$F_{o1} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,019}{0,00158^2 \cdot 30} = 0,00105.$$

На рис. 2 представлены зависимости безразмерной температуры θ^x от отношения $\frac{l_2}{l_1}$.

Для исходных данных критерий Пекле (относительная скорость U)

$$U = \frac{V \cdot h}{2 \cdot a} = \frac{6,67 \cdot 10^{-2} \cdot 0,00105}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 29.$$

$$\text{Для } (U = 25) \quad F_{o1} = 0,00105 \quad \nu = 0,63.$$

Длина вырезов прерывистого круга равна

$$l_2 = \nu \cdot l_1 = 0,63 \cdot 19 \approx 12 \text{ мм.}$$

Число режущих выступов определяется по формуле

$$n = \frac{\pi \cdot D}{l_1 + l_2} = \frac{3,14 \cdot 0,2}{(19 + 12) \cdot 10^{-3}} = 20,26 \text{ мм. Округляем } n = 20 \text{ мм.}$$

Рассмотренная методика определения числа режущих выступов ФФ при заданной частоте вращения круга не гарантирует возможность возникновения ударного и параметрического резонансов.

Резонансные условия работы станка связаны с амплитудно-частотным спектром колебаний упругой системы шпиндельного узла. Эти условия зависят от динамической жесткости упругой системы

$$K_0 = C \cdot \left(\frac{t_{\dot{\epsilon}}}{t} - 1 \right)$$

и частоты возбуждения колебаний.

Где C – статическая жесткость шпиндельного узла; $t_{\dot{\epsilon}}$ – лимбовая глубина шлифования; t – истинный съем металла.

Для определения области неустойчивой работы станка необходимо найти условия возникновения ударного и параметрического резонансов и найти область неустойчивой работы упругой системы станка.

Литература: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М.: «Машиностроение», 1975. – 175 с. 2. Якимов А.В. прерывистое шлифование. К-О,: Вища школа, 1986. – 175с.

УДК 621.923.6

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КРУГОВ ИЗ СТМ СО СПЕЦИАЛЬНЫМ РЕЖУЩЕМ СЛОЕМ

Лавриненко В. И., докт. техн. наук, Пасичный О. О., канд. техн. наук, Сытник Б. В. (г. Киев, Украина)

In a paper features of grinding by a composite with spatially - arrangement of diamond grains surveyed. The expedient of formation of such composite is offered and the reference are detected for process of machining such composites of regularity.

Анализ современного состояния рынка инструментов на Украине указывает на возрастание потребностей производства в современных инструментальных материалах. Как следствие возникает, а в ближайший период еще больше обострится, проблема эффективной обработки таких материалов. При этом значительная доля процессов их обработки основана на шлифовании. Соответственно разработка новых шлифовальных инструментов для производительной и качественной обработки является важной и актуальной.

Основные преимущества и недостатки шлифования связаны со спецификой шлифовального инструмента - большим количеством абразивных частиц, которые случайным образом распределены в рабочем слое, причем при этом имеют произвольную ориентацию. Вследствие этого участие зерен в съеме припуска крайне не равномерно, отдельные зерна в процессе обработки испытывают нагрузки и снимают припуски в десятки раз выше чем средние значе-



Рис. 1. Фрагмент брикета с внедренными алмазными зернами.

ния, в то время как часть зерен совсем не участвует непосредственно в съеме припуска.

Кардинальным способом существенного повышения эффективности шлифования может быть применение шлифовального инструмента с объемно упорядоченной структурой, процесс шлифования таким инструментом максимально близко приближается к процессу микрофрезирования, с нивелированием традиционных недостатков процесса шлифования как множественного резания произвольно закрепленными зернами абразива.

Одной из составляющих такой структуры является упорядоченное размещение абразивных (алмазных) зерен, что позволяет максимально уравнивать нагрузки и условия резания на разных зернах, а регулируя шаговые параметры их размещения управлять в широком диапазоне геометрией срезаемого слоя материала одним зерном. Другой составляющей объемно упорядоченной структуры является слоистое размещение материала связки, что позволяет участки связки выполняющие разные функции (удержание зерна, удаление стружки, твердотельного смачивания зоны резания и транспортировки СОЖ, и др.), путем варьирования состава композита оптимизировать для выполняемых ими функций.

На сегодняшний день технически более сложной задачей является управление пространственным расположением абразивных зерен в материале связки. Известные на сегодня способы ориентации зерен характеризуются сравнительно не высокой степенью их ориентированности и не позволяют эффективно управлять пространственным положением зерен. К тому же они не применимы для изготовления инструмента на основе спеченного металлического композита, а именно для такого инструмента, в связи с областью его применения, упорядоченность зерен может дать наибольший эффект.

Поэтому в настоящее время в Институте сверхтвердых материалов НАН ведутся работы по созданию композита с упорядоченным расположением зерен абразива и исследование особенностей обработки инструментом на основе такого композита [1].

Для выявления и исследования характерных закономерностей при обработке шлифовальным композитом с упорядоченными алмазными зернами были изготовлены образцы многослойных металлических композитов с упорядоченным расположением алмазов, как по рабочей поверхности, так и толщине слоя.

Исследуемый композит спекался из предварительно холоднобрикетированных «таблеток» толщиной 0,5 мм с внедренными с определенным шагом зернами алмазов (рис 1). Поскольку важным является не только положение зерен в связке, но и их ориентация, использовались отсортированные адгезионно-магнитным способом алмазы, с ярко выраженной эллиптической формой.

Шлифы образцов полученного композита были исследованы на растровом электронном микроскопе DC-34 «Тесла» с системой анализа изображений и энерго-дисперсионным анализатором рентгеновского спектра. При этом было установлено, что в процессе спекания, не смотря на высокие температуры и зна-

чительное изменение объема композита, изменение положения зерен составило менее 60 мкм (15% размера зерна), а слои композита сохранили состав соответствующих исходным с незначительной по глубине диффузией в смежных зонах.

Для исследования особенностей шлифования полученным композитом образцы этого композита были припаяны к торцу металлического корпуса круга 12A2-45° 150x20x2x32. Полученным инструментом на электроэрозионном станке шлифовался образец из стали.

Выбор материала образца и введение дополнительной энергии в зону обработки (электроискровое шлифование) обусловлены малым количеством алмазных зерен в композите и целью эксперимента - исследовать закономерность формирования обработанной поверхности детали непосредственно режущим профилем, образованным упорядоченными алмазными зернами.

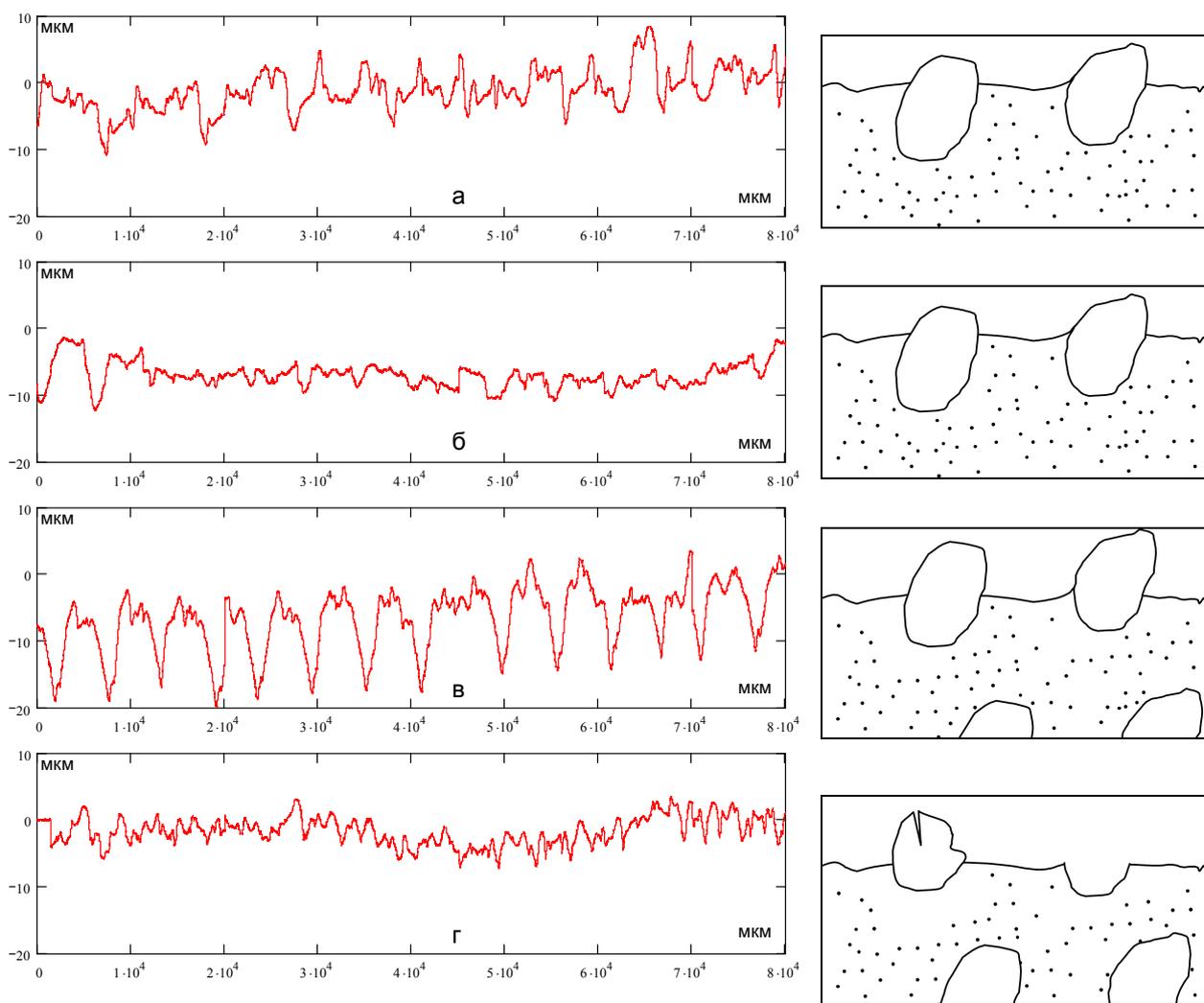


Рис. 2. Профилограммы поверхности образцов в зависимости от износа инструментального композита с упорядоченным расположением зерен алмазов.

Периодически, по мере изнашивания инструмента, поверхность стального образца исследовалась на профилографе «Taylor-Hobson / Surtronic 3».

В результате проведенных исследований была установлена ярко выраженная зависимость формируемого на поверхности стального образца профиля

поверхности от величины износа композита с упорядоченным размещением алмазных зерен (рис. 2).

При малом выступании зерен алмаза над связкой формируется профиль поверхности типичный для шлифования (рис. 2 а). По мере изнашивания связки и увеличении выступания профиль становится более регулярным (рис. 2 б), достигая наибольшей стабильности при выступании алмазных зерен на половину своей высоты (рис. 2 в). При дальнейшем увеличении выступания зерен (более $\frac{3}{4}$ высоты) наблюдается выпадение зерен алмаза и профиль обработанной поверхности становится более близким к типичный для шлифования (рис. 2 г). После изнашивания связки до появления нового слоя алмазов процесс повторяется.

Таким образом, было экспериментально установлено существенное изменение формируемого на детали профиля обработанной поверхности, а значит и условий шлифования при использовании многослойного спеченного композита с упорядоченным расположением алмазных зерен, по мере обнажения за счет износа отдельных алмазонасущих слоев. Указанная закономерность должна учитываться при разработке инструмента на основе многослойного спеченного композита с упорядоченным расположением алмазных зерен и выборе как закономерности распределения зерен в алмазонасущем слое инструмента так и взаимного расположения этих слоев.

Литература: 1. Исследование возможностей формирования спеченного композита с упорядоченной структурой. Лавриненко В. И., Пасичный О. О., Сытник Б. В., Ткач В. Н., Ильницкая Г. Д., Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях, Материалы Шестой ежегодной конференции с международным участием, 20–24 февраля 2006 г., п. Славское — Киев: УИЦ "НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ", 2006 г., С. 420–422.

УДК 621.512

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС, ИНФОРМАЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ МЕНЕДЖЕРОВ В УСЛОВИЯХ НАЧАЛА XXI ВЕКА

Крюк А.Г., канд. техн. наук, **Браташевский А.Ю.**, канд. техн. наук,
Дудко П.Д., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

The main characteristics of the marketing and management specialties and their role in the creation of high managerial technologies are presented.

Окончание XX столетия ознаменовалось разочарованием в научно-техническом прогрессе, что привело к мощному всплеску антинаучных настроений в различных странах и слоях общества. Гуманизацию начали рассматривать в противовес научности.

Вместе с тем, переступивши порог XXI века и всесторонне оценивая влияние науки на различные стороны общественного развития, человечество подошло к четкому осознанию некоторых наиболее важных положений.

Во-первых, обычный отказ от научно-технического прогресса шаг более разрушительный, чем предшествующее стихийное развитие.

Негативные явления, связанные с предыдущим развитием науки и техники, могут быть частично уменьшены, а во многих случаях и полностью устранены только лишь с помощью рационального социально и экологически ориен-

тированного применения новых результатов науки и техники.

Во-вторых, в науке начали происходить глубокие изменения, касающиеся соотношения и доминирования теоретических и прикладных знаний. Особое значение приобретают наука о человеке и обществе, вопросы их гуманного существования и развития. Доброта становится основной ценностью.

И, в-третьих, стало очевидным, что освоение окружающего космического пространства, создание информационного общества и глобальных информационных сетей, требуют совершенно нового уровня интеллектуальной подготовки всего человечества к «новому способу жизни».

С этих позиций можно оценить как положительные последствия научно-технического прогресса, которые дают возможность продлить жизнь людей, сделать рациональным природопользование, улучшить качество жизни, поднять выше уровень культуры, иначе говоря – сберечь и обеспечить развитие цивилизации.

Сегодня все больше в основе оценки характеристики стран лежит не могущество вооруженных сил и не экономические показатели, а способность генерировать и выходить на рынок знаний, в частности через систему образования, наличия наукоемких технологий, которые эти знания реализуют.

Страны, генерирующие научные знания, наукоемкие и высокие технологии, относятся к экономическим, техническим, технологическим, научным и военным лидерам.

Поэтому вопросы о перспективе науки и технологий, которые основываются на их достижениях, сегодня представляют интерес не только для научного сообщества, это вопрос высшей государственной политики. Только те государства, которые имеют мощную научную базу, могут обеспечить себе устойчивое развитие и быть гарантом разумного баланса сил в мире.

При этом следует помнить, что установка на то, что наука Украины должна решать абсолютно все проблемы, которые стоят перед научным миром сегодня, задача неосуществимая.

Необходимо на уровне государственной политики определить оптимальное количество национальных приоритетов, исходя из перспективных заданий, которые стоят перед обществом, и не групповых или ведомственных.

Образовательным технологиям отводится приоритетное значение, ибо без подготовки надлежащего количества высококвалифицированных специалистов, способных освоить все эти достижения науки и технологии, воплотить их в жизнь, изменить социальную среду и культуру, невозможно.

Для общества, которое живет в условиях устойчивого развития, будут необходимы иные технологии и критерии обеспеченности экономики.

Прогнозируя состояние науки и технологии в XXI столетии, необходимо уяснить, что они зависят не только от законов рынка, но прежде всего от нашей воли, от стремления к нашему благополучию, в котором главной ценностью будет не прибыль, не капитал, а гармоничное развитие личности, прав человека, социальная устойчивость, высокая культура и образованность.

Необходимо также помнить о том, что все процессы в современном обществе функционируют и развиваются в условиях глобализации.

Глобализация – продукт постмодерна, перехода от индустриальной к постиндустриальной стадии развития общества. Формирование основ ноосферно-космической цивилизации. Отсюда вытекают количественные и качественные характеристики этого процесса. К важнейшим характеристикам относятся рост взаимозависимости экономики различных стран, целостность и единство мирового хозяйства [1].

В результате применения высоких технологий и систем электронных связей развиваются глобальные коммуникационные информационные сети, что приводит к сокращению государственного контроля.

Информация сегодня вступает в четвертый этап своего развития. Первый был связан с появлением больших компьютеров, второй – с созданием персональных компьютеров, третий – с появлением Интернета, объединивши пользователей в единое информационное пространство путем совместного доступа к информации. С начала XXI века отмечается переход на новые Grid – технологии, когда на смену Интернету идет всемирная Grid – сеть, как средство совместного использования вычислительных мощностей и хранилищ данных. Grid позволяет выйти из рамки простого обмена данными между компьютерами и в конце концов превратить их глобальную сеть в своего рода гигантский виртуальный компьютер, доступный в режиме удаленного доступа из любой точки, независимо от места расположения пользователя.

Идеи Grid пока еще не очень распространены, но ученые утверждают, что за ними большое ближайшее будущее.

И, в заключение, следует сделать выводы, что трансформация экономической системы Украины, переход ее в новое качество – процесс, который определяется социально-экономическими и научно-техническими параметрами XXI столетия. Этот процесс должен базироваться на:

1. общецивилизованных условиях и данных, которые формируют систему координат современного рыночного хозяйства, но с учетом гуманизации;
2. национальных приоритетах и особенностях, имеющих глубокие историко-генетические и ментально-этические источники;
3. реальное состояние экономики и общества Украины.

Литература: 1. Економіка. Пер. з англ. – К.: Наук. думка, 2007. – 120 с.

УДК 621.992.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Ларшин В.П., докт. техн. наук, **Лищенко Н.В.**, канд. техн. наук,

Якимов А.В., докт. техн. наук (г. Одесса, Украина)

Method of cut depth definition in the grinding, which can be used in computer diagnostics system development, is given.

В общей теории управления принято условно различать такие режимы управления как режим реального времени (on-line) и режим разделения времени (off-line). В первом случае речь идет о непосредственном управлении на этапе изготовления изделия, во втором - речь идет о косвенном (опосредствованном) управлении, когда необходимо правильно распределить технологические ресур-

сы с учетом возможных возмущений, которые могут иметь место в будущем.

Интерес к управлению производством в режимах off-line и on-line заметно возрос в связи с компьютеризацией машиностроительного производства, появлением CAD/CAM систем, CALS-технологий, САПР и систем встроенной технологической диагностики, предназначенных для повышения технического уровня и эффективности машиностроительного производства в условиях острой конкурентной борьбы. Росту этого интереса оказало содействие появление международных стандартов по управлению качеством продукции (ISO 9000 и другие), внедрение которых является обязательным для сертификации произведенной продукции и поставки ее на международный рынок.

Диагностика технологической системы и управление процессом должны осуществляться в режиме реального времени. Поэтому необходимо учитывать фактические параметры функционирующей технологической системы шлифования и обеспечивать необходимую достоверность получаемой информации. В этой связи разработан способ шлифования, который позволяет устранить шлифовочные дефекты (прижоги и трещины) на окончательно обработанной поверхности при высокой производительности обработки. При диагностике и управлении в режиме реального времени необходимо корректировать уравнение математической модели. Корректировка позволяет «привязывать» это уравнение к реальным условиям обработки (такая «привязка» аналогична учету начальных и граничных условий при решении дифференциального уравнения теплопроводности, которые позволяют из бесконечного множества возможных решений выбрать одно единственное, которое отвечает указанным краевым условиям).

Сущность предлагаемого способа состоит в определении глубин резания при шлифовании по критерию максимальной производительности [1]. Способ включает коррекцию уравнения, основанную на определении и фиксации параметров шлифования в некоторых характерных «точках», которые характеризуют состояние технологической системы. Такой «точкой» может быть, например, точка перехода состояния поверхностного слоя из недефектного в дефектное (точка образования шлифовочного прижога с глубиной дефектного слоя $h_{\ddot{a}} \rightarrow 0$). Эту точку можно контролировать с помощью специальных измерительных преобразователей или в заводских условиях визуально по мгновенному отпечатку пятна контакта, расположенному между обработанной и необработанной поверхностями.

Например, при шлифовании резьбы полукруглого профиля способ реализуется следующим образом. Известно, что глубину $h_{\ddot{a}}$ дефектного слоя можно найти из уравнения температурного поля для цилиндрического теплового источника

$$T = -\frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \left[1 - \exp\left(-\frac{a \cdot \tau}{R^2} \cdot \zeta^2\right) \right] \cdot \frac{J_0\left(\zeta \cdot \frac{r}{R}\right) \cdot Y_1(\zeta) - Y_0\left(\zeta \cdot \frac{r}{R}\right) \cdot J_1(\zeta)}{\zeta^2 \cdot [J_1^2(\zeta) + Y_1^2(\zeta)]} d\zeta \times \frac{q \cdot R}{\lambda}, \quad (1)$$

где $r = R + \delta$ - текущий радиус-вектор рассматриваемой точки, м; δ - расстояние от поверхности контакта до рассматриваемой точки, м; R - радиус гранич-

ной цилиндрической поверхности, м; q - плотность теплового потока, Вт/м²; τ - время действия теплового источника, с; J_0, J_1 - функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядка; Y_0, Y_1 - функции Бесселя второго рода нулевого и первого порядка; ζ - переменная интегрирования.

Для определения глубины $h_{\dot{a}}$ проникновения критической температуры в поверхностный слой резьбы принимают $r = R + \delta$, где δ - расстояние от поверхности до рассматриваемой точки (глубина, на которой находится рассматриваемая точка). Итак, при $\delta = h_{\dot{a}}$ получим $r = R + h_{\dot{a}}$. При этом величину $h_{\dot{a}}$ можно найти из условия

$$T - T_{\dot{e}\delta} = 0, \quad (2)$$

где \dot{O} - температура, которая определяется по формуле (1).

Уравнение (2) можно записать в общем виде

$$T(t_0, V, h_{\dot{a}}) = \dot{O}_{\dot{e}\delta}. \quad (3)$$

Формула (3) позволяет определить глубину $h_{\dot{a}}$ дефектного слоя с учетом влияния на нее глубины резания t_0 . Причем, связь между $h_{\dot{a}}$ и t_0 в формуле (3) неявная.

Максимальная температура в зоне шлифования [2]

$$\dot{O}_{max} = \frac{2m(\eta) \cdot q}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{a\tau}{\pi}}. \quad (4)$$

Если на поверхности контакта температура равна критической, то при этом примем: $q = q_0$ и $\tau = \tau_0$. Тогда на основании выражения (4) получим

$$\dot{O}_{\dot{e}\delta} = \frac{2m(\eta) \cdot q_0}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{a\tau_0}{\pi}}. \quad (5)$$

Известно, что плотность теплового потока для любой точки контакта профилевого шлифовального круга с заготовкой определяется по формуле [3]

$$q = \psi \cdot A_{\dot{o}\dot{a}} \cdot V \cdot \frac{t_N}{L}. \quad (6)$$

С учетом формулы (6) можно определить величину q_0 в формуле (5), а именно

$$q_0 = \psi \cdot A_{\dot{o}\dot{a}} \cdot \frac{V_0 \cdot t_{N0}}{L_0},$$

где V_0 - скорость заготовки в рассматриваемой точке, м/с; t_{N0} - нормальная составляющая глубины шлифования в рассматриваемой точке, м; $L_0 = \sqrt{\dot{A} \cdot t_{\dot{a}0}}$ - длина дуги контакта на настроенном проходе, при которой образуется шлифовочный дефект (в дальнейшем — рассматриваемая точка), м; $t_{\dot{a}0}$ - поперечная подача в рассматриваемой точке, м;

Используя формулы (5) и (6) получим

$$\dot{O}_{\dot{e}\delta} = \frac{2m(\eta)}{\lambda} \cdot \frac{\psi \cdot A_{\dot{o}\dot{a}} \cdot V_0 \cdot t_{N0}}{\sqrt{\dot{A} \cdot t_{\dot{a}0}}} \cdot \sqrt{\frac{a\tau_0}{\pi}}. \quad (7)$$

Здесь
$$\tau_0 = \frac{\sqrt{\hat{A} \cdot t_{\hat{a}0}}}{V_0}.$$

Из формулы (7) получим выражение

$$\dot{Y}_{\hat{a}\hat{i}} = \psi \cdot \hat{A}_{\hat{a}\hat{i}} = \sqrt{\frac{\pi}{\hat{a}}} \cdot \sqrt[4]{\hat{A} \cdot t_{\hat{a}0}} \cdot \frac{\dot{O}_{\hat{e}\hat{\delta}} \cdot \lambda}{2m(\eta) \cdot t_{N0} \cdot \sqrt{V_0}}, \quad (8)$$

где $m(\eta)$ - коэффициент формы, определяемый из условия преимущества уравнений, которые описывают выделение тепла от плоского источника ($R \rightarrow \infty$) и от цилиндрического источника (радиус профиля R).

Коэффициент формы $m(\eta)$ находим как отношение температуры поверхности ($\tilde{\delta} = 0$) от цилиндрического источника ($\dot{O}_{\hat{e}\hat{\delta}(\hat{\delta}\hat{a}\hat{\zeta})}$) к температуре поверхности от плоского источника тепла ($\dot{O}_{\hat{e}\hat{\delta}(\hat{i}\hat{e})}$).

При $\tilde{\delta} = 0$ указанные температуры определяются по формулам

$$\dot{O}_{\hat{e}\hat{\delta}(\hat{i}\hat{e})} = \frac{2q_0}{\lambda} \sqrt{\frac{a\tau_0}{\pi}}; \quad (9)$$

$$T_{\hat{e}\hat{\delta}(\hat{\delta}\hat{a}\hat{\zeta})} = -\frac{2}{\pi} \cdot \frac{qR}{\lambda} \int_0^{\infty} (1 - \exp\left(\frac{a\tau}{R^2} \xi^2\right)) \times \\ \times \frac{I_0(\xi) \cdot Y_1(\xi) - Y_0(\xi) \cdot I_1(\xi)}{\xi^2 [I_1^2(\xi) + Y_1^2(\xi)]} d\xi \quad (10)$$

С учетом формул (9) и (10) получим

$$m(\eta) = \frac{T_{\hat{e}\hat{\delta}(\hat{\delta}\hat{a}\hat{\zeta})}}{\dot{O}_{\hat{e}\hat{\delta}(\hat{i}\hat{e})}} = \frac{R}{\sqrt{a\tau_0\pi}} \int_0^{\infty} \left(1 - \exp\left(\frac{a\tau}{R^2} \xi^2\right)\right) \cdot \frac{I_0(\xi) \cdot Y_1(\xi) - Y_0(\xi) \cdot I_1(\xi)}{\xi^2 (I_1^2(\xi) + Y_1^2(\xi))} d\xi.$$

Видно, что коэффициент $m(\eta)$ в какой-то мере зависит и от времени действия теплового источника τ_0 , т.е. $m(\eta) = m(\eta, \tau_0)$

По своему физическому содержанию величина $\dot{Y}_{\hat{a}\hat{i}}$ характеризует часть тепловой энергии шлифования, которая поступает в заготовку в рассматриваемой «точке» состояния технологической системы (т.е. в точке перехода состояния поверхностного слоя из не дефектного в дефектное). Причем выражение (8) характеризует фактическое состояние технологической системы шлифования с учетом индивидуальных особенностей всех элементов технологической системы (станок, приспособление, инструмент, заготовка). Анализ выражения (8) показывает, что неопределенные параметры процесса $\lambda, \hat{a}, \dot{O}_{\hat{e}\hat{\delta}}$ и $m(\eta)$ входят в это выражение в конкретном сочетании, которое можно представить в виде комплекса

$$\hat{E} = \frac{\dot{O}_{\hat{e}\hat{\delta}} \cdot \lambda}{m(\eta) \cdot \sqrt{a}} \left[\frac{\hat{A} \hat{\delta} \cdot \tilde{n}^{0,5}}{\hat{i}^2} \right].$$

Таким образом, указанные неопределенные параметры влияют на процесс шлифования не разрозненно (каждый отдельно), а в виде установленного выше сочетания \hat{E} .

Найденное по формуле (8) численное значение $\dot{Y}_{\acute{o}\ddot{a}i}$ можно использовать для оценки других состояний технологической системы, т.е. других «точек» состояния, которые находятся в окрестности рассмотренной точки. Можно предположить, что чем меньшее удаление этих «точек» от «точки» перехода поверхностного слоя из не дефектного состояния в дефектное, тем более достоверным (объективным) есть значения $\dot{Y}_{\acute{o}\ddot{a}i}$ при характеристике фактических условий шлифования.

Таким образом, при известных глубинах резания $t_{\acute{a}0}$ и t_{N0} и скорости заготовки $V = V_0$ на настроенном проходе (точке образования прижога) на основании формулы (5), справедливой в момент появления дефектного слоя, можно по формуле (8), вычислить фактическую удельную энергию $\dot{Y}_{\acute{o}\ddot{a}i}$, которая поступает в заготовку при шлифовании. Затем - использовать вычисленное значение $\dot{Y}_{\acute{o}\ddot{a}i} = \psi \dot{A}_{\acute{o}\ddot{a}i}$ при нахождении плотности теплового потока за формулой (6) и далее — при определении температуры шлифования.

Иначе говоря, в формуле (1) плотность теплового потока определяют по формуле (6), в которой произведение $\psi \cdot \dot{A}_{\acute{o}\ddot{a}i}$, найденное по формуле (8), известно. Т.е. формула для определения плотности теплового потока q в выражении (1) с учетом формулы (6) будет иметь следующий вид

$$q = \dot{Y}_{\acute{o}\ddot{a}i} \cdot \frac{V \cdot t_N}{L} \quad (11)$$

где $\dot{Y}_{\acute{o}\ddot{a}i}$ - число, найденное за формулой (8) в точке образования прижога.

Если $\dot{Y}_{\acute{o}\ddot{a}i}$ известно (по данным настроенного прохода), то текущую температуру шлифования можно найти на основании формул (1) и (11). Получаем

$$T(\delta) = -\frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} 1 - \exp \left[-\frac{a \sqrt{\frac{D \cdot d \cdot t_{\acute{a}}}{D+d}}}{V} \cdot \frac{\zeta^2}{R^2} \right] \cdot \frac{J_0 \left(\zeta \cdot \frac{R+x}{R} \right) \cdot Y_1(\zeta) - Y_0 \left(\zeta \cdot \frac{R+x}{R} \right) \cdot J_1(\zeta)}{\zeta^2 \cdot [J_1^2(\zeta) + Y_1^2(\zeta)]} d\zeta \times$$

$$\times \frac{\dot{Y}_{\acute{o}\ddot{a}i} \cdot \frac{V \cdot t_N}{\sqrt{\frac{D \cdot d \cdot t_{\acute{a}}}{D+d}}} \cdot R}{\lambda}$$

Увеличивая глубину шлифования с определенным шагом, определяют глубину дефектного слоя δ из уравнения

$$\left. \begin{aligned} \dot{O}(\delta) - \dot{O}_{\delta\ddot{a}i} &= 0 \\ \delta &= h_{\ddot{a}i} \end{aligned} \right|$$

Полученную глубину дефектного слоя $h_{\dot{a}}$ сравнивают с оставшимся припуском. Увеличение глубины шлифования осуществляют до тех пор, пока дефектный слой не станет равным оставшемуся припуску (или части его). Найденное значение глубины шлифования фиксируют. Аналогично находят распределение припуска на другие проходы шлифования с учетом уменьшения оставшегося припуска на сумму ранее найденных глубин резания.

Проводили шлифование резьбы с полукруглым профилем шарикового ходового винта, изготовленного из стали 8ХФ, закаленной до твердости 58-59 HRC, диаметр заготовки $d=24$ мм, радиус профиля резьбы $R=2,5$ мм, припуск на обработку $Z=2,311$ мм; частота вращения заготовки $n=2$ об/мин; диаметр шлифовального круга $D=400$ мм.

Эксперимент проводили на резьбошлифовальном станке модели 5822М. Первоначально производили настроечный проход, в ходе которого фиксировали глубину резания $t_{\dot{a}0} = t_{N0}$ и скорость заготовки $V = V_0$, при которых образовался шлифовочный прижог. Результаты свели в табл. 1. В момент появления дефектного слоя определили удельную энергию $\dot{Y}_{\dot{a}\dot{a}}$, переходящую в заготовку.

Таблица 1

Результаты измерения		Результаты вычисления
$t_0, \text{ м}$	$V_0, \text{ м/с}$	$\dot{Y}_{\dot{a}\dot{a}}, \text{ Дж/мм}^3$
$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,529 \cdot 10^{-3}$	$2,505 \cdot 10^{10}$

Получена программа распределения припуска на переходы шлифования: $t_1 = 1,636$ мм, $t_2 = 0,675$ мм. Причем $Z = t_1 + t_2 = 1,636 + 0,675 = 2,311$ мм. Глубину дефектного слоя, полученного при шлифовании шариковых ходовых винтов, измеряли методом микротвердости. Результаты сведены в табл. 2.

Как видно из приведенных в табл. 2 данных экспериментальная глубина дефектного слоя соответствует её расчетной величине.

Таблица 2

Результати розрахунку і виміру глибин шліфування та глибин дефектного шару

Глубина шлифования, мм		Глубина дефектного слоя, мм	
$t_{1 \dot{a} \dot{c} \dot{d}}$	$t_{1 \dot{a} \dot{e} \dot{i} \dot{z} \dot{d}}$	$h_{\dot{a}1 \dot{d} \dot{i} \dot{c} \dot{d}}$	$h_{\dot{a}1 \dot{a} \dot{e} \dot{i} \dot{z} \dot{d}}$
1,590	1,600	0,719	0,700
$t_{2 \dot{d} \dot{i} \dot{c} \dot{d}}$	$t_{2 \dot{a} \dot{e} \dot{i} \dot{z} \dot{d}}$	$h_{\dot{a}2 \dot{d} \dot{i} \dot{c} \dot{d}}$	$h_{\dot{a}2 \dot{a} \dot{e} \dot{i} \dot{z} \dot{d}}$
0,710	0,700	0	0

Предложенный способ определения глубин шлифования позволяет распределить припуск на проходы шлифования с учетом индивидуальных особенностей технологической системы.

Литература: 1. Деклараційний патент України на корисну модель № 12572 Україна. Спосіб визначення глибини різання при шліфуванні. В.П.Ларшин, Н.В.Ліщенко, О.В.Якимов, А.В.Ларшина. 2. Способ определения глубины резания при шлифовании: А.с. 1399097 А1 СССР МКИ В24В 49/00 / В.П.Ларшин, А.М. Скляр и А.В. Якимов; Опубл. 30.05.88. Бюл. № 20.- 4 с. 3. Ларшин В.П. Технология многониточного шлифования прецизионных ходовых винтов // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 1999. — Вып. 2 (8). — С. 87-91.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОК

Ларшин В.П., докт. техн. наук, **Гречиха А.А.** (г. Одесса, Украина)

A comparative estimation technique of the flat grinding operation technological cost price with and without application of firm technological lubricants is resulted.

Рыночный успех предприятия определяется конкурентоспособностью его продукции. Необходимо производить быструю подготовку производства новой продукции, повышать качество продукции, быстрее реагировать на изменения рынка. Решение этих задач требует качественного преобразования всех этапов производства. На этапе конструкторско-технологической подготовки производства такое преобразование обеспечивает математическое моделирование процессов обработки. Построение математической модели, ее использование (расчет) при помощи современной компьютерной техники позволяет уже на этапе проектирования принимать важные конструкторские и технологические решения о применении той или иной конструкции, материала, технологии обработки.

Нами разработана математическая модель процесса плоского шлифования, позволяющая рассчитывать оптимальные (по температурному критерию) циклы съема припуска с применением твердых технологических смазок (ТТС). Известно, что ТТС используются в случаях, когда применение смазочно-охлаждающей жидкости невозможно, либо не обеспечивает требуемого технологического эффекта: при шлифовании станин торцом круга, зубошлифовании тарельчатыми кругами методом обката, заточке режущего лезвийного инструмента, обработке металлов и сплавов, склонных к трещинообразованию.

Известно [1], что ТТС оказывают существенное влияние на процесс шлифования. Снижают эффективную мощность обработки на 10 - 15%. Уменьшают температуру в зоне шлифования на 20 - 30%. Толщина деформированного слоя уменьшается на 30 - 60%. Шероховатость поверхности уменьшается на 30%. Стойкость круга между переточками увеличивается в 3 раза, расход абразива при этом снижается почти в 2 раза.

Как указывается в работах [1,2] оценить сравнительную эффективность применения различных ТТС сложно. Это связано с тем, что трудно увязать различные параметры и технологические критерии оценки ТТС в одну *оценочную функцию*, которая давала бы однозначный ответ о превосходстве какой-либо одной рецептуры ТТС. Так снижение мощности шлифования обуславливает уменьшение энергоёмкости процесса и позволяет интенсифицировать режимы обработки. Увеличение стойкости круга обуславливает уменьшение времени на правку круга (время технического обслуживания) и уменьшение затрат на инструмент. Однако применение ТТС связано с дополнительными расходами на приобретение компонентов, изготовление и нанесение ТТС на инструмент. Эти расходы в ряде случаев могут сделать применение ТТС нецелесообразным. Поэтому методика сравнения ТТС должна быть комплексной, учитывающей технологические свойства ТТС, инструмент и режимы обработки. Вот почему в качестве оценочной функции нами выбрана технологическая себестоимость операции шлифования.

Затраты на шлифование можно рассчитать по формуле [3]

$$C = \frac{\tilde{N}_\delta}{Q_i} + \frac{\tilde{N}_a}{g} + \frac{C_p \tau_{i\delta} + C_a Q_i}{\tau} + \tilde{N}_y A, \quad (1)$$

где C_p - стоимость станко-минуты шлифования, грн/мин; Q_i - производительность шлифования, м/мкм; \tilde{N}_a - стоимость 1 м³ полезного объема круга, грн/м³; Q_i - расход абразива за одну правку, м³; \tilde{N}_y - стоимость электроэнергии, грн/Дж; A - удельный расход электроэнергии, Дж/м³; $\tau_{i\delta}$ - время правки инструмента, мин.

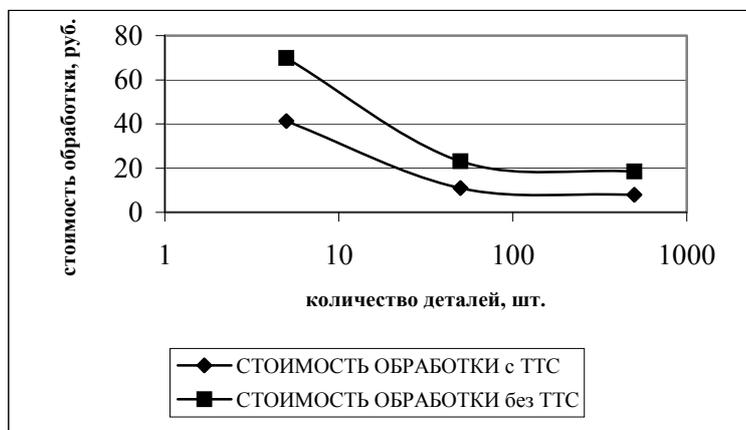
Формула (1) указывает пути снижения себестоимости операции шлифования: повышение производительности шлифования; повышение периода стойкости круга; снижение расхода круга и времени его правки. Всему этому, как сказано выше, способствует применение ТТС.

При использовании ТТС формула (1) принимает следующий вид

$$\tilde{N} = (\tilde{N}_\delta + \tilde{N}_a \cdot q + C_y) + (C_p + C_a \cdot q_{i\delta}) \tau_{i\delta} \cdot n + C_{\text{ТТС}} \cdot \Delta m \cdot n, \quad (2)$$

где q - расход абразива во время обработки, м³; τ - время шлифования, с; $q_{i\delta}$ - расход абразива за одну правку, м³; $\tau_{i\delta}$ - время правки, с; n - число правок; $C_{\text{ТТС}}$ - удельная стоимость ТТС, зависящая от стоимости компонентов, грн/м³; Δm - расход ТТС при разовом нанесении смазки, кг.

Расчет основного (машинного) времени обработки производили после определения оптимальных режимов шлифования, найденных по разработанной



методике распределения припуска на переходы шлифования с учетом упругих технологических отжатий [4]. Расчёт технологической себестоимости выполнили при помощи редактора таблиц *Microsoft Excel*. Входными параметрами для расчета являются характеристики детали, инструмента и оборудования.

На рисунке представлена полученная зависимость себестоимости плоского шлифования от величины партии деталей при использовании и без использования ТТС. Видно, что при использовании ТТС себестоимость операции шлифования меньше приблизительно в 2 раза.

Описанную методику оценки эффективности ТТС можно использовать для выбора наиболее эффективных составов ТТС (из составов, имеющих в наличии) в конкретных производственных условиях.

Литература: 1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С.Г. Энтелеса, Э.М. Берлинера. - М.: Машиностроение, 1986. - 352 с. 2. Мишнаевский Л.Л. Износ шлифовальных кругов. - К.: Наук. думка., 1982. - 192 с. 3. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. - М.: Машиностроение, 1974. - 320 с. 4. Ларшин В.П., Гречиха А.А. Повышение эффективности шлифования вырубных штампов при использовании твердых технологических смазок // Тр. Одес. политехн. ун-та. - Одесса, 2000. - С. 45–48.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ТЕПЛОВОГО НАСЫЩЕНИЯ

Лебедев В.Г., докт. техн. наук, Якимов А.А., канд. техн. наук
(г. Одесса, Украина)

Definition of time of thermal saturation.

Для того, чтобы определить максимальную температуру в зоне контакта шлифовального круга с деталью необходимо знать время теплового насыщения.

Под тепловым насыщением понимается такое состояние шлифуемой поверхности, когда ее температура, достигнув максимального стационарного теплового режима, сохраняется постоянной определенное время.

На рис.1 показана осциллограмма записи температуры, смонтированной на круге [1].



Рис.1. Осциллограмма изменения температуры в зоне контакта шлифовального круга.

На осциллограмме довольно точно можно выделить область теплового насыщения (участок АВ) и область установившейся температуры (участок кривой после точки В). Записанная на осциллограмме постоянная частота 250 Гц позволяет судить о времени теплового насыщения, которое для данного режима составляет 10^{-2} с. Разумеется, для других режимов и материалов эта величина будет отличаться от результатов данного измерения.

Практический интерес представляет решение вопроса о том, когда наступит момент теплового насыщения с учетом способов обработки, режимов шлифования, свойств обрабатываемого материала и размеров детали.

Ярмоновым Н.А. [2] получено выражение, описывающее изменение температуры T_0^* во времени τ на поверхности полубесконечного тела от действия движущегося бесконечно длинного полосового источника шириной $2 \cdot h$.

$$T_0^* = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\pi}} \int_0^{Fo} \Phi(\xi, \tau) \frac{d\tau}{\sqrt{\tau}}, \quad (1)$$

где

$$\Phi(\xi, \tau) = \operatorname{erf}\left(\frac{\xi + u \cdot \tau + 1}{2\sqrt{\tau}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\xi + u \cdot \tau - 1}{2\sqrt{\tau}}\right) \quad (2)$$

T_0^* – безразмерная температура; $Fo = \frac{a}{h^2} \cdot t'$ – безразмерный комплекс времени

(число Фурье); $\tau = \frac{a}{h} \cdot t'$ – безразмерный комплекс, определенный временем

действия теплового источника; $\xi = \frac{z}{h}$ – безразмерная координата вдоль оси Z

(вдоль направления движения теплового источника); $u = \frac{V}{a} \cdot h$ – безразмерный

комплекс, определенный скоростью V перемещения источника тепла (число Пекле); a – коэффициент теплопроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; t' – время действия теплового источника, с.

Изменение температуры во времени определяется главным образом функцией (2). С момента начала действия теплового источника и по мере его движения аргументы функции erf будут возрастать за счет увеличения τ . Известно [3, 4], что при возрастании аргумента функция erf (функция ошибок Гаусса) быстро стремится к единице.

Уже при аргументе $\left| \frac{\xi \pm 1 + u \cdot \tau}{2\sqrt{\tau}} \right| = 3$ значение функция $erf\left(\frac{\xi \pm 1 + u \cdot \tau}{2\sqrt{\tau}}\right)$ отличается от единицы лишь на 0,002%.

Нетрудно видеть, что с возрастанием τ функция $\Phi(\xi, \tau)$ будет стремиться к нулю и рост интеграла, т.е. безразмерной температуры T_o^* , прекращается. Физически это соответствует тепловому насыщению.

Если принять значение функции $\Phi(\xi, \tau)$ равное, например, 2% от максимальной температуры, то это время τ при заданных величинах ξ и u можно принять за время теплового насыщения.

Если обозначить время теплового насыщения Fo_i , то функция $\Phi(\xi, Fo_i)$ будет иметь вид

$$\Phi(\xi, Fo_i) = erf\left(\frac{\xi + u \cdot Fo_i + 1}{2\sqrt{Fo_i}}\right) - erf\left(\frac{\xi + u \cdot Fo_i - 1}{2\sqrt{Fo_i}}\right). \quad (3)$$

На задней кромке теплового источника $\xi = -1$ и в точке, удаленной от зоны контакта $\xi = -9$ значения аргумента второго слагаемого функции (8) имеют следующее значения

Из приведенных в таблице данных видно, что аргумент второго слагаемого функции (3) в интервале изменения скорости $1 \leq u \leq 100$ в точках $-9 < \xi < -1$ не превышает число 1,5.

Таблица

ξ	$u = 1$	$u = 100$
-1	1,36	1,44
-9	1,28	1,36

Из выражения

$$\frac{\xi - 1 + u \cdot Fo_i}{2\sqrt{Fo_i}} = 1,5 \quad (4)$$

можно найти время теплового насыщения $\xi - 1 + u \cdot Fo_i = 3\sqrt{Fo_i}$.

На задней кромке теплового источника $\xi = \frac{z}{h} = -1$. После преобразования уравнения (4) получим

$$\begin{aligned} u \cdot Fo_i - 2 &= 3\sqrt{Fo_i}, \\ (u \cdot Fo_i - 2)^2 &= 9 \cdot Fo_i, \\ u^2 \cdot Fo_i^2 - 4 \cdot u \cdot Fo_i + 4 &= 9 \cdot Fo_i, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u^2 \cdot Fo_i^2 - 4 \cdot u \cdot Fo_i - 9 \cdot Fo_i + 4 &= 0, \\ u^2 \cdot Fo_i^2 - (4 \cdot u + 9) \cdot Fo_i + 4 &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Решая квадратное уравнение (5) получим

$$Fo_i = \frac{(4 \cdot u + 9) + \sqrt{(4 \cdot u + 9)^2 - 16 \cdot u^2}}{2 \cdot u^2} \quad (6)$$

После преобразования выражение (6) будет иметь вид

$$Fo_i = \frac{(4 \cdot u + 9) + 3 \cdot \sqrt{8 \cdot u + 9}}{2 \cdot u^2}.$$

Производя замену $Fo_i = \frac{a}{h^2} \cdot t_i$; $u = \frac{V}{a} \cdot h$ получим уравнение для расчета

времени теплового насыщения

$$t_i = \frac{a \cdot \left[\left(4 \cdot \frac{V}{a} \cdot h + 9 \right) + 3 \cdot \sqrt{8 \cdot \frac{V}{a} \cdot h + 9} \right]}{2 \cdot V^2}. \quad (7)$$

Определение времени теплового насыщения позволяет решить ряд практических задач:

1. Определить максимальную температуру в зоне шлифования.
2. Обосновать технологические возможности процесса прерывистого шлифования.
3. Производить расчет геометрических параметров прерывистых кругов.
4. Установить связь температуры с геометрическими параметрами прерывистых кругов.

Литература: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М., Машиностроение, 1975. 176 с.; 2. Ярмонов Н.А., Напарьин Ю.А., Якимов А.В. Методика расчета кругов с прерывистой рабочей поверхностью //Вестник машиностроения. – 1983. - №2. – С. 38-41. 3. Спр-к по математике для научных работников. Корн Г., Корн Т. – М.: Наука. Гл. ред. Физико-матем. лит-ры, 1984. с.579. 4. Уорсинг А., Геффнер Дж. Методы обработки экспериментальных данных. М., Издат. Иностранной лит-ры, 1949. с.362.

УДК621.923

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗУБОШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ МААГ

Якимов А.А., канд. техн. наук, **Якимова О.А.**, **Мищенко А.Н.**
(г. Одесса, Украина)

Method of increase of productivity of grinding machine tools MAAG.

На зубошлифовальных станках МААГ круги установлены под постоянным углом 15° к вертикальной плоскости. Такое расположение не обеспечивает для всех обрабатываемых зубчатых колес (с различными модулями и числами зубьев) наиболее выгодного режима шлифования. Переход на новую абразивную рейку с увеличенным углом исходного контура является эффективным средством увеличения производительности зубошлифования. Для этого необходимо знать требуемые углы установки шлифовальных кругов [1].

Ниже приводится метод расчета углов установки шлифовальных кругов и экономический анализ вариантов обработки. Авторами приняты следующие обозначения: n – число двойных ходов стола обкатки в минуту; $R_{\ddot{a}.\hat{i}}$ – радиус делительной окружности в мм; α – профильный угол стандартного исходного контура; m – модуль; α_u – угол установки шлифовальных кругов; z – число зубьев шлифовального колеса; R_p – радиус ролика обкатки в мм (при угле разворота шлифовальных кругов относительно вертикали на угол α_u); R'_p – радиус ролика обкатки в мм (угол $\alpha_u = 15^\circ$); $l_{x.c}$ – длина поперечного хода стола (равная радиусу кривошипа W в мм) при развороте шлифовальных кругов относительно вертикальной плоскости на угол α_u ; $l'_{x.c}$ – длина поперечного хода стола (угол $\alpha_u = 15^\circ$); P_j – сила инерции качающихся частей в кг; B – длина зуба шлифуемого колеса в мм; l – величина перебега на заход и выход шлифовального круга в мм; s – подача шлифовального круга вдоль зуба в мм/мин; P – число проходов; K – коэффициент, учитывающий метод шлифования (при двустороннем делении $K = 1$, при одностороннем – $K = 2$).

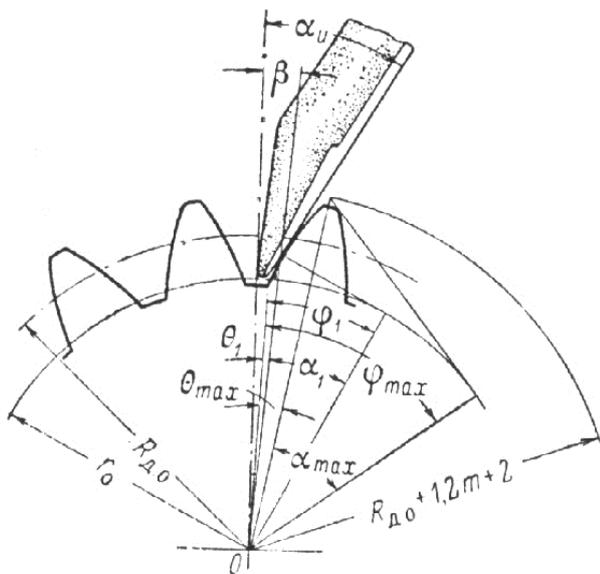


Рис. 1. Схема шлифования.

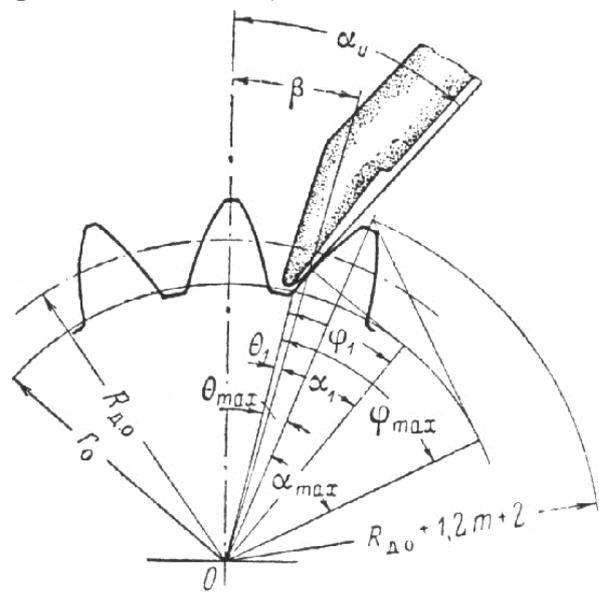


Рис.2 Схема шлифования при расположении круга в соседней впадине колеса.

На рис. 1 и рис. 2 видно, что угол установки шлифовальных кругов α_u равен сумме углов:

$$\alpha_u = \alpha_1 + \beta. \quad (1)$$

Угол α_1 определяется по формуле

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_{max} + inv \alpha_{max} - inv arc \frac{tg \alpha_{max}}{2}}{2} \quad (2)$$

или по рис. 3, где

$$\alpha_{max} = arccos \frac{R_{\ddot{a}.\hat{i}} \cos \alpha}{R_{\ddot{a}.\hat{i}} + 1,2 \cdot m + 2}. \quad (3)$$

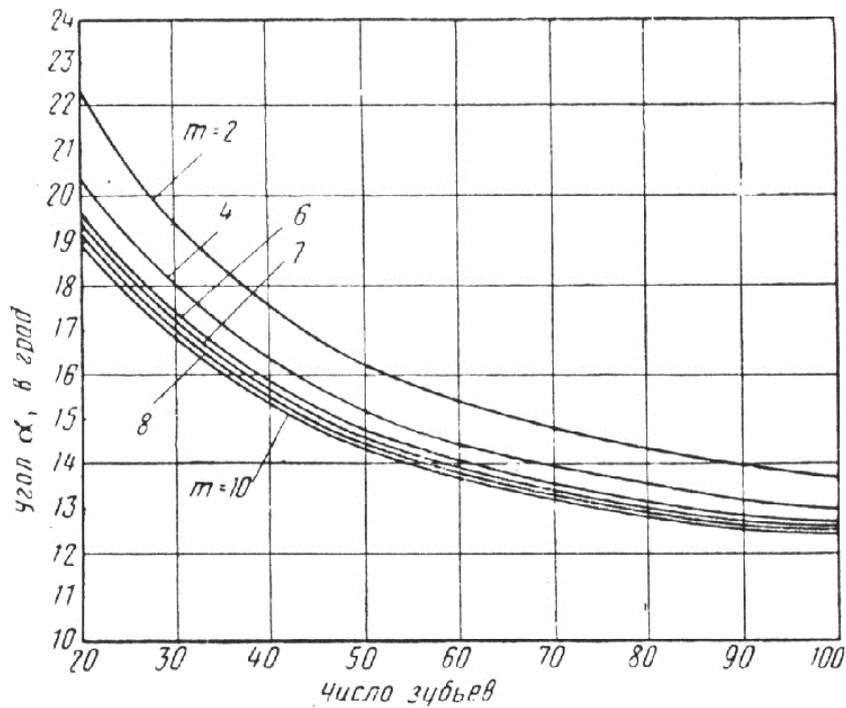


Рис.3. Зависимость угла α_1 от числа зубьев.

Угол β зависит от метода шлифования и определяется:

- а) при расположении шлифовальных кругов в одной впадине зубчатого колеса (рис.1) – по формуле $\beta = \frac{\pi}{2 \cdot z} - (\text{inv } 20^\circ - \text{inv } \alpha_1)$;
- б) при расположении шлифовальных кругов в соседних впадинах зубчатого колеса (рис. 2) – по формуле $\beta = \frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot z} - (\text{inv } 20^\circ - \text{inv } \alpha_1)$ или по рис.4.

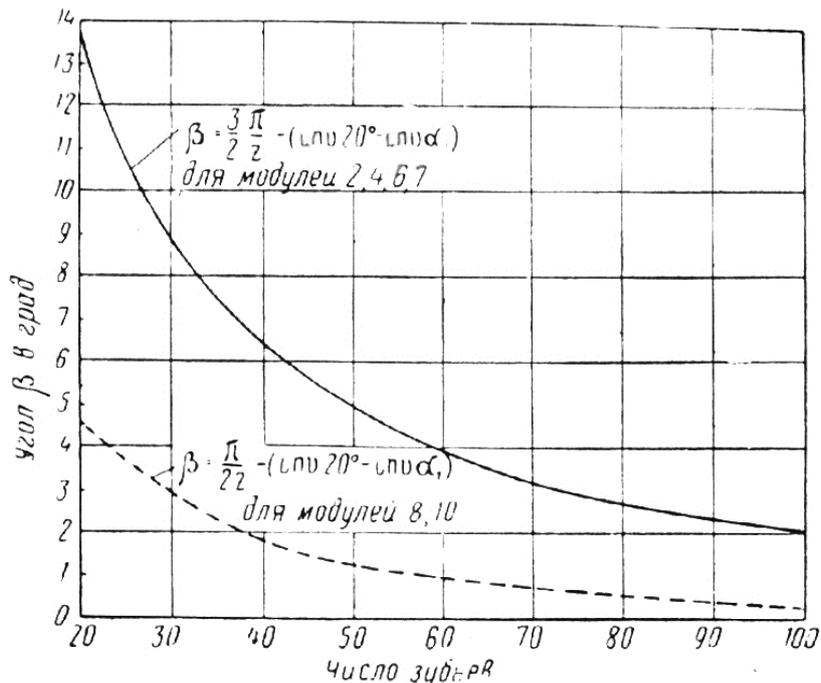


Рис.4. Зависимость угла β от числа зубьев.

Для оценки экономической эффективности предлагаемого метода шлифования зубчатых колес нужно рассмотреть конкретные примеры.

Расчет проводится в следующем порядке.

1. Определяется угол установки шлифовальных кругов:

$$\alpha_u = \alpha_1 + \beta.$$

2. Определяется длина поперечного хода стола, соответствующая расчетному углу установки шлифовальных кругов:

$$l_{x.c} = (\varphi_{max} - \varphi_1) \cdot R_p,$$

где $\varphi_{max} = tg\alpha_{max}$ (угол α_{max} – определяется по формуле (3); $\varphi_1 = tg\alpha_1$ (угол α_1 – определяется по формуле (2) или по рис. 3);

$$R_p = R_{\ddot{a}.i} \cdot \frac{\cos 20^\circ}{\cos \alpha_u}.$$

3. Определяется длина поперечного хода стола при угле установки шлифовальных кругов относительно вертикальной плоскости $\alpha_u = 15^\circ$

$$l'_{x.c} = (\varphi_{max} - \varphi'_1) \cdot R'_p,$$

где $\varphi_{max} = tg\alpha_{max}$; $\varphi'_1 = tg(15^\circ - \beta)$; $R'_p = R_{\ddot{a}.i} \cdot \frac{\cos 20^\circ}{\cos 15^\circ}$.

4. Определяется сила инерции качающихся частей станка: [2]

$$P_j = 0,027 l_{x.c} \cdot \frac{n^2}{R_p'^2} \cdot \frac{J}{J_0}$$

(число двойных поперечных ходов стола обкатки в минуту при подсчете величины силы инерции принимается $n = 90$ ход/мин).

5. Определяется число двойных поперечных ходов стола обкатки в минуту, которое может быть принято без ущерба для точности шлифования при новом расчетном значении угла α_u :

$$n = \sqrt{\frac{P_j \cdot R_p'^2}{0,027 \cdot l_{x.c} \cdot \frac{J}{J_0}}}.$$

6. Определяется машинное время:

$$T_i = \frac{B+l}{n \cdot s} \cdot z \cdot p \cdot K;$$

а) при угле установки шлифовальных кругов $\alpha_u = 15^\circ$, $n = 90$ ход/мин;

б) при угле установки шлифовальных кругов $\alpha_u > 15^\circ$ принимать расчетное значение n .

Результаты конкретных расчетов сведены в таблицу.

Из сопоставления приведенных в таблице показателей машинного времени видно, что новый метод приводит к значительному увеличению производительности станков МААГ.

Переход на новую абразивную рейку с углом установки шлифовальных кругов $\alpha_u > 15^\circ$ требует некоторой модернизации станка, которая сводится к фрезерованию проушин в суппортах шлифовальных кругов.

Данные зубчатого колеса		$\alpha_{max} = \arccos \frac{R_{\ddot{a}.i} \cos \alpha}{R_{\ddot{a}.i} + 1,2 \cdot m + 2}$	$\beta = \frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot z} - (inv 20^\circ - inv \alpha_1)$	$\alpha_1 = \frac{\alpha_{max} + inv \alpha_{max}}{2} - inv \arctg \frac{\alpha_{max}}{2}$	$\alpha_u = \alpha_1 + \beta$	при $T_i = \frac{B+l}{n \cdot s} \cdot z \cdot p \cdot K$ при $\alpha_u = 15^\circ$ $n=90$	при $T_i = \frac{B+l}{n \cdot s} \cdot z \cdot p \cdot K$ и α_u рас- четных	Разность время об- работки в мин
М од ул ь m	Чис- ло зубь ев z Угол за- цеп- де- ния $\alpha^\circ=2$							
2	20	39°37'	13°52'	22°30'	36°22'	39,6	26,4	13,2
2	50	30°16'	4°49'	16°14'	21°03'	99,0	84,8	14,2
2	70	27°52'	3°20'	14°48'	18°08'	138,5	124,6	13,9
2	100	25°50'	2°06'	13°37'	15°43'	198,0	193,5	4,5
4	20	36°34'	13°32'	20°21'	33°53'	52,0	34,9	17,1
4	50	28°22'	4°54'	15°07'	20°01'	130,0	110,4	19,6
4	70	26°22'	3°14'	13°54'	17°08'	182,0	169,0	12,1
6	20	35°26'	13°29'	19°32'	33°01'	58,2	40,0	18,2
6	40	29°13'	6°18'	15°37'	21°55'	118,2	95,8	22,4
6	60	26°37'	3°56'	14°04'	18°	117,4	163,0	14,4
7	20	35°06'	13°24'	19°22'	32°46'	60,9	42,8	18,1
7	40	28°59'	6°17'	15°39'	21°56'	121,8	103,5	17,3
8	20	34°51'	4°25'	19°22'	23°47'	64,4	54,7	9,7
8	40	28°49'	1°45'	15°23'	16°08'	129,0	119,8	9,2
10	20	34°29'	4°22'	18°55'	23°17'	76,0	61,6	14,4
10	40	28°35'	2°06'	15°15'	17°21'	152,0	142,0	10,0

Литература: 1. Руководство по эксплуатации и обслуживанию зубошлифовальных станков ММАГ. Москва, Оргавтопром. 1942.–65 с. 2. Якимов А.В. Исследования жесткости зубошлифовальных станков ММАГ. Труды Запорожского машиностроительного института, Запорожье, 1959. С. 83-116.

ИЗМЕНЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ ИЛИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА

Шкурупий В.Г., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

In clause the influence of conditions of operation of the processed superficial layers on change of their characteristics is considered.

В процессе эксплуатации в условиях воздействия светового потока поверхности деталей подвергаются воздействию жесткого излучения Солнца. Необходимо ответить на вопрос, что происходит с поверхностным слоем детали, в частности с его геометрическими характеристиками.

Учитывая, что поверхности деталей в процессе длительного хранения подвергаются коррозионному разрушению от воздействия окислителей внешней среды, нами проведены испытания на коррозионную стойкость поверхностей деталей после абразивной обработки, ионной очистки и с покрытием TiN .

Исследованию микро геометрии поверхностных слоев после абразивной обработки посвящено сравнительно немного работ [1], в которых чаще всего приводится показатель R_a или R_z поверхностей определенных металлов и сплавов. Для улучшения эксплуатационных свойств поверхностей необходимо стремиться к уменьшению их загрязнения остатками рабочей среды предшествующей обработки, уменьшению концентраторов, увеличивающих адгезионные свойства поверхностей (необходимо стремиться к увеличению степени сглаживания неровностей на поверхности).

В работе [2] было показано, что для обеспечения большего сглаживания поверхности мы должны стремиться к уменьшению отношения R_a / R_{max} .

Для изучения влияния потока излучения в вакууме на поверхностный слой детали был поставлен эксперимент на установке «Булат-3Т». Изменение высотных параметров шероховатости поверхности изучали на образцах из стали ЭИ-961 после шлифования и полирования. Режимы обработки:

ускоряющее напряжение 1,3 кВ; ток дуги 100 А; давление $1 \cdot 10^{-4}$ Па; длительность обработки 600с (импульсы 3/10 с). Электрод титан ВТ1-0.

В процессе ионной бомбардировки адсорбированные на поверхности пленки удаляются и должно происходить распыление выступающих участков неровностей и возможно осаждение частиц ионного потока.

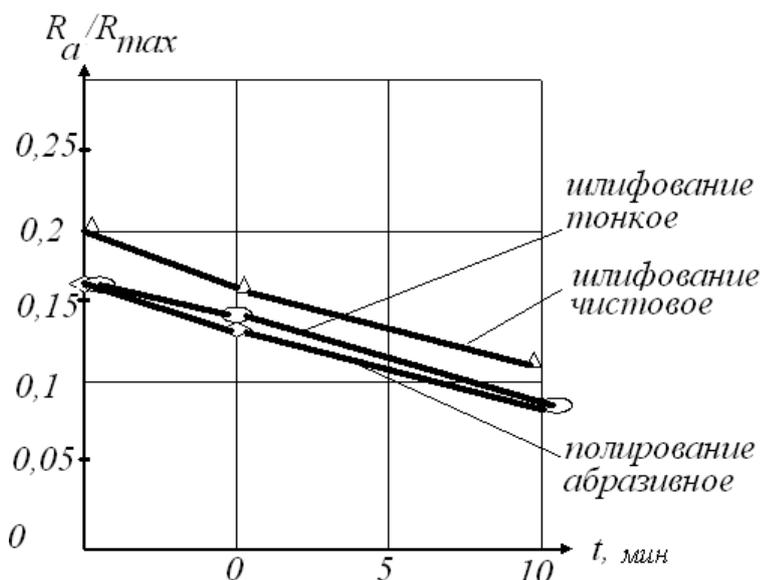


Рис.1. Изменение отношения R_a / R_{max} от длительности ионной обработки поверхности.

Зависимость отношения R_a / R_{max} от длительности ионной обработки приведена на рис. 1.

Сопоставление исходных образцов показывает, что наибольшее сглаживание достигается полированием абразивным.

По результатам оценки значений параметров шероховатости поверхности были построены опорные кривые (рис. 2).

Сопоставление кривых показывает, что после шлифования 2 и полирования 3 наблюдается значительное изменение полноты неровностей в сторону ее

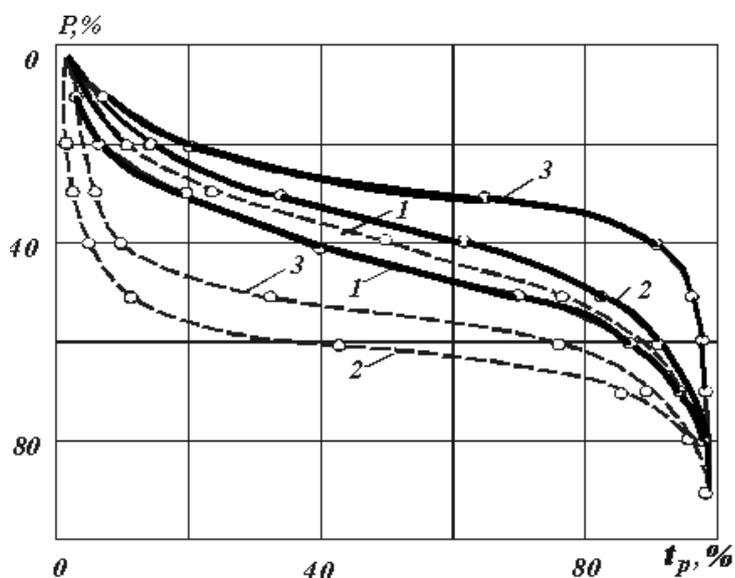


Рис. 2. Опорные кривые поверхностей образцов из стали ЭИ 961 до и после ионной бомбардировки: 1 - шлифование чистовое; 2 - шлифование тонкое; 3 - полирование абразивное; — до обработки; - - - после обработки.

профиле шероховатости. Появление пиков можно объяснить удалением в процессе бомбардировки шаржированных в поверхностном слое абразивных зерен

Испытания на коррозионную стойкость проводили путем имитации жестких климатических условий и путем снятия и анализа поляризационных кривых. В качестве коррозионной среды выбран 3% раствор соли $NaCl$.

Все поверхности образцов, кроме подготовленных к проведению испытаний, покрывались химически стойким лаком типа ЛХС, а затем высушивались в термостате при температуре $120^{\circ}C$ в течение одного часа.

Для оценки коррозионных потерь выбрали весовой метод. В качестве единицы потерь выбрана величина ΔG , характеризующая изменение массы образца во времени (mg/cm^2). Взвешивание образцов осуществляли на аналитических весах ВЛА-200. Образцы помещались в эксикатор, на дне которого налит 3% соляной раствор $NaCl$. Эксикатор помещали в сушильный шкаф. Образцы подвергались испытанию в следующих условиях: верхнее значение температуры в каждом цикле $150 \pm 5^{\circ}C$; относительная влажность воздуха при верхнем значении температуры в каждом цикле 95-100%; продолжительность выдержки при верхнем значении температуры в каждом цикле 8 часов; продолжи-

снижения. Для опорной кривой 1 (шлифование чистовое) полнота ее увеличилась, что можно объяснить изменением размеров и формы неровностей у вершин за счет их распыления и частичного осаждения титана.

На рис. 3 приведены профилограммы поверхности образцов до (1,3 и 5) и после (2,4 и 6) ионной обработки. Их сопоставление показывает изменение шероховатости поверхности до и после ионной обработки. Наблюдается для каждого вида обработки появление после ионной бомбардировки большого количества пиков-выбросов на

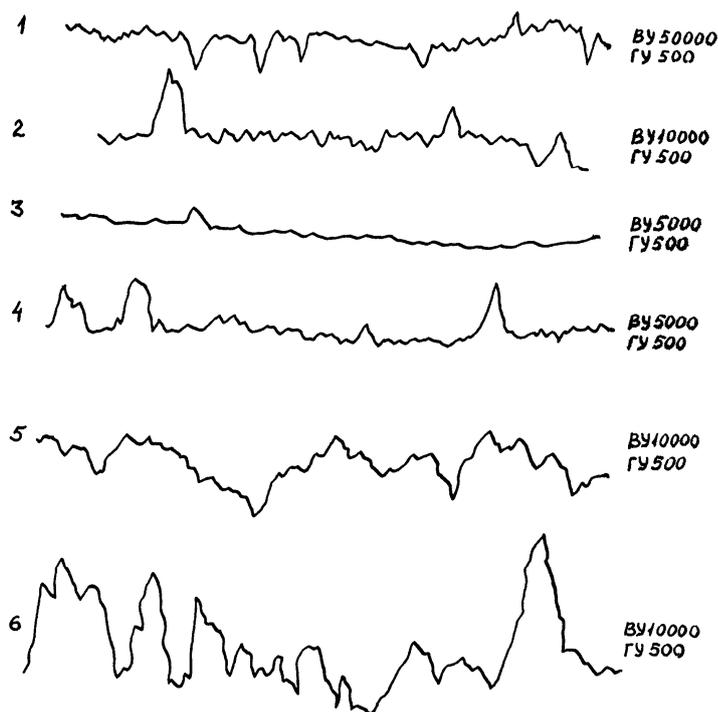


Рис. 3. Профилограммы поверхности образцов до и после ионной бомбардировки: 1, 3 и 5 - до и 2, 4 и 6 - после обработки.

ется и для образцов после абразивного полирования приближается к значению $0,0004 \text{ г/ч м}^2$.

Для снятия поляризационных кривых в качестве электродов использовали образцы из стали ЭИ 961 в растворе NaCl (3%) при комнатной температуре. Снятие кривых производили на приборе ПИ-50-1. При этом применяли: вспомогательный электрод (платиновый) и электрод сравнения (хлорсеребряный). Скорость развертки $0,2 \text{ мВ/с}$. Диапазон потенциалов 50 мВ .

Для установления постоянной плотности тока в области пассивности выдержка длилась $1/4$ часа. Всю кривую в исследуемом интервале потенциалов снимали на одном электроде.

Для эксперимента были взяты образцы: 1 - исходный - не покрыт; 2 - покрыт Ti при температуре 400°C ; 3 - ионная очистка (30 мин); 4 - покрыт TiN при температуре 200°C ; 5 и 6 - покрыты TiN при температуре 400°C ; 7 - не покрыт.

Поляризационные кривые для образцов показаны на рис. 4.

Для кривых 2, 5 и 6 (рис. 4) точки на ординате, соответствующие стационарному потенциалу (начало записи кривой) находится в пассивной области. Для образцов 2 и 5 ток в пассивной области на порядок ниже, чем для образца 6.

По коррозионной стойкости среди незащищенных образцов имеет минимальную стойкость образец 1, максимальную стойкость образец 3 и среднее значение образец 7.

Образец 4 наименее стоек среди образцов покрытых нитридом титана. Причем его стойкость лишь незначительно отличается от стойкости образца 1

тельность охлаждения 40 часов; нижнее значение температуры в каждом цикле $22 \pm 2^\circ\text{C}$; продолжительность одного цикла 48 часов. Это имитация жестких климатических условий. Прекращение испытаний производили при появлении язвенной коррозии на поверхности.

Первые коррозионные поражения в виде ржавых пятен появились на второй день испытаний. При изучении поверхностей на металлографическом микроскопе обнаружено наличие мелких точек коррозионного разрушения.

Результаты изменения потери массы с единицы поверхности во времени показывает, что на 10-12 сутки процесс изменения массы стабилизируется

при потенциале 0,1 В, но менее стоек чем образец 7.

В четырех образцах (1, 3, 4 и 7) пожелтение раствора связано с растворением подложки. В образце 4 идет интенсивное растворение при незначительных потенциалах.

Образец 6 покрытый TiN характеризуется наиболее отрицательным потенциалом по сравнению с остальными образцами. Область пассивного состояния 0,15-0,3 В. Несмотря на это в активной области он растворяется аналогично образцу 4, хотя в пассивной области токи растворения в 5-7 раз ниже. Однако его можно отнести к образцам с хорошим, устойчивым покрытием.

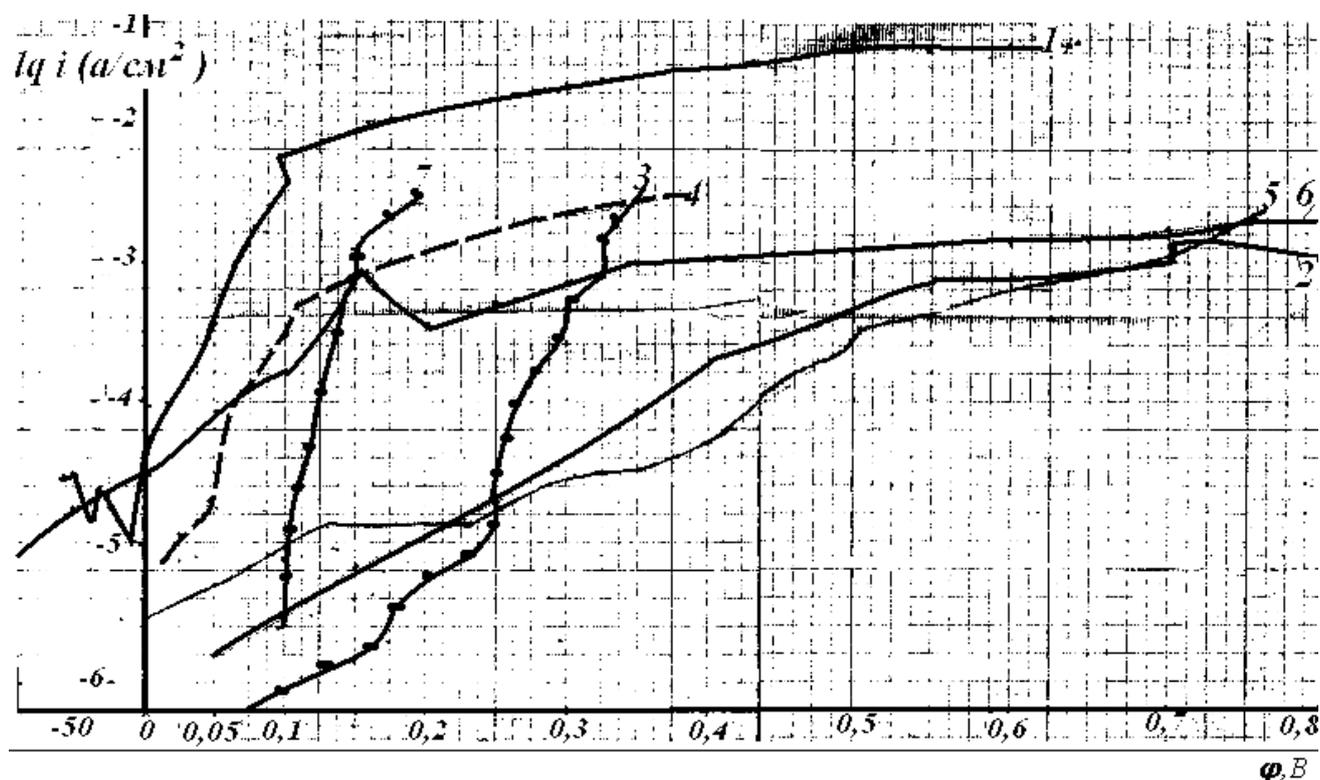


Рис. 4. Поляризационные кривые: 1 - исходный; 2 - покрыт αTi при температуре $400^{\circ}C$; 3 - ионная очистка (30 мин); 4 - покрыт TiN при температуре $200^{\circ}C$; 5 и 6 - покрыт TiN при температуре $400^{\circ}C$; 7 - не покрыт.

Образцы 2 и 5, покрытые нитридом титана и титаном при температуре $400^{\circ}C$, являются наиболее устойчивыми.

Образец 5 имеет широкую область пассивного состояния до 0,4 В.

У образца 2 покрытие более устойчиво. Подъем тока на этом образце может быть обусловлен не растворением подложки, а окисдением титана. В области до 0,3В (на участке подъема тока) идет растворение подложки.

Характер изменения поляризационных кривых еще раз подтверждает необходимость очистки поверхностей от остатков рабочей среды, а также их защиты от окисления, что очень важно для деталей, работающих в условиях воздействия светового потока.

Литература: 1. Ящерицын П. И. Повышение эксплуатационных свойств шлифованных поверхностей. Минск: Наука и техника, 1966. - 385 с. 2. Шкурупий В.Г. Повышение эффективности технологии финишной обработки светоотражательных поверхностей деталей из тонкого листа и лент. – Автореф. дис. канд. техн. наук – Одесса, 2006. - 22 с.

УДК 621.9:518

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЛ СПИРАЛЕВИДНОЙ ФОРМЫ В СИСТЕМЕ AUTODESK INVENTOR

Подкорытов А.Н., докт. техн. наук, Савельева Е.В.,
Исмаилова Н.П. (г. Одесса, Украина)

In this article presents parametric modeling of bodies of the form of a spiral in system Autodesk Inventor.

Постановка проблемы. Современное развитие компьютерной техники привело к тому, что параметрическое твердотельное моделирование широко используется во всех отраслях промышленности, в частности машиностроении, кораблестроении, самолетостроении и сельском хозяйстве. Из множества существующих систем автоматического проектирования нам необходимо выбрать систему с наиболее простым пользовательским интерфейсом, при этом позволяющую строить наиболее сложные модели в кратчайшие сроки и максимально точно. Так, например, в системе AutoCAD твердотельное моделирование осуществляется путем аппроксимации, без возможности параметризации, что увеличивает трудоемкость и понижает точность построения.

Анализ последних исследований. В большинстве систем проектирования моделирование объектов сложных форм является достаточно трудоемким процессом. Система Autodesk Inventor позволяет путем нескольких несложных операций построить любую твердотельную модель, в частности модель сложной спиралевидной формы, очень быстро и точно. При этом эта модель является параметрической, что позволяет в дальнейшем при необходимости изменять ее.

Формулировка целей статьи (постановка задания). Повысить производительность расчетно-графических работ. Автоматизировать процесс получения криволинейных винтовых поверхностей. Разработать алгоритм построения параметрических твердотельных моделей спиралей с различной формой сечения.

Основная часть. Из существующих видов 3D-моделей наиболее интересной является модель твердого тела, так как она содержит всю информацию о кромках, силуэтах, гранях и объеме соответствующего 3D-объекта. Модель твердого тела можно использовать не только для визуализации и производственных целей, но и для решения задач оценки работоспособности конструкции.

Для создания и разработки изделий в системе Autodesk Inventor используется параметрический подход. При таком подходе на начальном этапе создается эскиз каркаса, геометрия и размер линий которого не обязательно должны быть начерчены абсолютно точно. В этот момент мы можем сконцентрироваться на задании формы конструкции. Для согласования формы с компонентами эскиза применяются геометрические ограничения: параллельность, вертикальность, горизонтальность и т.д. После уточнения формы к эскизу добавляются параметрические размеры, определяющие габариты объекта. При добавлении ограничений и параметрических размеров форма и габариты эскиза изменяются соответствующим образом.

Использование параметрических каркасов позволяет создавать парамет-

рические модели твердых тел. Мы имеем возможность изменять не только эскиз перед образованием твердого тела, но и параметрические размеры, и геометрию поперечного сечения в любой удобный для нас момент. Для создания твердотельных объектов в программе Autodesk Inventor используется множество различных методов. Сначала создают плоские и объемные каркасные модели, а затем из них с помощью операций вытягивания, поворота, продвижения по траектории или по сечениям образуются 3D-объекты. Рассмотрим построение тела продвижением по траектории. Для этого создадим замкнутый плоский каркас на 3D-плоскости и разомкнутый 3D-каркас. Затем первый каркас продвинем вдоль второго. Объем, пройденный плоским каркасом, образует элемент по траектории. Сечение элемента по траектории остается неизменным на всем протяжении траектории.

Спираль представляет собой частный случай элемента по траектории, эскиз сечения которого продвигается вдоль спиральной траектории. Для построения спирали мы создадим эскиз сечения спирали, определим ось и параметры элемента. Осью может быть линия, кромка или рабочая ось.

Сформируем различные криволинейные винтовые поверхности методом параметрического твердотельного моделирования в системе Autodesk Inventor. Для этого составим обобщенный алгоритм построения параметрической твердотельной модели спирали с разными видами поперечных сечений.

Алгоритм построения спирали в системе Autodesk Inventor.

1. Начнем с создания нового файла. Выберем шаблон для построения объемного изображения.
2. Строим поперечное сечение спирали. Оно может быть абсолютно любой формы (окружность, прямоугольник, многоугольник, эллипс, дугообразные формы и т.д.). Для его построения будем использовать инструменты на панели Sketch.
3. Построим ось спирали. Для этого выберем инструмент Line на панели Sketch.
4. Для возможности дальнейшей корректировки параметров сечения спирали зададим необходимые размеры: габаритные размеры сечения и расстояния до оси, используем инструмент General Dimension на панели Sketch.
5. Выбираем инструмент Coil (Спираль) на панели Features.
6. Выбираем эскиз сечения в качестве профиля и линию в качестве оси на вкладке Coil Shape (Форма спирали) диалогового окна Coil, задаем направление спирали (Rotation).
7. Для задания параметров спирали перейдем на вкладку Coil Size (Размер спирали) диалогового окна Coil.
8. Выбираем в поле Type (Тип) способ построения спирали – Revolution and Height (Число витков и Длина), Step and Revolution (Шаг и Число витков) или Step and Height (Шаг и Длина).
9. Вводим в соответствующих полях Revolution, Height, Step необходимые параметры. Задав в поле Taper Angle угол наклона спирали, получаем соответственно коническую или цилиндрическую спираль. После нажатия кнопки ОК, на мониторе появляется готовая твердотельная модель спирали.

Представим несколько вариантов полученных спиралей.



Рис. 1. Цилиндрическая спираль с шестигранным сечением.

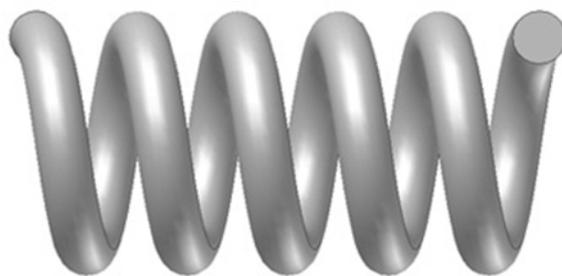


Рис. 2. Цилиндрическая спираль с круглым сечением.

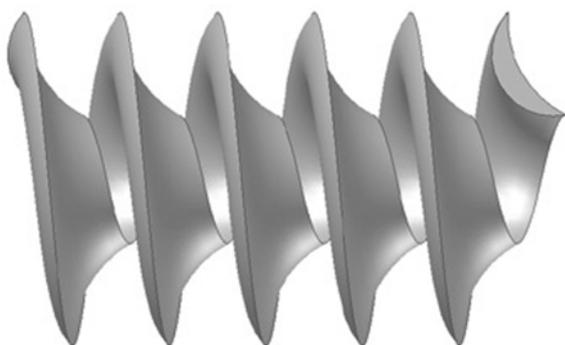


Рис. 3. Цилиндрическая спираль с дугообразным сечением.

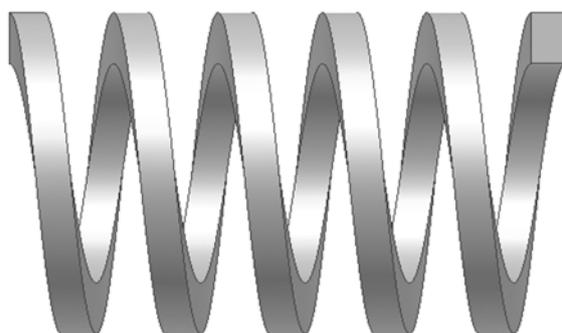


Рис. 4. Цилиндрическая спираль с прямоугольным сечением.

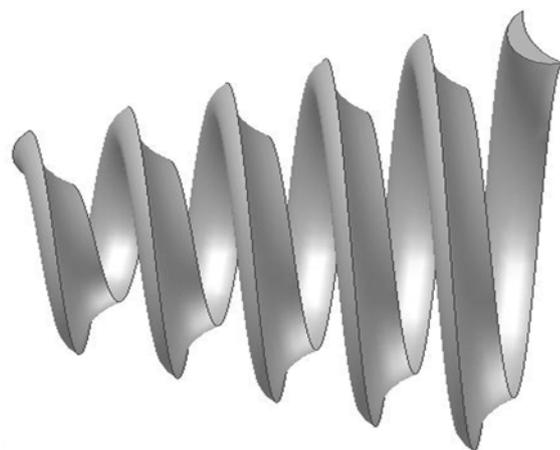


Рис. 5. Коническая спираль с дугообразным сечением.

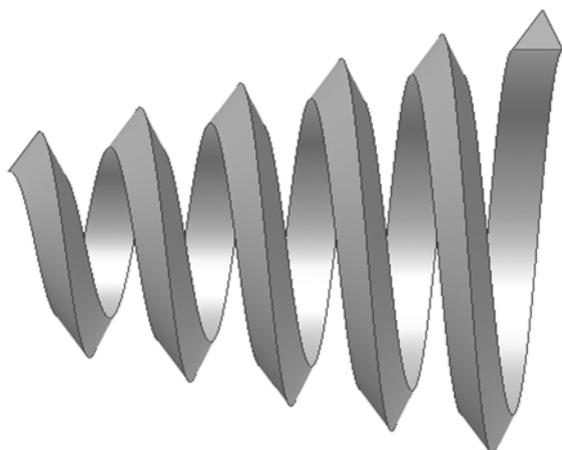


Рис. 6. Коническая спираль с треугольным сечением.

Выводы. Система Autodesk Inventor позволяет привести время, затрачиваемое на проектирование параметрических твердотельных моделей сложной спиралевидной формы к минимуму. Возможность изменения параметров 3D-детали на любом этапе проектирования повышает точность построения, что приводит к повышению точности изготовления конкретной детали на производстве.

Литература: 1. Рон К.С. Чен Autodesk Inventor: учебный курс – М.: Издательство

«ЛОРИ», 2002. - 568с. 2. Потемкин А. Трехмерное твердотельное моделирование. – М.: КомпьютерПресс, 2002. - 269с.

УДК 621.91.011.+515.2:18.62

МАТЕМАТИЧНА ТА КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ СПРЯЖЕНИХ КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ С ТОЧЕЧНИМ КОНТАКТОМ

Подкоритов А.М., докт. техн. наук, Ісмаїлова Н.П., Савельєва О.В.

(м. Одеса, Україна)

The mathematical and computer model of crookedly linear surfaces with dot contact of mechanical engineering and shipbuilding is developed.

Аналіз останніх досліджень. В розглянутій раніше літературі рішення задач спряжених криволінійних поверхонь виконувалась в графічному варіанті. В зв'язку з тим, що за останні 15 років підвищились вимоги до точності профілювання спряжених криволінійних поверхонь та продуктивності проектно-конструкторських робіт виникає необхідність розробки математичної комп'ютерної моделі спряжених криволінійних поверхонь.

Поставка проблеми. Розроблено математична та комп'ютерна модель спряжених криволінійних поверхонь с точеним контактом конгруентних кінематичних посередників загального вигляду, стосовно до зубчастих передач і різального інструменту.

Основна частина. Підвищена ефективності сучасного виробництва у вирішальній мірі залежить від рівня розвитку та вдосконалення досліджень в галузі фундаментальних та прикладних наук.

Розробка математичної комп'ютерної моделі спряжених криволінійних поверхонь с точеним контактом направлена на підвищення точності та продуктивності розрахунково-графічних передач і різального інструменту.

Комп'ютерна модель виконана за такою технологією.

1. Введення даних

w, h – кутова швидкість та параметр гвинта абсолютного руху посередника;

$\bar{b}(u, v) = (x_b(u, v), y_b(u, v), z_b(u, v))$ – радіус-вектор точок посередника в початковий момент часу;

$\left. \begin{matrix} w_1, a_1', a_1 \\ w_2, a_2', a_2 \end{matrix} \right\}$ – кутові швидкості шуканих спряжених поверхонь, відстані

та кути між віссю гвинта посередника та осями шуканих поверхонь



2. Знаходження нормальних векторів

$\bar{m}(u, v) = (x_m(u, v), z_m)$ до точок посередника в початковий момент:

$$x_m(u, v) = \frac{\partial}{\partial u} y_b(u, v) \cdot \frac{\partial}{\partial v} z_b(u, v) - \frac{\partial}{\partial u} z_b(u, v) \cdot \frac{\partial}{\partial v} y_b(u, v);$$

$$y_m(u, v) = \frac{\partial}{\partial u} z_b(u, v) \cdot \frac{\partial}{\partial v} x_b(u, v) - \frac{\partial}{\partial u} x_b(u, v) \cdot \frac{\partial}{\partial v} z_b(u, v);$$

$$z_m(u, v) = \frac{\partial}{\partial u} x_b(u, v) \cdot \frac{\partial}{\partial v} y_b(u, v) - \frac{\partial}{\partial u} y_b(u, v) \cdot \frac{\partial}{\partial v} x_b(u, v);$$



3. Знаходження радіуса-вектора

$$\bar{c}(t, u, v) = (x_c(t, u, v), y_c(t, u, v), z_c(t, u, v))$$

до точок посередника в довільний момент часу t ;

$$x_c(t, u, v) = x_b(u, v) \cdot \cos wt + y_b(u, v) \cdot \sin wt;$$

$$y_c(t, u, v) = x_b(u, v) \cdot \sin wt + y_b(u, v) \cdot \cos wt;$$

$$z_c(t, u, v) = z_b(u, v) + hwt.$$



4. знаходження нормальних векторів

$$\bar{n}(t, u, v) = (x_n(t, u, v), y_n(t, u, v), z_n(t, u, v))$$

точок посередника в довільний момент часу t ;

$$x_n(t, u, v) = x_m(u, v) \cdot \cos wt + y_m(u, v) \cdot \sin wt;$$

$$y_n(t, u, v) = -x_m(u, v) \cdot \sin wt + y_m(u, v) \cdot \cos wt;$$

$$z_n(t, u, v) = z_m(u, v)$$



5. визначення радіуса-вектора

$$\bar{d}_v(t, u, v) = (x_{dv}(t, u, v), y_{dv}(t, u, v), z_{dv}(t, u, v))$$

точок посередника від точки O_v

$$x_{dv}(t, u, v) = x_c(t, u, v) + (-1)^v \cdot \alpha_v$$

$$y_{dv}(t, u, v) = x_{yc}(t, u, v)$$

$$z_{dv}(t, u, v) = z_c(t, u, v)$$



6. визначення вектора

$$\bar{W}_v(t, u, v) = (x_{Wv}(t, u, v), y_{Wv}(t, u, v), z_{Wv}(t, u, v))$$

швидкості точок посередника відносно v -ї шуканої поверхні:

$$\bar{W}_v(t, u, v) = [\bar{w} \times \bar{c}_v] - \bar{w} \times h - [\bar{d}_v \times \bar{w}_v], \quad \text{звідки}$$

$$x_{Wv}(t, u, v) = y_{dv}(u, v) \cdot w_v \cdot \cos \alpha_v - z_{dv}(t, u, v) \cdot w;$$

$$x_{Wv}(t, u, v) = -x_{dv}(u, v) \cdot w_v \cdot \cos \alpha_v - c_c(t, u, v) \cdot w;$$

$$x_{Wv}(t, u, v) = -x_{dv}(u, v) \cdot w_v \cdot \sin \alpha_v - wh;$$



7. Складання рівняння зв'язку параметрів t, u, v з умови, якщо характеристики є лініями, вектори швидкості руху яких відносно шуканих поверхонь лежать в дотичних площинах, тобто

$$\bar{m}(t, u, v) \cdot \bar{W}_v(t, u, v) = 0$$

або

$$x_n(t, u, v) \cdot x_{W_v}(t, u, v) + y_n(t, u, v) \cdot y_{W_v}(t, u, v) + z_n(t, u, v) \cdot z_{W_v}(t, u, v) = 0$$



8. Розв'язання одержаного рівняння, тобто визначення, наприклад, параметра v як функції параметрів t, u :

$$v = v(t, u)$$



9. Знаходження радіуса-вектора

$\bar{e}_v(t, u) = (x_{e_v}(t, u), y_{e_v}(t, u), z_{e_v}(t, u))$ точок характеристики в момент часу t відносно v -ї шуканої поверхні:

$$\bar{e}_v(t, u) = \bar{c}(t, u, v(t, u)), \quad \text{тобто}$$

$$x_{e_v}(t, u) = x_c(t, u, v(t, u)), \quad y_{e_v}(t, u) = y_c(t, u, v(t, u)),$$

$$z_{e_v}(t, u) = z_c(t, u, v(t, u)),$$



10. Знаходження радіуса-вектора $e_v^v(t, u) = (x_{e_v^v}^v(t, u), y_{e_v^v}^v(t, u), z_{e_v^v}^v(t, u))$ точок характеристик в нерухомій системі координат, зв'язаного з віссю обертання v -ї шуканої поверхні:

$$x_{e_v^v}^v(t, u) = x_{e_v}(t, u) + (-1)^v \cdot \alpha_v$$

$$y_{e_v^v}^v(t, u) = y_{e_v}(t, u) \cdot \cos \alpha_v + z_{e_v}(t, u) \cdot \sin \alpha_v$$

$$z_{e_v^v}^v(t, u) = -y_{e_v}(t, u) \cdot \sin \alpha_v + z_{e_v}(t, u) \cdot \cos \alpha_v$$



11. Знаходження радіуса-вектора $\bar{e}_v^v(t, u) = (x_{e_v^v}^v(t, u), y_{e_v^v}^v(t, u), z_{e_v^v}^v(t, u))$ точок характеристики в рухомій системі координат, зв'язаній з v -ї шуканої поверхнею:

$$x_{e_v^v}^v(t, u) = x_{e_v}(t, u) \cdot \cos w_v t + y_{e_v}^v(t, u) \cdot \sin \alpha_v w_v t$$

$$y_{e_v^v}^v(t, u) = -x_{e_v}(t, u) \cdot \sin w_v t + y_{e_v}^v(t, u) \cdot \cos w_v t$$

$$z_{e_v^v}^v(t, u) = z_{e_v}^v(t, u)$$



← Останні формули v_1 розв'язують поставлену задачу:

Вони є координатами радіуса-вектора точок v –ї шуканої поверхні в системі координат, нерухомо зв'язаної з цією поверхнею.

Висновок. Комп'ютерна модель спряжених криволінійних поверхонь с точеним контактом дозволяє автоматизувати проектування багатозахідних чистових черв'ячних фрез зубчастих передач, а також підвищує точність та продуктивність розрахунково-графічних робіт.

Література: 1. Podkorutov A.N. The geometry modeling of conjugate curved surfaces excluding interference, scientific basic// Proceeding of the eighth international conference on engineering design graphics and descriptive geometry/ 1998, Austin, Texas, USA, Vol. 2, p. 446-449.

УДК 621.9.

ВЫБОР НАИВЫГОДНЕЙШИХ ПЕРИОДОВ СТОЙКОСТИ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ

Карпуть В.Е., докт. техн. наук, **Миненко Д.А.** (г. Харьков, Украина)

The questions of resistance optimum period definition are considered in view of stochastic character of dependence "cutting speed- resistance". In conditions resistance dispersion of optimum mode choices of cutting is necessary to carry out in view of a tool reliability, which is characterized by laws of resistance distribution, and of their replacement ways.

Производительность и эффективность обработки на многоцелевых станках во многом зависят от уровня назначенных режимов резания, в частности от скорости резания, которую следует выбирать с учетом структуры и особенностей технологической операции. Для оптимального выбора режимов резания могут применяться как технические, так и экономические критерии оптимальности. В качестве критерия оптимальности целесообразно использовать показатель интенсивность формообразования [1], иерархическая структура которого соответствует структуре технологической системы, что позволяет использовать его на всех этапах синтеза системы, увеличивая число учитываемых параметров при переходе к высшим иерархическим уровням проектирования. Применительно к обработке на многоцелевых станках рассматриваются уровни технологической, цикловой и нормативной интенсивности формообразования. Выбор оптимальной стойкости инструментов и скоростей резания, обеспечивающих максимальную производительность обработки, целесообразно осуществлять по максимальной величине нормативной интенсивности формообразования W_H пользуясь стойкостной зависимостью Тейлора, так как на многоцелевых станках выполняется высокоскоростная обработка, а в этой зоне скоростей резания стойкостная зависимость хорошо аппроксимируется прямой линией.

Существующие детерминированные алгоритмы расчетов периодов оптимальной стойкости режущего инструмента основываются на суждении, что при выполнении ряда условий стойкость будет иметь конкретное значение, определяемое стойкостной зависимостью. Однако в реальных условиях процессы резания являются по своей природе вероятностными, а стойкость имеет неодно-

значную зависимость от режимов резания. Таким образом, наряду с классическими детерминистическими зависимостями необходимо рассматривать закономерности более широкого характера – статистические или вероятностные, а для определения оптимальных режимов резания в условиях рассеивания стойкости необходима разработка вероятностной модели оптимизации, которая бы учитывала закон распределения стойкости инструментов.

Для нахождения оптимальных значений периодов стойкости инструментов нами предлагается использовать метод пошагового моделирования, заключающийся в последовательном моделировании каждого значения стойкости из области оптимальных решений. Такой подход дает возможность определить реальную стойкость инструментов, соответствующую заданным режимам резания и обеспечивающую максимальную интенсивность формообразования.

Экспериментальные кривые надежности режущих инструментов хорошо аппроксимируются распределением Вейбулла, которое может быть представлено в виде

$$F(T) = 1 - e^{-t \cdot \Gamma((1+1/b)/\bar{T})^b},$$

где \bar{T} – средняя стойкость комплекта режущих инструментов, полученная расчетным путем, мин; $\Gamma(1+1/b)$ – гамма-функция Эйлера; b – показатель степени, определяющий форму кривой распределения и характеризующий надежность инструментов. При $b=3$ вид зависимости для плотности вероятности $f(T)$ близка к нормальному закону распределения, при $b=2$ – к распределению Релея, а при

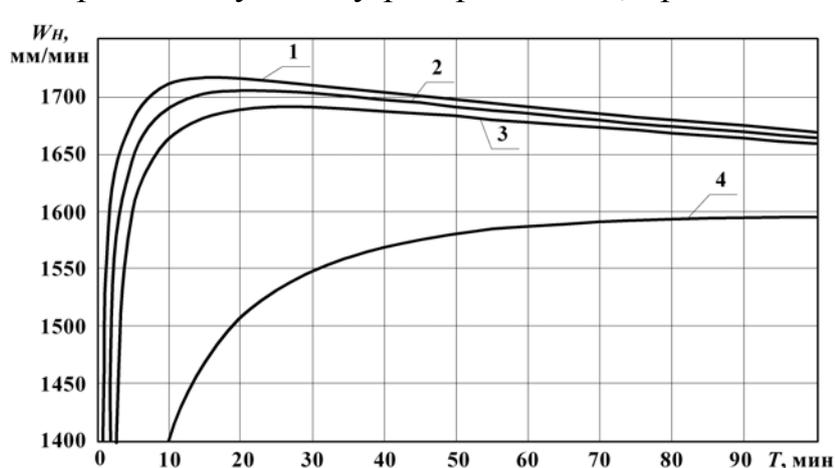


Рис. 1. Зависимость интенсивности формообразования от стойкости инструментов для различных законов распределения стойкости: 1 – без моделирования; 2 – $b=3$; 3 – $b=2$; 4 – $b=1$.

$b=1$ – к экспоненциальному закону. Проведенные аналитические расчеты показали, что геометрические параметры отверстий не влияют на положение экстремума функции $W_H=f(T)$, а зависят от числа инструментов в комплекте и времени смены инструментов, то есть можно оперировать понятием стойкость группы однотипных инструментов.

На рис. 1. показаны зависимости интенсивности формообразования от стойкости инструментов для различных законов распределения, рассчитанные по детерминированной зависимости и с использованием метода пошагового моделирования. Расчеты проводились для сверления отверстий диаметром 8 мм в заготовках из серого чугуна комплектом сверл ($N_K=20$) с материалом режущей части ВК8.

Проведенные расчеты показали, что значения интенсивности формообразования, полученные в результате детерминированных расчетов, будут не-

сколько завышены. Наибольшие значения интенсивности формообразования соответствуют нормальному закону распределения стойкости и наиболее близки значениям, полученным в результате детерминированных расчетов. При законе распределения Релея интенсивность формообразования снижается. Для экспоненциального закона характерны поломки инструментов, что приводит к более значительному снижению интенсивности формообразования.

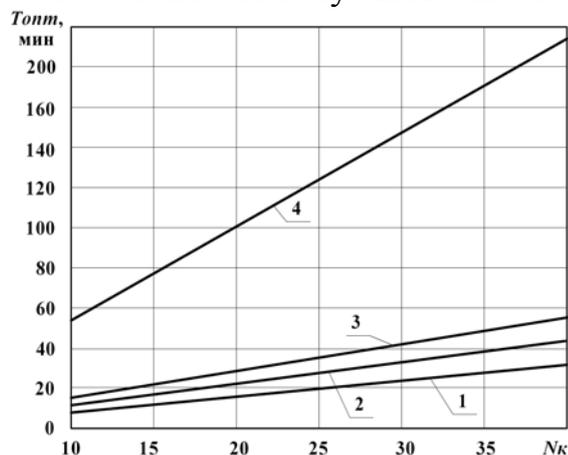


Рис. 2. Влияние числа инструментов в комплекте на период оптимальной стойкости: 1 – без моделирования; 2 – $b=3$; 3 – $b=2$; 4 – $b=1$.

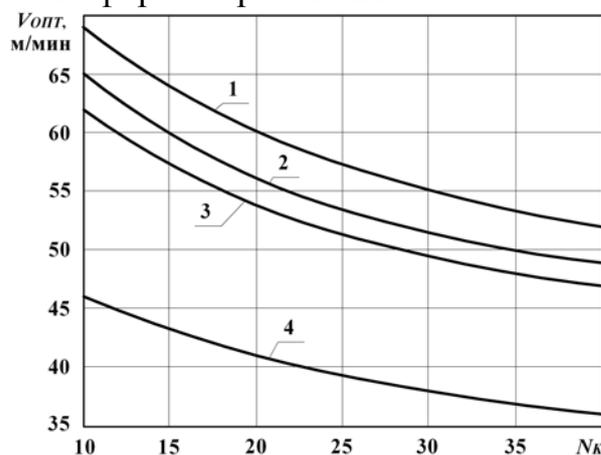


Рис. 3. Влияние числа инструментов в комплекте на оптимальную скорость резания: 1 – без моделирования; 2 – $b=3$; 3 – $b=2$; 4 – $b=1$.

На рис. 2 и рис. 3 соответственно показаны графики зависимости оптимальной стойкости инструментов и оптимальной скорости резания от числа инструментов в комплекте для различных значений параметра b .

Как видно из графиков режущие инструменты, обладающие низкой надежностью, требуют для достижения максимальной интенсивности формообразования увеличения периода стойкости и снижения скорости резания. Это характерно для инструментов с экспоненциальным законом распределения, при котором оптимальная стойкость для комплекта инструментов состоящих из 20 сверл, составляет $T_{opt}=105$ мин, а скорость резания $V_{opt}=41$ м/мин. С увеличением надежности режущего инструмента оптимальная стойкость, обеспечивающая максимальную интенсивность формообразования, снижается, а скорость резания увеличивается, обеспечивая увеличение интенсивности формообразования. Так, для закона Релея $T_{opt}=27$ мин, $V_{opt}=54$ м/мин. Вместе с тем снижаются затраты времени на замену инструментов, что также приводит к росту интенсивности формообразования. Наиболее высокое значение скорости резания получается при нормальном законе распределения $V_{opt}=57$ м/мин, стойкость $T_{opt}=22$ мин. При нормальном законе распределения влияние надежности инструментов на оптимальную стойкость, скорость резания и интенсивность формообразования становится наименьшим. Это связано с тем, что инструменты, стойкость которых подчиняется нормальному закону распределения, имеют высокую надежность и заменяются планово с минимальными затратами времени.

Таким образом, рассеивание стойкости инструментов оказывает существенное влияние на выбор оптимальных режимов резания. Для достижения высокой интенсивности формообразования необходимо создание таких усло-

вий, которые обеспечивали бы минимальное рассеивание стойкости по закону близкому к нормальному закону распределения. Пользуясь предложенной методикой расчетов оптимального периода стойкости инструментов, возможно производить расчеты учитывая надежность режущих инструментов, что позволяет существенно повысить производительность и экономическую эффективность работы металлорежущего оборудования.

Литература: 1. В. Е. Карпусь, Д. А. Миненко, А. А. Фуников. Выбор режимов максимальной производительности обработки на многоцелевых станках. // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006, – №18, с. 100 – 107.

УДК 621.923

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШЛИФОВАНИЯ КРУГАМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ ПО СВЧ-ТЕХНОЛОГИИ

Михайлин С. М., канд. техн. наук, **Худобин Л. В.**, докт. техн. наук, **Веткасов Н.И.**, докт. техн. наук (г. Ульяновск, Россия)

There given investigation results of service capability of grinding wheels on bakelite bond 1 – 150×25×32 semifinishing items of which were thermoworked on MICROWAVE - TECHNOLOGY. Inverstigations were carried out within the framework of design complete according to statecontract together with Fund of assistance for small enterprises busy in scientific technological sphape.

Одной из наиболее актуальных проблем в современной металлообработке является повышение работоспособности и снижение стоимости абразивных инструментов. Перспективным направлением решения этой задачи, в частности, является сокращение длительности цикла термообработки шлифовальных кругов на бакелитовой связке за счёт применения нагрева под воздействием микроволнового сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения. Резкое сокращение длительности операции термообработки и повышение качества шлифовальных кругов обеспечивается в этом случае за счет более равномерного нагрева связки по объему шлифовального круга по сравнению с традиционной технологией термообработки в конвективных бакелизаторах, что обусловлено высоким уровнем диэлектрических потерь полимерной бакелитовой связки [1].

Термическую обработку полуфабрикатов шлифовальных кругов 1 – 150×25×3213А 80-Н (СТЗ-Т1) (4-5)Б (табл. 1) проводили в опытно-промышленной установке при частоте СВЧ излучения 2450 МГц. Термообработку полуфабрикатов кругов первой партии (круг № 1) проводили при максимальной температуре нагрева $T_{max} = 180...190$ °С и общей длительности технологического цикла термообработки $\tau_y = 250$ мин, а полуфабрикаты кругов второй партии (круг № 4) при максимальной температуре $T_{max} = 210...230$ °С и $\tau_y = 280$ мин. Длительность цикла термообработки в конвективных бакелизаторах составляет 22 ... 24 ч.

Готовые шлифовальные круги имели цвет от светло-коричневого до коричневого, что свидетельствует о нормальной степени их бакелизации, более точно о степени бакелизации судили по результатам измерения твердости на

Таблица 1
Номенклатура шлифовальных кругов 1 – 150×25×3213А 80-Н (СТЗ-Т1)(4-5)Б

№ круга	Термообработка полуфабрикатов
1	СВЧ
2	Конвективная
3	Конвективная
4	СВЧ

приборе "Звук". Не выявлены трещины, сколы и пузыри на поверхности термообработанных кругов. Геометрическая форма и размеры изготовленных кругов соответствовали требованиям ГОСТ 2424.

Вращение изготовленных кругов на стенде "СИП – 800" в течение 3 ... 5 мин с окружной скоростью в 1,5 раза превышающей рабочую, подтвердило, что круги обладают необходимой механической прочностью.

Сравнительные испытания работоспособности шлифовальных кругов, изготовленных по СВЧ-технологии, проводили на

плоскошлифовальном станке мод. 3Д710. Шлифовали плоские заготовки с размерами обрабатываемой поверхности 15×45 мм и высотой 15 мм из стали 45, *HRC* 40...45 и ШХ15, *HRC* 58...62.. Шлифование образцов проводили по режиму: $V_k = 35$ м/с, $V_c = 15$ м/мин, $S_{вр} = 0,01$ мм/х, $z_n = 0,4$ мм. Шлифовальные круги правили методом обтачивания алмазным карандашом 3908-0083 С2 (ГОСТ 607-80) по режиму: 3 прохода с подачей 0,03 мм/дв.х, 3 прохода без подачи, скорость продольной подачи алмазного карандаша – $0,2 \pm 0,05$ м/мин. В качестве СОЖ использовали 0,1 % - ный водный раствор кальцинированной соды, подаваемой в зону шлифования поливом с расходом 8 дм³/мин. За базу для сравнения принимали результаты шлифования стандартными кругами такого же типоразмера, изготовленными ОАО "Димитровградхиммаш" по конвективной технологии.

Для оценки работоспособности шлифовальных кругов использовали следующие критерии: коэффициент шлифования по объёму $K_{ш}$; среднее арифметическое отклонение профиля шлифованной поверхности Ra , мкм; коэффициент резания K_p , равный отношению сил P_z и P_y . Основным показателем работоспособности шлифовальных кругов, регламентируемым ГОСТ 2424, является коэффициент шлифования $K_{ш}$. Установлено, что шлифовальный круг № 4, полуфабрикат которого был термообработан по СВЧ-технологии при максимальной температуре $T_{max} = 210$ °С, не уступает по этому показателю кругам № 2 и № 3, полуфабрикаты которых были термообработаны по конвективной технологии (рис. 1). Шлифовальный круг № 1, полуфабрикат которого также термообработан по СВЧ-технологии, по этому показателю ($K_{ш}$) уступает как кругу № 4, так и кругам № 2 и № 3. Следовательно, СВЧ-термообработка при максимальной температуре, не превышающей 190 °С, и длительности технологического цикла 250 минут не обеспечивает достаточную прочность удержания абразивных зерен бакелитовой связкой. Подтверждением этому является более интенсивный объемный износ круга № 1 по сравнению с кругом № 4.

Сравнительная оценка шероховатости (Ra) поверхностей деталей, шлифованных кругами, полуфабрикаты которых изготовлены термообработкой по конвективной технологии (круги № 2 и 3) и по СВЧ-технологии (круги № 1 и 4)

(рис. 2), показала, что шероховатость поверхностей заготовок, шлифованных кругами № 1 и 4, практически не отличается от шероховатости поверхности заготовок, шлифованных кругами № 2 и 3.

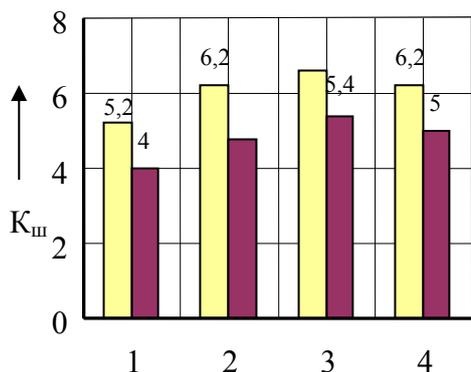


Рис. 1. Коэффициент шлифования $K_{ш}$ при плоском шлифовании периферией круга: 1 – 4 – номера шлифовальных кругов; 1, 4 – СВЧ- технология, 2, 3 – конвективная технология; $V_k = 35$ м/с, $V_c = 15$ м/мин, $S_{вп} = 0,01$ мм/х, $z_n = 0,4$ мм; СОЖ – 0,1 % - ный водный раствор кальцинированной соды, расход – 8 дм³/мин; материал образца: ■ – сталь 45, ■ – сталь 3Х15

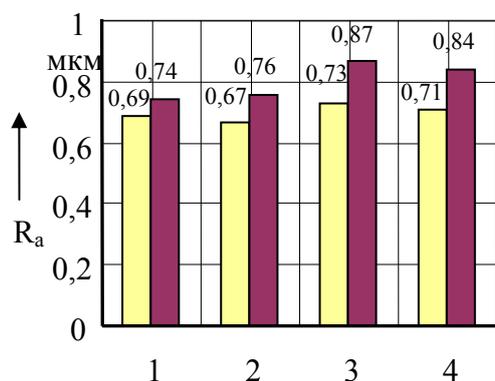


Рис. 2. Среднее арифметическое отклонение профиля R_a шлифованных поверхностей: условия в надписи к рис. 1

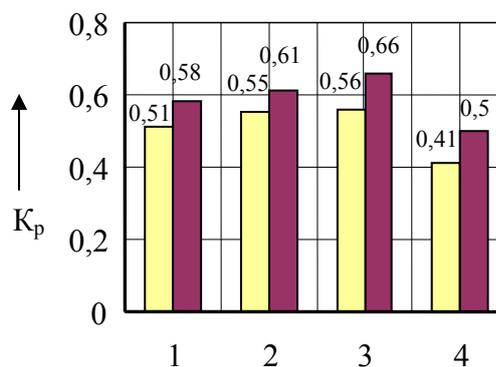


Рис. 3. Коэффициент K_p при плоском шлифовании периферией круга: условия эксперимента смотри в надписи к рис. 3

Наиболее стабильным силовым показателем процесса шлифования является коэффициент резания K_p , который часто используют для оценки режущей способности шлифовальных кругов. С уменьшением значения этого коэффициента повышается доля затрат энергии на разрушение материала обрабатываемой заготовки и соответственно снижаются затраты энергии на трение и в целом на работу разрушения [2]. Установлено, что при шлифовании кругом № 4, изготовленным по СВЧ-технологии, значение K_p на 20...25 % меньше по сравнению с K_p кругов № 2 и 3, изготовленных по конвективной технологии. Значение K_p круга № 1 практически не отличается от значения K_p кругов № 2 и 3.

Таким образом, шлифовальные круги 1 – 150×25×32 13А 80Н(СТЗ-Т1)5Б, изготовленные по СВЧ-технологии при максимальной температуре 210...220 °С и длительности технологического цикла термообработки 270 минут, не уступают по работоспособности кругам, изготовленным по традиционной конвективной технологии. При этом обеспечивается существенное снижение длительности технологического цикла термообработки и энергетических затрат на их изготовление.

Литература: 1. Михайлин, С. М. Работоспособность шлифовальных кругов на бакелитовой связке, изготовленных по СВЧ-технологии / С.М. Михайлин, Н.И. Веткасов, С.В. Жданов. – Вестник УлГТУ, 2005. – № 2 – С. 33 – 35. 2. Якимов, А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.

УДК 621.833.002

КОНСТРУКЦИИ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫХ ЗУБОРЕЗНЫХ РЕЗЦОВ

Ямников А.С., док. техн. наук, Маликов А.А., канд. техн. наук,

Золотухина О.Л., канд. техн. наук (г. Тула, Россия)

Questions of definition of optimum geometrical parameters of the interchangeable cutters used in chisel port end for cutting tooth of cylindrical cogwheels on a method z-fold burnishing are considered. Designs of interchangeable cutters with hard-alloy plates and with mechanical fastening cutting plates are resulted. The unified geometry of interchangeable cutters allows to use widely them in various kinds chisel port end.

Непрерывное совершенствование процессов зубонарезания цилиндрических колес с целью повышения их эффективности осуществлялось по различным направлениям. Одно из них было реализовано в научно-технических разработках кафедры «Технология машиностроения» ТулГУ. Это направление предусматривало создание нового вида зуборезного инструмента – резцовых головок большого диаметра ($D > 200\text{мм}$), оснащенных взаимозаменяемыми твердосплавными резцами. Возможность эффективного использования в качестве инструментального материала твердых сплавов реализуется сущностью самого процесса зубонарезания, осуществляемого по методу z-кратного обката заготовки вдоль оси вращающейся резцовой головки. При этом главное движение резания – вращение инструмента – кинематически не связано с движениями формообразования зубчатых поверхностей – обкатом заготовки. Такая специфика кинематики процесса зубонарезания позволила полностью реализовать режущие свойства твердосплавного инструмента при высоких режимах обработки – $V_{рез}$ до 540 м/мин. Ни один из известных в настоящее время процессов зубонарезания не обладает возможностью осуществлять зубообработку зубчатых колес при таких режимах резания.

Процесс зубонарезания цилиндрических колес дисковыми резцовыми головками с твердосплавными взаимозаменяемыми резцами был апробирован в производственных условиях на модернизированных горизонтально-фрезерных станках с использованием специального обкатно-делительного устройства.

Одним из важных факторов успешной реализации этого процесса зубонарезания является правильно выбранная геометрия инструмента и, в частности, взаимозаменяемых резцов.

Специфическая особенность таких резцов заключается в том, что они обеспечивают после переточки режущей части восстановление такого геометрического параметра как длина резца в первоначальном виде. Это достигается за счет регулируемой сферической опоры резца при его контроле в специальном индикаторном приспособлении. Одна из первых конструкций взаимозаменяемого резца, которую можно считать как типовую, показана на рис. 1. Она состоит из державки квадратного поперечного сечения, выполненной из конструкционной стали, с напаянной твердосплавной пластинкой, и винтовой стандартной опоры со сферической головкой.

Выбор длины резца непосредственно связан с конструкцией резцовой головки. Поскольку впервые процесс зубонарезания резцовыми головками по ме-

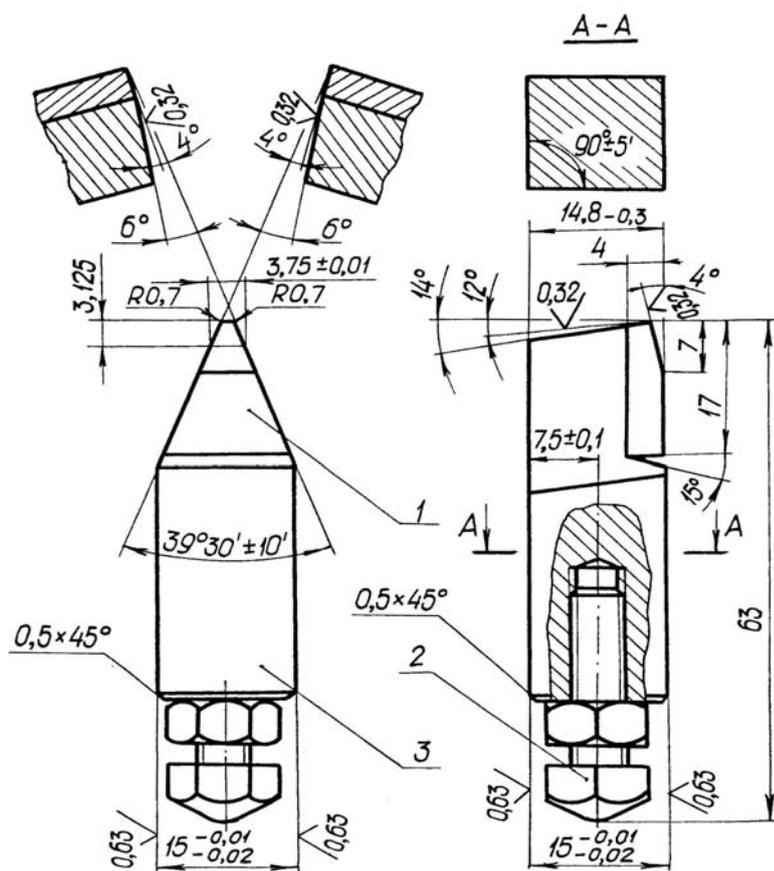


Рис. 1. Конструкция взаимозаменяемого резца с напайной пластиной.

тоду z-кратного обката был реализован на модернизированном горизонтально-фрезерном станке ТГ-2 (а в дальнейшем на станке 6М82), на шпинделе которого устанавливалась специальная консольная оправка с посадочной шейкой для инструмента, то и диаметральный размер дисковой резцовой головки назначался минимально-необходимым (в пределах 220 мм) с учетом вогнутости зубьев нарезаемых цилиндрических колес мотороллера.

В последующих конструкциях резцовых головок делались попытки изменить, в сторону уменьшения, габаритные размеры взаимозаменяемых резцов, но опыт их эксплуатации в производственных условиях подтвер-

дил правильность первоначального выбора геометрических параметров как резцовых головок, так и самих резцов. Поэтому дальнейшее совершенствование взаимозаменяемых резцов осуществлялось, в основном, в направлении создания конструкций с механическим креплением режущих пластин, позволяющих увеличить число переточек почти вдвое, что способствовало снижению себестоимости эксплуатации резцовых головок.

В результате создания типовой конструкции резца можно констатировать, что выбор угла профиля режущей части резцов стандартным - $\alpha=20^\circ$ позволил обеспечить определенную универсальность нового вида инструмента – резцовых головок большого диаметра при нарезании цилиндрических колес одного модуля, но с разным числом зубьев. Другим преимуществом стандартного угла профиля является увеличение прочности резцов, особенно с механическим креплением режущей пластины.

Из числа первых конструкций новых резцов с механическим креплением режущей пластины следует рассмотреть конструкцию, представленную на рис.2, в которой геометрические параметры остались неизменными по сравнению с типовой конструкцией (рис.1). При стандартном угле профиля $\alpha=20^\circ$ имеем:

значения переднего угла на вершинном лезвии в статическом положении $\gamma_s=-4^\circ$; в рабочем положении при установке в резцовой головке $\gamma_p=-7^\circ43'$;

значения заднего угла на вершинном лезвии в статическом положении $\alpha_c = 12^\circ$; в рабочем положении в резцовой головке $\alpha_p = 15^\circ 43'$.

Пересчет этих углов на боковых режущих лезвиях показал следующие их значения:

передний угол в статическом положении $\gamma_c = -1^\circ 21'$;

в рабочем положении в резцовой головке $\gamma_p = 2^\circ 34'$;

задний угол в статическом положении $\alpha_c = 4^\circ 6'$;

в рабочем положении в резцовой головке $\alpha_p = 5^\circ 16'$.

При данных значениях указанных углов одним комплектом резцов с напайными твердосплавными пластинами из Т15К6 нарезалось до переточки, примерно, 120–140 колес. Конструкция таких резцов обеспечивала 10–12 переточек.

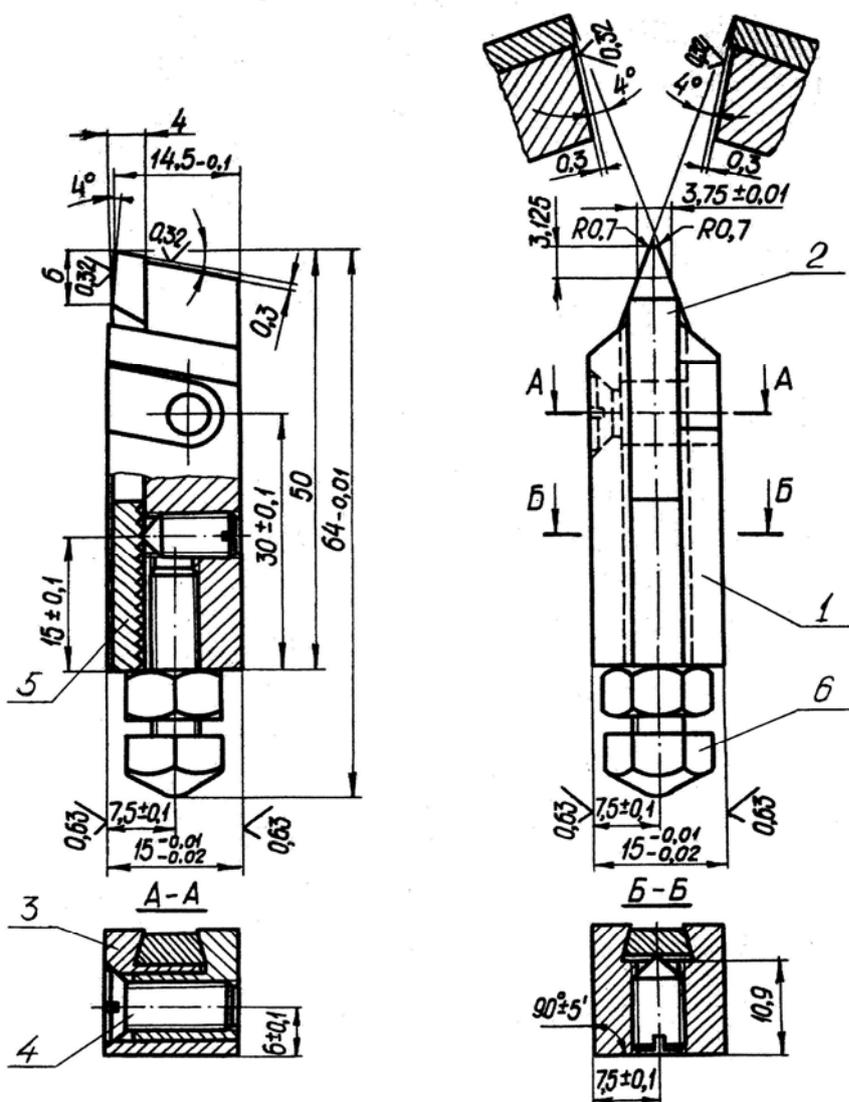


Рис. 2. Конструкция взаимозаменяемого резца с механическим креплением режущей пластины.

Следует отметить, что в конструкциях взаимозаменяемых резцов с напайными режущими пластинами при переточках одновременно обрабатываются как твердосплавные пластины, так и сама державка, что вызывает необходимость предварительной и окончательной обработки. В конструкциях резцов с

механическим креплением режущих пластин обрабатываются только твердосплавные пластины алмазным кругом. Поэтому время переточки этих резцов значительно сокращается, а количество переточек увеличивается до 20 и более.

Однако эффективность перехода к конструкциям взаимозаменяемых резцов с механическим креплением режущих пластин в основном зависит от надежности их закрепления в державке и возможности мерного выдвигания пластин для переточки. В представленной конструкции взаимозаменяемого резца (рис.2) использовано боковое крепление режущей пластины. Конструкция состоит из державки 1, в продольном пазу которой закрепляется твердосплавная пластина 2 с помощью Г-образного прихвата 3 и винта 4. Паз типа «ласточкин хвост» обеспечивает хороший контакт базовых поверхностей режущей пластины и державки резца. Вылет твердосплавной режущей пластины фиксируется сухарем 5 с помощью винта 6 с конической опорной поверхностью.

Рассмотренная рациональная геометрия взаимозаменяемых резцов для зубообработки цилиндрических колес независимо от конструктивного оформления крепления режущих пластин в державке позволяет расширить диапазон их применения в различных резцовых головках. К их числу можно отнести дисковые резцовые головки с твердосплавными взаимозаменяемыми резцами для скоростного зубонарезания цилиндрических колес; резцовые головки с быстрорежущими взаимозаменяемыми резцами для обкатывающего зубопротягивания цилиндрических колес; дельтовидные резцовые головки с взаимозаменяемыми резцами для нарезания цилиндрических колес с бочкообразными зубьями.

Это подтверждает целесообразность использования взаимозаменяемых резцов с унифицированными геометрическими параметрами при создании перспективных конструкций нового вида зуборезного инструмента – резцовых головок для зубонарезания цилиндрических колес методом обкатывания.

Литература: 1. Коганов И. А., Федоров Ю. Н., Валиков Е.Н. Прогрессивные методы изготовления цилиндрических зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1981. – 136 с.

УДК 621.833.002

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Маликов А.А., канд. техн. наук (г. Тула, Россия)

In clause substantive provisions of transition to new effective manufacturing techniques of cylindrical cogwheels from progressive preparations with made out teeth are stated. A basis such economic technology is perspective process gear cutting cylindrical wheels biserial the thread port end with a zero corner of the structure, correcting which ability provides required accuracy of the gear wreath formed at a stage of reception of preparation at unitary processing.

Анализ различных технологических схем изготовления цилиндрических зубчатых колес малого модуля ($m = 2...5$ мм) показал, что наибольшее распространение в машиностроительном производстве получила традиционная технология с использованием таких процессов зубонарезания как фрезерование червячными фрезами и долбление дисковыми долбяками.

При этом формообразование зубчатых венцов осуществляется за две операции: предварительного зубонарезания и отделочно-чистовой обработки зубьев колеса [1]. На этапе предварительного вырезания впадин зубчатого колеса обеспечивается необходимая точность для успешного осуществления процесса отделочно-чистовой зубообработки, для которой в основном, используется традиционный процесс шевингования дисковыми шеверами. В зарубежной практике иногда применяется процесс поверхностного пластического деформирования зубьев инструментом, выполненным в виде эталонных зубчатых колес с высокой твердостью зубчатых поверхностей. Низкая исправляющая способность этих процессов, особенно процесса пластического деформирования обкатниками, требует, соответственно, более высокой точности предварительного зубонарезания. Именно это обстоятельство является основным препятствием для перехода к новой технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес из заготовок с предварительно оформленным зубчатым венцом.

Попытки внедрения в производство цилиндрических зубчатых колес прогрессивных заготовок с оформленными зубьями, как правило, были неудачными, так как структурно-технологическая схема зубообработки при этом оставалась прежней, количество операций зубообработки не сокращалось, а экономия металла не покрывала дополнительных затрат на изготовление точных заготовок с оформленным зубчатым венцом.

Из этого следует, что необходим переход к новой структурно-технологической схеме зубообработки, по которой предварительное формообразование зубчатого венца осуществляется на стадии получения заготовки, а процесс однократной отделочно-чистовой зубообработки обеспечивает требуемую точность зубьев за счет высокой исправляющей способности в пределах 4...5 степеней точности по ГОСТ 1643-81.

Реализовать такую технологическую схему зубообработки можно лишь при условии создания принципиально нового процесса чистовой обработки, обеспечивающего высокую производительность и стабильную точность обработки зубчатых венцов, полученных высокопроизводительными процессами объемного формообразования: литьем, штамповкой, порошковой металлургией, независимо от степени точности предварительно оформленного зубчатого венца заготовки.

Оценивая потенциальные технологические возможности традиционно применяемых и новых способов зубообработки, предпочтение следует отдать процессам зубонарезания цилиндрических зубчатых венцов резцовыми головками большого диаметра дискового или червячного типа. В отношении производительности преимущество имеют инструменты червячного типа, а по точности процесса зубообработки предпочтение следует отдать резцовым головкам дискового типа.

Резцовые головки дискового типа могут быть использованы для зубонарезания цилиндрических колес на специализированных станках или на модернизированных серийных фрезерных станках, оснащенных обкатно-делительным устройством с эталонной реечно-зубчатой парой для кинематического согласования движений формообразования при обкатывании заготовки

вдоль оси вращающейся резцовой головки. Таким образом, точность процесса зубообработки в этом случае определяется, в основном, точностью изготовления двухзвенного реечно-зубчатого механизма обката, обеспечивающего точное Z -кратное деление обрабатываемой заготовки

Преимуществом дисковых резцовых головок является технологичность конструкции, обеспечивающая простоту изготовления инструмента и удобство его эксплуатации в производственных условиях. Поэтому, в случае перехода к новой технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес, когда критерием оценки технологических возможностей процесса зубонарезания является его исправляющая способность, очевидна целесообразность выбора дисковых резцовых головок.

Для того, чтобы использовать дисковые резцовые головки в новой технологической схеме изготовления цилиндрических зубчатых колес необходимо устранить возможность образования вогнутости боковых поверхностей зубьев колеса. Для этого был разработан новый вариант резцовых головок дискового типа. Анализ известной формулы для определения величины стрелки f вогнутости боковых поверхностей зубьев

$$f = \frac{b^2 \cdot \sin \alpha}{4D_0}$$

показал, что единственной возможностью полного устранения вогнутости боковых зубчатых поверхностей при обработке дисковыми резцовыми головками является переход к инструменту с нулевым углом профиля $\alpha = 0^\circ$, поскольку увеличение диаметра D_0 резцовых головок должного эффекта не дает, а ширина зубчатого венца b остается неизменной.

При этом конструктивное оформление инструмента в виде двухрядных резцовых головок позволило обеспечить жесткость инструмента и прочность режущей части взаимозаменяемых резцов головки. Возможность же достижения высокой производительности обеспечивается за счет большого числа резцов и высокой скорости резания. Отсюда следует необходимость использования инструмента большого диаметра и оснащения инструментальным материалом, который позволяет производить обработку зубьев колеса на высоких скоростях резания.

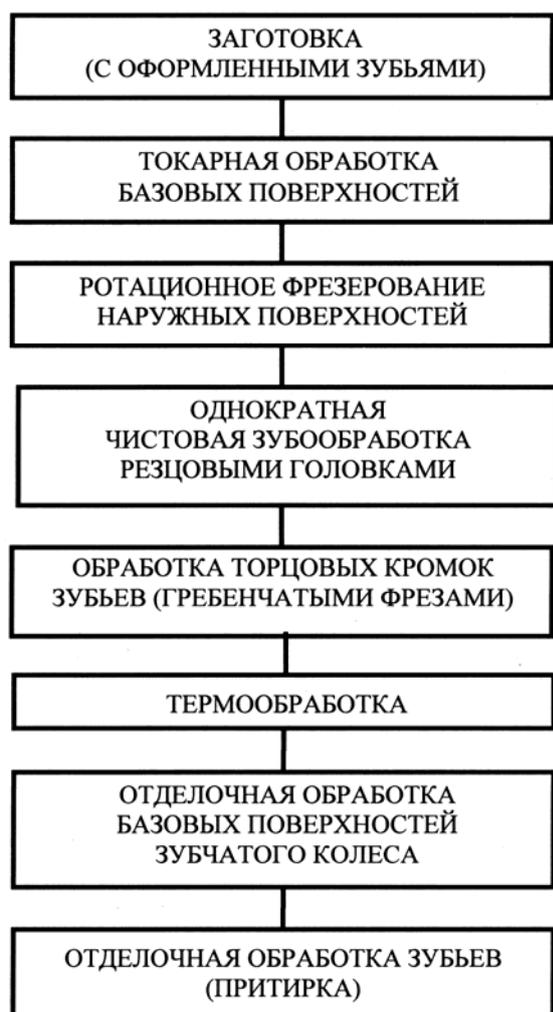


Рис. 1. Новая технологическая схема обработки цилиндрических зубчатых колес.

Повышение точности обработки зубчатых заготовок обеспечивается непосредственным получением одного из наиболее важных параметров нарезаемого зубчатого венца - размера длины общей нормали. Для этого в зуборезном инструменте в качестве основного конструктивного параметра необходимо иметь рабочий регулируемый размер, соответствующий длине общей нормали обрабатываемого зубчатого колеса.

Изложенным требованиям наиболее полно удовлетворяет процесс чистовой зубообработки двухрядными дисковыми резцовыми головками.

Другой важной задачей, возникающей при создании новой технологической схемы изготовления цилиндрических зубчатых колес из прогрессивных заготовок с оформленными зубьями, является обработка прерывистых наружных поверхностей зубчатого венца заготовки. При токарной обработке таких поверхностей возникают циклические ударные нагрузки переменной величины, что приводит к интенсивному износу режущей кромки резца и возможности его поломки.

В связи с этим целесообразно рассмотреть возможности других процессов и из них выбрать такие, которые могли бы обеспечить необходимую жесткость и виброустойчивость при обработке указанных прерывистых поверхностей. Достаточно высокую жесткость и виброустойчивость технологической системы обеспечивают фрезерные станки, поэтому одним из возможных вариантов обработки является ротационное фрезерование. Этот вид обработки позволяет использовать прогрессивные конструкции режущего инструмента, оснащенного современными инструментальными материалами, что обуславливает высокую производительность и требуемое качество обрабатываемых поверхностей зубчатых заготовок.

Переход от традиционной токарной обработки к процессу ротационного фрезерования наружных поверхностей заготовок с предварительно оформленным зубчатым венцом позволяет успешно решить важную задачу в комплексе мероприятий по реализации новой технологической схемы изготовления цилиндрических зубчатых колес, представленной на рис. 1.

В итоге изложенные соображения о перспективном направлении дальнейшего совершенствования производства цилиндрических зубчатых колес позволяет сформулировать следующие основные положения по созданию новой прогрессивной технологии изготовления из исходных заготовок с оформленными зубьями [2]:

- для эффективной обработки таких заготовок необходимо сокращение длительности производственного цикла изготовления зубчатого колеса путем исключения операции предварительного зубонарезания;
- сокращение указанного цикла должно учитываться за счет создания процесса зубообработки, позволяющего производить однократную чистовую обработку впадин зубчатой заготовки в пределах заданных норм точности при соответствующем качестве зубчатых поверхностей колеса;
- используемый в новой технологии способ чистовой зубообработки должен быть высокопроизводительным и обладать высокой исправляющей способностью в пределах 4...5 степеней точности ГОСТ 1643-81;

- для стабилизации точности процесса чистовой зубообработки необходимо предусматривать возможность периодического или непрерывного регулирования соответствующих рабочих параметров инструмента;
- обработка прерывистых наружных поверхностей зубчатого венца заготовки должна осуществляться способом, обеспечивающим необходимую жесткость и виброустойчивость технологической системы, например, ротационным фрезерованием;
- все процессы формообразования поверхностей зубчатого колеса должны способствовать эффективной автоматизации технологических операций на основе внедрения современной техники с широким применением промышленных роботов и манипуляторов.

Изложенные принципы построения новой высокопроизводительной малоотходной технологии изготовления цилиндрических зубчатых колес обуславливают необходимость сочетания наиболее эффективных процессов обработки различных поверхностей и прогрессивных заготовок с предварительно оформленными зубьями.

Именно к числу таких перспективных процессов относятся способы чистовой зубообработки резцовыми головками большого диаметра, ротационного фрезерования наружных поверхностей зубчатого венца и обработка торцовых кромок зубьев гребенчатыми фрезами.

Литература: 1. Ямников А.С., Федоров Ю.Н., Артамонов В.Д. Анализ технологических схем изготовления цилиндрических зубчатых колес. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения / Международный сборник научных трудов / Донецк: ДонГТУ, Вып. 14, 2000. – С. 134-138. 2. Ямников А.С., Федоров Ю.Н., Артамонов В.Д. Прогрессивная технология изготовления цилиндрических зубчатых колес. //Технология машиностроения № 3 / Москва, издательский центр Технология машиностроения, 2000. – С. 11 - 13.

УДК 621.833.002

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ЗУБОНАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС РЕЗЦОВЫМИ ГОЛОВКАМИ

Артамонов В.Д., канд. техн. наук (г. Тула, Россия)

The basic directions of increase of efficiency of processes tooth processings of cylindrical wheels cutter port end are determined. The choice of criterion and a principle of management in parameters of processes tooth processings is proved. Are analysed from the point of view of opportunities of management processes tooth processings of cylindrical wheels cutter port end various type. The example of alignment on thickness sheared layers is resulted. Problems of the further researches in this direction are formulated.

Предварительный анализ возможностей управления процессами зубообработки цилиндрических зубчатых колес резцовыми головками большого диаметра с целью повышения их эффективности приведен в статье [1]. Этот анализ позволил выявить основные направления совершенствования способов зубонарезания резцовыми головками, связанные с повышением производительности операции зубонарезания, обеспечением высокой точности получаемых колес и

улучшением качественных показателей работы зубчатых передач.

Было показано, что наряду с традиционными путями повышения эффективности зубообработки (повышение скорости резания, величины подачи, сокращение пути резания, повышение жесткости технологической системы и точности режущего инструмента и др.), в последнее время все более актуальным становится управление параметрами процессов обработки и получаемых изделий. Это направление согласуется с общей тенденцией в механообработке, связанной с применением станков с ЧПУ, оснащаемых адаптивными системами управления процессом обработки, системами автоматического обеспечения точности обработки и т. д.

Причем, если управление процессом формообразования относительно простых поверхностей на токарных или фрезерных станках с ЧПУ проработано достаточно хорошо и не вызывает серьезных затруднений, то проблема оптимального управления такими сложными процессами, как формообразование эвольвентных профилей методом обката, требует детального исследования. Первыми задачами, которые необходимо решить в этом направлении, являются:

- определение критериев оптимизации;
- выбор принципа управления.

Что касается выбора критериев оптимизации, то, помимо общепринятого экономического (минимальной себестоимости), для конкретных производственных условий могут быть использованы и другие, например, повышение производительности или достижение высокой точности обработки. Очевидно, повышение производительности обработки более существенно для процессов предварительного зубонарезания, а обеспечение высокой точности и качества рабочих поверхностей зубьев важнее для процессов чистовой зубообработки.

При выборе принципа управления следует учитывать, что из-за сложности процесса формообразования эвольвентных зубьев методом обката и отсутствия полноценных зубообрабатывающих станков с ЧПУ часто не удается использовать современные адаптивные системы управления процессом обработки. В этих случаях целесообразно применять способ управления параметрами процесса зубонарезания, заключающийся в предварительном выявлении оптимальных законов протекания процесса зубообработки и реализации этих законов путем соответствующей модернизации конструкций станков и инструментов.

Проанализируем с этой точки зрения процессы зубообработки цилиндрических колес резцовыми головками большого диаметра, которые были разработаны на кафедре технологии машиностроения Тульского государственного университета.

Попытка оптимизации процесса зубонарезания дисковыми твердосплавными резцовыми головками описана в книге [2] и в ряде диссертаций. Следует заметить, что характерной особенностью всех процессов зубообработки по методу обката является неравномерность параметров схемы резания. Поэтому оптимизация осуществлялась за счет выравнивания толщин и площадей срезаемых слоев металла, что обеспечивало стабилизацию усилий резания и повышение производительности зубонарезания. Это достигалось за счет задания неравномерной подачи обката от цилиндрического кулачка специального профиля.

Теоретически данный способ дает значительное повышение производительности, однако из-за кинематических ограничений кулачкового механизма обката и в основном из-за недостаточного быстродействия обкатно-делительного механизма реализовать эту возможность в полной мере не удалось.

Гораздо более широкие возможности для управления параметрами схемы резания и обрабатываемых колес открываются при переходе к процессам обкатывающего последовательного зубопротягивания, которые характеризуются наличием частичной связи между вращением инструмента и движением обката. При обкатывающем зубопротягивании за один оборот резцовой головки профилируется одна впадина зубчатого венца заготовки. Теоретически здесь речь может идти о реализации любой заранее заданной схемы резания. Но практически имеется ряд ограничений, связанных со скоростью осуществления деления заготовки на зуб и с некоторым усложнением конструкции инструмента. Быстродействие обкатно-делительного механизма новой конструкции обеспечивается благодаря совмещению по времени движений деления и вспомогательных ходов.

Для управления схемой резания необходимо, в первую очередь, осуществить выбор параметра, по которому будет осуществляться выравнивание. В качестве такого параметра могут быть приняты толщина или площадь срезаемых слоев. При этом следует учитывать, что классическая схема вырезания впадины при зубообработке по методу обката характеризуется неравномерностью параметров срезаемых слоев.

Схема вырезания впадины цилиндрического колеса при зубонарезании по методу обката может быть построена различными способами: графическим, аналитическим, графоаналитическим.

Важным параметром схемы резания является толщина срезаемого слоя, поскольку она ограничивается прочностью режущих лезвий. Исходя из максимально допустимой толщины срезаемого слоя назначается технологическая подача обката. Для расчета толщин срезаемых слоев аналитическим способом можно воспользоваться известной приближенной зависимостью

$$d\dot{a}_i = r_{w1} \cdot \varphi_i \cdot d\varphi,$$

где r_{w1} - радиус начальной окружности обрабатываемого колеса; φ - текущий угол обката; $d\varphi$ - изменение угла обката между двумя смежными резами.

Развитие компьютерной техники в последние годы привело к появлению программных продуктов, таких как AutoCAD, Solid Works, Inventor и др., с помощью которых можно с высокой точностью построить схему вырезания впадины зубчатого колеса и определить параметры срезаемых слоев. Для построения самой схемы используется принцип графической обкатки.

Схема формообразования впадины зубчатого колеса, полученная графоаналитическим методом в среде AutoCAD, представлена на рис. 1. В качестве объекта для исследования принят процесс зубообработки цилиндрического зубчатого колеса с модулем $m = 2,5$ мм, числом зубьев $z = 18$ и шириной зубчатого венца $b = 12$ мм дисковой резцовой головкой, оснащенной 30-ю резцами, методом обкатывающего зубопротягивания. Следовательно, число резов будет соответствовать числу режущих лезвий инструмента – 30. Стадии заглабления

и выхода зуба производящей рейки из впадины обрабатываемого зубчатого колеса показаны отдельно. Из полученной схемы формообразования видно, что при равномерном движении обката ($V_{S_{обк}} = const$, а, следовательно, и $d\varphi = const$)резы распределяются неравномерно по стадиям. На стадию заглубления приходится 20 резов, а на стадию выхода – 10 резов.

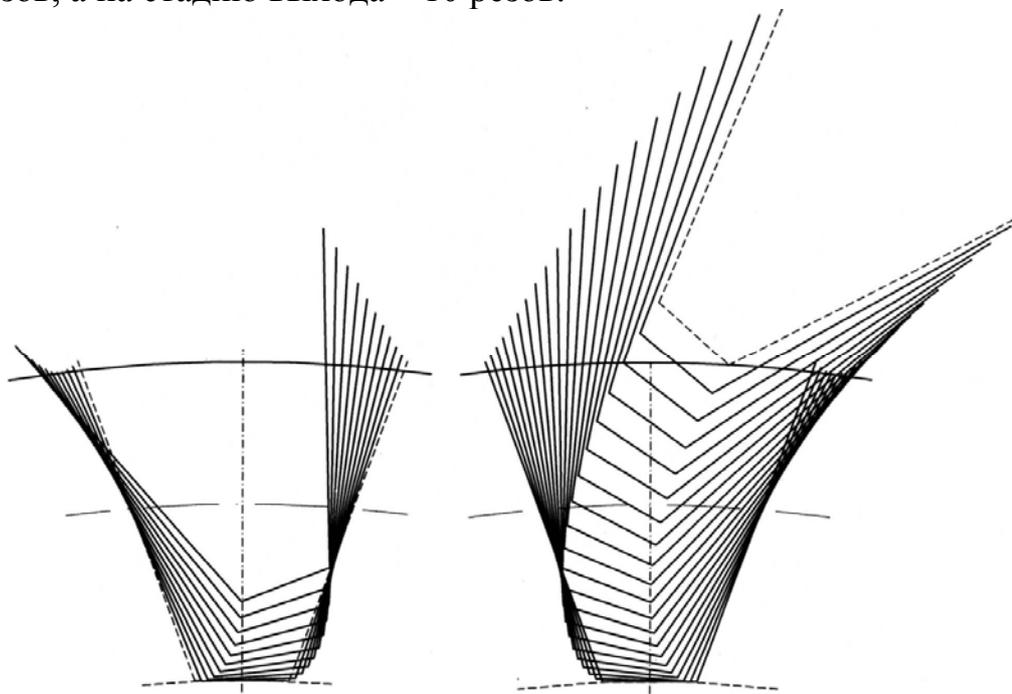


Рис. 1. Классическая схема формообразования впадины зубчатого колеса.

Чтобы определить закономерность изменения толщины и площади срезаемых слоёв в зависимости от текущего угла обката φ , необходимо определить графоаналитическим методом их значения для каждого элементарного реза. Данные измерений приведены в табл. 1. В таблице приведены значения толщин срезаемых слоев, полученные аналитическим способом по приближенной зависимости и графоаналитическим методом. Полученные значения с точностью до четвертого знака отличаются от расчетных значений, полученных по приближенной зависимости, на величину поправки $\Delta da_i = 0,0132$.

По расчетным данным построены графики зависимости толщины срезаемых слоев от текущего угла обката φ , которые представлены на рис. 2. Из полученных графиков видно, что изменение толщины резов при равномерном движении обката имеет явно выраженный линейный характер. Максимальная толщина реза приходится на начальный момент врезания, а минимальная – на момент полного заглубления зуба производящей рейки в заготовку. Это хорошо видно на схемах формообразования (рис. 1).

Линейный характер изменения толщины срезаемого слоя позволяет достаточно просто осуществить выравнивание параметров срезаемых слоев металла, например, за счет неравномерного углового шага расположения резцов в инструменте для предварительного обкатывающего зубопротягивания. Для чистового обкатывающего зубопротягивания возможно выравнивание профильной огранки. При этом не требуется задавать неравномерную подачу обката,

хотя и этот способ тоже осуществим. Теоретически возможно и комбинированное управление схемой резания одновременно за счет неравномерного расположения резцов и изменения подачи обката. При этом повышается производительность обработки и стабилизируются силовые характеристики процесса резания, в результате чего можно ожидать повышения точности получаемых колес.

Таблица 1

Толщины срезаемых слоёв при зубонарезании методом обката, рассчитанные аналитическим и графоаналитическим методами

№ ре-за	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
φ_i	40,223	38,106	35,989	33,872	31,755	29,638	27,521	25,434	23,287	21,17
$\varphi_n - \varphi_i$	2,117	4,234	6,351	8,468	10,585	12,702	14,819	16,936	19,053	21,17
a_i <i>прибл</i>	0,5836	0,5529	0,5222	0,4916	0,4612	0,4305	0,3997	0,369	0,3379	0,3071
a_i <i>уточн</i>	0,5971	0,5664	0,5357	0,5049	0,4742	0,4435	0,4127	0,382	0,3513	0,3205
№ ре-за	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
φ_i	19,053	16,936	14,819	12,702	10,585	8,468	6,351	4,234	2,117	0
$\varphi_n - \varphi_i$	23,287	25,434	27,521	29,638	31,755	33,872	35,989	38,106	40,223	42,34
a_i <i>прибл</i>	0,2765	0,2457	0,215	0,1843	0,1536	0,1228	0,0921	0,0614	0,031	0
a_i <i>уточн</i>	0,2898	0,2591	0,2283	0,1986	0,1669	0,1362	0,1054	0,0747	0,044	0,0132

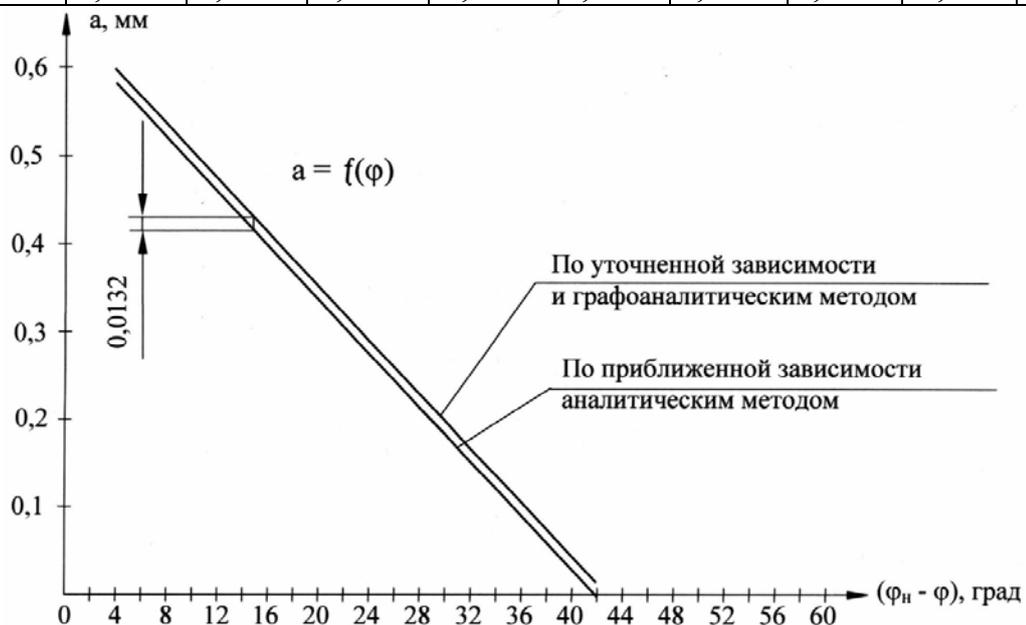


Рис. 2. График зависимости толщины срезаемого слоя от текущего угла обката.

Разработаны алгоритмы и программы расчета углового расположения резцов в головке, которое обеспечивает выравнивание параметров срезаемых слоев и профильной огранки. При этом необходимое количество профилирующих резцов сокращается почти в два раза, и производительность повышается на 40%.

Кроме того, процесс чистового обкатывающего зубопротягивания позво-

ляет управлять профильной модификацией зубьев нарезаемых колес за счет осевого смещения резцов. Становится возможной обработка зубьев с фланком на головке зуба и с поднутрением в зоне ножки. Конструкция дисковых резцовых головок для обкатывающего зубопротягивания позволяет достаточно просто реализовать это смещение комплектом прокладок либо комплектом резцов разной толщины или за счет выполнения пазов под резцы различной глубины в корпусе головки.

Позднее был разработан процесс чистовой зубообработки двухрядными дисковыми резцовыми головками с нулевым углом профиля. Оптимизация этого процесса также возможна. Ограничивающим условием здесь является одновременное профилирование только одной эвольвентной поверхности зуба. Поэтому для оптимизации пригодна лишь схема с тангенциальным врезанием и двухсторонним обкатом. Циклы с радиальным врезанием для управления непригодны.

В качестве критерия оптимизации процесса чистовой зубообработки может быть принята высота профильной огранки зуба. Разработаны алгоритмы и программы определения оптимальных законов изменения подачи обката. Реализация оптимального управления в этом случае осуществляется также кулачком обката. При этом ожидается увеличение производительности примерно на 30 - 40%. Однако следует иметь в виду, что кинематические ограничения, связанные с быстродействием обкатно-делительного механизма, присутствуют и в этом случае. И не смотря на то, что сейчас появились определенные перспективы преодоления ограничений за счет создания новой конструкции механизма, следует признать, что рассматриваемые процессы имеют малые возможности для управления, а реализация этих возможностей достаточно сложна.

Самыми большими возможностями в плане управления параметрами процесса зубообработки и параметрами получаемых зубчатых колес у спаренных дельтовидных резцовых головок, которые, кроме вышесказанного, позволяют получать зубья с определенной продольной модификацией за счет особенностей схемы процесса и установки инструмента. Оптимальные параметры установки (угол наклона) и параметры инструмента (диаметр резцовых головок) позволяют обеспечить заданную величину бочкообразности зубьев. При этом бочкообразность получается переменной по высоте зуба, она уменьшается от головки к ножке зуба. Это обстоятельство имеет важное значение при обработке сопряженных колес конкретного зубчатого зацепления.

Задача осуществления оптимального управления процессами зубообработки является многовариантной и достаточно сложной из-за большого количества применяемых процессов зубонарезания и управляемых параметров. В связи с этим дальнейшие исследования в этом направлении могут быть направлены на разработку объективного комплексного критерия для управления, определение на его основе законов оптимального управления параметрами различных процессов зубообработки резцовыми головками и параметрами получаемых колес с последующей реализацией этого управления в конкретных конструкциях зуборезных инструментов и механизмах зубообрабатывающих станков.

Литература: 1. Ямников А.С., Федоров Ю.Н., Артамонов В.Д. Перспективы приме-

нения резцовых головок большого диаметра для зубонарезания цилиндрических колес. //Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 5-й международной науч.- техн конф., Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2002. – С 103–106. 2. Коганов И.А., Федоров Ю.Н., Валиков Е.Н. Прогрессивные методы изготовления цилиндрических зубчатых колес.- М.: Машиностроение, 1981.- 136 с.

УДК 658.562:001.893

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ НА РАННИХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ

Троицкий Д.И., канд. техн. наук, **Губарев П.В.**, м.техн. наук
(г. Тула, Россия)

The paper suggests a strategy of computer-aided material capacity evaluation of metal-roll products at early stages of its lifecycle. Considering the advantages of using 3D-modeling in automation of blank profile selection.

В современных условиях мелкосерийного, вариантного производства заказчик, как правило, имеет возможность выбора предприятия для размещения заказа. Важнейшим критерием при оценке конкурентоспособности предприятия оказывается себестоимость выпускаемых изделий. При получении заказа на новое изделие возникает задача оценки его себестоимости, исходя из которой и принимается решение об экономической целесообразности выпуска данного изделия. Для такой оценки необходимо прежде всего определить материалоемкость, а также оценить потребности производства в исходных материалах каждого конкретного сортамента, возможности заготовительных подразделений, службы снабжения и т.д.

В научной литературе чаще всего рекомендуется нормативный метод оценки материалоемкости [1], основанный на построении уравнений регрессии, коэффициенты которых подбираются и уточняются путем анализа материалоемкости большого количества аналогичных изделий. Однако в современных условиях данный метод не может быть применен: при мелкосерийном производстве значительно отличающихся друг от друга изделий предприятие не имеет надежной статистики для установления корреляции между техническими параметрами изделия и его материалоемкостью. В то же время внедрение средств автоматизации конструкторского труда, таких, как трехмерные САПР, позволяет по-новому взглянуть на проблему оценки материалоемкости на ранних этапах жизненного цикла изделия.

При современном конструкторском проектировании создается *виртуальная модель* будущего изделия, представленная трехмерными телами и электронными проекционными чертежами (3D+2D технология). Ставится задача разработки процедуры анализа виртуальной модели изделия, с достаточной точностью оценивающей материалоемкость и, что не менее важно, прогнозирующей потребность производства в конкретных сортаментах материалов.

При трехмерном моделировании объем и масса каждой детали определяются автоматически. Но для материального нормирования необходимо учитывать не массу детали, а массу заготовки, а также технологические отходы и по-

тери на отрезку, зажим, некрайность материала. Поэтому для анализа виртуальной модели изделия с целью расчета материалоемкости необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ структуры изделия.
2. Для каждой уникальной детали в изделии подобрать наиболее вероятный профиль заготовки (в качестве заготовок рассматривается металлопрокат, составляющий, как показано в [2], от 60 до 80% всех заготовок в общем машиностроении).
3. Оценить припуски на обработку и с их учетом выбрать сортамент заготовки.
4. Оценить отходы на отрезку и зажим и некрайность.
5. Создать сводную ведомость поддетально специфицированных материальных норм.

При работе по 3D+2D технологии затраты рабочего времени конструктора на разработку собственно геометрии (трехмерной модели) и оформление чертежа (автоматическая генерация проекций с последующим ручным измериванием и простановкой технологических обозначений) неравноценны. Был проведен хронометраж времени разработки комплекта конструкторской документации на машиностроительные узлы средней сложности тремя различными способами: вручную на бумаге; при помощи непараметрической 2D САПР (типа AutoCAD); при помощи параметрической 3D САПР (типа КОМПАС 3D, SolidWorks). При работе по 3D+2D технологии создание собственно трехмерной модели занимает примерно 30..35% фонда времени конструктора. Поэтому оптимальным представляется определение технологической материалоемкости изделия именно на этапе создания трехмерной геометрии деталей, до оформления рабочих чертежей. Это позволяет заметно снизить трудоемкость внесения изменений в проект и сократить сроки подготовки производства.

Рассмотрим предлагаемую методику выбора геометрии заготовки. Предполагается, что в качестве заготовки используется некоторое множество стандартных профилей (круг, полоса, тавр, сегмент...)

Попарное сравнение заданного конструктором профиля поперечного сечения детали и стандартного профиля металлопроката (пруток, тавр, швеллер и т.д.) выполняется путем сравнения положения множества точек, принадлежащих проекции детали (рассматриваются три возможных направления проецирования) и стандартному профилю металлопроката. При этом проекция детали заменяется множеством точек на координатной плоскости, расположенных с определенным шагом на расстоянии друг от друга. Таким образом, мы получаем массив точек V , принадлежащих проекции детали, который в полной мере отражает ее геометрию. Данный массив формируется автоматически с применением встроенных функций применяемой 3D САПР (в работе применялась отечественная система КОМПАС 3D v8+).

Для дальнейших расчетов необходимо рассчитать координаты и параметры габаритного прямоугольника (прямоугольника, охватывающего все множество точек массива V) и минимальной окружности, которая может быть описана вокруг множества точек полученного массива V . После нахождения радиуса минимальной окружности подбор профиля сводится к подбору профиля из

имеющейся базы данных стандартного металлопроката, с условием, что радиус окружности, описанной около профиля, будет больше, чем радиус полученной окружности в сумме с общим припуском на обработку, а объем удаляемого материала окажется минимальным (см. ниже).

Поскольку была поставлена задача выполнения материального нормирования на этапе создания 3D модели, следует отметить, что 3D модель в большинстве распространенных САПР не содержит информации о точности размеров (так называемая "работа по номиналам"), шероховатостях, покрытиях и пр., а лишь о геометрии и марке материала. Иначе говоря, в 3D модели присутствует неопределенность, которую можно с достаточно высокой степенью точности разрешить статистическими методами.

Припуск на обработку t , назначаемый нормативным методом [3], можно представить как дискретную функцию вида

$$t = f(N, R_a, K_v) \quad (1)$$

где N – номинальное значение обрабатываемого размера; R_a – шероховатость; K_v –квалитет точности размера.

Номинальное значение размера N прямо заимствуется с 3D модели. Параметры R_a и K_v прогнозируются путем корреляционного анализа деталей-аналогов из ранее выпущенных изделий. Для этого строится зависимость вида

$$R_a \approx f_1(C, N, Mat), \quad (2)$$

$$K_v \approx f_2(C, N, Mat), \quad (3)$$

где C – признак поверхности, N – габаритный размер, Mat – материал детали.

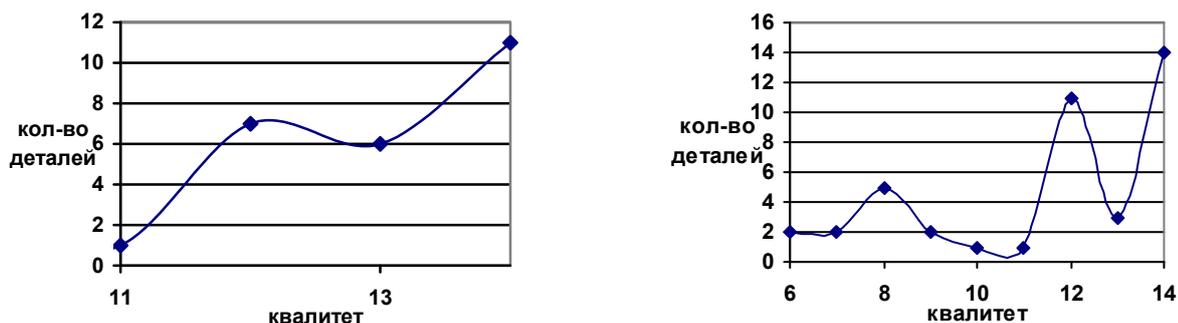
Вид функций f_1 и f_2 зависит от предыстории выпуска изделий на предприятии и от конструктивных особенностей этих изделий. Очевидно, такие функции должны создаваться для каждого класса деталей. Разбиение деталей на классы может производиться различными способами, в частности, по общероссийскому технологическому классификатору деталей машиностроения и приборостроения (ОТКД) или по собственному кодификатору предприятия. Входные параметры функций и их количество может варьироваться в зависимости от требуемой точности прогноза и полноты собранных на предприятии статистических данных.

Признак поверхности C зависит от того, какую функцию выполняет данная поверхность в сборке, и является лингвистической переменной. Для сопоставления габаритным поверхностям детали того или иного признака анализируется 3D сборка, по которой определяются сопрягаемые поверхности изделия, а также используется диалог с конструктором.

Для прогнозирования качества точности размера необходим анализ предыстории выпуска изделий на предприятии. В качестве примера рассмотрим детали класса “вал”. По ряду чертежей деталей интересующего класса были получены следующие данные (рис. 1).

При наличии более полной предыстории выпуска деталей на предприятии целесообразно отразить корреляцию диапазона номинальных значений габаритов и качества точности. Так, для рассматриваемого примера, при попадании длины вала в диапазон от 30 до 250 мм квалитет точности габаритного диаметра будет 12

с вероятностью 38,46%, а в диапазон 250 ... 1600 мм – 14 с вероятностью 40%.



Распределение качества точности габаритной длины

Распределение качества точности габаритного диаметра

Рис. 1. Распределение качества точности габаритных размеров валов.

Таким образом, путем корреляционного анализа, основанного на имеющейся статистике, выполняется прогнозирование точности изготовления детали.

Отходы на отрезку и зажим могут быть представлены как дискретные функции вида

$$W_{рез} = f_3(M, N), \quad (4)$$

$$W_{заж} = f_4(M, N), \quad (5)$$

где M – группа оборудования (лингвистическая переменная).

Параметр M также определяется из корреляционной зависимости путем анализа имеющихся ТП и прогнозирования выбора оборудования в зависимости от геометрии детали, габаритных размеров и материала.

После расчета припусков на габаритные размеры детали по (1) можно определить минимальные габаритные размеры заготовки. Теперь нужно "вписать" ее профиль в один из стандартных профилей металлопроката, основываясь на минимизации объема материала V_{npun} , удаляемого при обработке:

$$V_{npun} = l_{дет} (S_n - S_{дет}); \quad (6)$$

где V_{npun} – объем снимаемого припуска; $l_{дет}$ – длина детали; S_n – площадь поперечного сечения профиля; $S_{дет}$ – площадь поперечного сечения детали.

Исходными данными этой процедуры являются: множество точек, принадлежащих проекции детали (массив V), размеры габаритного прямоугольника (h, l) и радиус минимальной окружности (R), включающих весь массив V , а также общий припуск на обработку по поперечному размеру детали (Ph, Pl).

На первом этапе осуществляется выборка из базы данных стандартного профиля металлопроката каждого вида. Размеры проверяемой на пригодность заготовки из круга, трубы и шестигранника находятся из условия

$$R_n \geq R + Pl, \quad (7)$$

где R_n – размер, характеризующий стандартный профиль; а заготовки из квадрата, уголка, швеллера, тавра, двутавра и сегмента следующим образом:

1) из базы данных выбирается профиль, больший габаритный размер которого больше или равен большему размеру габаритного прямоугольника

$$(l_n \geq l + Pl);$$

- 2) проверяется условие $h_n \geq h + Ph$, где h_n – меньший габаритный размер профиля, и, если оно выполняется, то проверяемым считается данный профиль, в противном случае – эти же условия проверяются для профиля больших размеров, следующего в базе данных.

На втором этапе проводится проверка возможности применения каждого из подобранных профилей для изготовления детали. Для этого профиль виртуально позиционируется в габаритной окружности (для круга, трубы и шестигранника) или прямоугольнике (для квадрата, уголка, швеллера, тавра, двутавра и сегмента) одним из возможных способов. Количество вариантов расположения для каждого вида металлопроката разное и зависит от его геометрии, например, для круга целесообразно рассматривать лишь концентрическое взаимоположение. Затем перебираем массив точек V и проверяем, попадает ли текущая точка в область координат, не принадлежащую профилю. Такое условие было выбрано потому, что для большинства вариантов геометрии проверка его выполнимости является менее трудоемкой, чем проверка вхождения точки в область профиля. Если ни одна точка не лежит вне области модели заготовки, то данный профиль подходит для изготовления рассматриваемой детали.

Необходимо учитывать, что при одних и тех же габаритных размерах большинство стандартных профилей металлопроката имеют различную геометрию (например, значение толщины полки уголка варьируется при константных габаритах), поэтому проверку следует начинать с профиля меньшей площади (в примере при меньшей толщине полки) и делать заключение о непригодности заготовки для изготовления рассматриваемой детали только после анализа всех возможных вариантов.

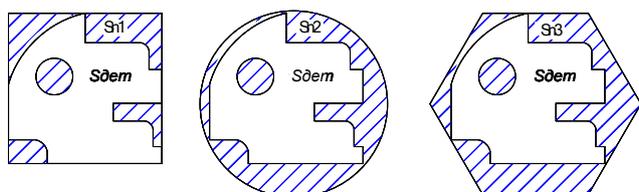


Рис. 2. Различные варианты изготовления детали сложного профиля.

Рассмотрим пример детали сложного профиля, для изготовления которой может быть использована заготовка из круга, квадрата и шестигранника (рис. 2).

В рассматриваемом случае минимальное значение выражения (6) соответствует профилю "круг"

($Sn2 < Sn1 < Sn3$), который и будет оптимальным выбором. Далее для выбранного профиля определяется длина заготовки с учетом припуска на обработку, отходов на отрезку и зажим, и очевидным образом вычисляется масса заготовки $M_{заг}$, которая и будет нормой расхода материала на деталь. Для учета отхода на некратность необходимо ввести поправочный коэффициент $K_{нк}$, больший единицы, и рассматривать величину $M_{заг} \cdot K_{нк}$. Величина коэффициента зависит от применяемых в заготовительном производстве предприятия методов оптимизации раскроя длинномерных профилей. В [4] рекомендуется принимать средний отход на некратность равным половине длины заготовки.

Предложенная в настоящей работе математическая модель позволяет с достаточной точностью оценить материалоемкость машиностроительных дета-

лей, изготавливаемых из металлопроката, на самых ранних стадиях разработки конструкторской документации на изделие.

Литература: 1. Дайитбегов Д.М. Вопросы математического обеспечения анализа и проектирования укрупненных норм расхода материалов с применением ЭВМ: Дис. ...канд. эконом. наук. - М., 1972. - 291с. 2. Троицкий Д.И. Система нормирования расхода стандартного проката для изготовления заготовок в серийном машиностроительном производстве: Дис. ...канд. техн. наук. – Тула, 1998. - 158с. 3. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога. М., "Машиностроение", 1976. - 288с. 4. Нормирование расхода материальных ресурсов в машиностроении: Справочник: В 2 т./Г.М. Покараев, А.А. Зайцев, О.В. Карасев и др.; Под общ. Ред. Г. М. Покараева и др. - М.: Машиностроение, 1988. - 372с.: ил.

УДК 621.99

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТОЧЕНИЕМ

Ямникова О.А., докт. техн. наук, **Балашева Ю.В.,** м.техн. наук
(г. Тула, Россия)

The paper suggests a strategy of optimum selection of basing scheme for shaft-parts in turning, and also its practical application in numeric evaluation of design's manufacturability.

Рассмотрим методику, которая может применяться при автоматизированной разработке технологического процесса токарной обработки деталей типа "вал". При этом геометрическая модель детали разбивается на конструктивные элементы. Для каждого из них назначается операцию обработки, выбирается оборудование и схема базирования.

При разработке технологических процессов одной из основных задач является выбор наиболее подходящей схемы базирования заготовки. Задача выбора схемы базирования недостаточно формализована, так как технолог должен учитывать большое количество факторов: обрабатываемость материала, габаритные размеры детали, технологические ограничения оборудования, наличие на производстве соответствующих приспособлений.

Для принятия объективного технологического проектного решения была разработана методика выбора схемы базирования, основанная на применении метода экспертных оценок. Данный метод применяется как средство разрешения неопределенности, возникающей при возможности применения более чем одной схемы базирования.

Были выявлены основные схемы базирования при обработке деталей типа "вал": в патроне, в патроне с люнетом, в патроне с люнетом и в центре, в патроне с центром, в плавающем центре, в центрах, в центрах с люнетом.

По результатам опроса 15-и экспертов получены зависимости схемы базирования от типоразмера и материала детали (рис.1) В фазовом пространстве (D, L, M) , где D – диаметр заготовки; L – длина заготовки; M – марка материала, выявлены области применимости каждой из схем базирования и сделан вывод, что координаты центра распределения $(D_{ц}, L_{ц})$ для i – ой схемы базирования в зависимости от типоразмера деталей будут вычисляться по формулам:

$$D_{u_i} = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} d_j, \quad L_{u_i} = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} L_j, \quad (1)$$

где i – номер схемы базирования; k_i – определенное экспертами количество деталей, при обработке которых используется i -я схема базирования; d_j , L_j – диаметр и длина j -й детали.

Выбор оптимальной схемы базирования происходит по условию минимума разницы расстояний точек в фазовом пространстве (D, L) для выбранной марки материала:

$$i_{onm} = \min_i \sqrt{(D_{u_i} - d)^2 + (L_{u_i} - l)^2}. \quad (2)$$

Предложенная методика была использована при численном определении технологичности детали типа «вал», которая учитывает согласованность конструкторских и технологических схем базирования на этапе проектирования.

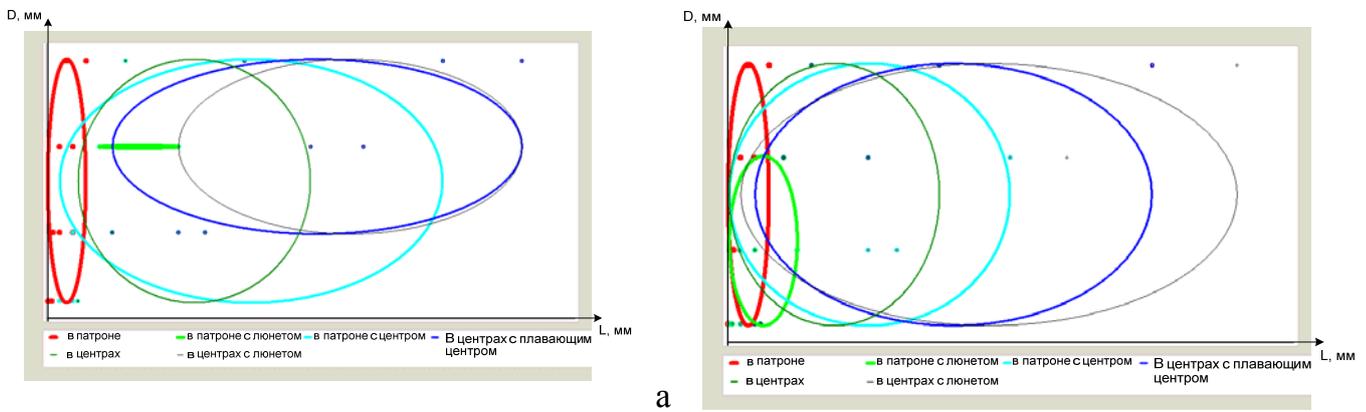


Рис. 1. График распределения зависимости схемы базирования от типоразмера детали: а – сталь; б – алюминий.

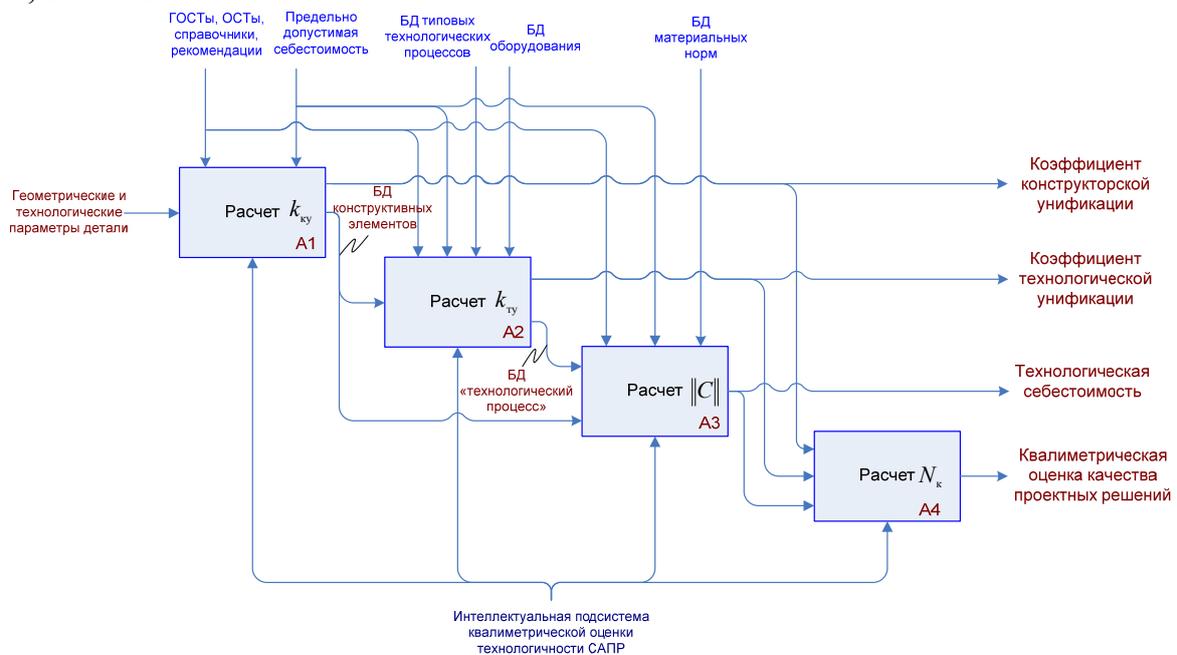


Рис. 2. Обобщенная диаграмма функционирования подсистемы квалиметрической оценки технологичности.

На рис. 2 представлена обобщенная диаграмма функционирования интеллектуальной подсистемы квалиметрической оценки технологичности.

В диаграмме функционируют четыре основных процесса:

- расчет коэффициента конструкторской унификации (блок А1);
- расчет коэффициента технологической унификации (блок А2);
- расчет технологической себестоимости (блок А3);
- расчет квалиметрической оценки качества проектных решений (блок А4).

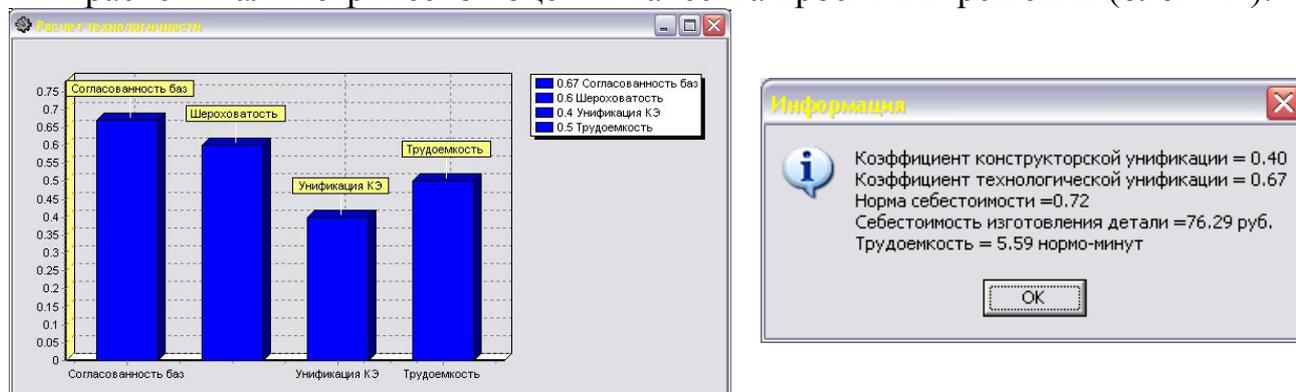


Рис. 3. Практическая реализация интеллектуальной подсистемы.

Входным параметром процесса расчета коэффициента технологической унификации (А2) является база данных конструктивных элементов. На выходе блока А2 получаем базу данных технологических процессов.

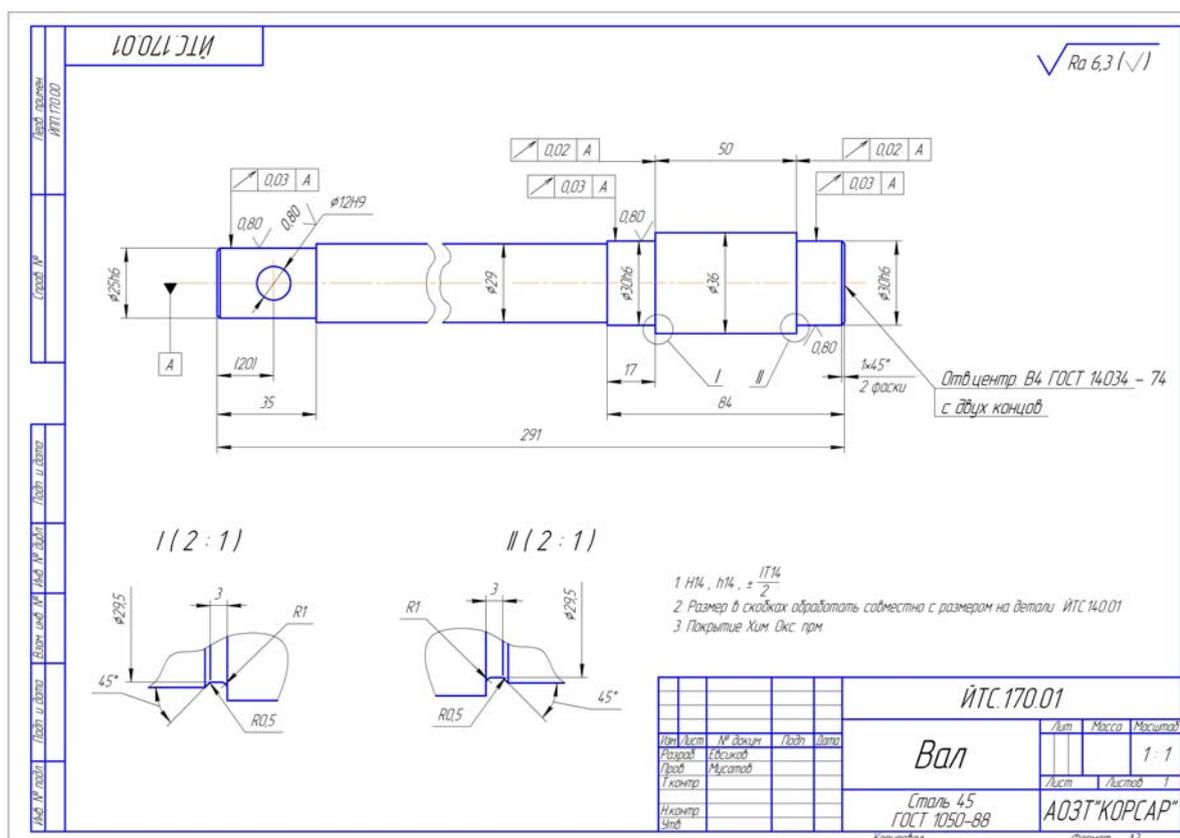


Рис. 4. Пример детали типа «вал».

Полученные в блоках А1, А2 и А3 коэффициенты конструкторской и технологической унификации и коэффициент технологической себестоимости являются выходными данными перечисленных процессов и входными для блока процесса А4. Основным выходным параметром функциональной диаграммы,

будет коэффициент технологичности детали, представляющий собой квалиметрическую оценку качества проектных решений.

Инструментом данной функциональной диаграммы является интеллектуальная подсистема САПР квалиметрической оценки технологичности детали.

Управляющие воздействия на все процессы – это ГОСТы, ОСТы, справочники и рекомендации и предельно допустимая себестоимость, на процесс блока А2 – БД типовых технологических процессов и БД оборудования, на процесс блока А3 – БД материальных норм.

На рис. 3 представлен пример оценки коэффициента технологичности детали, чертеж детали которой представлен на рис. 4, с применением интеллектуальной подсистемы.

Предложенная методика позволила априорно разработать гипотетический технологический процесс на деталь типа «вал», и, как следствие, на раннем этапе проектирования отследить уровень технологичности проектного решения.

УДК 621.923

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ СВЕРЛЕНИИ УГЛЕПЛАСТИКОВ

Дударев А.С., Свирщёв В.И., докт. техн. наук (г. Пермь, Россия)

Clause is devoted to a problem of theoretical definition of power parameters, such as the total twisting moment and axial force arising at drilling of apertures, in such class of materials, as polymeric composite materials.

При сверлении отверстий в полимерных композиционных материалах (ПКМ), типа углепластик КМУ-11э на основе препрега, существуют проблемы: низкая стойкость инструмента, трудность получения высокого качества обработанной поверхности, которое оценивается величиной шероховатости и видам дефектов (отслоение слоев), невысокая производительность [2]. В связи с этим при научном исследовании процесса сверления возникает необходимость определения сил на режущих лезвиях.

Представление о действующих силах на режущих лезвиях двухперового сверла до последнего времени основывалось главным образом на результатах экспериментальных исследований.

Суммарные силы резания при сверлении симметрично заточенным сверлом приводятся суммарному крутящему моменту M_z и осевой силе P .

Для расчета сил резания ПКМ, необходимы величины угол сдвига (Φ), предел прочности при срезе (τ_Φ).

ПКМ состоит из связующего и наполнителя, характеризуется следующими параметрами: а) количеством слоев наполнителя; б) ориентацией волокон (углы укладки); в) исходный диаметр волокна, одного слоя; г) физико-механические свойства материала на срез, разрыв и др.

Для анизотропных материалов, вывод уравнения для определения крутящего момента, осложняется тем, что (τ_Φ) будет представлять функциональную зависимость от угла приложения нагрузки (θ) к армирующим волокнам, так как

композиты содержат разнонаправленную арматуру.

Для определения $\tau_{\phi}=f(\theta)$, авторами предлагается использовать данные из справочников [1] - таких как, минимальных и максимальных значений пределов прочности при срезе, в зависимости от угла приложения нагрузки, а затем интерполировать напряжения среза для всех значений углов разворота кромок сверла.

Уравнение суммарного крутящего момента при сверлении, с учетом сил действующих на задние поверхности главных лезвий сверла:

$$\dot{I}_{\tilde{A}} = \dot{I} + \dot{I}_{F_{\zeta}},$$

где: M – крутящий момент при резании главной режущей кромки сверла; $M_{F_{\zeta}}$ – крутящий момент от сил трения на задней поверхности.

Крутящий момент при резании главной режущей кромкой одного пера:

$$\dot{I} = \int_0^R \int_0^{\theta} \tau_{\hat{O}}(\theta) S_z \rho \left[\cos(\omega + \hat{O}) \cdot \frac{\cos \omega}{\sin \hat{O}} \right] d\rho d\theta,$$

где θ – угол разворота сверла; R – радиус сверла; ρ – текущий радиус; S_z – величина подачи, приходящаяся на одно перо сверла ($S_z=S/2$); ω – угол действия; Φ – угол сдвига.

Крутящий момент от сил трения на задней поверхности определяется как произведение равнодействующей этих сил на плечо, равное половине радиуса сверла:

$$M_{F_{\zeta}} = \left[(R \cos \mu - a_0 \operatorname{ctg} \psi) / \sin \varphi \right] \Delta F_{\zeta} R,$$

где: μ – угол, вычисляемый так: $\mu = \arcsin(a_0/R_i)$ [3]; a_0 – половина расстояния от оси до перемычки режущей кромки; ψ – угол наклона поперечной кромки.

Угол наклона поперечной режущей кромки зависит от угла при вершине сверла, задних углов режущих лезвий [3]:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \alpha_N},$$

где α_N – задний статический угол; φ – половина угла при вершине (угол сверла в плане). В нашем случае $2\varphi \neq \text{const}$, $\varphi = f(R)$. ΔF_{ζ} – сила трения на единице длины (1 мм) главной режущей кромки.

Сила трения на задней поверхности определяется как: $F_{\zeta} = f \cdot N_3$. (N_3 – нормальная сила, f – коэффициент трения).

Определение осевой силы

Суммарная осевая сила P_{x2} , будет определяться как результат осевой составляющей силы резания P_{x1} , действующей на одном перо главной кромки и осевой составляющей P_{x3} от нормальной силы, действующей на задней поверхности:

$$P_{\hat{A}} = P_{\hat{O}1} + D_{\hat{O}\zeta}.$$

Уравнение осевой составляющей силы сверления P_{x1} , действующей на одном перо главной кромки для гетерогенных материалов (учитываем, что у композиционных материалов сумма углов $(\omega + \Phi) \neq 45^\circ$, и кроме того, $\tau_{\phi} \neq \text{const}$, напряжения сдвига будет определяться как функциональная зависимость

$\tau_{\phi}=f(\theta)$):

$$D_{\phi 1} = \int_0^{R\theta} \int_0^{\theta} \tau_{\phi}(\theta) s_z (\cos \omega / \sin \hat{O} \cos(\omega + \hat{O})) (\sin \omega / \cos \omega) d\rho d\theta,$$

где θ – угол разворота сверла.

Осевая составляющая dP_{x3} от нормальной силы dN_3 , действующая на задней поверхности главного лезвия, определяется уравнением $\Delta P_{x3} = \Delta N_3 \sin \varphi$. Следовательно, осевая составляющая от нормальных сил, действующих на задней поверхности главного лезвия сверла:

$$D\delta\zeta = \sin \varphi \int_0^R \Delta N_{\zeta} d\rho,$$

где: ΔN_3 – нормальная сила на единице длины (1 мм) главной режущей кромки; φ – половина угла сверла, в плане.

Главной сложностью при теоретическом выводе формул процесса стружкообразования для ПКМ является отсутствие экспериментальных данных – усадки стружки (ζ), угла действия (ω) и др. Поэтому было принято решение использовать данные по углу сдвига, полученные в ходе опытов, из источника [2].

Указанные уравнения позволяют рассчитать значения крутящих моментов и осевой силы, что необходимо, например, для автоматизации процесса.

Литература: 1. Авиационные материалы: Справочник / Том 7, часть 1. Полимерные композиционные материалы. – М.: ОНТИ, 1976. – 391 с. 2. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 176 с. 3. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых металлов твердосплавными сверлами / Виноградов А. А. – Киев: Наук. думка, 1985. – 264 с.

УДК 621.923

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ

Новиков Г.В., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

The analytical optimization of parameters of modes of grinding on productivity of processing is carried out in view of the basic technological restrictions.

Данная работа посвящена определению максимально возможной производительности и реализующих ее режимов шлифования с учетом ограничений по шероховатости, точности и мощности обработки, температуре резания и прочностным свойствам алмазного круга.

Производительность шлифования $Q = B \cdot V_{дет} \cdot t$ с учетом ограничения по шероховатости R_a и точности обработки определяется из аналитических зависимостей [1]:

$$Q = B \cdot t \cdot (0,5 \cdot R_a)^{2,5} \cdot \frac{(1 + \eta)}{(1 - \eta)^2} \cdot \frac{tg \gamma \cdot m \cdot V_{кр}}{\pi \cdot X^3 \cdot \rho^{0,5}}, \quad (1)$$

$$Q = \frac{2 \cdot (1 - \eta) \cdot V_{кр} \cdot c \cdot \delta}{\pi \cdot tg \gamma \cdot HV}, \quad (2)$$

где B , t – ширина и глубина шлифования, м; \bar{X} – зернистость круга, м; m – объемная концентрация зерен в круге (для 100%-ной концентрации $m=100$); η – безразмерный параметр, определяющий степень затупления зерен круга ($\eta \rightarrow 0$ – для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленного зерна); 2γ – угол при вершине зерна; $V_{кр}$, $V_{дет}$ – скорости круга и детали, м/с; $\rho = \frac{1}{R_{кр}} + \frac{1}{R_{дет}}$; $R_{кр}$,

$R_{дет}$ – радиусы круга и детали, м; c – жесткость технологической системы, Н/м; δ – погрешность размера обработки, обусловленная упругими перемещениями в технологической системе, м; HV – твердость обрабатываемого материала по Виккерсу, Н/м².

Характер изменения производительности обработки Q от глубины шлифования t для условий $R_a = const$ и $\delta = const$ показан на рис. 1. Существует

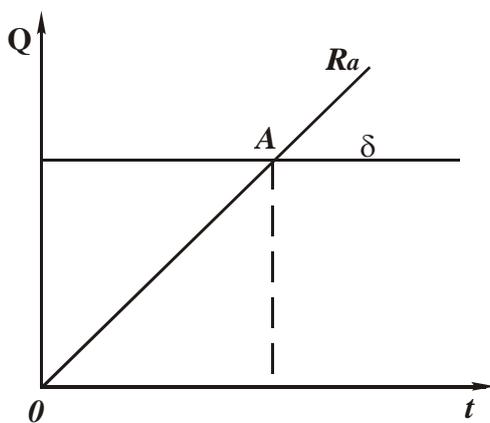


Рис. 1. Зависимость Q от t .

значение t , при котором значения производительности обработки Q , определяемые зависимостями (1) и (2), равны:

$$t = \frac{11,3 \cdot c \cdot \delta \cdot \bar{X}^3 \cdot \rho^{0,5} \cdot (1-\eta)^3}{tg^2 \gamma \cdot HV \cdot B \cdot m \cdot R_a^{2,5} \cdot (1+\eta)}. \quad (3)$$

Глубина шлифования t тем больше, чем больше параметры c , δ , \bar{X} и меньше B , m , R_a , η . Максимально возможная производительность обработки Q (в точке A , рис. 1) определяется из зависимости (2). На нее не влияет параметр шероховатости обработки R_a ,

т.е. основным ограничивающим фактором является точность обработки.

Исходя из зависимости (2), увеличить производительность Q можно увеличением параметров c , δ , $V_{кр}$ и уменьшением $\eta \rightarrow 0$. С увеличением R_a глубина шлифования t уменьшается, скорость детали $V_{дет}$ – увеличивается, а их произведение $t \cdot V_{дет}$ остается постоянным, что предопределяет независимость производительности обработки Q от параметра шероховатости обработки R_a .

Производительность шлифования Q с учетом ограничения по мощности обработки N определяется из аналитической зависимости [2]:

$$Q = N \cdot \sqrt{\frac{(1-\eta)}{\pi \cdot tg \gamma \cdot HV \cdot \sigma_{сж}}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м².

Производительность Q тем больше, чем больше мощность N и меньше безразмерный коэффициент η . Для $N = 1000$ Вт, $tg \gamma = 1$, $HV = 69 \cdot 10^8$ Н/м² (закаленная сталь У8); $\sigma_{сж} = 17 \cdot 10^8$ Н/м², $\eta = 0$, производительность обработки Q равна 9882 мм³/мин. Для $\eta = 0,5$ – равна $Q = 6988$ мм³/мин.

С учетом одновременного действия трех ограничивающих факторов: ше-

роховатости, точности и мощности обработки необходимо в зависимостях (1), (2) и (3) выразить величину $(1 - \eta)$ через мощность N . Для этого разрешим зависимость (4) относительно величины $(1 - \eta)$ и подставим полученное выражение в зависимость (2):

$$Q = \frac{N^2}{2 \cdot V_{кр} \cdot c \cdot \delta \cdot \sigma_{сж}} \quad (5)$$

При этом величина $(1 - \eta)$, скорость детали $V_{дет}$ и глубина шлифования t определяются:

$$(1 - \eta) = \left(\frac{N}{2 \cdot c \cdot \delta \cdot V_{кр}} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot tg \gamma \cdot HV}{\sigma_{сж}}, \quad (6)$$

$$V_{дет} = \frac{0,177 \cdot m \cdot V_{кр}^5 \cdot R_a^{2,5}}{\pi^3 \cdot tg \gamma \cdot \bar{X}^3 \cdot \rho^{0,5}} \cdot \left(\frac{\sigma_{сж}}{HV} \right)^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot c \cdot \delta}{N} \right)^4, \quad (7)$$

$$t = \frac{0,176 \cdot \pi^3 \cdot tg \gamma \cdot HV^2 \cdot \bar{X}^3 \cdot \rho^{0,5}}{B \cdot m \cdot c^5 \cdot \delta^5 \cdot R_a^{2,5} \cdot \sigma_{сж}^3} \cdot \left(\frac{N}{V_{кр}} \right)^6 \quad (8)$$

Для принятых выше исходных данных, имеем: $(1 - \eta) = 0,26$; $Q = 5036$ мм³/мин, $t = 0,37$ мм, $V_{дет} = 680$ мм/мин. Для упрощения расчетов достаточно определить по зависимости (6) величину $(1 - \eta)$ и найденное значение подставить в зависимости (1), (2) и (3). Исходя из зависимости (6), увеличить $(1 - \eta)$ или уменьшить η можно увеличением мощности N . При определенном значении N величина $(1 - \eta)$ принимает предельное значение, равное единице, т.е. $\eta = 0$. Из условия $(1 - \eta) = 1$ значение N равно:

$$N = 2 \cdot c \cdot \delta \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{сж}}{\pi \cdot tg \gamma \cdot HV}} \quad (9)$$

С увеличением параметров c , δ и $V_{кр}$ предельная мощность обработки увеличивается. Для заданных исходных данных ($\delta = 0,01$ мм): $N = 1960$ Вт.

При предварительной обработке, когда не накладывается ограничение по точности обработки, (параметр δ может принимать, например, значения больше 0,1 мм), мощность обработки $N > 19600$ Вт. Этим объясняется то, что мощность электродвигателя главного привода шлифовального станка составляет несколько киловатт (как правило, до 10 кВт).

Для поддержания в процессе шлифования постоянного значения η , рассчитанного по зависимости (6), необходимо реализовать режим самозатачивания круга или непрерывную правку круга.

При шлифовании, наряду с обеспечением требуемых параметров точности и шероховатости обработки, важное значение имеет управление тепловой напряженностью процесса с целью исключения прижогов, микротрещин, структурных изменений в поверхностном слое материала и других дефектов обработки. Для определения температуры резания Θ воспользуемся аналитиче-

ской зависимостью [3]:

$$\Theta = \frac{q}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot l}{\lambda \cdot c_m \cdot \rho_m \cdot V_{дет}}}, \quad (10)$$

где $q = \frac{P_z \cdot V_{кр}}{F} \cdot \psi$ – плотность теплового потока, характеризующая количество теплоты, проходящее через единицу поверхности обрабатываемой детали в единицу времени, Вт/м²; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; ψ – коэффициент, показывающий, какая часть работы переходит в теплоту, поглощаемую обрабатываемой деталью (например, для алмазного шлифования $\psi = 0,4$, так как в теплоту переходит 80% от всей работы, а обрабатываемой деталью поглощается 50% теплоты); $F = B \cdot l$ – площадь контакта круга с деталью, м²; $l = \sqrt{2 \cdot t / \rho}$ – длина дуги контакта круга с деталью, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); c_m – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ_m – плотность обрабатываемого материала, кг/м³.

После определенных преобразований, имеем:

$$\Theta = \pi \cdot \psi \cdot \sqrt{\frac{tg\gamma \cdot HV \cdot \sigma_{жс}}{\lambda \cdot c_m \cdot \rho_m \cdot (1-\eta)} \cdot \left(\frac{Q}{B}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{2 \cdot \rho}{V_{дет}}\right)^{0,5}}. \quad (11)$$

Нетрудно видеть, что температура резания Θ тем меньше, чем меньше производительность обработки (приходящаяся на единицу ширины круга Q/B) и безразмерный коэффициент η . С учетом действия двух ограничивающих факторов: точности и шероховатости обработки температура резания определяется путем подстановки в зависимость (11) зависимостей (1) и (2):

$$\Theta = 2 \cdot \psi \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \sigma_{жс} \cdot V_{кр}}{tg\gamma \cdot \lambda \cdot c_m \cdot \rho_m} \cdot \left[\frac{(1-\eta) \cdot c \cdot \delta}{B}\right]^{1,5} \cdot \left[\frac{\bar{X}^3 \cdot \rho^{1,5}}{(0,5 \cdot R_a)^{2,5} \cdot (1+\eta) \cdot m \cdot HV}\right]^{0,5}}. \quad (12)$$

Обеспечить заданную температуру резания Θ можно регулированием скорости круга $V_{кр}$ или величины $(1-\eta)$. Разрешим зависимость (12) относительно $V_{кр}$:

$$V_{кр} = \left(\frac{\Theta}{2 \cdot \psi}\right)^2 \cdot \frac{tg\gamma \cdot \lambda \cdot c_m \cdot \rho_m}{\pi \cdot \sigma_{жс}} \cdot \left[\frac{B}{\bar{X} \cdot (1-\eta) \cdot c \cdot \delta}\right]^{1,5} \times \left[\frac{(0,5 \cdot R_a)^{2,5} \cdot (1+\eta) \cdot m \cdot HV}{\rho^{1,5}}\right]^{0,5}. \quad (13)$$

Для исходных данных: $\Theta = 909\text{K}$; $\psi = 0,4$; $tg\gamma = 1$; $\lambda = 50$ Вт/(м·К); $c_m = 175,9$ Дж/(кг·К); $\rho_m = 15 \cdot 10^3$ кг/м³; $\sigma_{жс} = 32,6 \cdot 10^8$ Н/м²; $HV = 200 \cdot 10^8$ Н/м² (обрабатываемый материал – твердый сплав); $B = 0,02$ м; $c = 10^7$ Н/м; $\delta = 10^{-5}$ м; $R_a = 0,4 \cdot 10^{-6}$ м; $m = 100$; $\bar{X} = 9 \cdot 10^{-5}$ м; $\rho^{1,5} = 8 \cdot 10^{1,5}$ м^{-1,5}; $\eta = 0,5$, расчетное значение скорости круга равно $V_{кр} = 50$ м/с.

Подставляя зависимость (13) в зависимости (1) и (2), определяются скорость детали $V_{дет}$ и максимально возможная производительность обработки Q , обусловленная действием трех ограничивающих факторов: точности, шероховатости обработки и температуры резания:

$$Q = \frac{\lambda \cdot c_m \cdot \rho_m \cdot B^{1,5}}{2 \cdot \pi^2 \cdot \sigma_{сж}} \cdot \left[\frac{(0,2 \cdot R_a)^{2,5} \cdot (1 + \eta) \cdot m}{\bar{X}^3 \cdot \rho^{1,5} \cdot HV \cdot (1 - \eta) \cdot c \cdot \delta} \right]^{0,5} \cdot \left(\frac{\Theta}{\Psi} \right)^2. \quad (14)$$

Зависимость (3), определяющая глубину шлифования t , не содержит скорость круга $V_{кр}$ и в явном виде температуру резания.

Выбор оптимальных параметров режима шлифования $V_{дет}$, $V_{кр}$, t для заданных ограничивающих параметров Q , R_a , δ производится в соответствии с расчетными зависимостями (1), (3), (13) с учетом технических возможностей станка.

Определим максимально возможную производительность обработки, обусловленную прочностными свойствами алмазного круга [1]:

$$Q = \frac{B \cdot m \cdot V_{кр} \cdot (1 - \eta^2)}{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot tg^3 \gamma} \cdot \left(\frac{t}{\rho} \right)^{0,5} \cdot \left[\frac{2 \cdot P_{y1}}{\pi \cdot HV \cdot (1 + \eta)} \right]^{1,5}. \quad (15)$$

В данной зависимости параметр P_{y1} необходимо рассматривать как предельную силу, вызывающую разрушение (раздавливание) алмазного зерна.

Увеличить производительность обработки Q можно увеличением параметров B , m , $V_{кр}$, t , P_y и уменьшением η , \bar{X} , HV и ρ .

Определим максимально возможную производительность обработки Q с учетом ограничения по удельному расходу алмаза q , который рассчитывается по зависимости [1]:

$$q = \frac{M}{Q} \cdot \frac{\sqrt{1 - \eta}}{\eta^3}, \quad (16)$$

где
$$M = \frac{2 \cdot \rho_a \cdot \alpha_1 \cdot V_{кр} \cdot B}{\rho_m \cdot c} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{сж} \cdot HV}{4 \cdot tg \gamma}}, \quad (17)$$

ρ_a , ρ_m – соответственно плотности алмаза и обрабатываемого материала, кг/м³; B – высота круга, м; c – размерный коэффициент, характеризующий износостойкость алмазного зерна, Н/м³ (устанавливается расчетно-экспериментальным путем); α_1 – коэффициент, учитывающий плотность связки в зависимости от концентрации алмазов в круге.

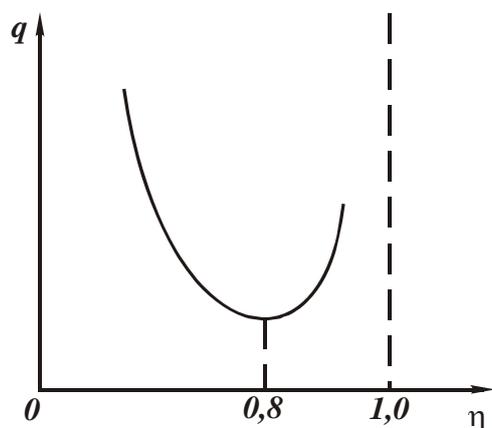
Для этого разрешим зависимость (15) относительно глубины шлифования t и подставим полученное выражение в зависимость (16):

$$q = \frac{M \cdot \rho \cdot V_{дет}}{B} \cdot \left(\frac{\pi \cdot tg^2 \gamma \cdot HV}{2 \cdot P_{y1}} \right)^3 \cdot \left(\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}{m \cdot V_{кр}} \right)^2 \cdot \frac{(1 + \eta)}{\eta^3 \cdot (1 - \eta)^{1,5}}. \quad (18)$$

Зависимость q от безразмерного коэффициента η при $V_{дет} = const$ носит

экстремальный характер. Первоначально с увеличением η за счет множителя $1/\eta^3$ удельный расход уменьшается, а после превышения определенного значения η – увеличивается (за счет множителя $1/(1-\eta)^{0,5}$). Для определения экстремального значения $\eta_{экт}$ возьмем первую производную от функции q по коэффициенту η и полученное выражение приравняем нулю. В результате имеем: $\eta_{экт} = 0,8$. График изменения функции q от η показан на рис. 2. Минимум удельного расхода алмаза достигается при $\eta = 0,8$:

$$q_{min} = \frac{39 \cdot M_0 \cdot \rho \cdot V_{дет}}{V_{кр}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot HV}{2 \cdot P_{y1}} \right)^3 \cdot \left(\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}{m} \right)^2, \quad (19)$$



где $M_0 = \frac{M}{V_{кр} \cdot B}$.

Уменьшить q_{min} можно уменьшением параметров $V_{дет}$, \bar{X} и увеличением m , P_{y1} и $V_{кр}$. Производительность обработки Q , соответствующая минимуму удельного расхода алмаза q , определится:

$$Q = \frac{6,3 \cdot 10^{-4} \cdot B \cdot m \cdot V_{кр}}{\pi \cdot \text{tg}^3 \gamma \cdot \bar{X}^3} \cdot \left(\frac{t}{\rho} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{P_{y1}}{\pi \cdot HV} \right)^{1,5}. \quad (20)$$

Рис. 2. Зависимость q от η .

Сравнивая зависимости (15) и (20), видим, что производительность обработки при $\eta=0$ в семь раз больше производительности обработки при $\eta_{экт}=0,8$. При этом значения удельного расхода алмаза q отличаются в бесконечное количество раз, рис. 2.

Безразмерный коэффициент η может быть выражен [4]:

$$\eta = \text{tg} \gamma \cdot x \cdot \sqrt{\frac{0,75 \cdot \pi \cdot HV}{P_{y1}}}, \quad (21)$$

где x - величина линейного износа конусообразного по форме зерна, м.

Откуда вытекает, что при $P_{y1} = const$ с уменьшением $\eta \rightarrow 0$ величина x пропорционально уменьшается ($x \rightarrow 0$).

Следовательно, бесконечный рост удельного расхода алмаза q в диапазоне $0 < \eta < 0,8$ вызван уменьшением как безразмерного коэффициента η , так и величины линейного износа зерен x .

Безразмерный коэффициент η может быть выражен [1]:

$$\eta = 1 - \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{t \cdot \rho}}{m \cdot V_{кр}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot HV}{2 \cdot P_{y1}} \right)^{1,5}. \quad (22)$$

С увеличением параметров $V_{дет}$, t , \bar{X} , HV и уменьшением m , $V_{кр}$, P_{y1}

безразмерный коэффициент η уменьшается. Это предопределяет экстремальную зависимость удельного расхода алмаза от указанных параметров. Например, в диапазоне $0 < \eta < 0,8$ с увеличением V_{dem} и t удельный расход алмаза q неограниченно увеличивается, что согласуется с известными экспериментальными данными, например [5].

Исходя из зависимости (22), для уменьшения безразмерного коэффициента η от $\eta_{экт} = 0,8$ до $\eta = 0$ глубина шлифования t должна увеличиться в 25 раз. Аналогичные результаты получены экспериментально [5].

Увеличение удельного расхода алмаза q с увеличением параметров режима шлифования t и V_{dem} при $P_{y1} = const$ (т.е. при установившемся процессе шлифования) связано с уменьшением величины линейного износа зерен x до момента их объемного разрушения или выпадения из связки без разрушения (в зависимости от типа связки и механизма износа круга). Это подтверждается экспериментальными данными [5], согласно которым с увеличением глубины шлифования t уменьшается количество выпавших из связки зерен с площадками износа и сколами.

Преобразуем зависимость (16):

$$q = \frac{M}{Q} \cdot \left(\frac{H_0}{x} \right)^3 = \frac{630 \cdot \pi \cdot M_0}{m} \cdot \left(\frac{\bar{X}}{x} \right)^3 \cdot \left(\frac{\rho}{t} \right)^{0,5}. \quad (23)$$

Удельный расход алмаза q тем меньше, чем больше параметры m , x и t . Как показано выше, величину линейного износа зерен x необходимо рассматривать как функцию параметров режима шлифования и т.д.

Увеличение величины x и соответственно уменьшение удельного расхода

алмаза q предполагает применение алмазных кругов на металлических связках, увеличивающих прочность удержания зерен и длительность их работы в круге.

Увеличение глубины шлифования t предполагает применение метода глубинного шлифования, обеспечивающего снижение удельного расхода алмаза и увеличение производительности обработки за счет увеличения площади контакта круга с деталью и количества одновременно работающих зерен. Очевидно, эффект от увеличения величины x больше, так как она входит в зависимость (23) с наибольшей степенью. Однако, уменьшение x ограничено предельным значением известного соотношения a_z/R , ниже которого процесс резания неосуществим (где a_z - толщина среза, м; R - радиус округ-

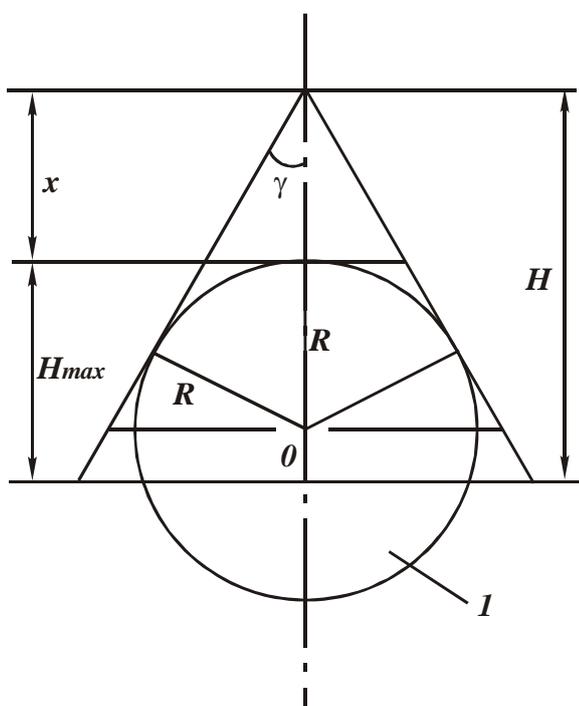


Рис. 3. Расчетная схема: 1 – зерно.

ления режущего зерна, м).

Используя расчетную схему, приведенную на рис. 3, определим соотношение a_z/R , где $a_z = H_{max} = (1 - \eta) \cdot H = x \cdot (1 - \eta) / \eta$, радиус округления режущего зерна $R = (R + x) \cdot \sin \gamma$ или $R = x \cdot \sin \gamma / (1 - \sin \gamma)$. При $\gamma = 45^\circ$ справедливо $R = 2,44 \cdot x$. Тогда

$$\eta = \frac{1}{\left(1 + 2,44 \cdot \frac{a_z}{R}\right)}. \quad (24)$$

Подставим (24) в зависимость (16):

$$q = \frac{1,56 \cdot M}{Q} \cdot \left(\frac{a_z}{R}\right)^{0,5} \cdot \left(1 + 2,44 \cdot \frac{a_z}{R}\right)^{2,5}. \quad (25)$$

При фиксированной производительности обработки Q удельный расход алмаза q вполне однозначно определяется соотношением a_z/R . Большшему значению a_z/R соответствует большее значение q .

В нашей работе [6] приведены аналитические зависимости для определения при микрорезании единичным зерном коэффициента резания $K_{рез} = P_z / P_y$ и условного напряжения резания σ :

$$K_{рез} = 2 \cdot \beta = 3 \sqrt[3]{\frac{2 \cdot a_z \cdot \tau_{сдв}}{HV \cdot R}}, \quad (26)$$

$$\sigma = 3 \cdot 3 \sqrt[3]{HV \cdot \tau_{сдв}^2 \cdot \frac{R}{a_z}}, \quad (27)$$

где P_z, P_y - тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; a_z - толщина среза, м; R - радиус округления вершины режущей части зерна, м; β - угол сдвига материала при резании; $\tau_{сдв}$ - предел прочности обрабатываемого материала на сдвиг, Н/м².

Большому значению a_z/R соответствуют большие значения $K_{рез}$ (или β) и меньшие значения σ . Следовательно, удельный расход алмаза q тем больше, чем больше $K_{рез}$ (или β) и меньше σ . Это согласуется с экспериментальными данными. Например, установлено, что с течением времени обработки (по мере затупления зерен алмазного круга) коэффициент резания $K_{рез}$ и удельный расход алмаза q уменьшаются, а условное напряжение резания σ и соответственно сила резания увеличиваются (при шлифовании по жесткой схеме с заданной производительностью обработки).

Произведение $q \cdot Q$ равно скорости износа круга h_n :

$$h_n = 1,56 \cdot M \cdot \left(\frac{a_z}{R}\right)^{0,5} \cdot \left(1 + 2,44 \cdot \frac{a_z}{R}\right)^{2,5}. \quad (28)$$

Таким образом показано, что параметры q и h_n имеют вполне конкретный физический смысл и являются производными от параметров a_z/R , $K_{рез}$ и

σ . Подставим зависимость (22) в (24) и полученное выражение разрешим относительно соотношения a_z/R :

$$\frac{a_z}{R} = 0,41 \cdot \left[\frac{1}{1 - \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{\text{дем}} \cdot \sqrt{t \cdot \rho}}{m \cdot V_{\text{кр}}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot HV}{2 \cdot P_{y1}} \right)^{1,5}} - 1 \right]. \quad (29)$$

Соотношение a_z/R тем больше, чем больше параметры $V_{\text{дем}}$, t , \bar{X} и меньше $V_{\text{кр}}$, m , P_{y1} . Как известно, увеличение a_z/R ведет к улучшению процесса стружкообразования при резании. Существуют предельные значения a_z/R , ниже которых процесс резания неосуществим. Например, по данным проф. Богомолова Н.И. стружкообразование при микрорезании единичным абразивным зерном начинается при $a_z/R = 0,04 \dots 0,08$, а по данным проф. Крагельского И.В. – при $a_z/R = 0,14 \dots 0,17$. Наиболее интенсивный процесс стружкообразования наступает при $a_z/R = 0,25 \dots 0,35$.

Подставляя зависимость (29) в зависимости (26) и (27), определяются параметры $K_{\text{рез}}$ и σ . Очевидно, с увеличением параметров $V_{\text{дем}}$, t и уменьшением $V_{\text{кр}}$ коэффициент резания $K_{\text{рез}}$ увеличивается, а условное напряжение резания σ уменьшается, что согласуется с известными экспериментальными данными.

С увеличением предельной нагрузки P_{y1} , действующей на отдельное зерно круга, коэффициент резания уменьшается, а условное напряжение резания увеличивается. Этим объясняется уменьшение $K_{\text{рез}}$ и увеличение σ при шлифовании алмазными кругами на металлических связках по сравнению с процессом шлифования алмазными кругами на менее прочных органических и керамических связках.

Для увеличения параметров $K_{\text{рез}}$, a_z/R и уменьшения σ необходимо увеличить $V_{\text{дем}}$ и t , т.е. увеличить производительность обработки. При глубинном шлифовании соотношение a_z/R меньше, чем при многопроходном шлифовании. Это вытекает из преобразованной зависимости (29):

$$\frac{a_z}{R} = 0,41 \cdot \left[\frac{1}{1 - \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot Q \cdot \sqrt{\rho}}{m \cdot V_{\text{кр}} \cdot B \cdot \sqrt{t}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot HV}{2 \cdot P_{y1}} \right)^{1,5}} - 1 \right]. \quad (30)$$

При заданной производительности обработки $Q = \text{const}$ соотношение a_z/R тем меньше, чем больше глубина шлифования t . Следовательно, при глубинном шлифовании меньше $K_{\text{рез}}$ и больше σ . Это предполагает увеличение параметров Q/B , \bar{X} и уменьшение $V_{\text{кр}}$, m , P_{y1} . Теоретические решения

согласуются с экспериментальными данными. Установлено, что глубинное шлифование, выполняемое крупнозернистыми высокопористыми относительно мягкими абразивными кругами, обеспечивает существенное увеличение производительности обработки.

Увеличение $V_{кр}$ при условии $a_z/R = const$ требует увеличения производительности обработки Q . В настоящее время за рубежом изготавливаются шлифовальные станки, реализующие скорость круга более 300 м/с.

Применение алмазных кругов на прочных металлических связках, характеризующихся увеличенными значениями прочности удержания зерна в связке P_{y1} , согласно зависимости (30), позволяет увеличить Q при глубинном шлифовании. Увеличение твердости обрабатываемого материала HV , наоборот, ведет к уменьшению производительности обработки при заданном значении a_z/R . С увеличением HV и $\tau_{сдв}$ существенно увеличивается условное напряжение резания σ и уменьшается коэффициент резания $K_{рез}$.

Проведем анализ зависимости (16), для чего с учетом $K_{ш} = K_{рез}$ представим безразмерный коэффициент η в виде [4]:

$$\eta = 1 - \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}{4 \cdot \sigma_{сж}} \cdot K_{ш}^2, \quad (31)$$

$$\eta = \frac{M}{Q} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}{4 \cdot \sigma_{сж}}} \cdot \frac{K_{ш}}{\left(1 - \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}{4 \cdot \sigma_{сж}} \cdot K_{ш}^2\right)^3}. \quad (32)$$

Удельный расход алмаза q тем больше, чем больше коэффициент шлифования $K_{ш}$. Разложим выражение, стоящее в знаменателе, в степенной ряд, тогда

$$\eta = \frac{M}{Q} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}{4 \cdot \sigma_{сж}}} \cdot K_{ш} \cdot \left(1 + \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}{4 \cdot \sigma_{сж}} \cdot K_{ш}^2 + \dots\right)^3. \quad (33)$$

Полученная зависимость аналогична зависимости (25), рассматривая в ней вместо соотношения a_z/R коэффициент $K_{рез}$, определяемый зависимостью (26).

Экспериментально установлено, что с увеличением глубины шлифования t коэффициент шлифования $K_{ш}$ и скорость линейного износа круга $h_{л}$ увеличиваются. Это соответствует зависимости, связывающей параметры $h_{л}$, $K_{ш}$ и вытекающей из (33):

$$h_{л} = M \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}{4 \cdot \sigma_{сж}}} \cdot K_{ш} \cdot \left(1 + \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot HV}{4 \cdot \sigma_{сж}} \cdot K_{ш}^2 + \dots\right)^3. \quad (34)$$

При этом удельный расход алмаза q с увеличением глубины шлифования t изменяется по экстремальной зависимости (проходит точку минимума). Исходя из зависимости (32), это связано с тем, что с увеличением t до определенного значе-

ния в формировании q преобладает параметр Q и удельный расход алмаза q уменьшается, после чего преобладающим параметром становится $K_{ин}$, вызывающий увеличение q .

Литература: 1. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: Автореф. дис...докт. техн. наук: 05.03.01 / Одес. гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1995. – 36 с. 2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 7. "Точность обработки деталей машин" – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с. 3. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 4. Якимов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов О.О. Високопродуктивне шліфування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1995. – 180 с. 5. Захаренко И.П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента. – К.: Наук. думка, 1981. – 300 с. 6. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.

УДК 658.52.011.56.012

ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ

Макурин Н.С., канд. техн. наук, **Тютюнник В.В.** (г. Харьков, Украина)

The problem of creation of industrial - technological systems is considered in view of time and material inputs.

Современная тенденция всемерного повышения эффективности производства на основе совершенствования форм организации мелкосерийного и серийного производства предполагает поиск новых подходов решения производственных задач.

В настоящей работе рассматривается задача оптимальной специализации рабочих мест участка при известной номенклатуре изготавливаемых на нем изделий. Под специализацией в данном случае понимается разделение группы взаимозаменяемых рабочих мест на непересекающиеся подгруппы и закрепление каждой детали-операций за одной из этих подгрупп.

В качестве критерия оптимальности разделения принято время выполнения всех детали-операций на участке, включающее межоперационное время и время изготовления на станке.

Практика показывает, что специализация целесообразна только тогда, когда она сопровождается достаточными сокращениями времени выполнения детали-операций непосредственно на станке. Такое сокращение может быть обусловлено уменьшением вероятности переналадки оборудования перед выполнением каждой детали-операции, т. е. сокращением среднего подготовительно-заключительного времени.

В работе в качестве основной модели принимаем n -канальные системы массового обслуживания с пуассоновскими входными потоками и экспоненциальным распределением времени обслуживания поступающих в систему заявок. Для каждого входного потока заявок задаются интенсивность их поступления, время обслуживания заявки на рабочем месте и время наладки оборудования.

Под потоком понимаем групповую детали-операцию, т.е. множество ин-

дивидуальных детали-операций, для которых требуется одна и та же наладка оборудования. Интенсивность входного потока равна при этом суммарной интенсивности составляющих его индивидуальных детали-операций, а экспоненциальное распределение времени обслуживания заявок получает разумное обоснование, особенно в условиях мелкосерийного производства. Следует также отметить, что в модели не предполагается какое-либо конкретное понятие наладки оборудования, поэтому в зависимости от величины планируемого промежутка времени и степени обобщения детали-операций (инструментальная наладка, приспособление, базовая часть приспособления и т.п.) могут решаться задачи как краткосрочной, так и долгосрочной специализации рабочих мест.

Рассмотрим математическую модель оптимальной специализации группы взаимозаменяемых рабочих мест. Показателем эффективности разделения группы взаимозаменяемых рабочих мест на подгруппы является среднее время Φ цикла обработки каждой детали-операции.

Пусть вся группа разделена на M подгрупп и в каждой подгруппе определено среднее время цикла обработки $T_{\sigma}^i, (i=1, \dots, M)$. Тогда Φ получим усреднением T_{σ}^i с учетом интенсивностей входных потоков A_i в каждую подгруппу, т.е.

$$\hat{O} = \frac{A_1}{A} T_{\sigma}^1 + \dots + \frac{A_j}{A} T_{\sigma}^j, \quad (1)$$

где
$$A = \sum_{i=1}^M A_i. \quad (2)$$

Каждая i -я подгруппа рассматривается как некоторая n_i -канальная система массового обслуживания (СМО), где n_i - число станков в этой подгруппе. Из формул (3, 4) видно, что произведение $A_i \cdot T_{\sigma}^i$ зависит лишь от числа каналов n_i и от коэффициента загрузки каждого канала ρ_i

Вводя обозначение

$$n_i T_{n_i}(\rho_i) = A_i T_{\sigma}^i, \quad (3)$$

запишем функционал (1) в виде

$$\hat{O} = \frac{1}{A} (n_1 T_{n_1}(\rho_1) + n_2 T_{n_2}(\rho_2) + \dots + n_M T_{n_M}(\rho_M)). \quad (4)$$

Можно утверждать, что функция $T_n(\rho)$ при фиксированном ρ является монотонно убывающей по n функцией, выпуклой вниз. Поэтому, если бы загрузка каждого канала не изменялась при разделении n -канальной СМО, то минимум функционала (4) достигался бы при разделении на $M=1$ систем, т. е. при отсутствии разделения как такового.

На самом деле, при делении n -СМО на системы с меньшим количеством каналов, происходит снижение среднего времени переналадки для каждой из этих систем, так как вероятности переналадок главным образом зависят от количества входящих в систему потоков. Все это, в конечном итоге, приводит к снижению коэффициента загрузки станков. Так как при фиксированном n

функция $T_n(\rho)$ при уменьшении ρ является монотонно убывающей, выпуклой вниз, то однозначный ответ на вопрос: какое разделение является оптимальным, с точки зрения минимума функционала (4), дать нельзя.

Все зависит от скорости уменьшения ρ при уменьшении числа каналов n .

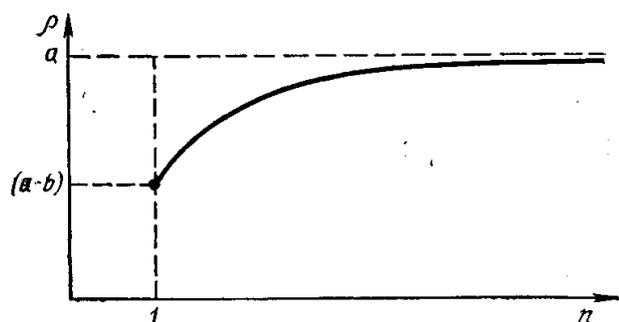


Рис.1. График зависимости ρ_n от n .

То есть, если можно обеспечить «идеальное» разделение, направляя в каждую систему количество потоков, пропорциональное числу каналов, обеспечивающих одинаковую их загрузку, то качественно зависимость ρ от n будет иметь вид

$$\rho_n = a - \frac{b}{n}, \quad (5)$$

где a и b - некоторые константы (рис. 1).

Теперь можно исследовать вопрос о наличии минимума Φ как функции только от n (точнее от набора n_i).

Рассмотрим поведение функции $T_n\left(a - \frac{b}{n}\right)$. При больших n T_n монотонно убывает с ростом n , так как коэффициент загрузки меняется незначительно. При малых n коэффициент загрузки может изменяться в зависимости от соотношения a и b и его влияние сказывается больше, чем изменение числа каналов, а $T_n\left(a - \frac{b}{n}\right)$ при уменьшении n может уменьшаться.

Типы поведения функции $T_n\left(a - \frac{b}{n}\right)$ приведены на рис. 2.

Поскольку функционал Φ является линейной комбинацией значений функций $T_n(\rho_n)$ при разных $n = n_i$ то становится очевидным, что вторым воз-

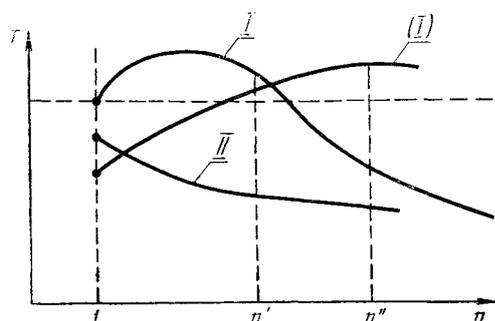


Рис. 2. Типы поведения функции $T_n\left(a - \frac{b}{n}\right)$ в зависимости от параметров a и b .

можным оптимальным решением является разделение исходной системы n -СМО на n одноканальных систем I-СМО. Например, как показано на рис.2.

Если $T_n(\rho_n)$ имеет I-тип поведения, а исходное число каналов n^1 , то оптимальным будет разделение на n^1 одноканальных систему, при этом

$$\hat{O}_{min} = \frac{1}{\Lambda} n^1 T_1'(\rho_1). \quad (6)$$

Если же исходное число каналов n'' , то при том же типе поведения $T_n(\rho_n)$

(так же, как и при II-типе) оптимальным является решение не разбивать n'' -

канальную СМО, и в этом случае

$$\hat{O}_{min} = \frac{1}{A} n^n T_n^n(\rho_n^n). \quad (7)$$

Таким образом, в каждом конкретном случае, достаточно определить значения $T_n(\rho_n)$ и $T_1(\rho_1)$. Их сравнение позволит сделать заключение о целесообразности $[T_1(\rho_1) < T_n(\rho_n)]$ или нецелесообразности $[T_1(\rho_1) > T_n(\rho_n)]$ разделения, при котором осуществляется специализация (полная или частичная) всех единиц оборудования.

Однако на практике при необходимости разделения системы мы не сможем обеспечить идеальное распределение потоков по всем единицам оборудования, поэтому и не сможем достичь расчетного минимального значения функционала Φ , которое определено формулой (6) для идеального разделения. С другой стороны, возможны случаи, при которых мы в состоянии выделить несколько одноканальных СМО с характеристиками лучшими, чем $T_{\hat{a}_1}(\rho_1)^1$.

1 Индексом «ид» в дальнейшем будем отмечать характеристики, относящиеся к идеальному разделению.

Поэтому в дальнейшем будем разделять всю систему на k одноканальных СМО с оптимальными характеристиками и $(n - k)$ -канальную СМО, из которой уже нельзя выделить приемлемую одноканальную систему. В этом случае оптимальность достигается поэтапным разделением исходной системы.

На первом этапе выясняем целесообразность разделения n -СМО и разделим ее (если это необходимо) на 1-СМО и $(n - 1)$ -СМО так, чтобы свести до минимума среднее время цикла обработки Φ .

На втором этапе $(n - 1)$ -СМО играет роль исходной системы и ее (так же, как и на первом этапе систему n -СМО) разделяем на 1-СМО и $(n - 2)$ -СМО, доводя до минимума Φ и т. д.

Процесс заканчивается, когда среднее время цикла обработки для разделения $\{1\text{-СМО}; (n - k - 1)\text{-СМО}\}$ окажется больше, чем среднее время цикла обработки исходной для данного этапа системы $(n - k)$ -СМО, т. е. оптимальным разделением является

$$\underbrace{\{1 - \text{СМО}; 1 - \text{СМО}; \dots; 1 - \text{СМО}; (n - k) - \text{СМО}\}}_{k \text{ } \hat{a}_i \text{ } \hat{a}_i}$$

Отметим, что при возможности реализации идеального разделения этот алгоритм приведет к полному разделению на n одноканальных СМО. Исходными данными для расчетов являются количество единиц взаимозаменяемого оборудования n и набор потоков, которые определяются параметрами

$$\{\lambda_i, t_i, \tau_i\}_{i=1}^N,$$

где λ_i - интенсивность поступления i -го потока; t_i - среднее время обработки на станке одной заявки i -го потока; τ_i - время наладки оборудования под i -й поток; N - количество потоков.

Рассмотрим n -канальную систему, для которой справедливы следующие неравенства

$$(t_i + \tau_i) \cdot \lambda_i < 1. \quad (8)$$

Эти неравенства означают, что ни один поток не требует более одного станка. Если же в реальных условиях $n \geq N$, то при выполнении неравенства (8) задача становится тривиальной.

Поскольку мы предполагаем, что все входные потоки пуассоновские, то суммарный входной поток также пуассоновский с интенсивностью.

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i. \quad (9)$$

Чтобы определить интенсивность обслуживания заявок суммарного потока, введем в рассмотрение величину ω_i – среднее время обработки заявки i -го потока с учетом переналадки. Его можно определить следующим образом

$$\omega_i = t_i + \tau_i \cdot P_i, \quad (10)$$

где P_i – вероятность переналадки. Так как вероятность появления на входе системы заявки i -го потока равна λ_i / Λ , то очевидно

$$P_i = 1 - \frac{\lambda_i}{\Lambda}. \quad (11)$$

Среднее время обработки любого требования суммарного потока равно

$$\omega = \sum_{i=1}^N \omega_i \frac{\lambda_i}{\Lambda}. \quad (12)$$

Подставляя в (10) ранее полученные зависимости, получаем

$$\omega = \sum_{i=1}^N \left[t_i + \tau_i \left(1 - \frac{\lambda_i}{\Lambda} \right) \right] \frac{\lambda_i}{\Lambda} = \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^N t_i \lambda_i + \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^N \tau_i \lambda_i \left(1 - \frac{\lambda_i}{\Lambda} \right). \quad (13)$$

Тогда интенсивность обслуживания

$$\mu = \omega^{-1} = \Lambda \left[\sum_{i=1}^N t_i \lambda_i + \sum_{i=1}^N \tau_i \lambda_i \left(1 - \frac{\lambda_i}{\Lambda} \right) \right]^{-1}. \quad (14)$$

Коэффициент загрузки одного канала n -канальной СМО определяется как

$$\rho_n = \frac{\Lambda}{n \cdot \mu} \quad (15)$$

или, с учетом формулы (14), как

$$\rho_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N t_i \lambda_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \tau_i \lambda_i \left(1 - \frac{\lambda_i}{\Lambda} \right). \quad (16)$$

В формуле (16) первое слагаемое – чистая загрузка оборудования, а второе – дополнительная загрузка, образованная учетом времени переналадок. Очевидно, что дополнительная загрузка существенно зависит от количества входных потоков и разброса их параметров. Ее величина при сравнимых t_i и τ_i вносит значительный вклад в общую загрузку.

Обозначим через r_n – чистую загрузку, а через d_n – дополнительную, тогда

$$\rho_n = r_n + d_n. \quad (17)$$

Время цикла обработки для n-канальной системы определяется как сумма среднего времени обработки и среднего времени ожидания в очереди, т. е.

$$\dot{O}_o(n) = \dot{O}_{i\alpha}(n) + \omega = \frac{1}{\mu} \frac{(n\rho_n)^n}{(n-1)(n-n\rho_n)^2 \left[\sum_{k=0}^n \frac{(n\rho_n)^k}{k!} + \frac{(n\rho_n)^{k+1}}{n!(n-n\rho_n)} \right]} + \omega. \quad (18)$$

Напомним, что $\omega = \frac{1}{\mu}$ - определяется по формуле (14). Выпишем отдельно выражение для определения времени цикла обработки в одноканальной системе

$$\dot{O}_o(1) = \frac{1}{\mu(1-\rho_1)} = \frac{\rho_1}{A_1(1-\rho_1)}. \quad (19)$$

Для любой одноканальной системы

$$\rho_1 = \sum_{i \in I_1} t_i \lambda_i + \sum_{i \in I_1} \tau_i \lambda_i \left(1 - \frac{\lambda_i}{A} \right), \quad (20)$$

где суммирование ведется по множеству входящих в эту систему потоков I_1 .

Для идеального распределения принимаем, что на вход I-СМО поступает потоков с суммарной интенсивностью A/n , при этом среднее отношение λ_i/A_1 равно n/N . В этом случае чистая загрузка одного канала остается постоянной, т. е.

$$r_{\dot{e}\ddot{a}} = r_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N t_i \lambda_i. \quad (21)$$

Положим также, что отношение среднего времени переналадок к среднему машинному времени при идеальном разделении остается постоянным

$$\frac{\sum_{i \in I_1} \tau_i \lambda_i}{\sum_{i \in I_1} t_i \lambda_i} = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^N t_i \lambda_i} = \beta = const, \quad (22)$$

тогда нетрудно видеть, что

$$\rho_{\dot{e}\ddot{a}_1} = r_{\dot{e}\ddot{a}} \left[1 + \beta \left(1 - \frac{n}{N} \right) \right] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N t_i \lambda_i + \left(1 - \frac{n}{N} \right) \sum_{i=1}^N \tau_i \lambda_i. \quad (23)$$

Для вычисления функционала Φ требуются значения $T_1(\rho_1)$ и $T_n(\rho_n)$. Из (3), (15), (18) и (19) можно получить

$$\dot{O}_n(\rho_n) = \rho_n = \left\{ \frac{(n\rho_n)^n}{(n-1)(n-n\rho_n)^2 \left[\sum_{k=0}^n \frac{(n\rho_n)^k}{k!} + \frac{(n\rho_n)^{k+1}}{n!(n-n\rho_n)} \right]} + 1 \right\}, \quad (24)$$

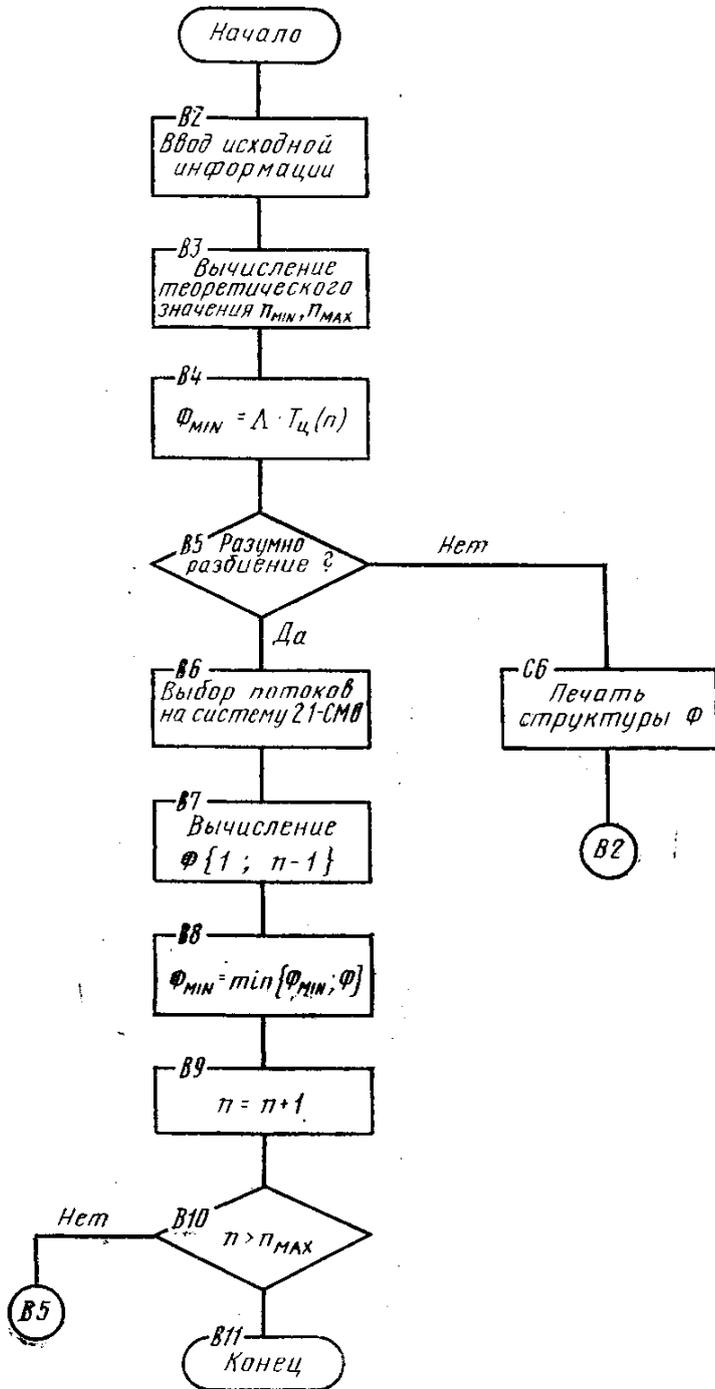


Рис. 3. Блок-схема программы расчета оптимальной специализации рабочих мест.

мест, но и выбрать разумное количество оборудования в такой группе, исходя из требования краткосрочной или долгосрочной специализации.

Следует отметить, что построение математических моделей анализа и синтеза производственных систем с помощью теории массового обслуживания позволяет получить как теоретические, так и практические результаты.

Такие модели можно использовать при построении группового производства на предприятиях с мелкосерийным и единичным выпуском изделий.

Литература: 1. Балдин К.В. и др. Управленческие решения. – М.: ИТК “Дашков и К⁰”, 2005. – 496 с. 2. Томашевский В.М. Моделирование систем. – К.: Вид. група ВНУ, 2005. – 352 с. 3. Многоканальные системы оптимального управления /Е.Е. Александров, Б.И. Кузнецов и др. – К.: Техніка, 1995. – 288 с.

$$\dot{Q}_1(\rho_1) = \frac{\rho_1}{1 - \rho_1}. \quad (25)$$

Для определения $T_{\dot{e}\ddot{a}_1}(\rho_1)$ следует в формулу (25) подставить $\rho_{\dot{e}\ddot{a}_1}$ из формулы (23).

Укрупненная блок-схема программы на основе алгоритмического языка PL/I, реализующей математическую модель оптимальной, с точки зрения длительности производственного цикла, специализации группы взаимозаменяемых рабочих мест представлена на рис. 3.

В рассмотренной математической модели вычисление минимального и максимального количества оборудования, основывалось на следующих предельно допустимых значениях средней загрузки каждого рабочего места

$$0,5 \leq \rho_{\dot{e}\ddot{a}} < 1.$$

В реальных условиях $\rho_{\dot{e}\ddot{a}_1} < 0,5$ говорит об избытке оборудования или неравномерности загрузки. В прикладном отношении приведенная модель позволяет на основании расчетов не только получить оптимальное разделение заданной группы взаимозаменяемых рабочих

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ

Макурин Н.С., канд. техн. наук, **Тютюнник В.В.** (г. Харьков, Украина)

The analytical description of technological process of manufacturing of product.

Разработка рациональных средств автоматизации технологических процессов производится на основе исследования и анализа реального ТП с привлечением математических методов оптимизации по ряду критериев. Одним из существенных критериев качества изготовления изделия является точность заданного выходного параметра изделия. Решение таких задач предполагает математическое описание закономерности и зависимости критерия качества от ряда технологических факторов.

Под математическим описанием процесса понимаем определение комплекса соотношений, связывающих выходные параметры изделия (объекта изготовления) с входными характеристиками исходных материальных элементов (заготовок) и режимами автоматизированного технологического процесса.

Основные закономерности и зависимости выходных параметров изделия при его автоматизированном изготовлении математически записываются двумя системами функциональных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_p; \vartheta_2, \dots, \vartheta_i, \dots, \vartheta_r); \\ \theta_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_p; \vartheta_2, \dots, \vartheta_i, \dots, \vartheta_r); \\ &\dots\dots\dots \\ \theta_i &= f_i(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_p; \vartheta_2, \dots, \vartheta_i, \dots, \vartheta_r); \\ &\dots\dots\dots \\ \theta_L &= f_L(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_p; \vartheta_2, \dots, \vartheta_i, \dots, \vartheta_r); \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_1 &= \varphi_1(z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_k); \\ \vartheta_2 &= \varphi_2(z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_k); \\ &\dots\dots\dots \\ \vartheta_i &= \varphi_i(z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_k); \\ &\dots\dots\dots \\ \vartheta_L &= \varphi_L(z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_k); \end{aligned} \right\} (2)$$

Вторая система уравнений (2), где z_1 - характеристика режимов технологического процесса, представляет математическое описание операций процесса и их влияние на текущие промежуточные конструктивные параметры изделия ϑ_i . Зная текущие значения x_i и ϑ_i , и решая систему уравнений (1), находим ожидаемую величину выходного параметра θ_i . При исследовании и анализе технологического процесса необходимо определить то минимальное количе-

ство промежуточных параметров, которое позволило бы в совокупности получить необходимый объем информации для автоматизированного управления процессом с требуемой точностью, причем отбирается такая совокупность, которая оказывает наиболее существенное влияние на параметры изделия. Следует учитывать, что технологический процесс как объект математического описания имеет свои трудности, а именно:

- 1) как правило, недостаточно изучены физическая сущность, «механизм» и «химизм» большинства основных (технологических) операций;
- 2) недостаточно разработаны или полностью отсутствуют критерии оптимальности промежуточных параметров процесса и изделия. Этот факт обуславливается вероятностным характером режимов технологического процесса и выхода качества изделия.

При анализе технологического процесса важно отметить систематические и случайные отклонения элементов процесса и качества изделия. Случайные отклонения подчиняются известным законам рассеяния погрешностей, систематические же отклонения легко обнаруживаются и их влияние устраняется, так как они связаны с какими-то определенными устойчивыми факторами, например с износом инструмента, нарушением настройки и т. д.

Случайные погрешности варьируются около заданного значения параметра, а их рассеяние подчиняется определенным законам распределения. При анализе случайных отклонений технологического процесса наибольшее распространение получили дифференциальные законы распределения, или плотность вероятности. Кривая, изображающая плотность распределения случайной величины, является кривой распределения. Если кривая $f(x)$ есть кривая распределения величины x , а $P(x_1 < x < x_2)$ - вероятность того, что величина x находится в заданном интервале между x_1 и x_2 , то

$$P(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (3)$$

При практическом исследовании процессов находят применение следующие законы:

1. Нормальный закон распределения характерен для автоматического производства изделий, для автоматической настройки и регулирования процесса и оборудования. Плотность нормального распределения имеет выражение

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M_x)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение параметра; M_x - математическое ожидание (среднее значение) параметра.

При экспериментальном исследовании среднее значение

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (5)$$

где x_i - отдельные значения параметра (наблюдаемая величина), среднее квадратическое отклонение случайных величин x_1, x_2, x_3, \dots от их среднего значения

$$\sigma = s^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

Вероятность попадания случайной величины в симметричный интервал ($x_1 = -x_1, x_2 = x_1$) вычисляется по формуле

$$P(-x_1 < x < x_1) = P(|x| < x) = 2\hat{O}\left(\frac{x_1 - \bar{x}}{\sigma}\right), \quad (7)$$

где $\hat{O}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \frac{1}{2} P(|x| < t\sigma)$ - интеграл вероятностей, численное значение которого приведено в [1].

При несимметричном интервале (x_1, x_2)

$$P(x_1 < x < x_2) = \hat{O}\left(\frac{x_2 - \bar{x}}{\sigma}\right) - \hat{O}\left(\frac{x_1 - \bar{x}}{\sigma}\right). \quad (8)$$

Вероятность того, что случайная величина выходит за границы $\pm t\sigma$ ($t > 0$), определяется по формуле:

$$P(|x| > t\sigma) = 1 - 2\hat{O}(t). \quad (9)$$

При анализе технологического процесса используют такие характеристики, как мода и медиана. Модой M называют наиболее вероятное значение случайной величины, а медиана Me - линия раздела площади кривой на две равные части ($S_1 = S_2$). Кривые распределения случайных величин могут характеризоваться коэффициентом асимметрии a , который выражает смещение моды относительно среднего значения

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{n^3}}{\sigma^3}. \quad (10)$$

2. Когда распределение случайной величины происходит в одну сторону, оно может описываться кривой Максвелла, в которой одно плечо кривой равно 3σ , а второе - менее 3σ . Распределение по кривой Максвелла составляет около 20 % от общего числа кривых распределения. К ним относятся эксцентриситеты, биения, дебалансы, неперпендикулярности, непараллельности, разнотолщинности и пр. Особенно характерно оно для процессов с ручным управлением, при ручной настройке и регулировке режимов технологического процесса и оборудования.
3. Распределение доминирующих случайных величин или их изменений (износ инструмента, изменение температуры, износ деталей машин-автоматов и т. д.) в реальных условиях производства описывается рядом кривых, приведенных в табл. 1.
4. При практической реализации технологических процессов распределения редко подчиняются этим законам в чистом виде, чаще - в их комбинации.

Наиболее распространена комбинация равновероятного и нормального

законов распределения случайных величин (например, при автоматической механической обработке на станках автоматах), где они суммируются. Если случайные факторы (величины) независимы, то можно записать, что $x=y+z$, где y - случайная величина, подчиняющаяся равномерному закону, причем $-l \leq y \leq +l$ (табл. 1), z - подчинена нормальному закону распределения ($-\infty \leq z \leq +\infty$).

Таблица 1

Распределение случайных величин при наличии доминирующего фактора

Характер доминирующего фактора	Кривая распределения	Математическое выражение
Равномерное (равновероятное) определение		$f(x) = \begin{cases} 0; & \text{при } -\infty < x < x_1 \\ \frac{1}{x_2 - x_1}; & \text{при } x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0; & \text{при } x_2 < x < +\infty \end{cases}$ $\sigma(x) = l/\sqrt{3}$
Замедленное измерение доминирующего фактора		<p>при $l = 1$</p> $M(x) = l/3$ $\sigma(x) = l/\sqrt{3}$
Равноускоренное изменение доминирующего фактора		<p>при $l = l$</p> $M(x) = l/3$ $\sigma(x) = l/\sqrt{6}$
Изменение доминирующего фактора вначале равнозамедленно (характерно для изменения фактора влияния температуры)		$M(x) = 0$ $\sigma(x) = l/\sqrt{6}$

Отсюда получают дифференциальный закон распределения случайной величины x в следующем виде

$$f(x) = \frac{1}{2l} \left[\hat{O}_0 \left(\frac{x+1}{\sigma} \right) + \hat{O}_0 \left(\frac{x-1}{\sigma} \right) \right] . \quad (11)$$

где Φ_0 - нормированная функция Лапласа, табулированные значения которой приведены в [2]. Кривые композиции нормального и равновероятного распределений согласно [2] иллюстрирует плотность вероятности суммы двух независимых величин. Вид комбинированной кривой определяется относительным «весом» α доминирующего фактора, который выражается отношением величин полей рассеяния доминирующего фактора в совокупности всех остальных. Так при значении $\alpha=0$ распределение величины $f(x)$ из (11) будет соответствовать кривой нормального закона. Если $\alpha > 10$, то кривая $f(x)$ будет стремиться к кривой равновероятного распределения. В более сложных случаях, когда изменения доминирующего фактора неравномерны, а его относительный вес значителен в совокупности других факторов, кривые распределения несимметричны.

Анализ технологических процессов показывает, что выходные параметры изделия математически формируются сложными многофакторными зависимостями, что вынуждает помимо детерминированных параметров учитывать случайные и их взаимосвязь.

Литература: 1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. - М.: Высш. шк., 2000. - 480 с. 2. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство. - М.: Наука, 1971. - 246 с. 3. Венецкий И.Г., Кильдишев Г.С. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Статистика, 1975. - 264 с.

УДК 621.91

ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА И КРИТЕРИИ ЗАТУПЛЕНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Хавин Г.Л., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

The technological criterion of bluntness for cutting of fiber glass is considered. This criterion is characterized tool life and surface condition. The recommendations of geometrical parameters of hard metal drills are presented.

Выбор оптимальной геометрии инструмента для обработки высокопрочных композиционных материалов типа стеклопластиков кроме выполнения условий по традиционным ограничениям должен включать в себя учет закономерностей износа режущей кромки инструмента. Это объясняется высокой истирающей способностью наполнителя (стекловолокон, жгутов). Кроме того, особенно важными являются особенности оптимальной заточки инструмента, так как последний фактор во многом определяет качество обработки, в том числе и поучение заведомо бракованных деталей. На рис.1 представлены характерные виды брака при сверлении стеклотекстолита, приведенные в работе [1].

Поэтому задача выбора геометрии инструмента, учитывающей возможности характерного нарушения качества поверхности, в том числе в процессе изнашивания инструмента, является важной практической и актуальной задачей.

При обработке материалов такого класса, кроме традиционного критерия стойкости инструмента, необходимо учитывать требование минимизации ха-

ракторного брака. Поэтому целесообразность принятия технологического критерия затупления инструмента очевидна. В качестве такого критерия принимается такая величина износа инструмента, при которой значение появляющихся в результате обработки дефектов превосходят допустимые техническими условиями, которые предусмотрены заданием на изготовление детали.

Главной целью исследования является следующее. Необходимо увязать

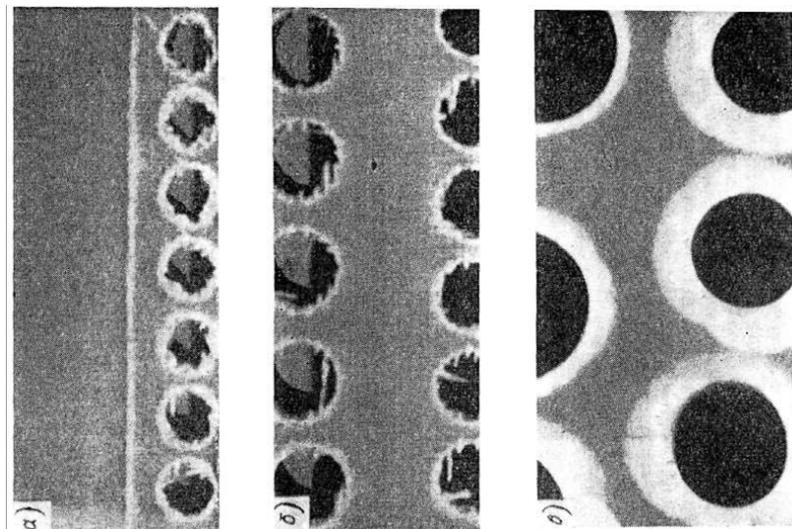


Рис. 1. Характерный брак при сверлении стеклотекстолитов.

значение износа инструмента (в основном по задней грани) с величиной дефектов обработки, а также исключить возможность использования инструмента с величиной износа, приводящей к возникновению брака (прижог, скол и т.д.). Кроме того, необходимо определиться в выборе геометрии инструмента и его заточки и ее влиянии на величину допустимого износа, соответствующего

технологическому критерию затупления.

Выбору рациональной геометрии режущего инструмента для механической обработки волокнистых композиционных пластиков посвящено большое количество экспериментальных и теоретических исследований [1-4]. Главное внимание всех исследователей уделено выбору заднего угла потому, что износ по задней грани инструмента фактически определяет стойкость. Значение вели-

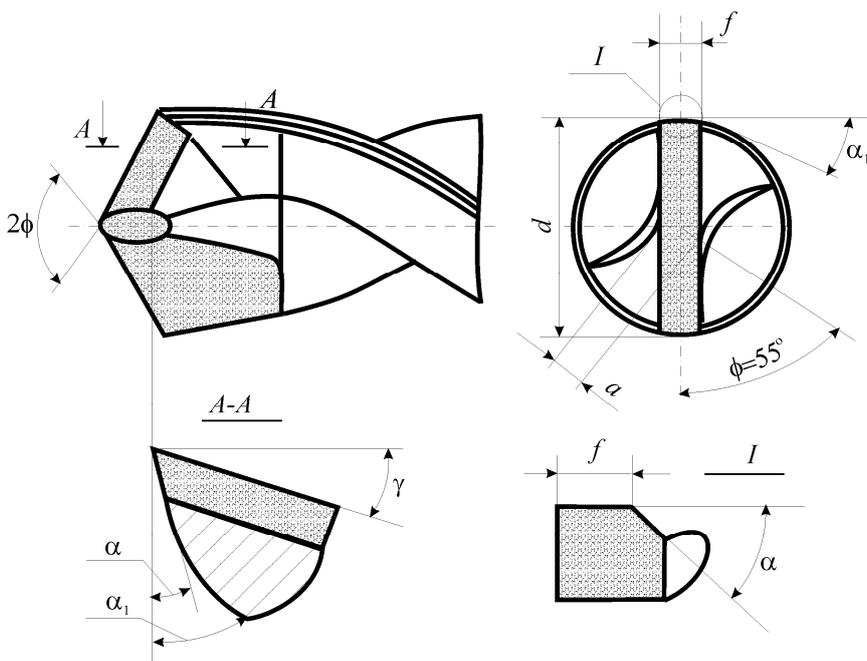


Рис. 2. Спиральная нормальная заточка режущей части сверла из твердого сплава.

чины заднего угла α определяется двумя взаимно противоположными факторами.

Во-первых, увеличение величины заднего угла снижает работу трения и, следовательно, износ по задней грани, что приведет к повышению стойкости инструмента. Во-вторых, увеличение α дает возможность уменьшить угол округления инструмента при вершине, что обеспечивает бо-

лее качественное врезание инструмента в обрабатываемый материал.

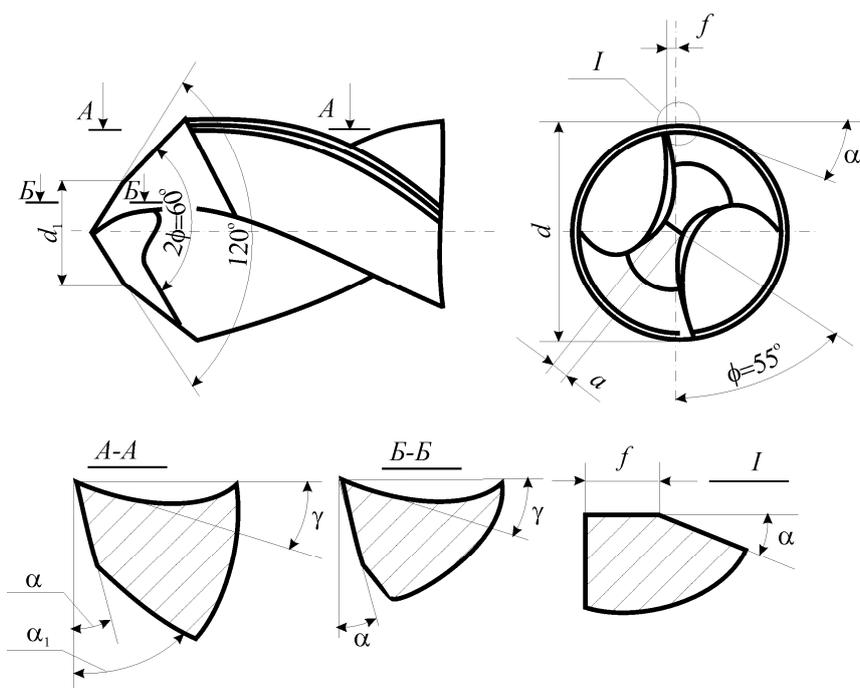
С другой стороны чрезмерное увеличение заднего угла приводит к ухудшению теплоотводящей способности режущего клина, вследствие уменьшения угла заострения. Кроме того, собственно уменьшение вершины режущего клина вызывает ее интенсивное абразивное истирание разрушенным наполнителем, и вызывает те же дефекты обработки, что и при малых углах α [1,3].

Как отмечено в подавляющем большинстве исследований [1-4] использование инструмента, в частности сверл, из быстрорежущей стали для обработки изделий из стекло- и углепластиков экономически целесообразно в исключительных случаях.

Сверление стеклотекстолитов, высокопрочных углепластиков, а тем более боропластиков имеет смысл производить инструментом из твердого сплава или алмазным инструментом. Причем алмазный инструмент предпочтительнее для большинства современных композиционных материалов. В работе [3] приведены рекомендуемые формы заточки режущей части, и конструкция сверл из твердых сплавов для сверления стекло-, угле- и боропластиков, рис. 2, рис. 3.

Рекомендуемые значения инструментальных углов при обработке твердым сплавом предлагаются такими. Стеклопластик - $2\varphi=100^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\alpha=20^\circ$; углепластик - $2\varphi=90-100^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\alpha=15^\circ$; боропластик - $2\varphi=105^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\alpha=20^\circ$.

Для других геометрических параметров можно воспользоваться данными из работы [1]. В частности приводятся рекомендации по перетачиванию традиционного твердосплавного сверла в сверло для обработки стеклопластиков типа СВМ, АГ-4 и стеклотекстолитов. При этом предлагается $2\varphi=70^\circ$, $\gamma=10^\circ$ и



вводятся следующие особенности: подточка поперечной режущей кромки (до $0,1D$, где D - диаметр сверла); подточка направляющих цилиндрических ленточек на длине 2 - 5 мм до ширины 0,2 - 0,4 мм с целью создания на ленточках заднего угла $8-12^\circ$. Фактически это означает в соответствии с обозначениями на рис.2,3 примерно: $a=1\pm 0,1$ мм; $f=0,3$ мм. Предельные отклонения

Рис. 3. Спиральная с двойной заточкой режущей части сверла из твердого сплава.

для углов не более $\pm 1^\circ$. Там же указано, что оптимальные значения заднего угла для сверла с пластинкой из твердого сплава (ВК8) для обработки стеклопластиков (АГ-4) составляет примерно $15-20^\circ$.

Таким образом, рассмотрена технологический критерий затупления твердосплавного инструмента при обработке волокнистых композиционных материалов как параметр, который определяет не только стойкость инструмента, но и, в первую очередь, качество обработки изделия. Представлена геометрия твердосплавных сверл, которые отвечают требованию по износу задней поверхности и гарантируют в пределах стойкости инструмента качество обработанной поверхности.

Работа выполнена в рамках проекта М2306, финансируемого министерством науки и образования Украины.

Литература: 1. Буловский П.И., Петрова Н.А. Механическая обработка стеклопластиков. - Л.: Машиностроение, 1969.- 152 с. 2. Тихомиров Р.А., Николаев В.И. Механическая обработка пластмасс.- Л.: Машиностроение, 1975.- 206 с. 3. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987.- 176 с. 4. Руднев А.В., Королев А.А. Обработка резанием стеклопластиков. – М.: Машиностроение, 1969.- 119 с.

УДК 621.512.011.81

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ АДАПТИВНОГО ПРОЦЕССА В ИНТЕГРИРОВАННОМ ПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Клещёв Г.М., канд. техн. наук (г. Одесса, Украина)

In clause the geometrical and mathematical model of the information integrated industrial complex with use of the mathematical device the Offered methods is considered and the algorithms have positive differences from already known.

ВВЕДЕНИЕ. Последние несколько лет, в связи с нехваткой (отсутствием) специалистов по предметной области, были ознаменованы значительным повышением интереса к компьютерным системам, посредством которых можно обеспечить эффективное управление предприятием. Причём растёт спрос именно на интегрированные системы управления - автоматизация отдельной функции, вроде бухгалтерский учёт или сбыт готовой продукции, считается уже пройденным этапом для многих предприятий [1]. Поэтому, представленная и описанная в статье [2], модель информационного интегрированного промышленного комплекса (ИИПК) с адаптивной моделью, является своевременным и необходимым.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ. В качестве объекта исследования нами принята структура адаптивной модели (см. рис.) информационного интегрированного промышленного комплекса (ИИПК) процесса управления механическим производством, а в качестве предмета исследований - математический аппарат и модели принятия решений.

Для описания математической модели интегрированного комплекса использованы алгоритмы и методы теории системного анализа и синтеза оптимизации организованных структур.

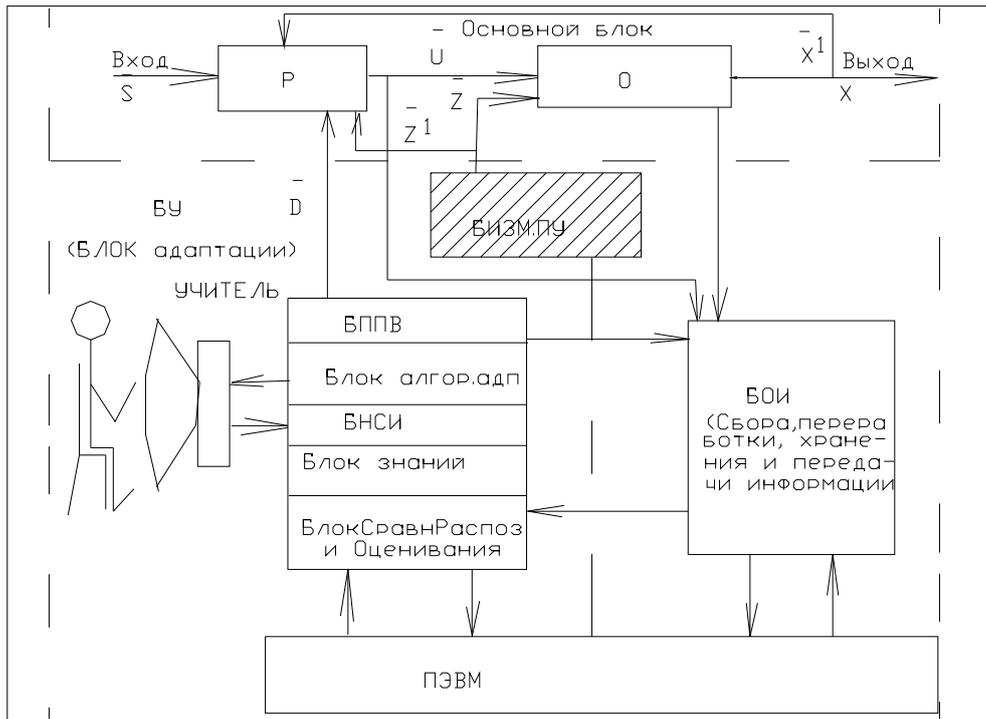


Рис. Геометрическая модель адаптивного процесса в ИИПК.

Рассматриваемая модель базируется на теоретико-множественном подходе, в основе которого лежит представление системы в виде совокупности множества элементов. Соответствующая структура которых, определяется как иерархическая совокупность от поверхностей различных классов деталей, множеств сопряжения, до отдельных систем входящих в МИИПК, определенных на элементах структуры, а процедура синтеза - в виде теоретико-множественных операций над множествами [3].

При синтезе оптимальной структуры системы управления производством наиболее эффективным является применение теоретико-множественного подхода. Данный подход обеспечивает возможность наиболее полно наделять полученные конструкции конкретными математическими структурами и предельно обобщенно подойти к проблеме описания сложных систем, к которым относятся системы управления производством. При этом мы исходили из понятия системы S как подмножества декартового произведения некоторого семейства множеств:

$\{V_i | i \in I\} \quad S \subset \prod_{i \in I} V_i$, I - множество индексов, принимая во внимание существо-

вание глобальной реакции системы:

$$R : X \times \prod_{i \in I_1} V_i \rightarrow \prod_{j \in I_2} V_j,$$

где: $I_1 \cup I_2 = I$ и $I_1 \cap I_2 = \emptyset$; X - некоторое абстрактное множество, называемое множеством состояний.

Иерархическая n - уровневая система U , представляет собой совокупность векторов [2]:

$$U = (X, Z, \Omega, \varphi, \psi), \quad (1)$$

где X - множество состояний системы, которая является декартовым произведением множеств $\tilde{O} = \prod_{i=1}^n X_i$.

Множество управлений Ω и множество внешних воздействий Z являются множествами отображений:

$$\begin{aligned} \forall z \in Z \quad Z : X &\rightarrow X, \\ \forall \omega \in \Omega \quad \omega : X &\rightarrow X. \end{aligned}$$

Причем:

$$\begin{aligned} Z &= \prod_{i=1}^n Z_i, \quad \Omega = \prod_{i=1}^n \Omega_i, \text{ так что} \\ z(x) &= (z_1(x_1), z_2(x_2), \dots, z_n(x_n)), \\ \omega(x) &= (\omega_1(x_1), \omega_2(x_2), \dots, \omega_n(x_n)) \\ &\text{для всех } x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X, \end{aligned}$$

где $z_i \in Z_i : X_i \rightarrow X_i$, $\Omega_i \ni \omega_i : X_i \rightarrow X_i$.

Будем полагать, что множества Z_i и Ω_i содержат элемент \wedge такой, что $\wedge(x) = x$, для всех $x \in X_i$ и для $i = 1, 2, \dots, n$.

$$\varphi : X \rightarrow P(X), \quad \psi : X \rightarrow P(Z),$$

где $P(\cdot)$ - совокупность всех непустых подмножеств, множества m , φ и ψ являются диагональными произведениями

$$\varphi = \Delta_{i=1}^n \varphi_i, \quad \psi = \Delta_{i=1}^n \psi_i$$

отображений

$$\varphi_i : X \rightarrow P(X_i), \quad \psi_i : X \rightarrow P(Z_i), \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Так что для каждого $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$\varphi(\tilde{o}) = \prod_{i=1}^n \varphi_i(x), \quad \psi(\tilde{o}) = \prod_{i=1}^n \psi_i(x),$$

где $\varphi_i(x)$ определяются значениями многозадачных отображений

$$\varphi_{ki} : X_k \rightarrow P(X_i), \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

как первое непустое множество в последовательности

$$A_n \subseteq A_{n-1} \subseteq \dots \subseteq A_1,$$

$$A_m = \bigcap_{k=1}^m \varphi_{ki}(x_k), \quad (m = 1, 2, \dots, n).$$

Аналогично $\psi_i(x)$ - первое непустое пересечение $B_m = \bigcap_{k=1}^m \psi_{ki}(x_k)$ в по-

следовательности $B_n \subseteq B_{n-1} \subseteq \dots \subseteq B_1$.

Таким образом, иерархическую систему (1) можно рассматривать как систему, состоящую из n -уровней ($i=1, 2, \dots, n$).

$$U_i = \left(X_i, Z_i, \Omega_i, \{\varphi_{ij}\}, \{\psi_{ij}\}_{1 \leq j \leq n} \right). \quad (3)$$

Будем называть множество X_i множеством состояний i -го уровня, Ω_i - множеством возможных управлений i -м уровнем и Z_i - множеством внешних воздействий на i -й уровень. $\varphi_{ij}(x)$ можно интерпретировать как множество j -го уровня, удовлетворяющее требованиям i -го уровня, находящемся в состоянии $x \in X_i$. В частности множество $\varphi_{ii}(x)$ будем называть собственной целью i -го уровня, отвечающей его состоянию x . Если $\varphi_{ij}(x) = X_j$, то это будет означать инвариантность состояний x i -го уровня к состояниям j -го уровня.

Множество $\psi_{ij}(x)$ является множеством допустимых управлений на j -ом уровне, определяемым состоянием x уровня U_i . Отсутствие ограничений на управляемость j -м уровнем со стороны уровня U_i , находящегося в состоянии x , выражается равенством $\psi_{ij}(x) = Z_j$.

Отображения φ_i и ψ_i определяют приоритетность уровней (3). Действительно, при определении значения $\varphi_i(x)$, (соответственно $\psi_i(x)$) ($x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$) прежде всего, учитываются элементы множества $\varphi_{1i}(x_1)$, затем $\varphi_{2i}(x_2)$ и т.д. до $\varphi_{ni}(x_n)$ (соответственно $\psi_{1i}(x_1), \psi_{2i}(x_2), \dots, \psi_{ni}(x_n)$).

Сохраняя принятую индексацию, можно говорить, что уровень U_k является вышестоящим по отношению к U'_k , если $k < k'$ ($U_k > U'_k$). Следовательно, можно говорить об упорядоченном множестве уровней (3) системы U :

$$U_1 > U_2 > \dots > U_n,$$

взаимосвязь которых как сверху вниз, так и снизу вверх характеризуется функциями φ_{ij} и ψ_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) и не ограничивается при этом взаимодействиями между соседними уровнями.

Состояние x системы U будем называть идеальным, если x является неподвижной точкой многозначного отображения φ , т.е. $x \in \varphi(x)$. Если множество неподвижных точек отображения φ не пусто ($F_{ix}\varphi \neq \emptyset$), то система U называется разрешимой.

Иерархическая система потенциально управляема в состоянии x , когда существует такое управление $z \in \psi(x)$, что $z(x) \in \psi(z(x))$, и полностью управляема в состоянии x , если $\forall \omega \in \Omega \exists z \in \psi(x)$, что $z(\omega(x))$ - неподвижная точка отображения φ .

В общем случае под управлением иерархической системы можно понимать конечную последовательность управлений z_1, z_2, \dots, z_p , которая приводит

состояние x системы в состояние x_p , так что $z_l(x) = x_l$, $z_l(x_{l-1}) = x_l$ ($l = 1, 2, \dots, h$).

Если ввести в рассмотрение функцию $f : Z \rightarrow R$ множества Z во множество действительных чисел, то можно говорить, например, о „стоимости” управлений и решать задачу об оптимальном управлении в интегрированных системах.

Для разрешимости системы U необходимо, чтобы $(F_{ix}\varphi_{11} \neq 0)$. Действительно, если $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ - неподвижная точка отображения φ , то $x_1 \in \varphi_1(x)$.

В силу определения φ_1

$$\varphi_1(x) \cap \varphi_{11}(x_1) \neq \emptyset \text{ и } \varphi_1(x) \subseteq \varphi_{11}(x_1),$$

следовательно: $x_1 \in \varphi_{11}(x_1)$.

Пусть x_1, x_2, \dots, x_n являются компактными выпуклыми непустыми множествами в банаховых пространствах x_1, x_2, \dots, x_n . Тогда для того, чтобы иерархическая система (1) была разрешимой, достаточно, чтобы отображения (2) φ_{ki} ($1 \leq i, k \leq n$) были замкнутыми и выпуклыми.

Действительно, при этих условиях множество состояний X иерархической системы является компактным выпуклым множеством в банаховом пространстве $x = \prod_{i=1}^n x_i$.

В силу определения отображений φ_j ($j = 1, 2, \dots, n$) для всех $x \in X$ отображение $\varphi_j(x)$ непустое и для каждого $j \exists_k : \varphi_j(x) = \bigcap_{i=1}^k \varphi_{ij}(x)$.

Поэтому для всех $\varphi_j(x)$ является замкнутым и выпуклым как непустое

пересечение выпуклых множеств. Тогда отображение $\varphi = \bigtriangleup_{j=1}^n \varphi_j$ будет удовлетворять условиям замкнутости и компактности. И по теореме Какутани о неподвижных точках имеем $F_{ix}\varphi \neq \varphi$.

В рыночных отношениях большое значение имеют и связи предприятия с

окружающей (внешней- Z) средой. Хотя окружающая среда и выходит за пределы конкретного предприятия, однако она играет значительную роль в содержании управленческой деятельности. Поэтому менеджмент предприятия должен уметь приспособливать организацию (фирму) к потребностям окружающей среды[4].

Окружающая среда представляет собой объективные обстоятельства, факторы, которые окружают организацию в обществе (государстве), к которым она должна приспособливаться.

ВЫВОДЫ. Представленные в статье информационный интегрированный промышленный комплекс и описывающие его структуру алгоритмы автоматизированного синтеза, а также исследования в области управления механопроиз-

водством обеспечивают снижение трудовых и временных затрат.

Литература: 1. Гужва В. М. Інформаційні системи і технології на підприємствах. Київ, - Київський Національний Економічний Університет, 2001. 2. Gennadiy Kleshchev. Integrated industrial information complex of economic systems control for farming industry. Сб. трудов международной научно- технической конференции. MOTROL'2006, том 8А, Люблин, 2006, с 158- 167. 3. Математические методы оптимизации и структурирования систем / Межвузовский сб. - Калинин: КГУ, 1980. - С. 115-119. 4. Как работают японские предприятия. Перевод с англ./Под ред. Я Мондена и др. М.,1989. 5. Компакт диск CD AutoCAD^R (2000, 2002).

УДК 629.735.33.033

ПНЕВМОИМПУЛЬСНЫЕ КЛЕПАЛЬНЫЕ МОЛОТКИ В ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Чистяк В.Г., канд. техн. наук, **Воробьев Ю.А.**, канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

Preconditions of application of the manual pulse tool in assembly processes, advantages pneumopulse riveting hammers, a characteristics and prospect of their application are stated.

Вопрос преимущественного применения импульсных технологий в решении конкретных производственных задач является неоднозначным, а зачастую и противоречивым. В современных экономических условиях чрезмерное и необоснованное рекламирование импульсных технологий, призванных как бы вытеснить все традиционные формообразующие технологии и оборудование, должно расцениваться не только вредным, но и недопустимым.

Вместе с тем многочисленные разносторонние исследования, опыт и практика внедрения, в частности, импульсных процессов деформирования в промышленности показывают, что они обладают рядом бесспорных преимуществ. Так, к основным преимуществам, являющимся предпосылками внедрения альтернативных импульсных технологий, относятся [1]:

- повышение качества выполняемых операций операторами невысокой квалификации;
- высокие энергетические показатели (в том числе удельная энергоемкость);
- повышение производительности;
- снижение ряда затрат, связанных с изготовлением технологической оснастки;
- расширение технологических возможностей процессов в различных областях народного хозяйства;
- технологическая гибкость процессов;
- возможность изменения механических, структурных и других свойств материалов, создания материалов с новыми управляемыми свойствами и др.

В основном указанные преимущества распространяются и на импульсные технологические процессы, выполняемые ручным инструментом (прежде всего это клепально-сборочные процессы: клепка, клеймение, постановка болтов с упругопластическим натягом, дорнование, пробивка отверстий, чеканка, разваль-

цовка труб и т.п.).

Сущность работы ручных импульсных устройств заключается в преобразовании потенциальной энергии энергоносителя (давление газов при горении пороховых зарядов или других взрывчатых веществ, давление сжатого воздуха или инертного газа, электрическое или магнитное поле и др.) в кинетическую энергию рабочего инструмента, осуществляющего полезную работу непосредственно или воздействием через промежуточную передающую среду.

Имеющийся опыт эксплуатации и особенности импульсного инструмента [1, 2] позволяют сформулировать следующие предъявляемые к ним требования:

- улучшение условий труда исполнителей;
- высокая цикличность работы;
- удобство в эксплуатации и обслуживании;
- достаточная энерговооруженность;
- надежность, стабильность работы;
- эргономичность;
- технологичность;
- экономичность.

Среди ручных импульсных устройств, нашедших применение в сборочном производстве и в большей или меньшей степени удовлетворяющих указанным выше требованиям, получили распространение пороховые, магнитно-импульсные, пневмогидравлические и пневматические устройства [3]. Разнообразие применяемых энергоносителей усложняет выбор соответствующих данным производственным условиям ручных устройств и требует анализа конкретных эксплуатационных и экономических факторов.

Применение пороховых клепальных молотков с характерной для них высокой мобильностью и автономностью в производственных условиях сопряжено с неудобствами, связанными с выделением ядовитых газов, требующим дополнительной вентиляции, а также с недостаточной стабильностью энергии ударов.

Магнитно-импульсные клепальные устройства находят ограниченное применение на практике из-за использования громоздких и массивных приводов (напряжением до 6 кВ, массой до 500 кг), низкого КПД, необходимости в надежном экранировании инструмента от воздействия на организм исполнителя магнитного поля, сложности в управлении, низкой производительности (до 10 заклепок/мин), низкой надежности, трудоемкости в обслуживании.

Пневмогидравлические и пневматические импульсные молотки объединяет, прежде всего, то, что они работают от сети сжатого воздуха (давлением 0,5 МПа), как распространенного энергоносителя на предприятиях. Основное преимущество в том, что они по устройству и эксплуатации близки к долговременно применяемому ручному пневматическому инструменту, в частности, к многоударным клепальным молоткам, не требуется переоснащения энергетических коммуникаций предприятий.

Пневмогидравлические клепальные молотки работают от дополнительного привода (мультипликатора), что не только ограничивает маневренность исполнителей при сборке, но существенно снижает их цикличность (до 16 цик-

лов/мин.). Сдерживает внедрение пневмогидравлических молотков также недостаточная надежность конструктивных узлов, содержащих золотниковые пары.

Исследования импульсных технологий клепально-сборочного производства, накопленный опыт показывают предпочтительность и перспективность применения пневматического импульсного инструмента (пневмоимпульсных молотков) [2]. Импульсный клепальный инструмент призван заменить традиционные многоударные молотки, вызывающие профессиональные заболевания клепальщиков, а, следовательно, обеспечить улучшение условий труда, повышение культуры производства. Такие молотки благоприятно сочетают преимущества многоударных пневматических и импульсных пневмогидравлических молотков в использовании дешевого и удобного в эксплуатации энергоносителя (сжатого воздуха 0,5 МПа) и, вместе с тем, избавлены от характерных для них недостатков. Большое значение при разработке инструмента имеет преемственность конструкции вновь создаваемого инструмента существующему в производстве. Преемственность не требует создания новых систем энергоснабжения и служб обслуживания инструмента, позволяет использовать сложившийся опыт эксплуатации.

Наиболее удачной по работоспособности, надежности конструкции, стабильности энергии ударов, технологичности в изготовлении является пневмоимпульсный клепальный молоток модели МПИ-90М.

Достичь существенного повышения энерговооруженности и стабильности энергии ударов и создать условия для промышленного применения пневмоимпульсных клепальных молотков, устранив основные недостатки известных, удалось благодаря наличию в предложенной схеме ресивера определенного объема, служащего накопителем сжатого воздуха. Компоновка энергоузла пневмоимпульсного молотка, характерная кольцевым расположением емкости ресивера относительно ствола, вполне приемлема с точки зрения доступности инструмента к местам клепки. При такой компоновке габаритные размеры молотка определяются практически внешними размерами ресивера. Предварительные расчеты показывают, что пневмоимпульсный молоток, располагая энергией удара 90...120 Дж (достаточной для деформирования широко распространенных заклепок из алюминиевых сплавов \varnothing 4...5 мм), имеет приемлемые габаритные размеры энергоузла, что в большинстве случаев удовлетворяет возможностям подходов к местам клепки и не затрудняет удерживание и манипуляцию клепальщиков с инструментом.

Большое значение для пневматических устройств имеет степень расширения энергоносителя, определяющая не только его габаритные размеры, но и удельную энерговооруженность. Рациональные значения степени расширения для энергоузлов ручного пневмоинструмента $\varepsilon = 1,4...1,6$.

Решающим фактором, улучшающим условия труда клепальщиков, является исключение статического мышечного усилия нажатия на молоток перед нанесением удара. Это достигается в разработанной конструкции молотка за счет автоматического возврата обжимки в исходное положение. Не вызывает затруднений в управлении молотком конструкция пускового золотникового воздухораспределителя. Плавность его перемещения обеспечивается без особого усилия благодаря пневматическому управлению воздухораспределителем,

при котором усилие нажатия на курок снижается до минимума (менее 2 Н). Улучшение условий труда, кроме исключения прижимного воздействия клепальщика на молоток и снижения до минимума усилия нажатия на курок, достигается также демпфированием энергии отдачи. В процессе отдачи корпус "откатывается" и толкатель дополнительно сжимает воздух в стволе молотка, что повышает его КПД.

Выполнение в носовой части ствола клапана быстрого сброса давления из предбойковой полости в атмосферу обеспечивает также повышение КПД, молотка за счет уменьшения противодействия при разгоне бойка. При этом также повышается цикличность работы пневмоимпульсного молотка.

Конструкция энергоузла пневмоимпульсного молотка, является расходной. Расход сжатого воздуха в основном определяется объемом хода бойка, равным объему предбойковой полости ствола.

Возможность оперативного и плавного регулирования энергии ударов пневмоимпульсного молотка позволяет вести процесс на оптимальных режимах. Это является удобным в эксплуатации молотка, так как для клепально-сборочного производства характерна частая подстройки энергии ударов. Регулирование энергии можно осуществлять либо вращением ствола относительно корпуса молотка, меняя проходное сечение окон, либо, что предпочтительнее с точки зрения стабильности энергии ударов, с помощью редукционного клапана блока подготовки сжатого воздуха. Опыт показывает, что благоприятным условием, учитывающим эксплуатацию пневмоимпульсных молотков, является использование блока подготовки воздуха. При этом улучшаются условия работы подвижных и золотниковых элементов молотка, повышаются надежность работы и стабильность энергии, создается возможность обеспечения плавного регулирования энергии ударов с помощью редуктора давления.

Таким образом, благодаря исключению прижимного усилия при клепке и снижению до минимума усилия нажатия на курок управления, демпфированию энергии отдачи корпуса при ударе улучшаются условия труда клепальщиков. Повышение стабильности энергии и КПД из-за применения ресивера, клапана быстрого сброса и отсечного клапана, удобство и плавность регулирования энергии, и другие особенности выгодно отличают рассматриваемую схему пневмоимпульсного молотка не только от разработанных конструкций, но и от других аналогов такого же назначения.

Клепка пневмоимпульсными молотками позволила реализовать ряд других преимуществ по сравнению, например, с магнитно-импульсной клепкой:

- улучшение условий труда клепальщиков и их психологического состояния, из-за исключения применения высокого напряжения и отсутствия воздействия магнитных полей;
- простота конструкции пневмоимпульсного молотка, его надежность, удобства в управлении, обслуживании и эксплуатации;
- отсутствие громоздких массивных приводов и соединительных кабелей, ограничивающих маневренность клепальщиков;
- высокая цикличность работы (в 4...6 раз превышающая цикличность магнитно-импульсных установок), отсутствие регламента на темп клепки;

- незначительные капитальные затраты на изготовление и эксплуатацию пневмоимпульсных клепальных молотков (в 40...60 раз меньше, чем для магнитно-импульсных установок);
- минимальные затраты на энергоноситель, существенная экономия электроэнергии.

Основные технические характеристики пневмоимпульсного клепального молотка мод. МПИ-90М приведены в таблице.

Параметры	Единица измерения	Величина
Энергия удара (макс)	Дж	90...120
Наибольший диаметр расклепываемой заклепки из сплава В65	Мм	∅ 5...6
Цикличность работы	удар/мин	50...60
Усилие, прикладываемое к рукоятке молотка	Н	0...5
Усилие нажатия на курок молотка	Н	1,0...2
Габаритные размеры	Мм	420x200x90
Масса	Кг	2,8...3,2
Расход сжатого воздуха (0,5 МПа) на один рабочий цикл	М ³	(0.4...0,5)*10 ⁻³

Примером перспективного применения пневмоимпульсных клепальных молотков может служить разработка устройства для двухсторонней (синхронной) клепки. В качестве силовых головок в таком устройстве используются наиболее совершенные конструкции пневмоимпульсных клепальных молотков. Кроме известных преимуществ синхронной клепки, связанных с повышением качества заклепочных соединений и расширения области применения импульсной клепки для жестких пакетов, клепка предложенным устройством если не исключает привлечение для осуществления процесса клепальщика и подручного, то, по крайней мере, облегчает слаженность работы, что особенно важно в условиях, затрудняющих их общение и сигнализацию.

В перспективе дальнейшее повышение эффективности применения пневмоимпульсных клепальных молотков и технологии импульсной клепки, улучшение качества соединений, условий труда клепальщиков ожидается в комплексе с применением групповых поддержек, способа и устройств для импульсной клепки со сжатием пакета, клепки методом образования потайной замыкающей головки (ПЗГ), синхронной клепки, клеймения, пробивки, дорнования отверстий и др.

Направлением уменьшения габаритных размеров, массы пневмоимпульсных молотков и повышения их энерговооруженности является повышение рабочего давления сжатого воздуха (до 1...1,2 МПа), что может достигаться применением, например, специально разработанных мультипликаторов ранцевого типа.

Необходимо отметить, что высокие скорости рабочего инструмента (более 20 м/с), оказывающие превалирующее влияние на энергетические показатели и кратковременность ударных процессов (менее 10⁻⁴ с), создали возможность реализации импульсных технологий ручным инструментом при незамкнутой

схеме силового нагружения с приемлемой для работы его массой. Однако, с другой стороны, высокие скорости неоднозначно влияют на показатели качества выполняемых технологических процессов. Так, например, при импульсной клепке высокие скорости деформирования способствуют большей равномерности распределения радиальных натягов в пакете соединяемых деталей, локализации пластических деформаций в пакете, возможности управления их значениями, что является одним из эффективных технологических методов повышения ресурса и герметичности заклепочных соединений. Вместе с тем увеличивается риск возникновения нежелательных структурных изменений материала крепежа, в частности локализации зон пластических деформаций, которые могут привести к разрушению замыкающих головок заклепок. Особенно чувствительными к высоким скоростям деформирования (более 15...20 м/с) являются стальные высокопрочные и титановые заклепочные сплавы.

Выводы.

1. При выборе ручного импульсного инструмента для выполнения клепально-сборочных работ предпочтение необходимо отдавать пневмоимпульсным молоткам низкого (0,5 МПа) давления, как наиболее полно удовлетворяющим требованиям производства.
2. Наиболее перспективной конструкцией пневмоимпульсного молотка является конструкция, содержащая клапан быстрого сброса сжатого воздуха из предбойковой полости ствола. Особенности данного пневмоимпульсного молотка мод. МПИ-90М, отличающие от других аналогов и заключающиеся в улучшении условий труда клепальщиков, повышении стабильности энергии ударов и КПД, удобстве и плавности регулирования энергии ударов, позволяют рекомендовать для практического внедрения.
3. Разработанные конструкции пневмоимпульсных клепальных молотков, совершенствующиеся в процессе опробования и эксплуатации, показали ряд технико-экономических преимуществ по сравнению с применяемыми магнитно-импульсными установками, что подтверждает эффективность и перспективность предлагаемого ручного инструмента.
4. Пневмоимпульсные молотки благодаря своим энергетическим характеристикам могут быть использованы в качестве рабочих органов вновь проектируемых клепальных агрегатов робототехнических комплексов, а также в качестве энергоузлов для других операций, например, клеймение, дорнование, постановка болтов с радиальным натягом, пробивка отверстий и др.
5. Для принятия оптимальных решений в применении импульсных молотков (устройств) для конкретных технологических процессов необходимо проведение предварительных технологических исследований влияния на показатели качества высоких скоростей деформирования.

Литература: 1. Гринева В.Н., Дудко П.Д., Крюк А.Г. и др. Проблемы развития современного общества: культура, инновации, высокие технологии и экология. Научное издание. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2003. – 300с. 2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технология машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 5. «Обработка металлов методами пластического деформирования» – Одесса: ОНПУ, 2004. – 522с. 3. Клепанные соединения и перспективы импульсных технологий их выполнения. Чистяк В.Г., Савченко Н.Ф.

**МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН С
ОРГАНИЧЕСКОЙ СВЯЗКОЙ КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

Новиков С.Г., канд. техн. наук, **Малыхин В.В.**, канд. техн. наук (г. Курск, Россия), **Новиков Ф.В.** докт. техн. наук (г. Харьков, Украина)

Model of interaction of diamond grains with organic sheaf of a circle at grinding.

Известны модели удержания алмазных зерен в связках шлифовального инструмента в виде куба, прямоугольного параллелепипеда или сферы с диаметром, равным наибольшему размеру зерна [1].

Недостатками предлагаемых моделей являются: зерна одинаково жестко заделаны как в металлическую, так и органическую связки шлифовального инструмента; не учитывается геометрия зерна; центр поворота алмазного зерна при потере устойчивости выбран на оси симметрии зерна; неверно объяснено образование на поверхности связки лунки удлиненной формы без остатков разрушившегося зерна.

Известна модель удержания алмазного зерна в связках шлифовального инструмента, включающая два обратных конуса с общим основанием, при этом один из конусов обращен к обрабатываемому материалу, а второй расположен в связке [2].

Модель имеет следующие недостатки:

1. Зерна одинаково жестко заделаны в металлическую и органическую связки инструмента. Но зерна «утопают» в процессе шлифования в более мягкую органическую связку, то есть нельзя считать, что алмазное зерно жестко защемлено в органической связке инструмента.
2. Для раскрытия физической сущности шлифования алмазным кругом на металлической связке рассматривается схема, в которой режущее зерно находится под действием лишь радиальной составляющей силы резания. При шлифовании кругами на органических связках наряду с радиальной необходимо учитывать и тангенциальную составляющую силы резания, действующую на отдельное зерно круга.
3. Центр поворота алмазного зерна при потере устойчивости расположен на оси симметрии конусов, что не позволяет учитывать радиальную составляющую силы резания при вырывании (опрокидывании) зерна из связки.
4. Невозможность аналитического исследования поведения режущего зерна в органических связках и определения направлений повышения эффективности процесса шлифования.

Ранее [3,4] нами предложена физическая модель шлифования алмазными кругами на органических связках. В настоящей работе предложена новая модель, технической задачей которой является исследование поведения и удержания алмазного зерна в органических связках шлифовального инструмента с учетом геометрии, износа зерна и действующих на него сил.

На рис. 1,а изображена модель алмазного зерна в статическом положении, когда не происходит процесс шлифования; на рис.1,б - алмазное зерно в органической связке в промежуточном положении; на рис.1,в - алмазное зерно в

момент его вырывания из органической связки шлифовального инструмента.

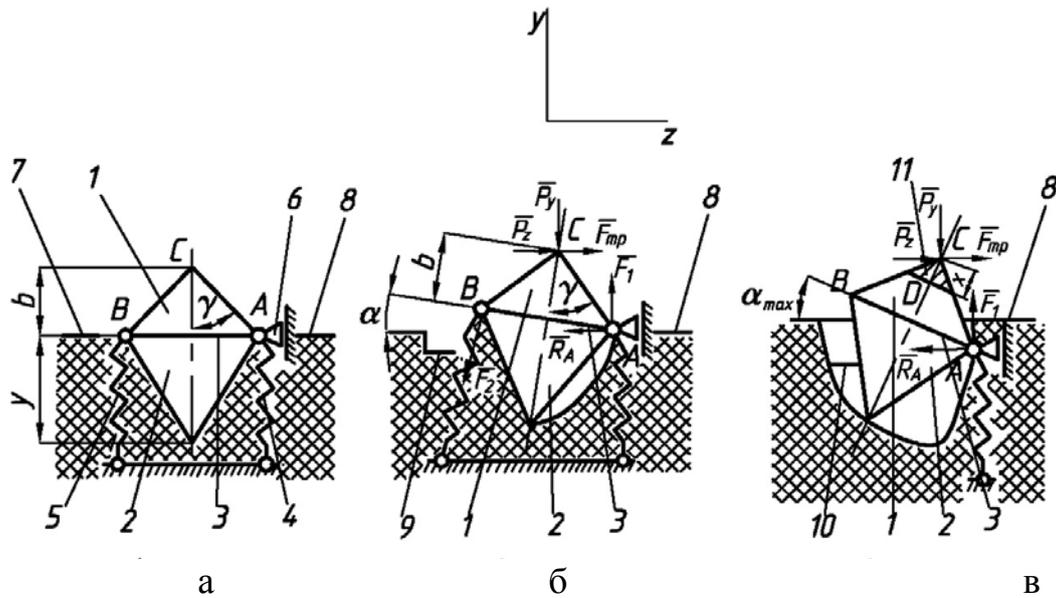


Рис.1. Расчетная схема процесса резания.

Модель удержания алмазного зерна в органических связках шлифовального инструмента включает два обратных конуса 1 и 2 с общим основанием 3, при этом конус 1 обращен к обрабатываемому материалу, а конус 2 расположен в связке, общее основание конусов 3 в диаметрально расположенных точках А и В в плоскости действия радиальной и тангенциальной составляющих силы резания размещено на двух параллельных пружинах 4 и 5, расположенных со стороны органической связки в направлении радиальной составляющей силы резания, точка А основания 3, удаленная от оси симметрии конусов 1 и 2 в направлении тангенциальной составляющей, выполнена в виде шарнирной подвижной опоры 6, с возможностью ее перемещения в направлении радиальной составляющей силы резания. В момент начала шлифования уровни органической связки 7 перед зерном и за зерном 8 одинаковы.

Для анализа поведения зерна при шлифовании введены обозначения: b - исходная максимальная высота выступания зерна над уровнем связки, м; γ - половина угла при вершине конуса 1 режущего зерна, град; y - высота конуса 2, расположенного в связке, равная наибольшему размеру зерна (критическая заделка зерна), м (рис. 1,а).

Модель функционирует следующим образом.

Выбираем систему координат YZ . При шлифовании острым зерном в вершине С конуса 1 приложены радиальная \bar{P}_y и тангенциальная \bar{P}_z составляющие силы резания. Кроме того, примем во внимание силу трения скольжения $\bar{F}_{\delta\delta}$ между алмазным зерном и обрабатываемым материалом, направленную в противоположную сторону от скорости круга $\bar{V}_{e\delta}$, то есть сила $\bar{F}_{\delta\delta}$ совпадает по направлению с вектором \bar{D}_z . Модуль $F_{\delta\delta} = f \cdot N = f \cdot D_{\delta}$, где f - коэффициент трения скольжения зерна с обрабатываемой поверхностью; $N = D_{\delta}$ - нор-

мальная реакция обрабатываемой детали. Весом зерна пренебрегаем ввиду его малости.

Мысленно отбросим связи, заменив их действия реакциями: массив упругой связки за зерном велик, поэтому при действии усилия \bar{D}_z перемещения зерна вдоль оси Z не будет, следовательно, реакция \bar{R}_A шарнирной подвижной опоры 6 направлена в противоположную сторону оси Z ; сила упругости \bar{F}_1 пружины 4 имеет направление вдоль оси Y ; органическая связка действует на основание 3 конусов 1 и 2 с распределенной нагрузкой, равнодействующая которой перпендикулярна основанию, тогда сила упругости пружины 5 $\bar{F}_2 \perp \hat{A}\hat{A}$, предполагаем что пружина растянута (рис. 1,б).

Так как все указанные действующие на зерно силы расположены в одной плоскости YZ , то точки зерна движутся параллельно этой неподвижной плоскости. Такое движение зерна является плоскопараллельным (плоским), то есть зерно совершает сложное движение - поворот с одновременным поступательным движением. Таким образом, «утопание» алмазного зерна в более мягкую органическую связку можно представить как поступательное движение полюса A вдоль оси Y и поворот на угол α вокруг полюса.

Составив три уравнения равновесия зерна под действием произвольной плоской системы сил, можно аналитически определять усилия и деформации, возникающие в органических связках в зависимости от положения в них алмазного зерна при шлифовании острым зерном. Например, составим сумму моментов всех сил относительно точки A и найдем момент M , возникающий в связке от силы \bar{F}_2 и удерживающий зерно:

$$\sum \dot{I}_{Ak} = 0; M + P_y \frac{b}{\cos \gamma} \cdot \sin(\gamma - \alpha) - (P_z + F_{\delta} \delta) \cdot \frac{b}{\cos \gamma} \cos(\gamma - \alpha) = 0.$$

$$\text{Тогда} \quad \dot{I} = D_{\delta} \frac{b \cdot \cos(\gamma - \alpha)}{\cos \gamma} \cdot [(K_{\delta} + f) - \text{tg} \gamma], \quad (1)$$

где $\hat{E}_{\delta} = \frac{P_z}{P_y}$ - коэффициент шлифования.

Видим, что регулирование удержания зерна можно достичь через $D_{\delta}, (\hat{E}_{\delta} + f), b, \gamma$.

В свою очередь $\dot{I} = a \cdot \delta$, где a - экспериментальная характеристика, учитывающая прочность удержания зерна в органической связке.

При плоскопараллельном движении зерна y постоянно увеличивается. При этом деформация и истирание органической связки приводит к ослаблению её жесткости и увеличению межзеренного пространства, то есть уменьшается параметр a и увеличивается величина b . Это в свою очередь вызывает «оголение» зерна и значительное перемещение его в связке. Кроме того, плоское движение зерна ослабляет адгезионные свойства связок, приводит к образованию «пустот» в них (люфт зерна), что объясняет выпадение зерен при малых

усилиях (самозатачивающиеся связки).

Деформации и износ органических связок, приводящие к увеличению межзеренного пространства, а также плоское движение зерен, устраняющее или уменьшающее вдавливание стружки в связку, приводит к тому, что связка как бы “дышит”. Это объясняет малое “засаливание” (то есть заполнение межзеренного пространства круга образующимися стружками) кругов на органических связках даже при шлифовании пластичных материалов.

Под воздействием стружки, сходящей по передней поверхности зерна, образуется стружечная канавка перед зерном. Канавки по бокам зерна появляются от воздействия стружки, которая выдавливается из стружечной канавки перед зерном. Алмазное зерно защищает связку инструмента за собой. Плоское движение зерна значительно увеличивает износ связки перед зерном и по его бокам и существенно увеличивает защиту связки за зерном. Поэтому уровень связки круга 9 перед зерном при шлифовании постоянно уменьшается по отношению к уровню неизношенной по высоте связки 8 за зерном. Ослабление фиксации зерна в органической связке приводит к увеличению угла поворота зерна α в процессе шлифования. При достижении значения α_{max} зерно вырывается из связки (рис. 1в).

Для определения α_{max} рассмотрим условие опрокидывания (вырывания) зерна. Очевидно, что силы \bar{P}_z и \bar{F}_{δ} , создавая опрокидывающий момент M_0 , стремятся опрокинуть (вырвать) зерно относительно точки А основания 3, наиболее удаленной от оси симметрии конусов 1 и 2 в их статическом положении. Момент органической связки M и сила \bar{P}_y с удерживающим моментом M_y сохраняют алмазное зерно в органической связке. Условие удержания зерна в связке имеет вид: $M + M_y - M_0 = 0$.

В момент вырывания зерна $M_0 = 0$ (сила $F_2 = 0$) и $M_y \leq M_0$.

После преобразований из зависимости (1) получаем:

$$\alpha_{max} \geq \gamma - \arctg(K_{uu} + f).$$

Так как весом зерна пренебрегаем, то

$$\alpha_{max} > \gamma - \arctg(K_{uu} + f). \quad (2)$$

Из выражения (2) понятно, что наибольшего угла α_{max} можно достичь за счет увеличения γ , уменьшения K_{uu} (шлифование острым зерном) и снижения f (импрогнация круга). Удерживающие свойства связки зависят также от ее материала, смачиваемости зерна, от состояния его поверхности и формы. Перечисленные факторы и создание искусственной шероховатости на поверхности алмазных зерен при их металлизации, использование зерен неправильной формы продлевают время пребывания зерна в связке.

При вырывании зерна уровень связки 10 перед зерном минимален и намного ниже уровня 8 неизношенной связки за зерном. Поэтому зерно под действием сил \bar{P}_z и \bar{F}_{δ} не может вдавливаться в связку за зерном. Во время эксплуатации шлифовального круга кроме напряжений сдвига постоянно присутствуют и изгибные напряжения. Из-за превышения напряжений сдвига и изгиба выше допустимых происходит поворот зерна относительно центра А и

разрыв изношенной связки перед зерном, что объясняет появление на рабочей поверхности инструмента удлиненной рваной лунки с утонченным концом с одной стороны без остатков разрушившегося зерна.

При шлифовании кругами на органических связках на алмазных зернах образуются площадки износа малых размеров, кроме того по мере затупления параметр шероховатости R_a стабилизируется во времени.

Различают три вида износа алмазного круга: круг теряет свои режущие свойства в результате износа зерен; затупившиеся зерна вырываются из связки; имеет место скалывание части зерна и образование новых режущих кромок, то есть круг работает в режиме самозатачивания. Однако, характер самозатачивания кругов на органической связке можно представить иначе.

При шлифовании острым зерном силы $\bar{P}_y, \bar{P}_z, \bar{F}_{\delta\delta}$ приложены к вершине конуса 1, который затупляется и появляется площадка износа 11 на расстоянии x , м от вершины C .

При повороте зерна на угол α_1 шлифование происходит одной из граней образовавшейся площадки с образованием новой площадки. При повороте на угол $\alpha_2 > \alpha_1$ сьем материала с детали происходит одной из граней новой площадки и т.д. до вырывания зерна из связки, то есть происходит “огранка” зерна с постоянным образованием острых режущих кромок. Следовательно, самозатачивание кругов на органических связках происходит не только за счет обновления рельефа при вырывании зерен из связки, но и постоянной “огранкой” зерен при их плоском движении без скалывания вершин. Поэтому действующие на зерно силы приложены не в вершине C , а в постоянно меняющей свое положение точке D , являющейся гранью площадки износа, соприкасающейся в данный момент времени с обрабатываемым материалом. Стабилизацию R_a также можно объяснить шлифованием зерном с постоянно обновляющимися острыми гранями, которые образуются в процессе “огранки” зерна.

Составив уравнения равновесия (силы $\bar{P}_y, \bar{P}_z, \bar{F}_{\delta\delta}$, приложенные в точке D , не показаны), можно получить аналитические зависимости, позволяющие исследовать поведение и условия удержания зерна с учетом его геометрии и износа в органических связках шлифовального инструмента. Например, составим еще раз уравнение равновесия зерна относительно точки опрокидывания A :

$$\sum \dot{I}_{Ak} = 0; M + P_y \left[\frac{b}{\cos \gamma} \cdot \cos(90 - \gamma + \alpha) + \frac{x}{\cos \gamma} \cdot \cos(90 - \gamma - \alpha) \right] - (P_z + f \cdot P_1) \cdot \left[\frac{b}{\cos \gamma} \cdot \sin(90 - \gamma + \alpha) - \frac{x}{\cos \gamma} \cdot \sin(90 - \gamma - \alpha) \right] = 0.$$

Имеем:

$$M = \frac{P_y}{\cos \gamma} \{ b \cdot \cos(\gamma - \alpha) \cdot [(K_{\theta} + f) - \operatorname{tg}(\gamma - \alpha)] - x \cdot \cos(\gamma + \alpha) \cdot [(K_{\theta} + f) + \operatorname{tg}(\gamma + \alpha)] \}. \quad (3)$$

Формула (3) позволяет определять момент в органической связке, удерживающий алмазное зерно с износом.

При $M = 0$ решим уравнение (3) относительно величины “ x ”:

$$x = \frac{b \cdot \cos(\gamma - \alpha_{max}) \cdot [(K_{\emptyset} + f) - \operatorname{tg}(\gamma - \alpha_{max})]}{\cos(\gamma + \alpha_{max}) \cdot [(K_{\emptyset} + f) + \operatorname{tg}(\gamma + \alpha_{max})]} \quad (4)$$

При $x = 0$ (шлифование острым зерном) зависимость (4) трансформируется в выражение (2), определяющее α_{max} .

При $x = b$ решим уравнение (4) относительно $(K_{\emptyset} + f)$:

$$(K_{\emptyset} + f) = \frac{\sin(\gamma + \alpha_{max}) + \sin(\gamma - \alpha_{max})}{\cos(\gamma - \alpha_{max}) - \cos(\gamma + \alpha_{max})}$$

Воспользовавшись формулами тригонометрических преобразований, находим:

$$(K_{\emptyset} + f) = \operatorname{ctg} \alpha_{max} \quad (5)$$

Из выражения (5) получим зависимости:

$$\alpha_{max} = \operatorname{arcctg}(K_{\emptyset} + f); \quad (6)$$

$$K_{\emptyset} = \operatorname{ctg} \alpha_{max} - f; \quad (7)$$

$$f = \operatorname{ctg} \alpha_{max} - K_{\emptyset}; \quad (8)$$

В формулах (5-8) отсутствует угол γ . Это означает, что зерно полностью изношено. При $x = b$ обрабатываемый материал начнет контактировать со связкой круга. Это приведет к интенсивному разрушению связки и обновлению рабочей поверхности круга за счет выпадения зерен из связки. Малопрочные органические связки, которые, как правило, работают в режиме самозатачивания, характеризуются равномерным во времени износом.

Важное значение в обеспечении устойчивости алмазных зерен в связках инструмента имеют силы сцепления зерна и связки, которые возникают в результате одновременного действия различных явлений: механического зацепления-заклинивания зерна в связке, сил адгезии, образования химического соединения между материалами связки и зерна.

Вывод: предложенная модель позволяет:

1. Представить зерна, размещенные в органических связках, совершающими плоскопараллельное движение, что объясняет возможность “утопания” зерен в процессе шлифования в более мягкую органическую связку.
2. Раскрыть физическую сущность шлифования алмазным инструментом на органических связках с учетом геометрии, износа зерна и действующих на него радиальной и тангенциальной составляющих сил резания, а также силы трения скольжения между алмазным зерном и обрабатываемым материалом.
3. Обосновать выбор центра поворота алмазного зерна при его опрокидывании (вырывание зерна из связки) относительно диаметральной точки общего основания обратных круговых конусов, расположенной в направлении тангенциальной составляющей силы резания и силы трения скольжения.
4. Предложить новую разновидность самозатачивания инструмента на органических связках постоянной “огранкой” зерен, происходящей при их плоском движении без скалывания вершин зерен.

5. Объяснить стабилизацию во времени параметра шероховатости R_a при обработке материала инструментом на органических связках тем, что шлифование происходит зерном с постоянно обновляющимися острыми гранями, которые образуются в процессе “огранки” зерна.
6. Показать, что малое “засаливание” кругов на органических связках происходит из-за плоского движения зерна во время шлифования.
7. Аналитически исследовать поведение режущего зерна в органических связках и определить направления повышения эффективности процесса шлифования.

Литература: 1. Попов А.В. Механико-прочностной анализ алмазного шлифовального инструмента.-Тул. гос. ун-т.-Тула, 2003. - 227с. 2. Новиков Ф.В., Кушниренко О.Т. К вопросу о физической сущности процессов комбинированного алмазного шлифования // Вісник інженерної академії України 2000: інформація по 2-ій міжнародній науково-технічній конференції «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве» ...1-3 листопада 2000 м. Харків.-Київ, 2000.- С. 244-252. 3. Новиков С.Г., Малыхин В.В. К вопросу физического моделирования шлифования алмазными кругами на органических связках// Тр. 4-й международной научно-техн. конференции “Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве”...23-24 октября 2001г.- Харьков, 2001.-С.128-134. 4. Малыхин В.В., Новиков С.Г. Количественная оценка удержания алмазных зерен в кругах на органической связке// Матер. 1-й научно-техн. конференции “Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации”...17-19 сентября 2003г.-Курск, 2003.-С.107-109.

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Новиков Г.В., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина),

Малыхин В.В., канд. техн. наук (г. Курск, Россия)

The account and analysis of parameters of power intensity of processing is made.

Процессы шлифования и доводки составляют большой удельный вес в металлообработке, однако до настоящего времени изучены недостаточно, особенно в плане оценки силовой и тепловой напряженности процесса обработки. Поэтому данная работа посвящена исследованию параметров силовой напряженности абразивной обработки. Для этого рассмотрим упрощенную расчетную

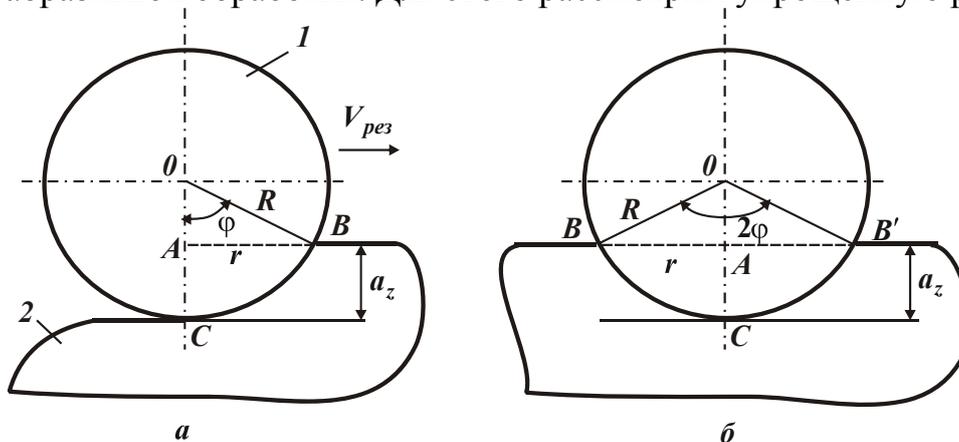


Рис. 1. Расчетная схема параметров процесса микрорезания единичным зерном: 1 – зерно; 2 – обрабатываемый материал.

схему для определения коэффициента резания-царапания единичным зерном $K_{рез} = P_z / P_y$ и условного напряжения резания $\sigma = P_z / S$, где P_z, P_y - соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; S - площадь поперечного сечения среза единичным зерном, м². Для расчетов примем форму режущего зерна в форме шара радиусом R , рис. 1.

Предположим, что радиальная составляющая силы резания P_y подчиняется закону вдавливания зерна в материал:

$$P_y = HV \cdot 0,5F, \quad (1)$$

где HV - твердость обрабатываемого материала по Виккерсу, Н/м²; $F = \pi \cdot r^2$ - площадь контакта зерна с материалом, м²; r - условный радиус контакта зерна с материалом, определяется из зависимости:

$$r = R \cdot \sin \varphi; \quad (2)$$

R - радиус зерна, м; φ - половина угла контакта зерна с обрабатываемым материалом. После несложных преобразований зависимость (1) примет вид:

$$P_y = 0,5 \cdot \pi \cdot HV \cdot R^2 \cdot \sin^2 \varphi. \quad (3)$$

Коэффициент 0,5 в зависимости (3) означает то, что в процессе резания с обрабатываемым материалом не контактирует тыльная часть режущего зерна, т.е. контакт происходит по линии АВ (рис. 1,а), что соответствует половине площади контакта F . Тангенциальную составляющую силы резания определим

$$P_z = HV \cdot S, \quad (4)$$

где S - площадь поперечного сечения среза режущим зерном, м².

Для определения площади S рассмотрим расчетную схему, приведенную на рис. 1,б:

$$S = S_1 - S_2, \quad (5)$$

где $S_1 = \pi \cdot R^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot \varphi}{2 \cdot \pi} \right)$ - площадь сектора BCB' с центральным углом $2 \cdot \varphi$ (в радианах); $S_2 = 0,5 \cdot 2r \cdot (R - a_z) = R \cdot (R - a_z) \cdot \sin \varphi$ - площадь треугольника BOB' ; a_z - толщина среза, м.

Окончательно площадь S и соответственно P_z выразятся:

$$S = R^2 \cdot \varphi - R \cdot (R - a_z) \cdot \sin \varphi, \quad (6)$$

$$P_z = HV \cdot R \cdot [R \cdot \varphi - (R - a_z) \cdot \sin \varphi]. \quad (7)$$

Произведем расчет коэффициента резания-царапания единичным зерном из условия отношения сил P_z и P_y , определяемых зависимостями (3) и (7):

$$\begin{aligned} K_{рез} &= \frac{P_z}{P_y} = \frac{HV \cdot R \cdot [R \cdot \varphi - (R - a_z) \cdot \sin \varphi]}{0,5 \cdot \pi \cdot HV \cdot R^2 \cdot \sin^2 \varphi} = \\ &= \frac{2}{\pi \cdot \sin^2 \varphi} \cdot \left[\varphi - \left(1 - \frac{a_z}{R} \right) \cdot \sin \varphi \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Из рис. 1,а определим отношение a_z / R и соответственно $K_{рез}$:

$$\cos \varphi = \frac{R - a_z}{R} = 1 - \frac{a_z}{R}, \quad (9)$$

$$K_{рез} = \frac{2}{\pi \cdot \sin^2 \varphi} \cdot (\varphi - \cos \varphi \cdot \sin \varphi). \quad (10)$$

В итоге пришли к зависимости, в которой коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ выражается вполне однозначно через угол φ . В табл. 1 приведены расчетные значения $K_{рез}$ в зависимости от угла φ .

Таблица 1

Расчетные значения $K_{рез}$

φ , град	0	10	20	30	45	60	75	90
φ , рад	0	0,1744	0,349	0,523	0,785	1,044	1,305	1,57
$\sin \varphi$	0	0,1736	0,342	0,5	0,707	0,866	0,9659	1,0
$\cos \varphi$	1,0	0,985	0,9397	0,866	0,707	0,5	0,2588	0
$\sin^2 \varphi$	0	0,03	0,117	0,25	0,5	0,75	0,933	1,0
$\cos \varphi \cdot \sin \varphi$	0	0,171	0,321	0,433	0,5	0,433	0,25	0
$K_{рез}$		0,072	0,152	0,23	0,363	0,519	0,72	1,0

Как следует из табл. 1, с увеличением угла φ в пределах $0 \dots 90^\circ$ коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ непрерывно увеличивается в пределах $0 \dots 1,0$. Исходя из рис. 1, увеличение угла φ соответствует увеличению отношения a_z / R . Следовательно, с увеличением отношения a_z / R коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ будет увеличиваться. Используя зависимость (10) с учетом зависимости (9), можно проанализировать связь коэффициента $K_{рез}$ с отношением a_z / R . Для этого в табл. 2 приведены рассчитанные по преобразованной зависимости (9) значения $a_z / R = 1 - \cos \varphi$.

Таблица 2

Расчетные значения отношения a_z / R

φ , град	0	10	20	30	45	60	75	90
a_z / R	0	0,015	0,06	0,134	0,293	0,5	0,741	1,0
$K_{рез}$	0	0,0557	0,108	0,162				

Как видно, с увеличением угла φ в пределах $0 \dots 90^\circ$ отношение a_z / R увеличивается в пределах $0 \dots 1,0$. В таких же пределах изменяется коэффициент резания-царапания $K_{рез}$, согласно данным, приведенным в табл. 1. Из этого следует, что при изменении угла φ в пределах $0 \dots 30^\circ$ значения $\sin \varphi$ и φ отличаются несущественно, что позволяет упростить зависимость (10), принимая $\sin \varphi \approx \varphi$:

$$K_{рез} = \frac{2}{\pi \cdot \sin \varphi} \cdot (1 - \cos \varphi) = \frac{2}{\pi} \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}. \quad (11)$$

Функция $\cos \varphi$ выражается зависимостью (9), а функция $\sin \varphi$ – с помощью тригонометрического соотношения:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{a_z}{R}\right)^2} \approx \sqrt{2 \cdot \frac{a_z}{R}}.$$

Тогда коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ окончательно примет вид:

$$K_{рез} = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{a_z}{R}}. \quad (12)$$

Как видно, с увеличением отношения a_z/R коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ увеличивается, однако не по линейной зависимости. В табл. 2 приведены рассчитанные по зависимости (12) значения $K_{рез}$ для $0 \leq \varphi \leq 30^\circ$ (соответственно для $0 \leq a_z/R \leq 0,134$). Сравнивая эти значения с аналогичными значениями $K_{рез}$, приведенными в табл. 1, можно заключить, что они отличаются несущественно. Следовательно, для расчета коэффициента резания-царапания $K_{рез}$ для небольших углов $\varphi \leq 30^\circ$ с достаточной для практики точностью можно использовать упрощенную зависимость (12).

Проф. Крагельским И.В. экспериментально установлено, что процесс пластического деформирования металла переходит в процесс микрорезания с образованием стружки при отношении $a_z/R \geq 0,04$, т.е. при значениях угла $\varphi \geq 16^\circ$. Исходя из зависимости (10), это соответствует $K_{рез} \geq 0,121$.

Экспериментально установлено также [1], что процесс интенсивного стружкообразования при микрорезании начинается при $a_z/R = 0,35$, т.е. при $\varphi = 49^\circ$. Исходя из зависимости (10), это соответствует $K_{рез} = 0,408$.

Представим тангенциальную составляющую силы резания P_z , определяемую зависимостью (7), как функцию угла φ . Для этого в зависимости (7) множитель $(R - a_z)$ выразим через функцию $\cos \varphi$ в соответствии с зависимостью (9):

$$P_z = HV \cdot R^2 \cdot (\varphi - \cos \varphi \cdot \sin \varphi) = HV \cdot R^2 \cdot (\varphi - 0,5 \cdot \sin 2\varphi).$$

Как следует из полученной зависимости, угол φ неоднозначно влияет на

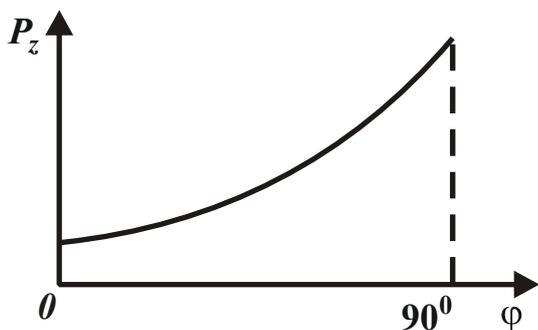


Рис. 2. Общий вид зависимости $P_z - \varphi$.

P_z : за счет первого слагаемого - P_z увеличивается, за счет второго слагаемого - уменьшается. Определим экстремальное значение угла φ . Для этого подчиним функцию P_z необходимому условию экстремума: $(P_z)'_{\varphi} = 0$, тогда

$$(P_z)'_{\varphi} = HV \cdot R^2 \cdot (1 - \cos 2\varphi) = 0.$$

С учетом тригонометрического соотношения $\cos 2\varphi = 1 - 2 \cdot \sin^2 \varphi$, получим:

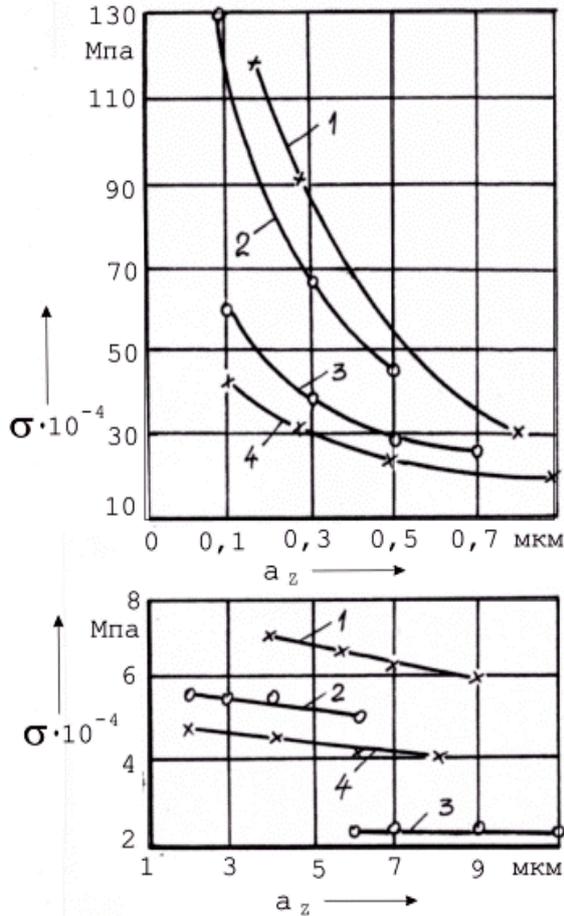


Рис. 3. Зависимость условного напряжения микрорезания σ для алмазов САМ (1, 4) и АСБ (2, 3) от толщины среза a_z : а – $a_z=0,1\dots0,9$ мкм; б – $a_z=1\dots11$ мкм.

[2], рис. 4 [1] (здесь V - скорость микрорезания; ρ - радиус округления вершины зерна), то нетрудно видеть переменность данного параметра с изменением условий процесса микрорезания. Это не соответствует вышеприведенному теоретическому решению, указывающему на независимость условного напряжения резания σ от условий обработки.

Если же проанализировать экспериментально установленные данные о характере изменения коэффициента резания-царапания, рис. 5 [3] (здесь

$\eta = K_{рез}$), рис. 6 [1] (здесь $\frac{P_y}{P_z} = \frac{1}{K_{рез}}$), и сравнить их с вышеприведенными

теоретическими решениями, то можно заключить, что они согласуются. Так, с увеличением отношения a_z / ρ значения коэффициента резания-царапания, установленные экспериментально и аналитически, увеличиваются.

С физической точки зрения расхождение экспериментальных и аналитических результатов (по условному напряжению резания σ) может быть связано с тем, что при расчетах не учитываются закономерности процесса стружкообразования при микрорезании единичным зерном, поскольку расчеты произве-

$\sin^2 \varphi = 0$, откуда $\varphi = 0$. Следовательно, экстремум функции P_z достигается при $\varphi = 0$. Определим характер экстремума функции P_z . Для этого определим знак второй производной функции P_z по углу φ :

$$(P_z)''_{\varphi} = 2 \cdot HV \cdot R^2 \cdot \sin 2\varphi > 0 .$$

Знак “+” свидетельствует о наличии минимума в точке экстремума функции P_z , рис. 2. Этим доказано, что с увеличением угла φ тангенциальная составляющая силы резания P_z непрерывно увеличивается, достигая своего наибольшего значения при $\varphi = 90^\circ$.

При данном подходе к расчету составляющих силы резания P_z и P_y , условное напряжение резания $\sigma = P_z / S$ с учетом зависимости (4) равно твердости обрабатываемого материала по Виккерсу HV .

Если проанализировать экспериментально установленные данные о характере изменения условного напряжения резания σ , рис. 3

дены, по сути, на основе методики определения твердости материала при вдавливании в него индентора в форме шара.

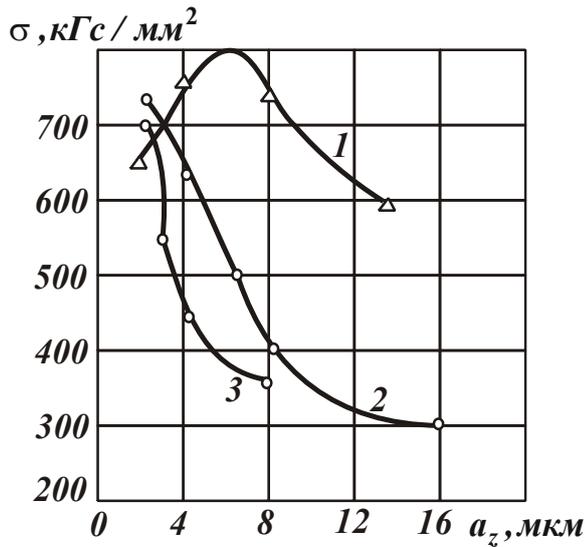


Рис. 4. Зависимость условного напряжения резания от глубины царапины: 1 – $V=0,02$ м/с; 2 – $V=40$ м/с (Ст.3; $\rho=60$ мкм); 3 – $V=36$ м/с (сталь У8А отожженная; $\rho=70$ мкм).

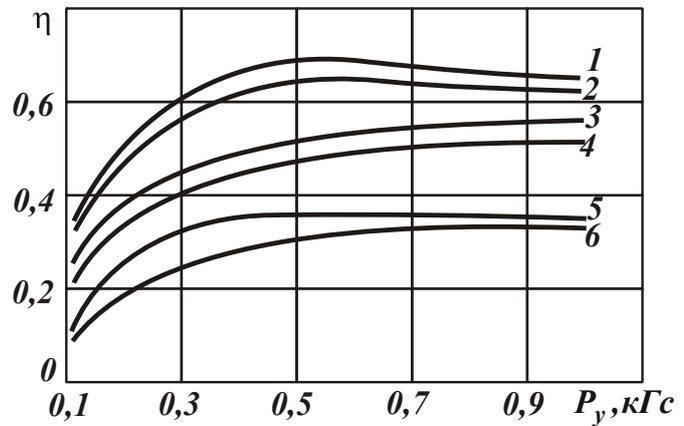


Рис. 5. Зависимость η от P_z при микрорезании конусом с углом при вершине 120° и радиусом при вершине 20 мкм: 1 – медь (60 HV); 2 – никель (110 HV); 3 – армко-железо (118 HV); 4 – сталь 45 (180 HV); 5 – закаленная сталь 45 (520 HV); 6 – твердый сплав ВК6 (1500 HV).

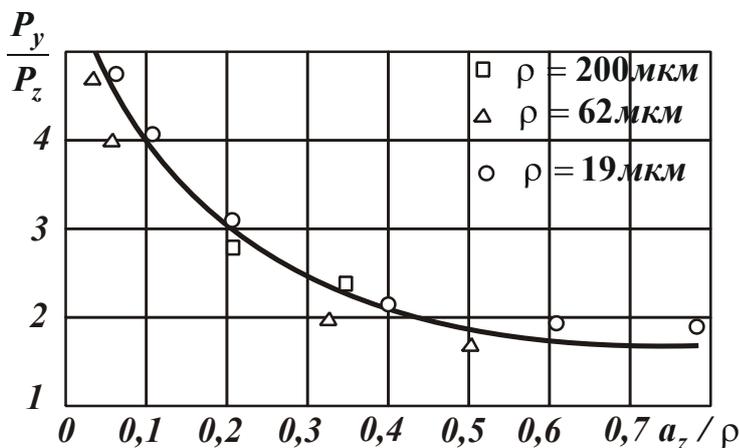


Рис. 6. Зависимость отношения сил P_y/P_z от отношения a_z/ρ .

Предположим, что режущее зерно имеет форму плоского диска (радиуса R и шириной B), который вдавливается в обрабатываемый материал на глубину a_z , рис. 7. Будем считать, что возникающее в месте контакта диска с материалом нормальное давление равно твердости материала HV . Тогда нормальное усилие dP , действующее на элементарной площадке площадью $B \cdot dl$ (где $dl = R \cdot d\varphi$ – длина элементарной площадки; $d\varphi$ – элементарный угол), равно $dP = HV \cdot B \cdot dl = HV \cdot B \cdot R \cdot d\varphi$. Соответственно радиальная P_y и тангенциальная P_z составляющие силы резания определяются:

$$P_y = \int_0^\varphi dP \cdot \cos \varphi = \int_0^\varphi HV \cdot B \cdot R \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi = HV \cdot B \cdot R \cdot \sin \varphi, \quad (13)$$

$$P_z = \int_0^\varphi dP \cdot \sin \varphi = HV \cdot B \cdot R \cdot (1 - \cos \varphi). \quad (14)$$

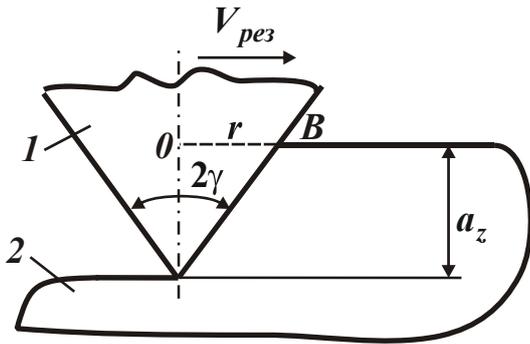


Рис. 8. Расчетная схема процесса микрорезания единичным зерном в форме конуса: 1 – зерно; 2 – обрабатываемый материал.

Сила резания P_z с ростом угла φ увеличивается более интенсивно, чем радиальная составляющая силы резания P_y . Зависимость (15) отличается от аналогичной зависимости (11) лишь множителем $2/\pi$. Значения $K_{рез}$, рассчитанные по зависимости (11), меньше значений $K_{рез}$, рассчитанных по зависимости (15).

Рассмотрим расчетную схему микрорезания единичным зерном в форме конуса, рис. 8.

По аналогии с выше приведенным решением, тангенциальную и радиальную составляющие силы резания (P_z и P_y) определим по зависимостям:

$$P_z = HV \cdot S = HV \cdot 0,5 \cdot 2r \cdot a_z = HV \cdot a_z^2 \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (16)$$

$$P_y = HV \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot r^2 = 0,5\pi \cdot HV \cdot a_z^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma, \quad (17)$$

где S – площадь поперечного сечения среза единичным зерном в форме конуса, м^2 ; $r = OB = a_z \cdot \operatorname{tg} \gamma$ – радиус площади контакта зерна с обрабатываемым материалом, м; a_z – толщина среза, м; γ – половина угла при вершине конусообразного зерна.

Коэффициент 0,5, входящий в зависимость (17), как и в предыдущем решении при моделировании зерна в форме шара, выражает отсутствие контакта тыльной части конусообразного зерна с обрабатываемым материалом.

Используя зависимости (16) и (17), определим коэффициент резания-царапания

$$K_{рез} = \frac{P_z}{P_y} = \frac{2}{\pi \cdot \operatorname{tg} \gamma}. \quad (18)$$

Как следует из зависимости (18), коэффициент резания-царапания определяется углом заострения вершины зерна 2γ . Чем больше угол γ , тем меньше $K_{рез}$, табл. 3.

Как видно, с увеличением угла φ составляющие силы резания увеличиваются, однако с разной интенсивностью. Коэффициент резания-царапания $K_{рез} = P_z / P_y$ с учетом зависимостей (13) и (14) определится:

$$K_{рез} = \frac{(1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} = \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}. \quad (15)$$

Из зависимости (15) следует, что коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ тем больше, чем больше угол φ . Это свидетельствует о том, что тангенциальная составляющая

Таблица 3
Расчетные значения $K_{рез}$

γ , град	30	45	60	75	90
$K_{рез}$	1,1	0,637	0,368	0,171	0

Как и в предыдущем случае (при микрорезании единичным зерном в форме шара) условное напряжение резания σ равно твердости обрабатываемого материала HV , исходя из зависимости (16).

Анализируя зависимость (18), можно сделать вывод, что коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ не зависит от условий обработки, определяется лишь геометрией режущего зерна - углом γ .

В реальных условиях резания зерно может принимать форму, лишь приближающуюся к форме конуса, как показано на рис. 9. Каждому значению

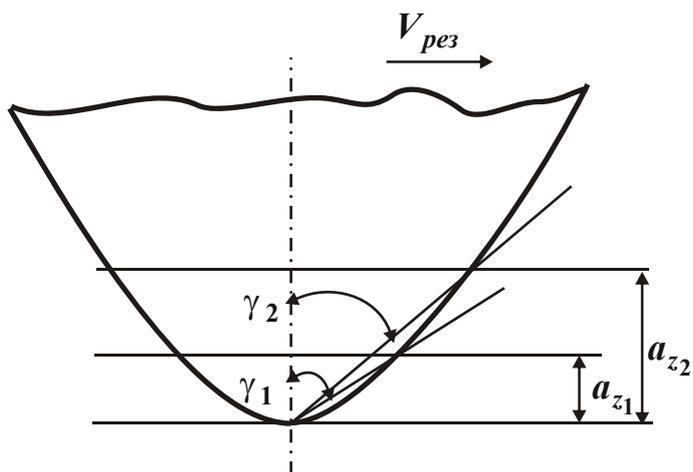


Рис. 9. Характер изменения угла γ от толщины среза a_z ($\gamma_1 > \gamma_2$).

толщины среза a_z (для данной формы зерна) будет соответствовать вполне конкретное значение угла γ . Чем больше толщина среза a_z , тем меньше будет угол γ . При таком представлении взаимосвязи между толщиной среза a_z и углом γ , коэффициент резания-царапания $K_{рез}$, определяемый зависимостью (18), будет изменяться с изменением толщины среза. Так, с увеличением толщины среза a_z и соответственно уменьшением угла γ коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ будет непрерывно увеличиваться, рис. 10,а.

Если же при достижении определенной толщины среза a_z угол γ будет

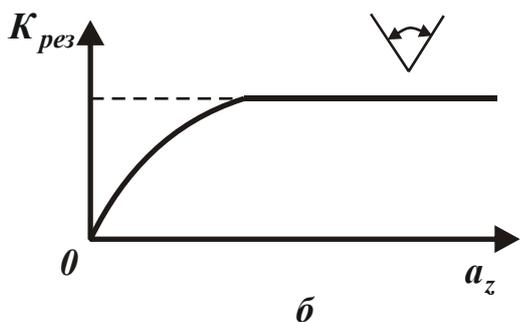
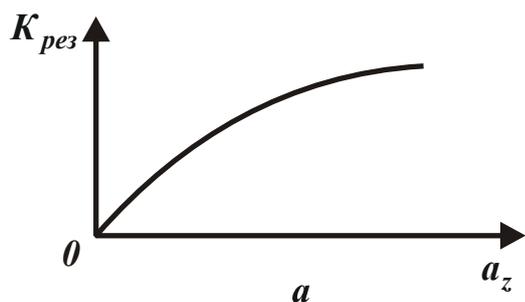


Рис. 10. Характер изменения $K_{рез}$ от a_z .

оставаться неизменным, то характер изменения $K_{рез}$ от a_z будет подчиняться зависимости, показанной на рис. 10,б, т.е. первоначально будет увеличиваться, а затем будет оставаться неизменным. Такой характер изменения коэффициента резания-царапания $K_{рез}$ согласуется с экспериментально полученными данными (рис. 5 [3]) при микрорезании специально изготовленным конусом с углом при вершине $2 \cdot \gamma = 120^\circ$ и радиусом округления вершины конуса 20 мкм. Увеличение радиального усилия P_y , действующего на конус, соответствует увеличению толщины среза a_z , что фактически приводит к зависимости $K_{рез}$ от a_z , показанной на рис. 10,б.

С физической точки зрения это

означает, что вследствие наличия радиусной части вершины зерна (конуса), с увеличением толщины среза a_z (за счет увеличения радиального усилия P_y) угол γ первоначально уменьшается до определенного значения, затем остается практически постоянным. Это ведет, согласно зависимости (18), к увеличению коэффициента резания-царапания $K_{рез}$ по зависимости, показанной на рис. 10,б.

Вместе с тем, из рис. 5 вытекает, что с увеличением твердости обрабатываемого материала, коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ принимает меньшие значения. Согласно же аналитической зависимости (18), твердость обрабатываемого материала не оказывает влияния на коэффициент $K_{рез}$. В этом состоит расхождение расчетных и экспериментальных значений $K_{рез}$.

Такое же расхождение наблюдается и при сравнении экспериментальных данных с теоретическими, приведенными в работе [3]. Авторам данной работы не удалось теоретически (аналитически) обосновать влияние твердости обрабатываемого материала на коэффициент резания-царапания.

В этой же работе [3] экспериментально установлено существенное влияние твердости обрабатываемого материала и геометрии режущего конуса (угла при его вершине) на условное напряжение резания σ , табл. 4.

Таблица 4

Экспериментальные значения условного напряжения резания σ

Материал	HV , кгс/мм ²	2γ , град	σ , кгс/мм ²
Медь	60	90	317
		120	539
		150	860
Армко-железо	118	90	650
		120	1100
		150	1150
Сталь У8	560	90	1800
		120	2350
		150	4010

Согласно предложенному в настоящем параграфе теоретическому подходу, условное напряжение резания σ равно твердости обрабатываемого материала HV . Очевидно, это лишь частично подтверждается экспериментальными данными (табл. 4), т.к. не отражает суть влияния угла при вершине конуса на σ .

Из этого вытекает, что формирование параметров силовой напряженности процесса микрорезания единичным зерном подчиняется более сложным закономерностям и его нельзя аналитически описать в достаточно полной мере с геометрических позиций (на основе методики определения по площади контакта твердости исследуемого материала). Для установления истинных закономерностей процесса необходимо учитывать физические условия стружкообразования при резании, тогда условное напряжение резания будет определяться не

твёрдостью обрабатываемого материала, а напряжениями, возникающими в процессе стружкообразования.

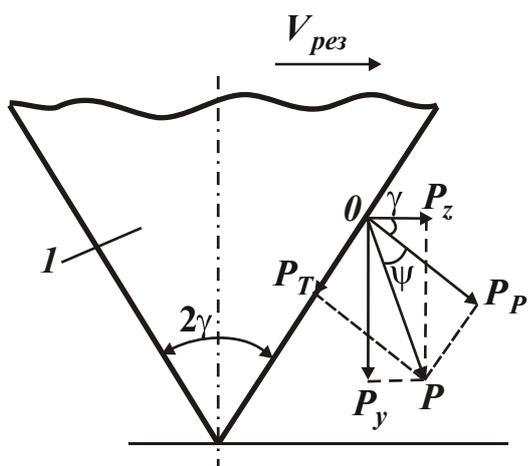


Рис. 11. Расчетная схема составляющих силы резания: 1 – зерно в форме пирамиды.

Представим зерно в форме четырехгранной пирамиды и предположим, что в процессе резания участвует лишь одна передняя грань, три остальные грани не контактируют с обрабатываемым материалом, рис. 11.

В процессе взаимодействия движущейся со скоростью $V_{рез}$ пирамиды с обрабатываемым материалом на ее передней грани возникает контактное усилие P_P (направленное по нормали к грани) и усилие P_T , обусловленное трением обрабатываемого материала с пирамидой. Тогда результирующее усилие P определится:

$$P = \frac{P_P}{\cos \psi}, \quad (19)$$

где ψ – условный угол трения ($\operatorname{tg} \psi = P_T / P_P = f$ – коэффициент трения).

Из рис. 11 нетрудно определить коэффициент резания-царапания $K_{рез} = P_z / P_y$:

$$K_{рез} = \frac{1}{\operatorname{tg}(\gamma + \psi)}, \quad (20)$$

где γ – половина угла при вершине режущего зерна (пирамиды).

При $\psi = 0$ приходим к простой зависимости

$$K_{рез} = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}, \quad (21)$$

свидетельствующей о том, что коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ зависит лишь от угла γ . Чем больше угол γ , тем меньше $K_{рез}$, табл. 5.

Появление в зависимости (20) условного угла трения ψ изменяет характер взаимосвязи между $K_{рез}$ и γ согласно зависимости (21), рис. 12.

Таблица 5
Расчетные значения $K_{рез}$

γ , град	30	45	60	75	90
$K_{рез}$	1,73	1,0	0,577	0,268	0

Как следует из рис. 12, при $\psi = 0$ коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ изменяется в бесконечных пределах $\infty \dots 0$. При $\psi > 0$ он, во-первых, принимает конечные значения, а во-вторых, реализуется в меньших диапазонах изменения угла γ . Чем больше условный угол трения ψ , тем меньше диапазон изменения угла γ , так как в пределе ($K_{рез} = 0$) между углами ψ и γ существует связь $\psi + \gamma = 90^\circ$.

Например, если учесть, что в среднем $\psi = 30^\circ$, то согласно зависимости (20) угол не может быть больше 60° . В противном случае процесс резания не осуществим.

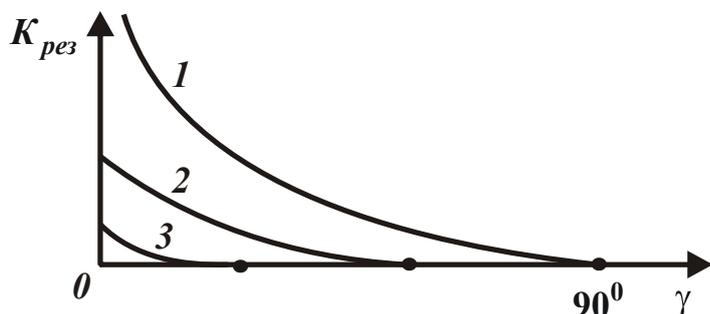


Рис. 12. Зависимость коэффициента резания-царапания $K_{рез}$ от угла γ для разных значений угла ψ : 1 — $\psi_1 = 0$; 2 — $\psi_2 > 0$; 3 — $\psi_3 > \psi_2$.

Уменьшение условного угла трения $\psi \rightarrow 0$ расширяет возможности процесса резания: обработку можно производить с передним углом $\gamma \rightarrow 90^\circ$, т.е. практически затупленными зернами.

Но наиболее существенным фактором увеличения коэффициента резания-царапания $K_{рез}$ и, следовательно, повышения эффективности процесса резания необходимо рассматривать переход от отрицательного переднего угла инструмента γ к положительному углу (используемому в лезвийных режущих инструментах). В этом случае зависимость (20) видоизменится

$$K_{рез} = \frac{1}{\operatorname{tg}(\psi - \gamma)}. \quad (22)$$

При $\gamma \rightarrow \psi$ справедливо условие $K_{рез} \rightarrow \infty$. Таким образом, за счет применения положительного переднего угла инструмента γ можно в больших пределах изменять коэффициент резания-царапания $K_{рез}$, независимо от условного угла трения ψ , т.е. независимо от интенсивности процесса трения обрабатываемого материала (образующейся стружки) с передней поверхностью инструмента. Исходя из рис. 11, можно определить составляющие силы резания P_z и P_y :

$$P_z = P_p \cdot \cos \gamma - P_T \cdot \sin \gamma, \quad (23)$$

$$P_y = P_p \cdot \sin \gamma + P_T \cdot \cos \gamma \quad (24)$$

или с учетом: $\operatorname{tg} \psi = P_T / P_p = f$:

$$P_z = P_p \cdot \cos \gamma \cdot (1 - f \cdot \operatorname{tg} \gamma), \quad (25)$$

$$P_y = P_p \cdot \cos \gamma \cdot (\operatorname{tg} \gamma + f). \quad (26)$$

С учетом зависимостей (25) и (26) коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ принимает вид:

$$K_{рез} = \frac{1 - f \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \gamma + f}. \quad (27)$$

Как следует из зависимости (27), с увеличением коэффициента трения f и переднего угла γ коэффициент резания-царапания $K_{рез}$ уменьшается, что соответствует зависимости (20). От зависимости (27) на основе тригонометриче-

ских преобразований несложно перейти к зависимости (20).

Анализ зависимостей (23) и (24), а также зависимостей (25) и (26) пока-

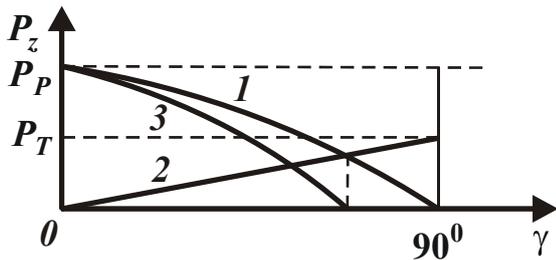


Рис. 13. Характер изменения первого (1) и второго (2) слагаемых зависимости (23), а также тангенциальной составляющей силы резания P_z (3) от угла γ .

Как следует из рис. 13, с увеличением угла γ тангенциальная составляющая силы резания P_z уменьшается до нуля. При этом нулевое значение γ достигается при $\gamma < 90^\circ$. На основе зависимостей (23) или (25) можно определить условное напряжение резания $\sigma = P_z / S$, рассматривая контактное усилие P_p в виде:

$$P_p = P \cdot S_1, \quad (28)$$

где P – контактное давление, Н/м²; S_1 – площадь контакта передней грани пирамиды с обрабатываемым материалом, м².

Из рис. 11 несложно установить связь между площадью поперечного сечения среза S и площадью контакта передней грани пирамиды с обрабатываемым материалом S_1 :

$$\frac{S}{S_1} = \cos \gamma. \quad (29)$$

Тогда зависимость (28) примет вид:

$$P_p = P \cdot \frac{S}{\cos \gamma}. \quad (30)$$

Подставим зависимость (30) в (25):

$$P_z = P \cdot S \cdot (1 - f \cdot \operatorname{tg} \gamma). \quad (31)$$

Соответственно, условное напряжение резания $\sigma = P_z / S$ определится:

$$\sigma = P \cdot (1 - f \cdot \operatorname{tg} \gamma). \quad (32)$$

Из зависимости (32) следует, что с увеличением угла γ условное напряжение резания σ уменьшается. Это фактически совпадает с характером изменения тангенциальной составляющей силы резания P_z в соответствии с зависимостями (23) и (25). Вместе с тем, как установлено экспериментально, например, в табл. 4 [3], с увеличением угла при вершине зерна (конуса) условное напряжение резания σ увеличивается.

Таким образом, пришли к противоречивым результатам, указывающим на то, что достоверный расчет условного напряжения резания можно произвести

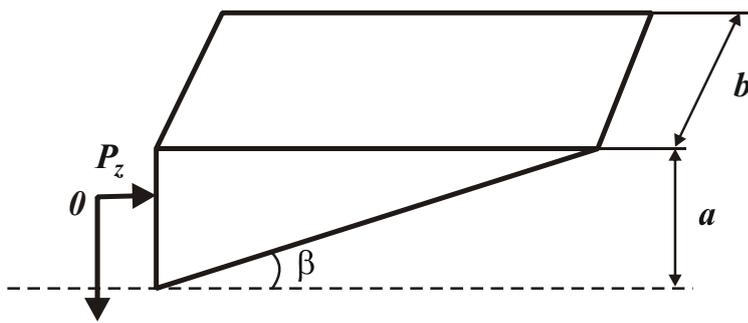


Рис. 14. Расчетная схема параметров стружкообразования при микрорезании единичным зерном.

ности лишь коэффициент резания-царапания $K_{рез}$, который обусловлен прежде всего формой режущей передней поверхности зерна.

Для расчетов воспользуемся теоретическим подходом, предложенным в работе [4], позволяющим в общем случае определить положение условного угла сдвига β материала, при котором возникающее в плоскости сдвига касательное напряжение τ принимает наибольшее значение, рис. 14. Согласно данного подхода определяется касательное напряжение, действующее в плоскости, расположенной под углом β к направлению движения режущего зерна:

$$\tau = \frac{\sin \beta}{a \cdot b} \cdot (P_z \cdot \cos \beta - P_y \cdot \sin \beta), \quad (33)$$

и устанавливается экстремальное значение угла β , при котором касательное напряжение τ принимает максимальное значение $\tau'_\beta = 0$, т.е.

$$\operatorname{tg} 2\beta = \frac{P_z}{P_y} = K_{рез}, \quad (34)$$

где a, b – соответственно толщина и ширина среза, м.

Зная экстремальное значение угла β , из зависимости (33) можно определить тангенциальную составляющую силы резания P_z (для случая $K_{рез} < 1$):

$$P_z = \frac{4 \cdot S \cdot \tau_{сдв}}{K_{рез}}, \quad (35)$$

где S – площадь поперечного сечения среза, м^2 ; $\tau_{сдв}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сдвиг, Н/м^2 .

Соответственно условное напряжение резания $\sigma = P_z / S$ равно

$$\sigma = \frac{4 \cdot \tau_{сдв}}{K_{рез}}. \quad (36)$$

С учетом полученной выше зависимости (20) применительно к процессу микрорезания единичным зерном в форме четырехгранной пирамиды, условное напряжение резания σ выразится

$$\sigma = 4 \cdot \tau_{сдв} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \psi). \quad (37)$$

Как видно, с увеличением угла при вершине зерна γ условное напряжение резания σ увеличивается. Это хорошо согласуется с экспериментальными

только с учетом закономерностей процесса стружкообразования при резании. Основываясь на закономерности изменения составляющих силы резания P_z и P_y при вдавливании режущего зерна в обрабатываемый материал, можно определить с определенной степенью достоверности

данными, в частности, приведенными в табл. 4 [3].

Увеличение условного угла трения ψ (или коэффициента трения $f = tg \psi$) ведет к увеличению σ , что также хорошо согласуется с практически данными. Следовательно, зависимость (37), полученная с учетом закономерностей стружкообразования при микрорезании, отлична от аналогичной зависимости (32) и позволяет приблизить теоретические результаты к экспериментальным.

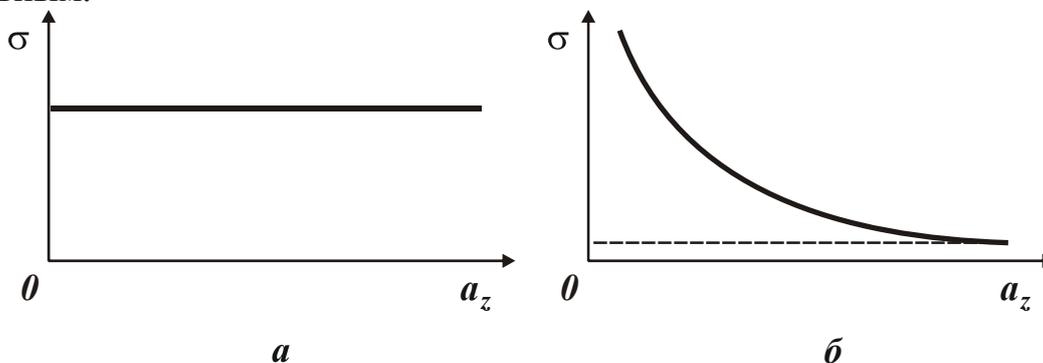


Рис. 15. Примерные зависимости σ от a_z .

Используя зависимость (37), проведем анализ характера изменения условного напряжения резания σ с увеличением толщины среза a_z при микрорезании единичным зерном. Зависимость (37) не содержит толщину среза a_z . О влиянии толщины среза a_z на σ можно судить косвенно по изменению угла γ .

Если режущее зерно имеет форму идеальной пирамиды, т.е. без округления ее вершины (радиус округления равен нулю), то независимо от изменения толщины среза a_z угол γ будет оставаться неизменным. В этом случае зависимость σ от a_z будет иметь вид, показанный на рис. 15,а.

Если же пирамида имеет округление вершины, то по мере увеличения толщины среза a_z условный передний угол γ (как это показано в общем виде на рис. 8) будет уменьшаться, что согласно зависимости (37) приведет к уменьшению условного напряжения резания σ , рис. 15,б. Однако, уменьшение σ будет не бесконечным, а ограниченным предельным значением угла γ , при достижении которого влияние толщины среза a_z на γ и соответственно σ будет отсутствовать.

Из этого можно сделать вывод, что чем меньше радиус округления вершины зерна (пирамиды), тем меньше будет отличие условного напряжения резания при небольших толщинах среза $a_z \rightarrow 0$ и толщинах среза, соответствующих установившимся значениям γ и σ .

Проведенный теоретический анализ изменения условного напряжения резания σ от толщины единичного среза a_z хорошо согласуется с экспериментальными данными, приведенными на рис. 3 [2]. Первоначально с увеличением толщины среза наблюдается интенсивное уменьшение условного напряжения резания a_z . При значениях толщин срезов 1...10 мкм уменьшение a_z практиче-

ски не происходит. Этим показано, что условное напряжение резания σ с увеличением толщины среза a_z стремится принять минимальное значение, судя по приведенной зависимости (37), обусловленное наименьшим значением условного угла при вершине режущего зерна (пирамиды).

Из рис. 3 [2] также следует, что на условное напряжение резания σ оказывает заметное влияние марка алмазного режущего зерна. Исходя из приведенной зависимости (37), это опять же может быть связано с изменением условного угла γ при увеличении толщины среза. Алмазные зерна, обладающие меньшим углом γ , обеспечивают меньшие значения условного напряжения резания.

Литература: 1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с. 2. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Раб А.Ф. и др. Основы алмазного шлифования. – К.: Техніка, 1978. – 192 с. 3. Синтетические алмазы в машиностроении / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 1976. – 351 с. 4. Якимов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов О.О. Високопродуктивне шліфування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1995. – 180 с. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 4. "Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с.

УДК 621.923

КОНСТРУКТОРСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ШЛИФОВАНИЯ

Дудин А.Т., Новиков Ф.В., докт. техн. наук
(г. Евпатория, г. Харьков, Украина)

The developed technical decisions on design maintenance of new technologies of grinding are given.

Шлифование заслуживает все большего внимания, т.к. в большинстве случаев является окончательным видом обработки. В настоящее время только в машиностроении применяется и обрабатывается свыше 5 тысяч металлических сплавов, большое количество пластмасс, органических, керамических и других материалов. Для их обработки используется большое количество различных видов шлифовального инструмента. Однако схемы шлифования остаются традиционными. Поэтому для повышения производительности обработки необходимы новые конструкторские решения и новые технологии, некоторые из которых рассмотрим ниже.

На рис. 1 показана схема шлифования чашечными или тарельчатыми кругами. Рассмотрим особенности обработки по данной схеме. Чашечные или тарельчатые круги вращаются через планетарную передачу в ту же сторону, что и несущий диск. Какие новые технологии можно получить из такой конструкции?

На чашечном или тарельчатом круге точка А движется со скоростью, равной сумме скорости вращения диска и собственной скорости вращения круга. Точка В движется со скоростью вращения, равной разнице скоростей несущего диска и собственно скорости вращения круга. Скорости движения точек С и

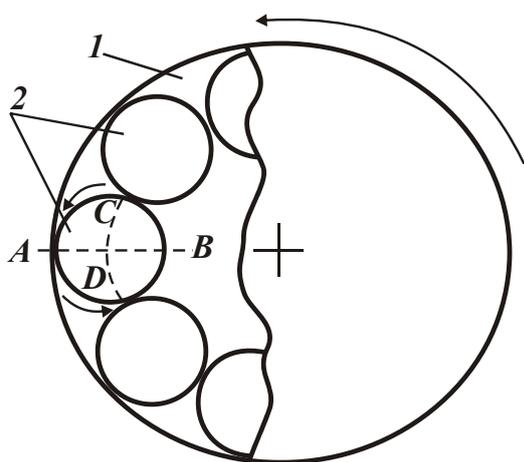


Рис. 1. Схема шлифования чашечными или тарельчатыми кругами: 1 - вращающийся несущий диск; 2 - чашечные или тарельчатые круги.

Д равны скорости вращения несущего диска. Если сравнить скорости движения точек А и В, то очевидно, они могут значительно отличаться, хотя при определенных условиях и направлены в одну сторону. Скорости движения точек С и Д равны, но всегда направлены в разные стороны.

При такой схеме обработки скорость круга от точки к точке постоянно изменяется с ускорением, что очень важно при обработке. Если рассмотреть движение точек одного круга, то точка С образует риски в одну сторону, а точка Д - в другую, т.е. идет встречное резание, которое осуществляется на ближайших точках соседних кругов. Встречное резание очень эффективно при шлифовании. Такая схема позволяет осуществить прерывистое и встречное шлифование одновременно при разных скоростях и разных ускорениях. Возможно так же одновременное применение чашечных и тарельчатых кругов через один, если они конструктивно совместимы и обеспечивают требуемые условия обработки.

Рассмотрим новые схемы шлифования чашечными или тарельчатыми кругами. Количество чашечных или тарельчатых кругов может быть от 2 до 24 и более. Все зависит от конкретных условий обработки и конструкции несущих дисков. В дальнейшем, чтобы не размножать однотипных схем, некоторые технологические схемы могут одновременно рассматриваться для шлифования чашечными (тарельчатыми) или плоскими кругами прямого профиля. Для этого одну и ту же схему будем рассматривать под буквами А, Б и т.д.

На рис. 2 изображена схема шлифования чашечными или тарельчатыми кругами (А) и плоскими кругами прямого профиля (Б). В отличие от схемы, показанной рис. 1, круги на несущем диске вращаются навстречу вращению несущего диска.

На схеме, показанной на рис.3, чашечные или тарельчатые круги (А), также как и плоские круги прямого профиля (Б), попарно вращаются навстречу друг другу.

На схеме, показанной на рис. 4, половина чашечных или тарельчатых кругов (А), также как и плоских кругов прямого профиля (Б), вращается в одну

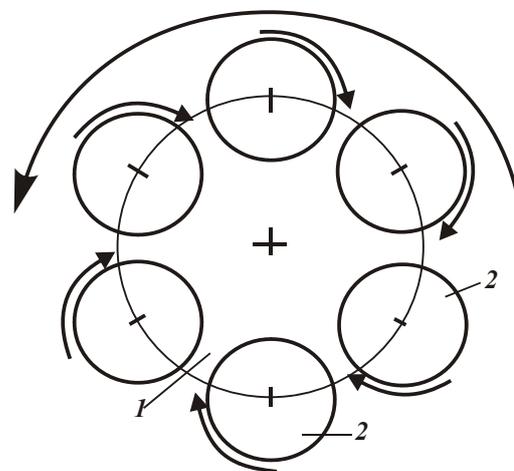


Рис. 2. Схема шлифования: 1 - вращающийся несущий диск; 2 - круг.

сторону, а другая половина - в другую.

На рис. 5 центральный круг вращается в сторону вращения несущего диска.

На рис. 6 центральный круг вращается в сторону, противоположную вращению несущего диска.

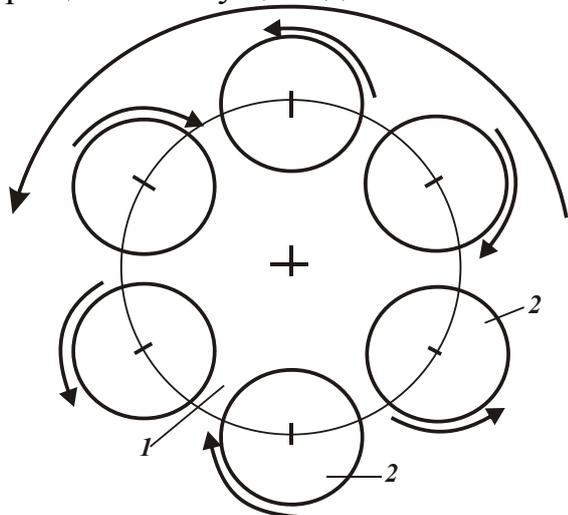


Рис. 3. Схема шлифования: 1 - вращающийся несущий диск; 2 - круг.

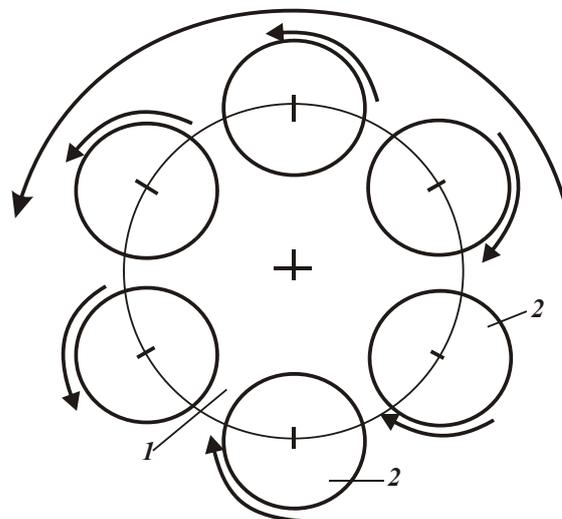


Рис. 4. Схема шлифования: 1 - вращающийся несущий диск; 2 - круг.

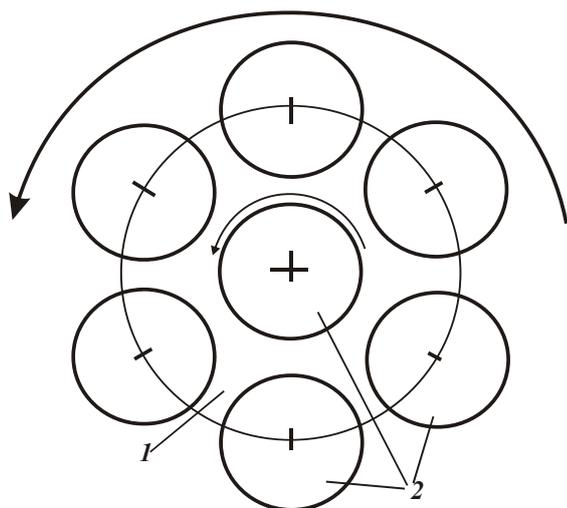


Рис. 5. Схема шлифования чашечными или тарельчатыми кругами с кругом в центре: 1 - вращающийся несущий диск; 2 - круг.

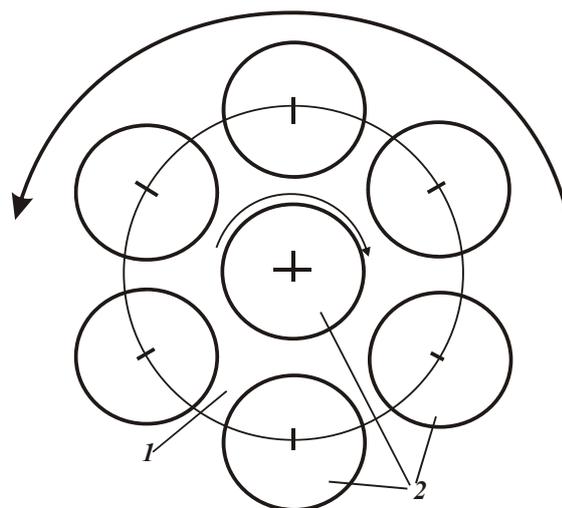


Рис. 6. Схема шлифования чашечными или тарельчатыми кругами с кругом в центре: 1 - вращающийся несущий диск; 2 - круг.

Комбинации этих схем шлифования позволят получить оптимальные варианты обработки разных материалов. Диаметры кругов так же могут быть разными. Разные скорости обработки, направления вращения и направления перемещения по структуре материала изменяют характер обработки. Если эти схемы шлифования подвергнуть ультразвуковым воздействиям или другим источникам дополнительной энергии, то можно значительно расширить технологические возможности обработки, увеличить ее производительность. Ультразвуковые воздействия по приведенным схемам шлифования можно применять как к каждому отдельному кругу, так и к вращающемуся несущему диску или к отдельным кругам и диску, или ко всем кругам и диску одновременно. К таким

схемам можно применять все известные другие технологические новшества при шлифовании, например, электроэрозионную обработку и т.д. Схемы дают разнообразие технологических приемов. Возможно вращение одного несущего диска без вращения кругов на нем или фиксация кругов через один. Возможен и другой вариант: вращение кругов без вращения несущего диска.

Схемы шлифования плоскими кругами прямого профиля. Схемы шлифования плоскими кругами прямого профиля заслуживают особого внимания, т.к. обеспечивают существенное увеличение производительности труда, позволяют вывести шлифование на качественно новый уровень, обрабатывать материалы повышенной твердости с применением новейших технологий и сверхскоростей.

Плоский круг прямого профиля традиционно изготавливается как монолитный, но его можно изготовить сборным из нескольких таких же кругов (рис. 7). Какие это дает преимущества перед обыкновенным монолитным кругом? Если сравнить диаметр вновь набранного круга на несущем диске и обыкновенный плоский круг такого же диаметра и высоты, то оказывается, что рабочая площадь набранного круга может в несколько раз превышать рабочую площадь на обыкновенном круге. А это значит, что режущие зерна на круге при выполнении одной и той же работы будут меньше изнашиваться. Вращение кругов через планетарную или другую передачу (с вращением несущего диска) обеспечивает совершенно новые скорости и технологические возможности шлифования. Вращение диска (так же как и вращение кругов на диске) может осуществляться как навстречу подаче заготовки, так и попутно. Вращение кругов на диске может отличаться по скорости и по направлению. В связи с различием скоростей руги будут оставлять разный след на обрабатываемой поверхности, что очень важно при рассмотрении процесса резания на уровне обрабатываемых и режущих зерен.

Резание с разной скоростью одного материала приведет к образованию

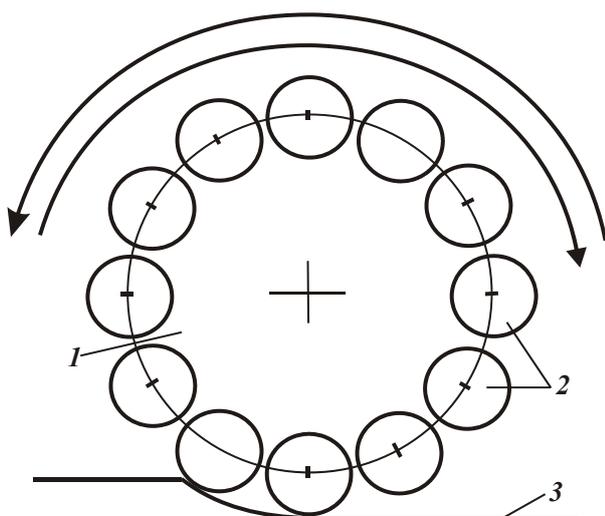


Рис. 7. Схема шлифования плоскими кругами прямого профиля: 1 - вращающийся несущий диск; 2 - плоские прямые круги; 3 - обрабатываемая поверхность.

участков с гладкой или шершавой (рваной) обрабатываемой поверхностью, появлению сколов, вырыванию зерен и т.д. Все это будет чередоваться, а по одним и тем же обрабатываемым зернам будут проходить разные режущие зерна, оставляя на них свой след, но в другом порядке. По обе стороны рисок-царапин будут образовываться навалы неснятого материала, резание которых сопровождается меньшими энергетическими затратами. При этом происходит быстрое чередование высоких и низких скоростей резания, что естественно приведет к повышению производительности обработки.

Такие схемы шлифования располагают значительными возможностями при обработке материалов повышенной твердости, поскольку в них можно каждый круг подвергать ультразвуковым вибрациям с разной частотой и амплитудой, что способствует существенному повышению производительности обработки. Кроме того, ультразвуковые вибрации можно передавать и на диск. Чем больше движений диска и кругов, тем значительнее скорость обработки. Чем больше чередование этих скоростей, тем интенсивнее будут разрушаться зерна обрабатываемого материала и тем выше производительность обработки.

Такие схемы позволят одновременно производить прерывистое и обычное встречное и попутное шлифование на низких и высоких скоростях, получать сверхскорости, экономить материалы. Они являются воплощением новейших технических достижений при шлифовании - за ними будущее в абразивно-шлифовальной обработке.

На несущем диске может быть установлено 2-24 и более кругов, в том числе и разной высоты, что внесет разнообразие в процесс шлифования.

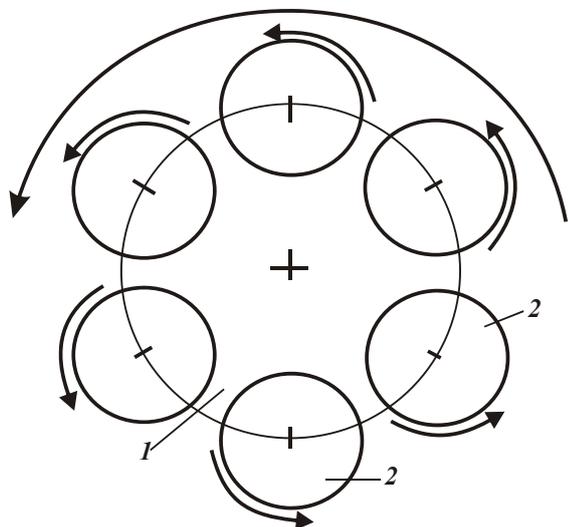


Рис. 8. Схема шлифования плоскими кругами прямого профиля: 1- вращающийся несущий диск; 2 - круги.

Процесс будет зависеть от многих факторов: порядка расположения кругов, направления их вращения, вибрационных перемещений и т.д. Ниже в качестве примеров приведены схемы возможных вращений несущих дисков и плоских кругов прямого профиля.

На рис. 8 показано, что все круги вращаются в сторону вращения несущего диска; на рис. 2 - все круги вращаются навстречу вращению несущего диска; на рис. 3 - круги попарно вращаются навстречу друг другу; на рис. 4 - половина кругов вращается в одну сторону, а другая половина

кругов - в другую сторону.

Комбинации вращений могут быть и другие, например, каждый третий круг вращается в противоположную сторону и т.д. Преимущества каждой схемы надо рассматривать конкретно, учитывая структуру обрабатываемого материала и условия обработки.

Обкатка и шлифование. Совместное применение схем обкатки и шлифования может привести к положительному эффекту при обработке ряда вязких и пластичных материалов. Поэтому они представляют практический интерес.

Обкатку можно производить отдельным инструментом перед шлифовальным кругом, а также совместным инструментом для обкатки и шлифования.

Рассмотрим вначале вариант обкатки отдельным инструментом и сам инструмент обкатки. Для этого воспользуемся схемой, изображенной на рис. 7. Круги на несущем диске крепятся с помощью осей, т.е. они свободно вращаются. При вращении несущего диска и перемещении его вдоль обрабатываемой

поверхности происходит ударное воздействие круга по поверхности с последующей обкаткой (по поверхности).

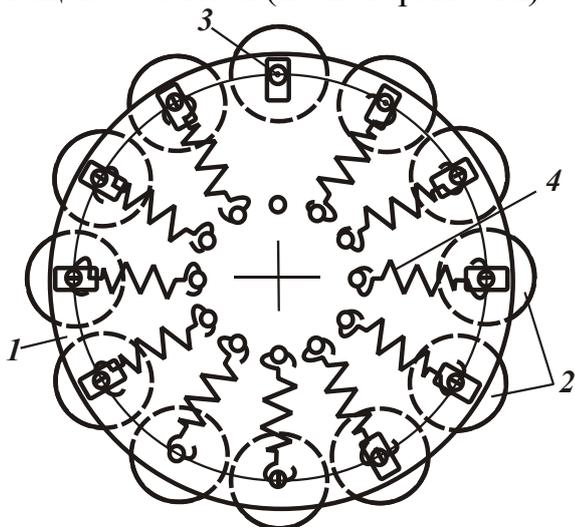


Рис. 9. Инструмент для обкатки: 1 - дисковый корпус; 2 - плоские прямые круги; 3 - ось, на которой вращаются круги; 4 - пружина.

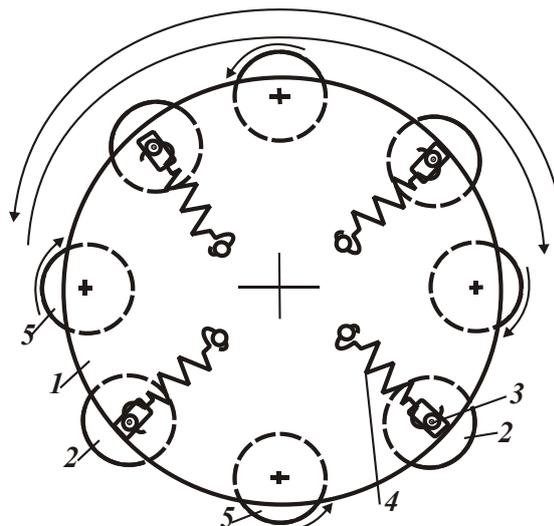


Рис. 10. Инструмент для совместной обкатки и шлифования: 1 - корпус; 2 - обкаточные круги; 3 - оси обкаточных кругов; 4 - пружины обкаточных кругов; 5 - шлифовальные круги.

Рассмотрим инструмент для обкатки, изображенный на рис. 9. Корпус состоит из двух дисков. В дисках имеются специальные прорезы для передвижения осей, на которых свободно вращаются абразивные круги на специальных пластмассовых или других втулках-подшипниках. Дисковый корпус в центре имеет вал, на котором он вращается. По мере увеличения скорости вращения вала, пружины под действием центробежных сил растягиваются, что обеспечивает плавное соприкосновение с обрабатываемой поверхностью и необходимую силу давления на нее во время обкатки. Таким инструментом перед шлифованием можно обрабатывать плоские и внутренние цилиндрические поверхности. Обкатка может производиться со снятыми пружинами, когда круги во время вращения дискового корпуса находятся в крайнем положении. При таком виде обкатки круг после удара о поверхность может уходить от нее по прорези.

Возможны еще варианты обкатки, когда круги фиксируются в определенном положении, и когда круги не подтягиваются пружиной к центру, а наоборот, выдавливаются наружу. Это позволяет увеличить давление на обрабатываемую поверхность, которое будет складываться из центробежных сил и давления пружины.

Инструмент совместной обкатки и шлифования (рис. 10) может применяться отдельно для обкатки (в этом случае снимаются шлифовальные круги) и отдельно для шлифования (в этом случае снимаются обкаточные круги). Шлифовальные круги вращаются через планетарную или другую передачу в одну или разные стороны. Комбинации вращений шлифовальных кругов и работа обкатки рассматривались выше. Совместная схема обкатки и шлифования может принести положительный эффект при обработке многих материалов. Эффект можно усилить применением ультразвуковых колебаний, поворотных движений и

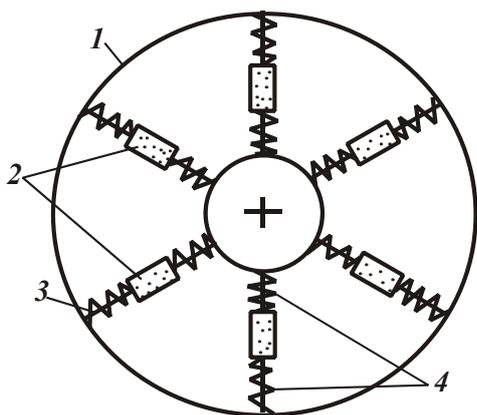


Рис. 11. Инструмент для совместной обкатки и шлифования: 1 - корпус; 2 - круг-ролик; 3 - ось, на которой вращается круг; 4 - пружины.

исследовательских и конструкторско-технологических работ.

Особенно заслуживает внимания инструмент для совместной обкатки и шлифования, изображенный на рис. 11 и рис. 12. Поскольку длина внутренней и наружной поверхности круга разная, часть круга будет работать в режиме обкатки, а часть - в режиме шлифования.

Данный инструмент интересен тем, что оси располагаются равномерно по кругу. Это позволяет использовать на всех кругах центробежную силу. Круги свободно вращаются на оси, но поскольку длины внутренней и наружной поверхностей круга разные, то часть круга не будет выполнять обкатку, а осу-

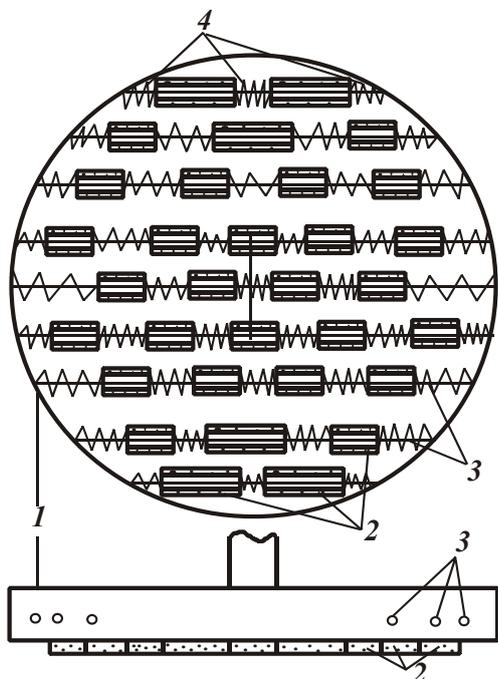


Рис. 12. Инструмент для совместной обкатки и шлифования: 1 - корпус; 2 - круг-ролик; 3 - ось, на которой вращается круг; 4 - пружины.

применением других технологий. Совместная схема обкатки и шлифования может быть весьма перспективна, т.к. содержит большое количество конструктивных рациональных вариантов ее реализации. Рассмотрим еще несколько вариантов.

В научно-технической литературе все предлагаемые инструменты и технологии, как правило, имеют новизну и перспективу патентования. Однако сам патент еще не подтверждает жизнеспособность инструмента и технологии. Только опытные образцы и испытания могут дать жизнь новым технологиям и инструменту, а для этого необходимо проводить большой комплекс научно-

исследовательских и конструкторско-технологических работ. Особенно заслуживает внимания инструмент для совместной обкатки и шлифования, изображенный на рис. 11 и рис. 12. Поскольку длина внутренней и наружной поверхности круга разная, часть круга будет работать в режиме обкатки, а часть - в режиме шлифования. Данный инструмент интересен тем, что оси располагаются равномерно по кругу. Это позволяет использовать на всех кругах центробежную силу. Круги свободно вращаются на оси, но поскольку длины внутренней и наружной поверхностей круга разные, то часть круга не будет выполнять обкатку, а осуществлять чистое шлифование. Так как центробежные силы будут стремиться перемещать круг вдоль оси, а пружины - возвращать его в первоначальное положение, круг во время работы будет постоянно двигаться вдоль оси. Следовательно, на круге будут работать боковые режущие грани зерен, осуществляя процесс шлифования, т.е. данным инструментом выполняется совместно шлифование и обкатка.

Особенность инструмента, показанного на рис. 12, заключается в том, что все оси располагаются параллельно, а круги - в шахматном порядке. В зависимости от расположения осей и кругов, последние будут совершенно по-разному от центробежной силы сдвигаться к периферии корпуса, совершать разные перемещения, зависящие от расположения структуры-текстуры материала.

На параллельно расположенных осях при вращении корпуса будет преобладать

процесс шлифования в отличие от варианта с расположением осей, изображенных на рис. 11, где преобладает процесс обкатки.

Согласно рис. 12, за счет увеличения количества кругов процесс обкатки и шлифования проходит более интенсивно. Инструмент для совместной обкатки и шлифования (рис. 11) может так же иметь на каждой оси по несколько кругов. Располагаться они могут в шахматном порядке, но добиться при этом такой плотности кругов, как показано на рис. 12, не удастся.

Кроме того, на рис. 12 показаны пружины, по размеру близкие диаметру кругов. И это не случайно, поскольку в конструкцию вводится новый шлифовальный инструмент - пружина. Пружина может применяться как шлифовальный инструмент и самостоятельно. Но в данном случае она очень удачно дополняет конструктивные решения. Если пружину растягивать, то она несколько уменьшится в диаметре, а ее проволока начнет раскручиваться. Если пружину сжимать, то она несколько увеличится в диаметре, а ее проволока начнет скручиваться. Поэтому пружина будет шлифовать не одной линией на витке, а некоторой поверхностью. С помощью пружины можно шлифовать стержни, цилиндры, плоскости и фигурные поверхности.

В данном случае эффективно применить бериллиевые пружины, которые до усталостного разрушения выдерживают сотни миллионов циклов. На наружной поверхности пружины можно расположить абразивные или алмазные зерна. В результате получим инструмент, позволяющий производить обкатку и шлифование пружинами и обкатку и шлифование кругами-роликами. Шлифовальные пружины можно применять также и для инструмента, изображенного на рис. 11.

Таким образом, совместное применение обкатки и шлифования позволит повысить производительность без увеличения дополнительных затрат. Поэтому этот способ и новый инструмент перспективен и в скором будущем может найти применение на различных технологических операциях.

Шлифовальный инструмент - пружина. Рассмотрим работу нового шлифовального инструмента - пружины, рис. 13. Абразивный материал может быть расположен на наружной и внутренней поверхностях пружины, или отдельно на наружной и внутренней поверхностях пружины в зависимости от выполняемых работ. Абразивный материал наносится на пружину таким образом, чтобы во время полного сжатия витков пружины абразивный материал не разрушался, а пружина в свою очередь не изнашивалась от абразивного материала. Абразивный материал эффективнее наносить двумя секторами, хотя он может также наноситься сплошными и прерывистыми полосами. Методы нанесения абразивного материала могут быть самые различные: вдавливание в горячую поверхность, наклеивание и т.д.

Шлифовальные пружины могут иметь разную форму и размеры. Форма пружины может быть цилиндрическая, коническая, эллипсоидная, шаровая и т.д. Шлифовальные пружины могут дополнять шлифовальные круги, как показано на рис. 11 и рис. 12, а также применяться самостоятельно. На тех же шлифовальных инструментах (рис. 11 и рис. 12) можно оставить только одни шлифовальные пружины.

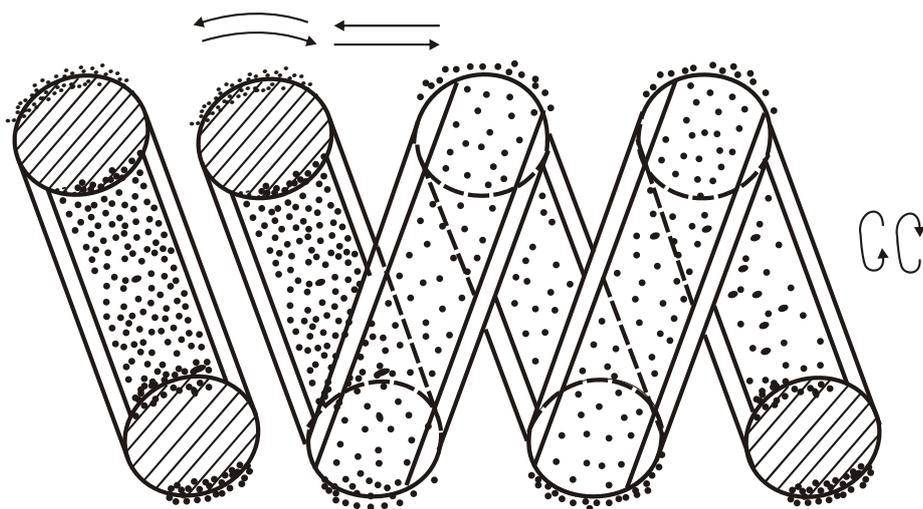


Рис. 13. Шлифовальный инструмент - пружина.

Шлифовальными пружинами можно шлифовать внутренние, наружные и фасонные поверхности, зубчатые и винтовые соединения, конусные и шаровые поверхности, трубчатые отверстия с изгибами и т.д. Шлифовальные пружины могут работать

совместно с другими инструментами.

Рассмотрим, какие совершаются движения в шлифовальном инструменте – пружина. На рис. 13 показаны некоторые перемещения. Сама пружина может перемещаться вдоль витков возвратно-поступательно, вращаться вокруг своей оси и изгибаться. Витки в пружине могут растягиваться и сжиматься.

При сжатии и растяжении витков происходит поворот проволоки пружины вокруг своей оси. Сам виток меняет угол при сближении или удалении витков друг от друга. Пружина может в специальном шлифовальном круге закрепляться жестко или свободно вращаться вокруг своей оси. Как видим, пружина может производить обкатку и шлифование одновременно. Зерно в шлифовальной пружине может совершать очень сложные движения. Поэтому эффективность шлифовальных пружин на определенных работах будет очень высокая. С помощью шлифовальных пружин можно обрабатывать фасонные поверхности, т.к. пружины во время работы способны деформироваться. Шлифовальные пружины могут применяться в специальных вибрационных бункерах для шлифования изделий. Они могут крепиться на стенки специальных цилиндров для шлифования методом вращения - обкатки.

Таким образом, шлифовальные пружины в скором будущем займут достойное место в абразивно-шлифовальной обработке, т.к. это новый универсальный шлифовальный инструмент с большими возможностями. Шлифовальный инструмент из пружин может быть очень многообразен, т.к. состоит из пружин разного поперечного сечения проволоки (стержней): эллипсовидного, прямоугольно-эллипсовидного, прямоугольного и т.д. Пружины могут быть пластинчатыми и дисковыми.

Шлифовальный инструмент - шар. Почему бы не применить шлифовальный инструмент в виде шара? Если обратиться к Природе и посмотреть на каменные лотки горных ручьев, то можно увидеть, как свободные песчинки перекатываются по каменному руслу. Кажется, что могут сделать маленькие песчинки, однако результат впечатляет: ручей прокладывает себе дорогу среди твердых огромных камней.

Шлифовальный шар состоит из тысячи примерно равных по размерам и

по форме (огранке) абразивных песчинок-зерен, давление которых на обрабатываемую поверхность во много раз больше, чем песчинок, перекатывающихся по каменистому руслу. Шлифовальный шар может производить обкатку и скользить по поверхности, шлифуя (скобля) ее. Где могут применяться шлифовальные шары? При шлифовании труб, цилиндров, изогнутых отверстий.

На трубопроводах после сварки различных поворотных участков сварные швы приводят к нарушению потоков, образуя турбулентность и вызывая вибрации, “гудение” и разрушение труб и их опор, создавая большое сопротивление при транспортировке веществ, увеличивая потребление электроэнергии и снижая производительность трубопровода. Для устранения этих проблем эффективно использовать шлифовальный инструмент в форме шара. Шлифовальные шары могут перемещаться в трубе с помощью воздуха и жидкости, катиться по наклонным плоскостям, проталкиваться пружинами и гибким валом, двигаться с помощью магнитных и электромагнитных полей.

Шлифовальные шары можно изготавливать цельными (полными) и пустотелыми (без отверстий или с отверстиями). Основание шлифовального шара может быть изготовлено из одного или нескольких материалов, например, основание металлическое, а покрытие - вулканитовое, эпоксидное, органическое или другое. Вес шара должен быть подобран таким образом, чтобы он плавал в рабочей жидкости, находился в ней в безразличном положении или тонул.

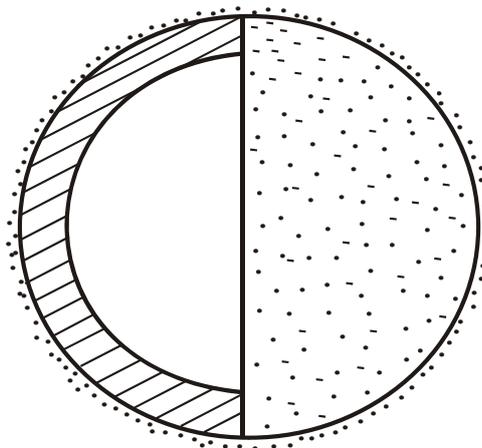


Рис. 14. Однослойный пустотелый шлифовальный шар без отверстий.

На рис. 14 показан однослойный пустотелый шлифовальный шар без отверстий. При перемещении шара в трубе с помощью воздуха или жидкости, шар может производить обкатку и скользить по трубе, шлифуя ее. Все зависит от скорости движения, плотности, диаметров шаров, их веса и расстояния друг от друга. Процесс обкатки заканчивается при любой скорости перемещения. Если два шара соприкасаются друг с другом, то сразу начинается процесс шлифования.

Шлифовальные шары изготавливаются монолитными или пустотелыми (из пластмассы и различных металлов). Внутри их можно устанавливать постоянные магниты или намагничиваемые материалы. Шлифовальные шары можно также изготавливать полностью из намагничиваемых материалов. Такие шлифовальные шары будут легко перемещаться по внутренней поверхности шлифуемых изделий с помощью магнитных и (или) электромагнитных полей. Эффективным может быть совместное воздействие магнитных или электромагнитных полей, воздуха или жидкости, или магнитных полей и пружины, или гибкого вала и магнитных полей.

Отверстия специальных размеров на периферии пустотелого шара или сквозные отверстия на цельном шаре усиливают сцепление с поверхностью кромками отверстий и изменяют движение в потоке жидкости или газа.

В зависимости от назначения шлифовального инструмента, шар может изготавливаться со смещенным центром, эллипсоидной формы, иметь переходные отверстия из двух и более связок и абразивных материалов. Такой инструмент может применяться для очистки и шлифования труб даже во время работы. Для этого на трубопроводе устанавливается загрузочный бункер и уловитель шаров.

На рис. 15 показаны схемы работы шлифовальных шаров в связке.

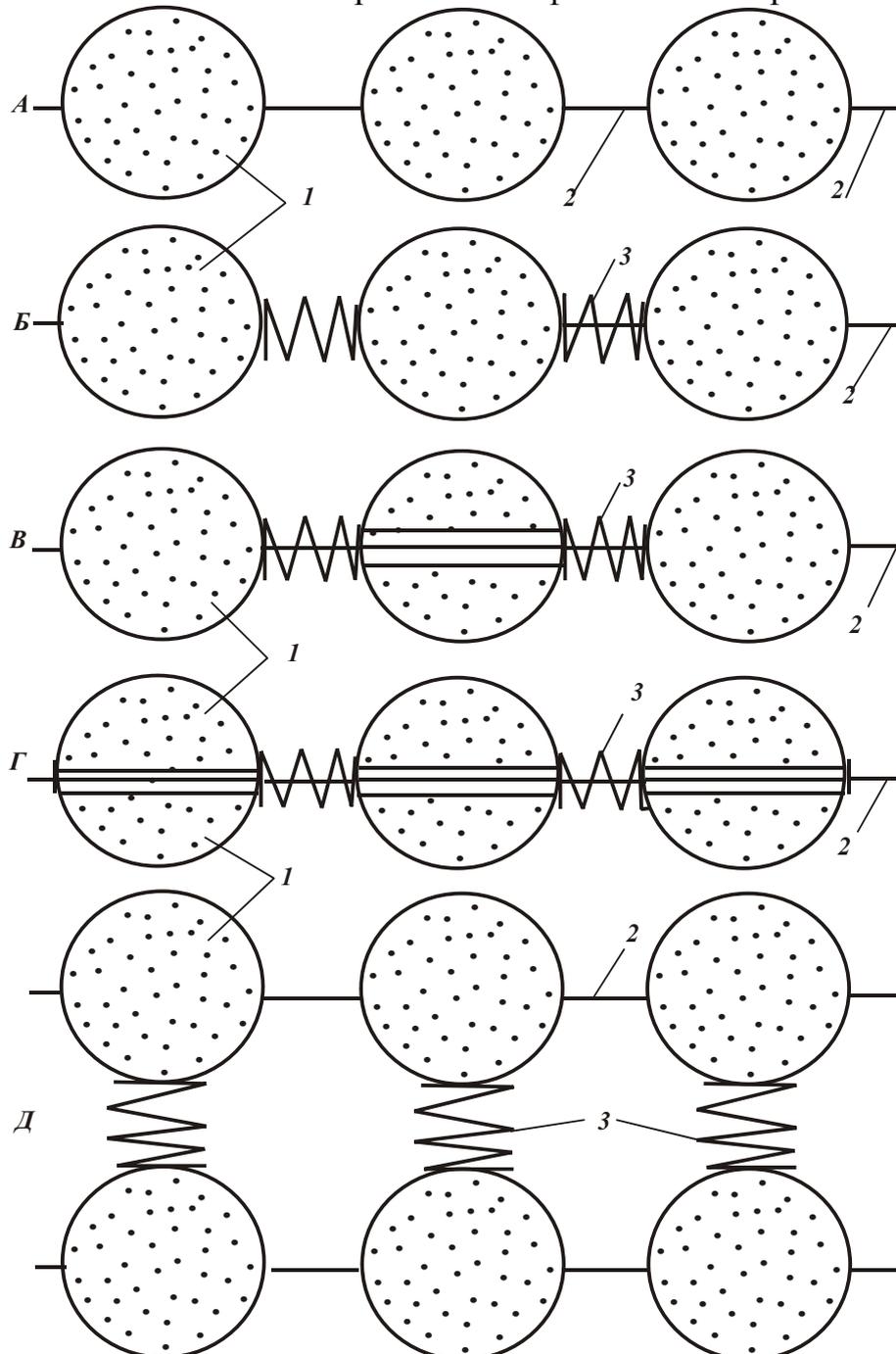


Рис. 15. Применение шлифовальных шаров в связке: 1 - шар; 2 - гибкий вал; 3 - пружина.

По схеме А шары соединены жестко гибким валом.

По схеме Б шары соединены пружинами и гибкими валами по участкам.

По схеме В шары соединены гибким валом, на котором некоторые шары

имеют отверстия для перемещений и разделяются с другими шарами пружинами. По схеме Г на гибком валу все шары имеют отверстия для перемещений и разделяются между собой пружинами. Гибкий вал для перемещения крайних шаров имеет ограничения.

По схеме Д шары, соединенные гибким валом в плети, имеют связь этих плетей через пружины, соединяющие шары между собой, образуя с торца треугольник (многоугольник, круг).

Шлифовальные шары можно соединять разнообразными плетями, используя схемы А, Б, В, Г. Комбинаций очень много, поэтому нет необходимости их все приводить. Схемы А, Б, В, Г используются для шлифования внутренних поверхностей цилиндров, труб, колен и т.д. Схема Д применяется для шлифования наружных поверхностей труб (цилиндров), в том числе изогнутых.

Применение возвратно-поступательных и вращательных движений инструмента позволяет качественно выполнить процесс шлифования на больших участках в труднодоступных местах. Различные движения могут сообщаться не только инструменту, но и обрабатываемому изделию.

Инструмент для очистки и шлифования внутренних поверхностей.

Внутренние поверхности различных трубопроводов, цилиндров, отверстий на изгибах не всегда имеют правильную форму. Как правило, они имеют переходные диаметры, цилиндрические отверстия с переходом в конус, соединение двух цилиндрических отверстий с небольшим смещением, сферические канавки в цилиндрах. При этом отверстия могут иметь эллипсовидную форму и т.д. Но

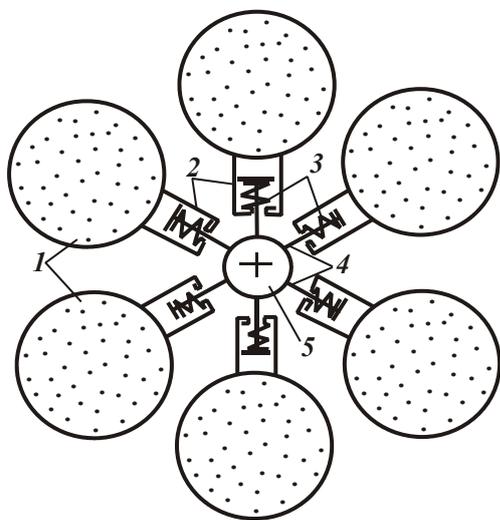


Рис. 16. Инструмент для шлифования внутренних поверхностей: 1 – шлифовальный шар; 2 – цилиндр; 3 – пружина; 4 – штырь (спица); 5 – вал.

во всех случаях перед эксплуатацией и в процессе эксплуатации требуется их периодическая очистка и шлифование. В связи с этим рассмотрим три новые конструкции шлифовального инструмента. Показанный на рис. 16 шлифовальный инструмент состоит из шлифовальных шаров 1, которые перемещаются с помощью цилиндра 2 и пружины 3 по штырю 4 независимо друг от друга. При увеличении скорости вращения, они прижимаются к обрабатываемой поверхности центробежной силой.

Для выполнения вышеперечисленных работ не требуется большая точность центрирования данного инструмента по отверстию. Он может перемещаться на значительные расстояния внутри отверстия, проходя разные переходные сечения, в том числе прямые и обратные конусные. Для очистки и шлифования таких поверхностей не требуется больших скоростей резания и высокой точности обработки. Поэтому данный инструмент может обеспечить хорошее качество обработки даже при небольших изгибах и переходах.

В отличие от инструмента, показанного на рис. 16 (состоящего из шлифо-

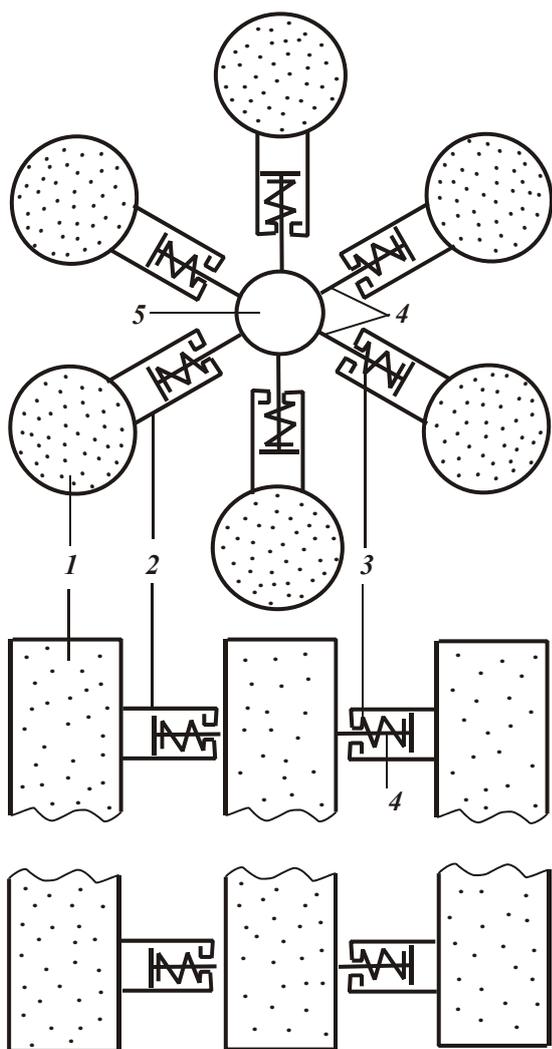


Рис. 17. Инструмент для шлифования внутренних поверхностей: 1 - шлифовальный брусок; 2 - цилиндр; 3 - пружина; 4 - штырь (спица); 5 - вал.

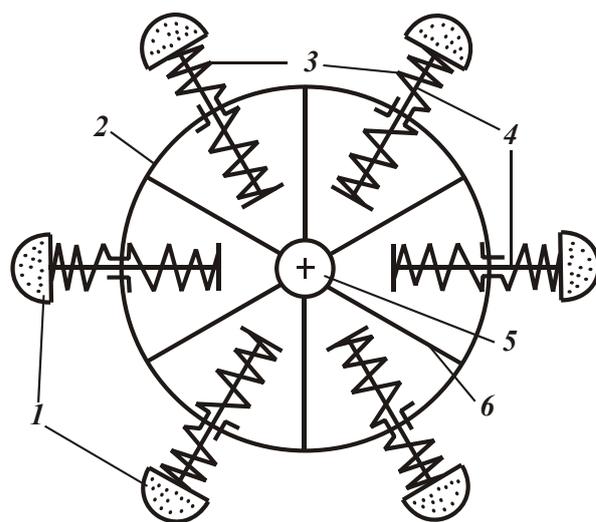


Рис. 18. Шлифовальный инструмент для обработки внутренних поверхностей: 1 - шлифовальный брусок; 2 - корпус цилиндрический; 3 - пружина; 4 - штырь; 5 - вал; 6 - ребра жесткости.

вальных шаров), инструмент, показанный на рис. 17, состоит из цилиндрических или полусферических брусков. Он предназначен для шлифования длинных цилиндрических отверстий без изгибов и переходных сечений. Им можно шлифовать конусные отверстия.

Отличие инструмента, показанного на рис. 18, состоит в том, что на каждый брусок работают две пружины, которые все время стремятся его вернуть в первоначальное положение.

Возможности шлифования таким инструментом значительно шире. Им можно шлифовать отверстия, предварительно установив в них бруски, т.е. прижав их к корпусу. Можно шлифовать отверстия, свободно устанавливая в них инструмент, шлифовать прямые цилиндрические и конусные отверстия.

Традиционное шлифование отверстий кругами, посаженными жестко на шпиндель, требует тщательного центрирования, что не позволяет шлифовать отверстия с изгибом. Изучая проблемы шлифования, можно конструктивно создать шлифовальный инструмент для выполнения любых работ, не требующих точной настройки и больших скоростей вращения, но способный значительно улучшить качество обработки внутренних поверхностей и при этом быть очень простым по конструкции, технологичным в изготовлении и эксплуатации.

Инструмент для шлифования наружных поверхностей. Инструмент для шлифования наружных поверхностей стержней, цилиндров, труб, а также конусов изображен на рис. 19. При этой схеме обработки удобнее вращать обрабатываемую трубу (вал).

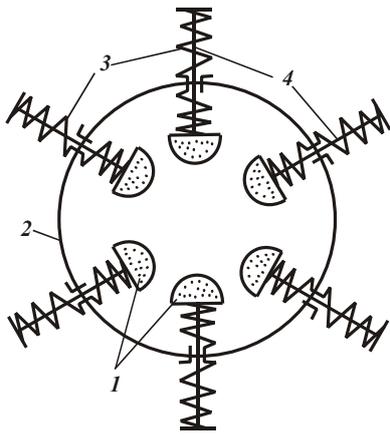


Рис. 19. Инструмент для шлифования наружных поверхностей: 1 - шлифовальный брусок; 2 - корпус цилиндрический; 3 - пружина; 4 - штырь.

Если на наружную поверхность штырей установить шлифовальные бруски, то получим инструмент для одновременного шлифования наружных и внутренних поверхностей. Здесь как бы совместили два инструмента, изображенные на рис. 18 и рис. 19. Шлифовальный инструмент с упруго-подвижными брусками открывает новые возможности шлифования различных труднообрабатываемых поверхностей, шлифование которых было или невозможно, или проводилось вручную.

Конструкции шлифовального инструмента для обработки фасонных поверхностей. Шлифовальный инструмент для обработки фасонных поверхностей (рис. 20) работает следующим образом:

вращение на каждый шлифовальный шар передается от общего привода через шестерню, гибкий вал и жесткий вал. Жесткий вал имеет шарнирную опору в несущей плите – корпусе. Пружины обеспечивают возвращение шлифовальных кругов в вертикальное положение (перпендикулярное положение относительно несущей плиты). Подшипники исключают вращение пружин. Особенности работы данной конструкции заключаются в том, что каждый шлифовальный шар может отклоняться по радиусу в любую сторону. Перемещая несущую плиту-корпус с вращающимися шлифовальными шарами, можно обрабатывать разные фасонные плоскости. Несущая плита может вращаться вместе с шарами в одну или разные стороны. Она может также вращаться и без вращения шаров.

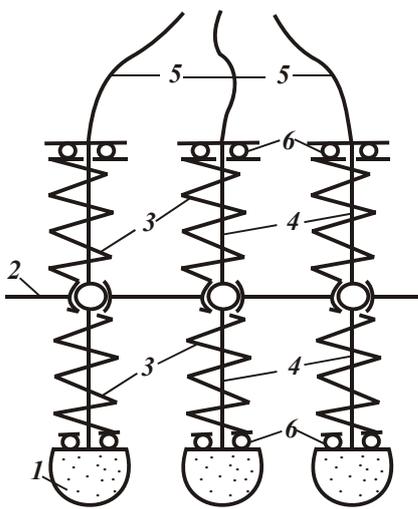


Рис. 20. Шлифовальный инструмент для обработки фасонных поверхностей: 1 - шлифовальный шар (сфера); 2 - несущая плита - корпус; 3 - пружины; 4 - жесткий вал с шаровой опорой; 5 - гибкий вал, соединенный с жестким валом для вращения шара; 6 - подшипники.

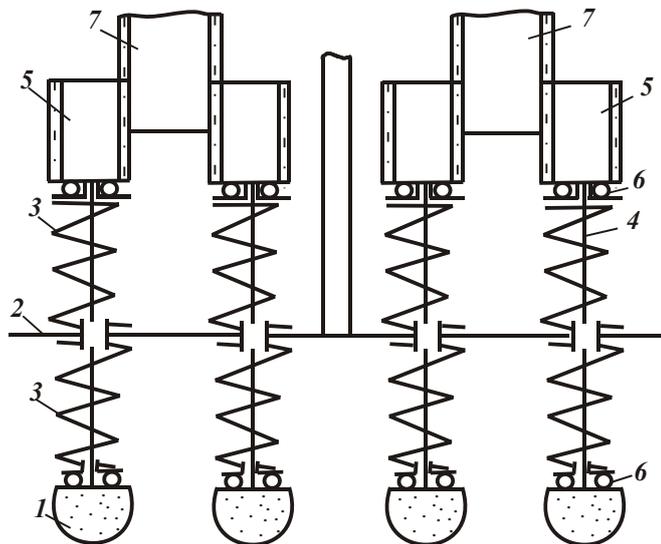


Рис. 21. Шлифовальный инструмент для обработки фасонных поверхностей: 1 - шлифовальный шар; 2 - несущая плита - корпус; 3 - пружины; 4 - жесткий вал; 5 - подвижные шестерни-валы; 6 - подшипники; 7 - приводные шестеренчатые валы.

Конструкция шлифовального инструмента для обработки фасонных поверхностей, показанная на рис. 21, позволяет перемещаться вращающимся шаровым сфером вверх - вниз, т.е. вести обработку на разных уровнях.

Соединяя конструкции, показанные на рис. 20 и рис. 21, приходим к новой конструкции инструмента, в которой вращающиеся шары могут изменять высоту обработки за счет скольжения жесткого вала по шаровой опоре и отклоняться в любую сторону на шаровой опоре.

Литература: 1. Дудин А.Т., Новиков Ф.В. Двигатели и технологии: Учеб. пособие / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. - Одесса: ОНПУ, 2004. - 280 с. (Физические и компьютерные технологии). 2. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования. - Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. - Одесса: ОГПУ, 1995. - 36 с. 3. Якімов О.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В, Якімов О.О. Високопродуктивне шліфування: Навч. посібник. - К.: ІСДО, 1995. - 180 с. 4. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов.- Одесса: ОГПУ, 1999. - 450 с. 5. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А.А. Якимов.- Одесса: ОГПУ, 1999. - 212 с. 6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технология машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. - Т.4. "Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов". - Одесса: ОНПУ, 2002. - 802 с. 7. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технология машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. - Т.7. "Точность обработки деталей машин". - Одесса: ОНПУ, 2004. - 546 с.

УДК 621.923

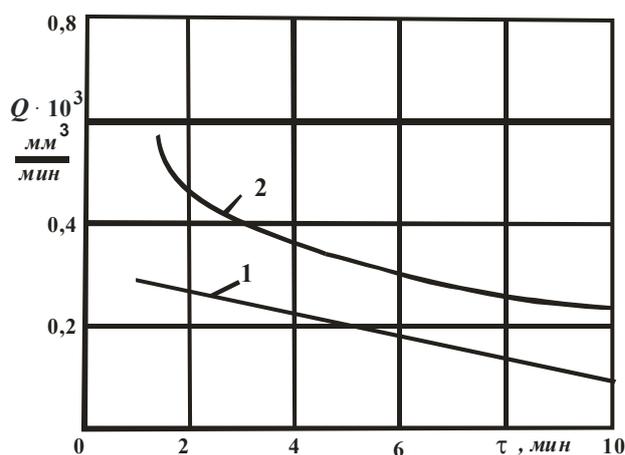
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА КРУГЛОГО ВНУТРЕННЕГО АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ВСТАВОК

Гасанов М.И., канд. техн. наук, **Новиков Ф.В.**, докт. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

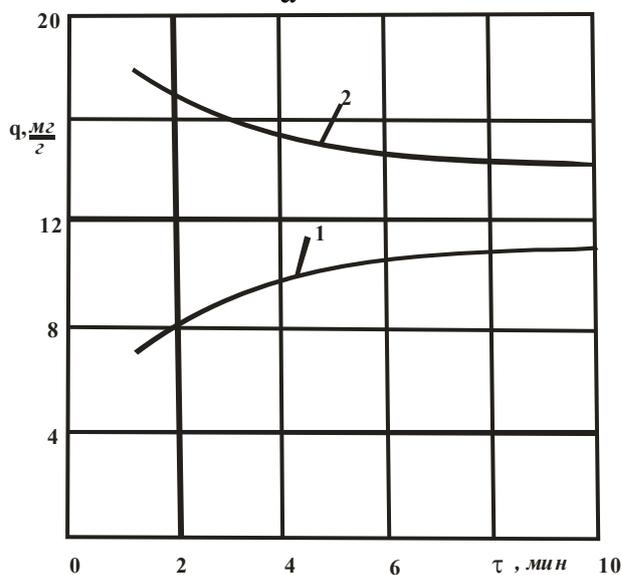
The results of experimental researches of processes of round internal diamond and diamond spark grinding are given.

При шлифовании твердосплавных изделий эффективно применение алмазных кругов на органических связках, работающих в режиме самозатачивания, и алмазных кругов на металлических связках, работающих в режиме алмазно-искрового шлифования, при котором в зону резания вводится дополнительная энергия в форме электрических разрядов [1, 2, 3]. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование и сравнение процессов круглого внутреннего обычного алмазного и алмазно-искрового шлифования. Производилась обработка круглых вставок из твердого сплава ВК15 алмазными кругами на прочной металлической связке М2-01 и органической связке В2-01 на модернизированном под алмазно-искровое шлифование внутришлифовальном станке.

Установленный экспериментально характер изменения производительности обработки Q и относительного расхода алмаза q во времени при обычном алмазном шлифовании показан на рис. 1. Как видно, производительности обра-



а



б

Рис. 1. Зависимость производительности обработки Q (а) и относительного расхода алмаза q (б) от времени шлифования τ : $V_{кр}=23$ м/с; $S_{non}=0,3$ мм/мин; $V_{дет}=60$ м/мин; $S_{пр}=3,2$ м/мин; 1 - металлическая связка М2-01; 2 - органическая связка В2-01.

ботки Q с течением времени обработки τ для алмазного круга на металлической связке непрерывно уменьшается, а для круга на органической связке - первоначально уменьшается, затем фактически стабилизируется. Производительность обработки Q кругом на органической связке В2-01 выше, чем кругом на металлической связке М2-01. Относительный расход алмаза q при шлифовании кругом на металлической связке М2-01 увеличивается во времени, а при шлифовании кругом на органической связке В2-01 первоначально уменьшается, затем стабилизируется. Применение металлической связки обеспечивает меньший относительный расход алмаза.

Оценим степень затупления зерен круга при шлифовании, используя безразмерный параметр η [4]:

$$\eta = \frac{x}{H}, \quad (1)$$

где x - величина линейного износа максимально выступающего над уровнем связки зерна, м; $H = x + H_{max}$; H_{max} - максимальная толщина среза, м.

Параметр η можно определить на основе зависимости [5]:

$$\eta = \sqrt[3]{\frac{M}{q \cdot Q}}, \quad (2)$$

где M - размерный коэффициент, определяемый расчетно-экспериментальным путем (для шлифования твердого сплава ВК15 значение $M = 393 \frac{\text{мм}^3}{\text{мин}} \cdot \frac{\text{мг}}{\text{г}}$).

В табл. 1 приведены значения произведения параметров $q \cdot Q$, полученные исходя из рис. 1, а в табл. 2 - рассчитанные по зависимости (2) значения безразмерного параметра η .

Таблица 1

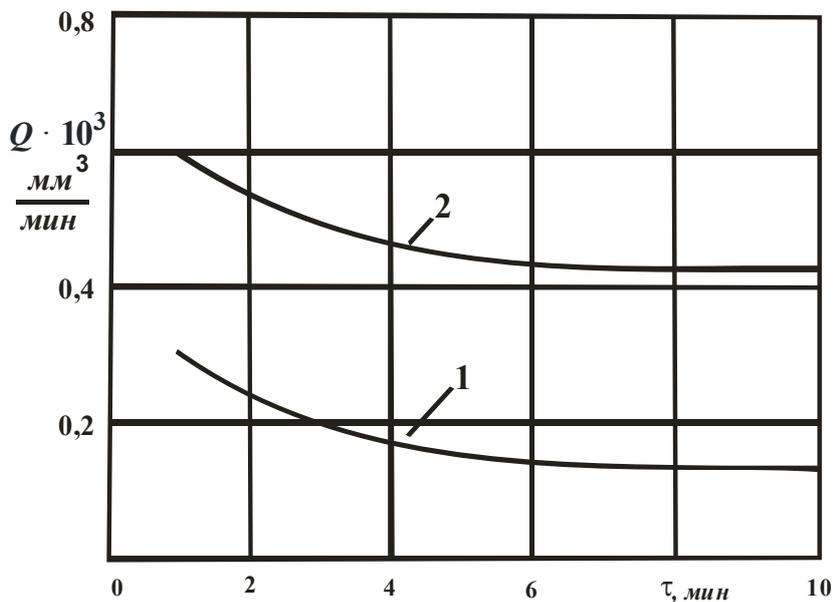
Значения произведения параметров $q \cdot Q$ в $\frac{\text{мм}^3}{\text{мин}} \cdot \frac{\text{мг}}{\text{г}}$

Время обработки τ , мин	2	4	8	10
Связка М2-01	2100	2000	1648	1155
Связка В2-01	7285	5250	3020	3020

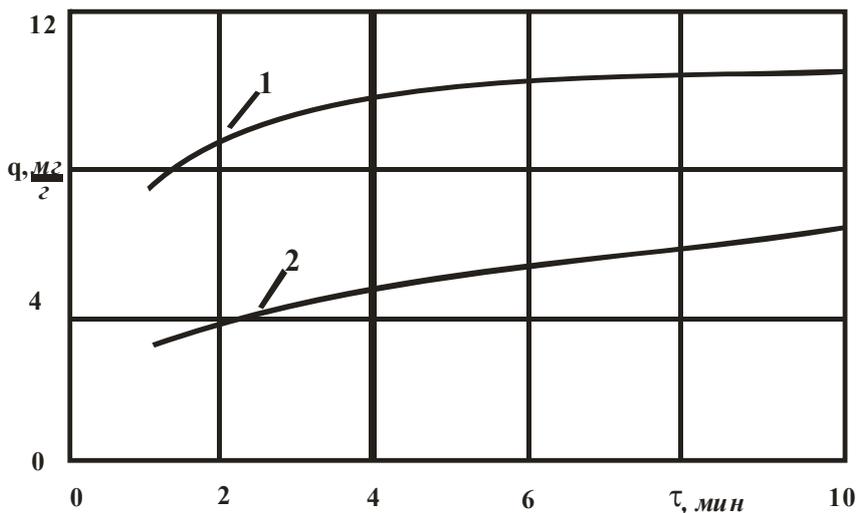
Таблица 2

Расчетные значения безразмерного параметра η

Время обработки τ , мин	2	4	8	10
Связка М2-01	0,54	0,55	0,59	0,62
Связка В2-01	0,36	0,4	0,44	0,44



а



б

Рис. 2. Зависимость производительности обработки Q (а) и относительного расхода алмаза q (б) от времени шлифования τ : $V_{кр} = 23$ м/с; $S_{нон} = 0,3$ мм/мин; $V_{дет} = 60$ м/мин; $S_{пр} = 3,2$ м/мин; 1 - $I = 0$; 2 - $I = 20А$.

Как следует из приведенных таблиц, с течением времени обработки τ произведение параметров $q \cdot Q$ для алмазного круга на металлической связке М2-01 непрерывно уменьшается, а для круга на органической связке В2-01 – первоначально уменьшается, затем стабилизируется. Безразмерного параметра η для алмазного круга на металлической связке М2-01 непрерывно увеличивается, а для круга на органической связке В2-01 первоначально увеличивается, затем остается неизменным. При этом значения η для круга на металлической связке М2-01 больше, чем для круга на органической связке В2-01. Этим объясняется то, что через 10 минут шлифования алмазным кругом на

металлической связке фактически отсутствует съём материала, производительность стремится к нулю.

Таким образом показано, что снижение производительности обработки обусловлено ростом параметра η вследствие затупления зерен круга. Чем больше параметр η , тем меньше производительность обработки. Органическая связка В2-01 обеспечивает самозатачивание круга, о чем свидетельствует стабилизация во времени параметра η и соответственно q и Q . Алмазный круг на металлической связке М2-01 быстро теряет режущую способность и работает в режиме затупления. Следовательно, для эффективного использования алмазного круга на прочной металлической связке М2-01 его необходимо непрерывно править в процессе обработки, что достигается применением алмазно-искрового шлифования.

На рис. 2 приведены экспериментальные данные производительности обработки Q и относительного расхода алмаза q , полученные при внутреннем алмазно-искровом шлифовании твердого сплава ВК15 с использованием для правки алмазного круга источника постоянного тока. Как следует из рис. 2, при алмазно-искровом шлифовании производительность обработки Q (при силе тока $I=20A$) незначительно изменяется во времени, тогда как при обычном алмазном шлифовании ($I=0$) непрерывно уменьшается в связи с потерей режущей способности алмазного круга на металлической связке М2-01. Относительный расход алмаза q при $I=0$ и $I=20A$ возрастает во времени. В табл. 3 приведены значения произведения параметров $q \cdot Q$, полученные с использованием экспериментальных данных рис. 2.

Из табл. 3 следует, что с течением времени обработки τ произведение параметров $q \cdot Q$ при $I=20A$ увеличивается. Согласно зависимости (2), это ведет к уменьшению (с затуханием) безразмерного параметра η . Следовательно, при $I=0$ параметр η во времени увеличивается (т.к. алмазный круг работает в режиме затупления), а при $I=20A$ параметр η уменьшается, имея тенденцию к стабилизации. С физической точки зрения это означает, что уменьшается величина линейного износа зерна x до момента его выпадения из связки круга. Вследствии чего зерно становится острее и интенсивность съема материала возрастает. Своевременному удалению изношенных зерен из связки алмазного круга способствует непрерывное электроэрозионное воздействие на металлическую связку круга от возникающих электрических разрядов, которые приводят к термическому разрушению (выжиганию) связки, понижению уровня и непрерывному вскрытию новых алмазных зерен.

Таблица 3

Значения произведения параметров $q \cdot Q$ в $\frac{мм^3}{мин} \cdot \frac{мг}{г}$

Время обработки τ , мин	2	4	8	10
$I = 0$	2100	2000	1648	1155
$I = 20A$	2200	2300	2400	2535

Таким образом показано, что в отличие от обычного алмазного шлифования кругом на металлической связке М2-01, когда зерна с течением времени полностью затупляются ($\eta \rightarrow 1$) и съём обрабатываемого материала практически прекращается, при алмазно-искровом шлифовании в результате уменьшения параметра $\eta \rightarrow 0$ обеспечивается высокая режущая способность круга, увеличивается производительность обработки и снижается относительный расход алмаза. Следовательно, введение в зону резания дополнительной электрической энергии в форме электрических разрядов необходимо рассматривать важным фактором интенсификации процесса шлифования алмазными кругами на прочных металлических связках.

Литература: 1. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Харьк. гос. техн. ун-т. - Харьков, 1995. – 56 с. 2. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – Харьков, 1989. – 210 с. 3. Гасанов М.І. Підвищення ефективності алмазно-іскрового шліфування шляхом забезпечення гостроти ріжучого рельєфу круга в режимі збільшених глибин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Харк. держ. техн. ун-т. - Харків, 1999. – 17 с. 3. 4. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Одес. гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1995. – 36 с. 5. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

УДК.621.923

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК15

Матюха П.Г., докт. техн. наук, Стрелков В.Б., Цокур В.П., канд. техн. наук
(г.Донецк, Украина)

Influence of a kind of diamond grinding and time of machining on grinding factor is investigated at processing a hard alloy BK15. It is established that at grinding of hard alloy BK15 by wheel AC6 160/125 4 M2-01 the grinding factor K_u does not depend on a kind of grinding, conditions of electric spark actions on WWS and within the interval of grinding of 60 minutes this factor has the constant value equal $0,31 \pm 0,03$.

Введение. Однокарбидные твердые сплавы группы ВК различных модификаций широко применяются в машиностроении в качестве режущих инструментов, штампов, деталей обладающих большой износостойкостью.

В настоящее время обработка твердых сплавов осуществляется алмазными кругами на металлической связке, однако в процессе обработки режущая способность рабочей поверхности круга (РПК) постоянно снижается. Перспективным направлением, позволяющим сформировать необходимые параметры РПК, является электроэрозионная правка, а последующее поддержание режущей способности круга в заданных переделах, одновременно с обработкой заготовки, осуществляют с помощью электроэрозионных воздействий на РПК.

Как показал анализ структуры и физико-механических свойств твердых

сплавов они обладают следующими особенностями:

- неоднородностью материала, обусловленной тем, что твердый сплав состоит из порошков карбидов тугоплавких материалов и кобальтовой связки, причем размеры порошков карбидов соизмеримы с толщиной среза единичным зерном при шлифовании [1];
- отсутствием прямопропорциональной связи величины касательных напряжений τ_s с величиной микротвердости HV твердого сплава (увеличение HV не увеличивает τ_s), как это имеет место при обработке пластичных материалов; наоборот, силы резания увеличиваются с увеличением процентного содержания кобальта, когда микротвердость твердого сплава уменьшается [2];
- образованием стружки надлома, в результате чего уменьшается вклад геометрического фактора в формирование параметров шероховатости обработанной поверхности [3].

Именно этим, по нашему мнению, определение составляющих усилий резания при шлифовании твердых сплавов осуществляется с помощью эмпирических формул, недостатком которых является их ограниченность диапазоном режимов, изменяемых в процессе эксперимента, а также большой трудоемкости их получения.

Основная часть. Вместе с тем, максимально допустимое значение составляющей силы резания P_z можно рассчитать, используя температуру окисления алмаза [4].

$$P_{z\dot{\epsilon}} = \frac{0,95 \cdot \dot{O}_{\dot{\epsilon}} \cdot (\lambda_1 + 2,25 \cdot \lambda \cdot A^* \cdot \sqrt{F_0}) \cdot \pi \cdot n_p \cdot d^2 \cdot \sqrt{l} \cdot b}{4,52 \cdot A^* \cdot \delta \cdot \sqrt{\omega_1 \cdot V}}, \text{ Н},$$

где $T_{ок}$ – температура, при которой начинается окисление алмаза; λ_1 – коэффициент теплопроводности алмаза; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала; F_0 – безразмерное время контакта зерна с кругом, представленное с помощью критерия Фурье; d – диаметр основания цилиндрической модели зерна; ω_1 – коэффициент температуропроводности алмаза; V_k – скорость круга; n_p – количество режущих зерен на единице поверхности круга; l – длина контакта зерна с деталью; b – ширина шлифования; δ – коэффициент неравномерности нагрузки на зернах; A^* – выражение, определяемое по формуле:

$$A^* = A_1 - \frac{8 \cdot \lambda_{\dot{\epsilon}} \cdot F_0}{\ln 4h / d \lambda_1} \cdot \frac{A_{cp}}{1 + \frac{8 \cdot \lambda_{\dot{\epsilon}} \cdot F_0}{\ln 4h / d \lambda_1}}.$$

Здесь A_{cp} – функция, учитывающая среднюю температуру рабочего и нерабочего торца зерна,

$$A_{cp} = \frac{A_1 + A_2}{2},$$

где A_1 – безразмерная функция, учитывающая температуру рабочего торца зерна; A_2 – безразмерная функция, учитывающая температуру нерабочего торца зерна; λ_k – коэффициентом теплопроводности связки круга; F_0 – безразмерное время контакта зерна с кругом.

В этом случае переход от силы P_z к составляющей P_y , являющийся элементом режима резания при шлифовании по упругой схеме, осуществляется с использованием коэффициента шлифования, представляющим собой отношение тангенциальной составляющей силы резания к радиальной составляющей: $K_{ш} = P_z / P_y$.

Влияние времени обработки на коэффициент шлифования определяется по величине составляющих сил резания, найденных экспериментально [5,6], или рассчитанных теоретически [7].

Целью работы является определение влияния времени обработки на коэффициент шлифования при алмазном шлифовании твердого сплава кругом, заправленным электроэрозионным способом, а также шлифовании с электроэрозионными воздействиями различной частоты.

Исследования составляющих сил резания при алмазном шлифовании твердого сплава и шлифовании с электроэрозионными воздействиями на РПК проводили на модернизированном для этих целей плоскошлифовальном станке модели 3Г71 [8]. Сущность модернизации заключалась в электрической изоляции алмазного круга 1 и магнитной плиты 2 от общей конструкции станка, обеспечении токоподвода к кругу и обрабатываемой заготовке 3, установленной в динамометр 4 (рис. 1).

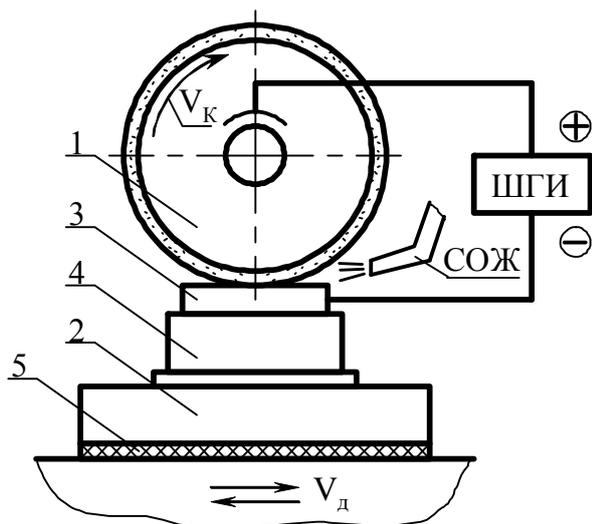


Рис. 1. Схема алмазного шлифования с электроэрозионными воздействиями на РПК в зоне резания.

ной в динамометр 4 (рис. 1).

Электрод, при электроэрозионной правке, устанавливали на магнитную плиту 2, изолированную от стола диэлектрической прокладкой 5.

В качестве источника технологического тока использовали блок питания ШГИ-125-100М, положительный полюс которого был подключен к шлифовальному кругу, а отрицательный – к детали.

Рабочей и охлаждающей средой являлся 0,3%-ный водный раствор кальцинированной соды.

Для регистрации сил резания использовали динамометр УДМ-100,

усилитель ТА5 и осциллограф Н-115.

Обработку твердого сплава ВК15 осуществляли алмазным кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125 4 М2-01. Перед каждым экспериментом круг правили электроэрозионным способом в два этапа, используя на первом этапе электрод из чугуна СЧ18 длиной 250 мм и медный электрод – на втором этапе. Целью первого этапа правки являлось устранение радиального биения РПК до 5-10 мкм, целью второго – обнажение режущих зерен из связки и удаление следов на РПК от предыдущего способа обработки. Время правки на втором этапе 15-20 мин, за которое осуществлялся удаление алмазоносного слоя на величину не менее 1/4 размера зерна.

Электрические режимы правки: частота $f = 8, 22$ кГц, скважность – 1,5;

механические режимы - глубина резания $t = 0,002 - 0,005$ мм, поперечная подача электрода $S_{non} = 0,72$ м/мин, скорость круга $V_k = 35$ м/с. Режимы шлифования: $V_k = 35$ м/с; $S_{non} = 1,5$ м/мин; $t = 0,015$ мм; $V_d = 6$ м/мин.

Исследовалось два способа обработки: алмазное шлифование (АШ), алмазное шлифование с электроэрозионным воздействием на РПК с подводом технологического тока в зону резания (АЭЭШ).

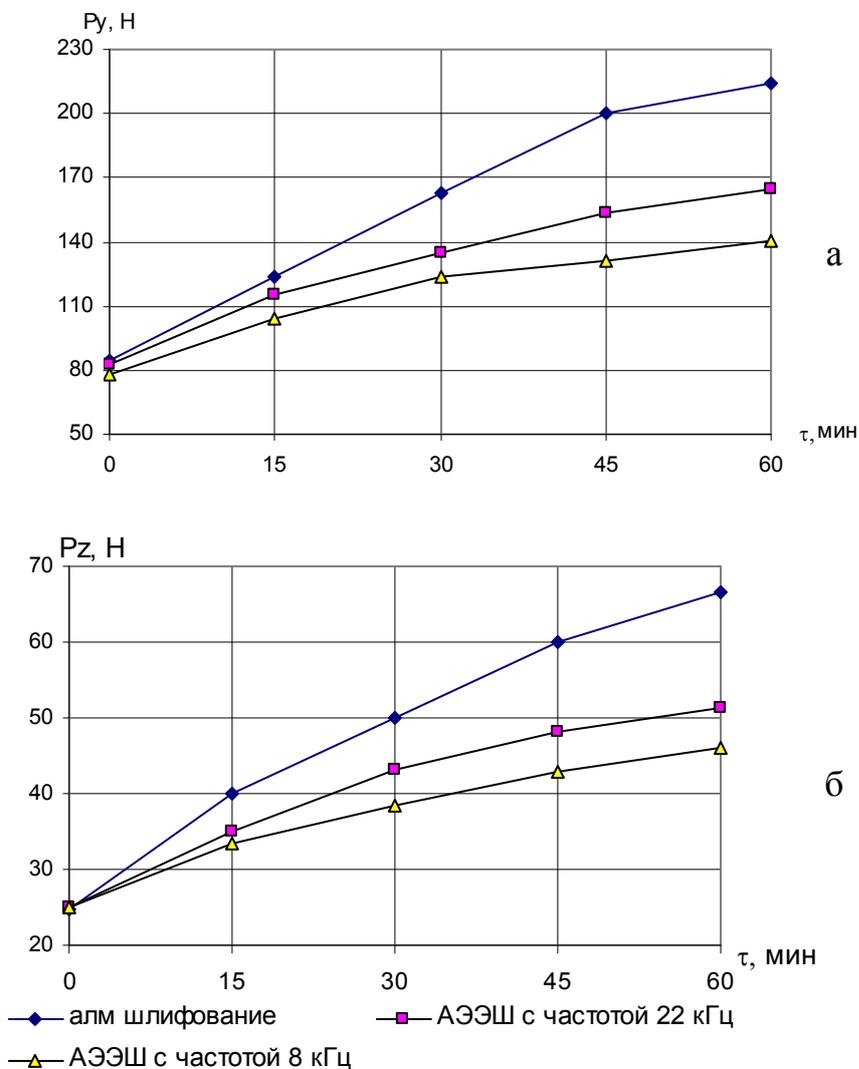


Рис. 2. Влияние времени шлифования и способа подвода технологического тока на силы резания сплава ВК15 кругом АС6 зернистостью 160/125: а – P_y , б – P_z

Запись на осциллографе значений сил резания осуществляли на 5, 6, 7, 8-м проходах врезного шлифования, когда значения сил резания стабилизировались в результате выборки зазоров в шлифовальной бабке.

Влияние времени обработки на величину составляющих сил резания при алмазном шлифовании твердого сплава ВК15 показано на рис. 2.

Как видно из графиков, с увеличением времени шлифования, силы резания увеличиваются. Величина угла наклона кривых к оси τ наибольшая при АШ и наименьшая при АЭЭШ с частотой $f = 8$ кГц, что говорит о меньшем изменении режущей способности РПК во время обработки, за счет влияния на неё электрических разрядов.

Результаты измерений сил резания подверглись статистическому анализу

на однородность дисперсий с использованием критерия Кохрана [9].

$$G = \frac{S_{P_{i max}}^2}{\sum_{i=1}^n S_{P_i}^2},$$

где G – расчетное значение критерия Кохрана; $S_{P_{i max}}^2$ – максимальное значение дисперсии сил резания в исследуемых выборках, мкм²; $S_{P_i}^2$ – дисперсии выборок сил резания, мкм²; n – общее число сравниваемых дисперсий.

Таблица 1.

Анализ однородности дисперсий при шлифовании твердого сплава ВК15 кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01

Вид шлифования	Составляющая силы резания	Выборочные дисперсии составляющих сил резания в точках эксперимента $S_{P_i}^2$, при времени шлифования τ , мин					Значение критерия Кохрана	
		0	15	30	45	60	Экспериментальное	Табличное
1	2	3	4	5	6	7	8	9
алмазное шлифование	P_y	40,05	37,31	33,97	45,61	183,73	0,37	0,544
	P_z	37,89	16,43	13,54	3,18	7,68	0,48	
АЭЭШ с частотой $f=22$ кГц	P_y	38,76	20,51	10,15	10,19	81,60	0,51	
	P_z	3,17	5,02	2,60	2,60	7,29	0,35	
АЭЭШ с частотой $f=8$ кГц	P_y	22,33	69,09	104,81	28,94	2,48	0,33	
	P_z	4,17	16,02	30,60	4,56	0,88	0,49	

Как показали результаты расчета (табл. 1) $G_{эксп} < G_{табл}$, а, следовательно, дисперсии однородны, что говорит об одинаковой точности измерения составляющих сил резания во всех проведенных опытах.

Изменение среднего значения коэффициента шлифования в различные моменты времени обработки приведены на рис. 2.

Проверим, значимо ли различие значений коэффициентов шлифования, для исследованных видов шлифования и возможна ли оценка этих видов обработки одним коэффициентом шлифования? Такую проверку осуществим путем оценки однородности выборочных средних и дисперсий.

Однородность выборочных средних проверим по критерию знаков [10], а дисперсий выборок – по критерию Кохрана.

Гипотеза однородности выборочных средних по критерию знаков принимается, если выполняется условие

$$r_{\alpha} < u_+ < n - r_{\alpha}$$

где u_+ – количество положительных разностей парных результатов экспериментов; r_{α} – критическое значение критерия знаков при уровне значимости α ; n – количество парных результатов, $n = 5$.

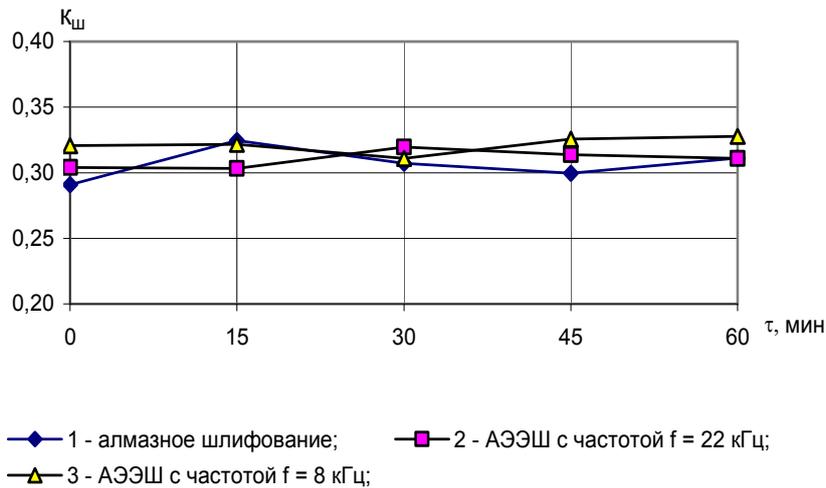


Рис. 2. Влияние времени и вида обработки на среднее значение коэффициента шлифования $K_{ш}$ при обработке твердого сплава ВК15 кругом 1А1 250×76×15×5 АС6 160/125-4-М2-01.

Гипотеза однородности дисперсий выборок принимается, если выполняется условие

$$G = \frac{S^2_{\hat{E}_{\theta i \max}}}{\sum_{i=1}^n S^2_{\hat{E}_{\theta i}}},$$

где G – расчетное значение критерия Кохрена; $S^2_{K_{ш i \max}}$ – максимальное значение дисперсии коэффициента шлифования в исследуемых выборках, мкм²;

$\sum_{i=1}^n S^2_{K_{\theta i}}$ – общая сумма сравниваемых дисперсий коэффициента шлифования.

Табличные значения критерия Кохрана $G(f_1, f_2)$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ взяты из работы [9]. Число степеней свободы для сравниваемых дисперсий равно $f_1=15$, а $f_2 = 3$.

Результаты определения значений критериев знаков приведены в табл. 1, критерия Кохрена – в табл. 2.

Из табл. 1 и 2 видно, что выборочные средние удовлетворяют критерию знаков, а однородность дисперсий выборок подтверждается критерием Кохрана при уровне значимости 0,05 для всех интервалов времени обработки. Следовательно, выборки данных, полученные по результатам опытов можно считать принадлежащими одной генеральной совокупности, и, соответственно, возможна их совместное математическое описание.

Изменение значения коэффициента шлифования во времени для каждого вида обработки незначительно (рис. 2), поэтому определим обобщенный коэффициент шлифования $K_{об.ш}$ для всех видов обработки и времени обработки 60 мин.

$$K_{\hat{a}.\theta} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\theta \hat{a}.\theta i}}{n},$$

где n – количество интервалов времени для которых рассчитывалось $K_{ш.а.ш.и}$ ($n = 5$); $K_{ш.а.ш.и}$ – значение коэффициента для алмазного шлифования в каждый момент времени обработки.

Таблица 2.

Данные для проверки однородности выборочных средних коэффициентов шлифования $K_{ш}$ при обработке твердого сплава марки ВК15

Время шлифования τ , мин	Значения $K_{ш}$ в зависимости от вида шлифования			Знак разности			$r_{0,05}$
	$K_{ш.а.ш.}$	$K_{ш.f=22}$	$K_{ш.f=8}$	$K_{ш.а.ш.} - K_{ш.f=22}$	$K_{ш.а.ш.} - K_{ш.f=8}$	$K_{ш.f=22} - K_{ш.f=8}$	
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0,29	0,30	0,30	-	-	0	0
15	0,31	0,29	0,30	+	+	-	
30	0,29	0,30	0,31	-	-	-	
45	0,30	0,31	0,31	-	-	0	
60	0,32	0,31	0,32	+	0	-	

Таблица 2.

Данные для проверки выборочных дисперсий коэффициента шлифования $K_{ш}$ при обработке твердого сплава марки ВК15

Время шлифования τ , мин	Дисперсии коэффициента шлифования $K_{ш}$ для различных видов обработки $S_{\hat{\epsilon}_0}^2$, при времени шлифования τ , мин			$G = \frac{S_{\hat{\epsilon}_0}^2 \max}{\sum_{i=1}^n S_{\hat{\epsilon}_0}^2 i}$	$G_{0,05}$
	алмазное шлифование	$f = 22$ кГц	$f = 8$ кГц		
0	25,91	29,63	32,40	0,37	0,54
15	26,12	26,38	30,96	0,37	
30	33,51	31,57	28,76	0,36	
45	37,55	39,58	23,62	0,39	
60	38,99	23,16	15,43	0,50	

С учетом того, что значение коэффициента шлифования в каждый момент времени обработки отличаются незначительно, для различных видов шлифования, определим средний коэффициент шлифования $K_{ш.ср}$, для рассматриваемых видов шлифования

$$K_{ш.ср} = \frac{K_{ш.а.ш.} + K_{ш.f=22} + K_{ш.f=8}}{m},$$

где m – количество рассматриваемых видов шлифования ($m = 3$); $K_{ш.а.ш.}$ – значение обобщенного коэффициента шлифования для алмазного шлифования; $K_{ш.f=22}$ – значение обобщенного коэффициента шлифования для алмазного электроэрозионного шлифования с частотой $f = 22$ кГц; $K_{ш.f=8}$ – значение обобщенного коэффициента шлифования для алмазного электроэрозионного шлифования с частотой $f = 8$ кГц.

Значения среднего коэффициента шлифования и 95%-е доверительные ин-

тервалы для обобщенного коэффициента шлифования представлены на рисунке 3.

Из рис. 3 видно, что значения обобщенных коэффициентов шлифования для каждого вида обработки попадают в 95%-й доверительный интервал на средний коэффициент шлифования.

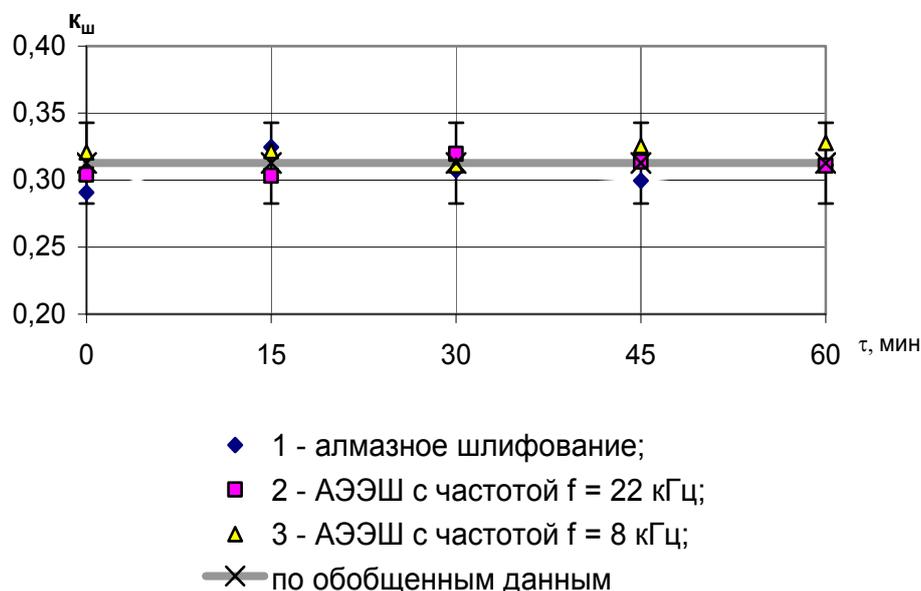


Рис. 3. Влияние времени и вида шлифования на средний коэффициент шлифования $K_{ш\text{ ср}}$ при обработке твердого сплава ВК15.

Выводы. При шлифовании твердого сплава ВК15 кругом АС6 160/125 4 М2-01 коэффициент шлифования $K_{ш}$ не зависит от вида шлифования, режимов электроэрозионных воздействий на РПК и в интервале шлифования, равном 60 мин, имеет постоянное значение, равное $0,31 \pm 0,03$.

Полученные данные в дальнейшем будут использованы для определения усилия максимально допустимых режимов алмазного шлифования твердых сплавов по упругой схеме.

Литература: 1. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. Третьяков В.И, М., "Металлургия", 1976. – 528 с. 2. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М., "Машиностроение", 1974. – 320 с. 3. Захаренко И.П., Шепелев А.А. Алмазная заточка твердосплавного инструмента совместно со стальной державкой Изд. «Наукова думка», 1976. – 220с. 4. Матюха П.Г., Стрелков В.Б. Определение силы поджима образца к кругу, ограниченной температурой графитизации алмазных зерен. Наукові праці Донецького національного університету. Серія : Машинобудування і машинознавство. Вип. 71. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – С . 41-46. 5. Гостев В.В. Алмазно-электрохимическое шлифование твердых сплавов – М.: «Вища школа», 1972. – 128с. 6. Основы алмазного шлифования/ Семко М.Ф., Грабченко А.И., Раб А.Ф., Узунян М.Д., Пивоваров М.С., Харьков: Техника, 1978. – 192с. 7. Полтавец В.В. Обоснование режимов шлифования труднообрабатываемых материалов при электроэрозионном воздействии на рабочую поверхность круга: дис. канд. техн. наук: 05.03.01/ Донецк: ДонНТУ, 2000. – 319с. 8. Цокур В.П. Производительность и качество обработки труднообрабатываемых материалов при алмазном шлифовании за счет введения электрической энергии: Автореф. дис.... канд. техн. наук: спец. 05.03.01/ Краматорск: ДГМА, 1996. – 16с. 9. Пустыльник Е.И. Статические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1968. – 288с. 10. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. – Л.: Энергоатомиздат: Ленингр. отд-ние, 1990. – 288с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Новиков Г.В., канд. техн. наук, Дитиненко С.А., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The basic conditions of increase of accuracy and productivity of machining are theoretically determined.

Задачи повышения точности и производительности механической обработки являются важными для технологии машиностроения. В работах [1-5] предложен теоретический подход к решению данных задач. Аналитически установлено, что с течением времени обработки по схеме выхаживания можно уменьшить упругие перемещения в технологической системе практически до нуля и приблизиться к идеальной точности обрабатываемой поверхности. Однако, реализовать это условие затруднено, что связано с высокой силовой напряженностью процесса резания при абразивной обработке. Поэтому целью работы является определение условий повышения точности и производительности механической обработки на основе исследований силовой напряженности процесса механической обработки.

В работе [5] получены аналитические зависимости для определения производительности обработки Q и величины упругого перемещения y в технологической системе при абразивной обработке по схеме выхаживания:

$$Q = \frac{\Pi}{\left(\frac{\tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot v} + \frac{\sigma}{c \cdot K_{рез} \cdot V} \right)}, \quad (1)$$

$$y = \frac{\Pi}{\left(1 + \frac{\tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot v} \cdot \frac{c \cdot K_{рез} \cdot V}{\sigma} \right)}, \quad (2)$$

где Π – величина снимаемого припуска, м; τ – время обработки, с; v – ширина резания, м; $D_{дет}$ – диаметр обрабатываемой детали, м; V – скорость резания, м/с; c – жесткость технологической системы, Н/м; σ – условное напряжение резания, Н/м²; $K_{рез} = P_z / P_y$ – коэффициент резания; P_z, P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н.

Отношение $K_{рез} / \sigma$ определяется зависимостью [5]:

$$\frac{K_{рез}}{\sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left(\frac{a_z}{\rho} \right)^2}, \quad (3)$$

где HV , $\tau_{сдв}$ – соответственно твердость (по Виккерсу) и предел прочности на сдвиг обрабатываемого металла, Н/м²; a_z – толщина среза при абразивной обработке, м; ρ – радиус округления режущей кромки инструмента, м.

В зависимость (3) входит известная величина a_z / ρ , определяющая условия перехода от упруго-пластического деформирования обрабатываемого металла к процессу резания. Процесс стружкообразования (процесс резания)

начинается при $a_z / \rho \geq 0,04$ (по данным проф. Богомолова Н.И.). При меньших значениях a_z / ρ происходит лишь упруго-пластическое деформирование обрабатываемого металла без образования стружки.

Первоначально рассмотрим процесс выхаживания, реализуемый при радиальном точении. Выразим производительность обработки Q в виде $Q = a \cdot v \cdot V$, где $a = a_z$ - толщина среза, м; v - ширина среза, м; V - скорость резания, м/с. Тогда зависимость (1), с учетом зависимости (3), примет вид:

$$\frac{\tau}{\pi \cdot D_{\text{дем}} \cdot v} \cdot Q + \frac{3}{c \cdot V} \cdot \sqrt[3]{HV^2 \cdot \tau_{\text{сдв}} (\rho \cdot v \cdot V)^2} \cdot Q^{\frac{1}{3}} - \Pi = 0. \quad (4)$$

В результате пришли к трансцендентному уравнению, относительно неизвестной величины Q . Решить данное уравнение можно лишь численным методом, задавая вполне конкретные значения всех входящих в уравнение величин и подбором определяя искомое значение Q . Однако, таким образом можно получить частные решения. Для того, чтобы получить общее решение, разрешим уравнение (4) относительно времени обработки τ :

$$\tau = \frac{1}{Q^{\frac{2}{3}}} \cdot \left[\frac{\pi \cdot D_{\text{дем}} \cdot v \cdot \Pi}{Q^{\frac{1}{3}}} - \frac{3}{c \cdot V} \cdot \sqrt[3]{HV^2 \tau_{\text{сдв}} \cdot (\rho \cdot v \cdot V)^2} \right]. \quad (5)$$

В результате пришли к аналитической зависимости, связывающей между собой две переменные величины τ и Q . Нетрудно видеть, что с увеличением производительности обработки Q время обработки τ непрерывно уменьшается, рис. 1,а. Из этого можно сделать вывод: с увеличением времени обработки τ при выхаживании (т.е. с течением времени обработки) производительность обработки Q уменьшается. Следовательно, уменьшается и толщина среза $a = \frac{Q}{v \cdot V}$, рис. 1,б.

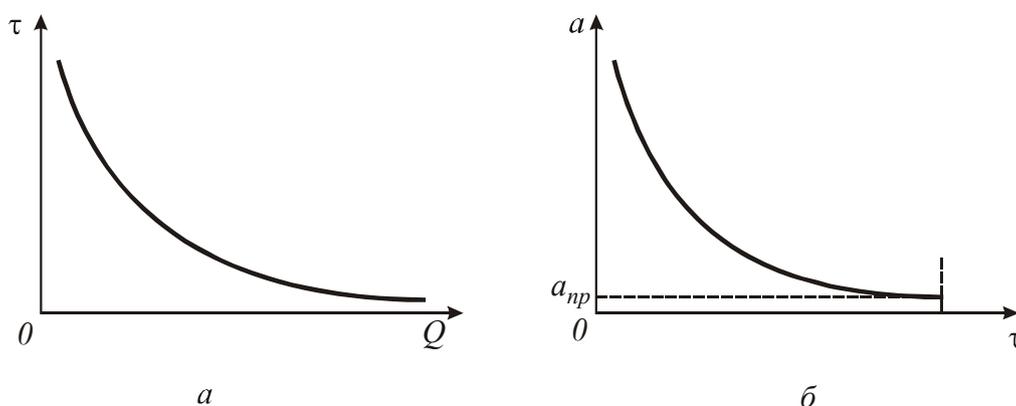


Рис. 1. Зависимости τ от Q (а) и a от τ (б).

Однако, как отмечалось ранее, существуют предельные значения отношения $a_z / \rho \geq 0,04$, ниже которых процесс резания (стружкообразования) неосуществим. Следовательно, должны существовать предельные значения тол-

щины среза a_{np} (для заданных значений радиуса округления режущей кромки инструмента ρ), т.е. $a_{np} = 4 \cdot \rho$.

Учитывая важность данных результатов, получим аналитическое решение уравнения (4), принимая с определенными допущениями во втором слагаемом вместо $Q^{1/3}$ величину $Q^{1/2}$. В результате получено квадратное уравнение:

$$M \cdot Q + N \cdot Q^2 - \Pi = 0 \quad \text{или} \quad x^2 + \frac{N}{M} \cdot x - \frac{\Pi}{M} = 0, \quad (6)$$

где $x^2 = Q$; $M = \frac{\tau}{\pi \cdot D_{дет} \cdot v}$; $N = \frac{3}{c \cdot V} \cdot \sqrt[3]{HV^2 \cdot \tau_{сдв} \cdot (\rho \cdot v \cdot V)^2}$.

Его решение:
$$Q = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{N}{2 \cdot \Pi} + \sqrt{\frac{N^2}{4 \cdot \Pi^2} + \frac{M}{\Pi}}\right)}}. \quad (7)$$

С увеличением времени обработки τ (с увеличением параметра M) производительность обработки Q уменьшается. Уменьшаются также толщина среза $a = \frac{Q}{v \cdot V}$, отношения a/ρ и $K_{рез}/\sigma$. При этом толщина среза a и отношение $K_{рез}/\sigma$ описываются зависимостями:

$$a = \frac{1}{v \cdot V \cdot \sqrt{\left(\frac{N}{2 \cdot \Pi} + \sqrt{\frac{N^2}{4 \cdot \Pi^2} + \frac{M}{\Pi}}\right)}}, \quad (8)$$

$$\frac{K_{рез}}{\sigma} = \frac{1}{3} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \frac{1}{v^2 \cdot V^2 \cdot \rho^2 \left(\frac{N}{2 \cdot \Pi} + \sqrt{\frac{N^2}{4 \cdot \Pi^2} + \frac{M}{\Pi}}\right)}}. \quad (9)$$

Если подставить зависимость (9) в зависимость (2), то видим, что с течением времени обработки τ величина упругого перемещения y уменьшается. Следовательно, характер изменения отношения $K_{рез}/\sigma$ с течением времени обработки τ не вносит принципиальных изменений в закономерности изменения величины y . Вместе с тем, с уменьшением толщины среза a уменьшается отношение a/ρ . При уменьшении a/ρ до значения 0,04, процесс резания прекратится, что не позволит выполнить условие $y \rightarrow 0$, согласно зависимости (2). Из этого следует, что основным препятствием достижения высокой точности обработки является уменьшение отношения a/ρ ниже предельного значения, при котором процесс резания прекращается и съём металла не происходит.

Поэтому важнейшим условием повышения точности и производительности обработки необходимо рассматривать увеличение отношения a/ρ . Так как толщина среза a с течением времени обработки непрерывно уменьшается, увеличить

отношение a/ρ можно путем уменьшения радиуса округления режущей кромки инструмента ρ . Для этого необходимо применять инструментальные материалы, обеспечивающие высокую остроту режущей кромки и характеризующиеся высокой износостойкостью. В первую очередь, широко применяемые на практике, синтетические сверхтвердые материалы (синтетические алмазы и т.д.).

В процессе обработки необходимо, чтобы выполнялось условие $a/\rho \geq 0,04$ при уменьшении величины упругого перемещения y до значения предельной толщины среза, равного $a_{np} = 0,04 \cdot \rho$ (т.е. на протяжении всего времени обработки). Поэтому установим время обработки τ , за которое величина упругого перемещения y уменьшится до значения предельной толщины среза $a_{np} = 0,04 \cdot \rho$. Для этого в зависимость (2) подставим зависимость (3) с учетом $y = a_{np} = a$ и $a_{np} = 0,04 \cdot \rho$. Тогда

$$\tau = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{дет} \cdot \nu}{c \cdot V} \cdot \sqrt[3]{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left(\frac{\Pi}{a} - 1 \right) \quad (10)$$

или

$$\tau = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{дет} \cdot \nu}{c \cdot V} \cdot \sqrt[3]{HV^2 \cdot \tau_{сдв}} \cdot \left(\frac{\Pi}{0,04 \cdot \rho} - 1 \right). \quad (11)$$

Из приведенных зависимостей следует, что время обработки τ тем меньше, чем меньше параметры $D_{дет}$, ν , HV , $\tau_{сдв}$, Π и больше параметры c , V и a (или ρ). За данное время τ , при выполнении условия $\frac{a}{\rho} = \frac{y}{\rho} \geq 0,04$, величину упругого перемещения y можно уменьшить до значения $y = 0,04 \cdot \rho$.

Если в качестве радиуса округления режущей кромки инструмента ρ рассматривать радиус абразивного или алмазного режущего зерна R при абразивной или алмазно-абразивной обработке, то по формуле $y = 0,04 \cdot R$ можно рассчитать величину y в зависимости от зернистости $\bar{X} = 2 \cdot R$ абразивного или алмазного порошка. В таблице приведены расчетные значения величины y .

Таблица

Расчетные значения величины y					
\bar{X} , мкм	5	10	20	40	80
y , мкм	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6

Из зависимостей (8) и (11) следует, что с течением времени обработки τ величины a и y непрерывно уменьшаются, однако, с разной интенсивностью. Так, интенсивность уменьшения величины y выше интенсивности уменьшения толщины среза a . Этим и объясняется возможность уменьшения величины y в процессе обработки вплоть до нуля.

По физической сущности параметр a при абразивной обработке определяет максимальную высоту микронеровностей на обрабатываемой поверхности

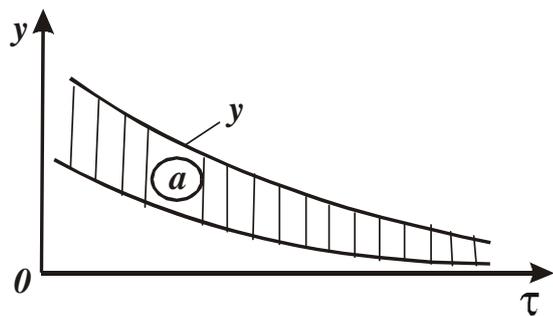


Рис. 2. Зависимость y от τ .

или параметр шероховатости обработки R_{max} . Из этого следует, что с течением времени обработки параметр R_{max} должен уменьшаться, причем с меньшей интенсивностью, чем величина упругого перемещения y . Это хорошо согласуется с многочисленными экспериментальными данными, согласно которым параметры шероховатости обработки R_{max} и R_a

с течением времени обработки уменьшаются, однако не достаточно интенсивно. Например, установлено, что в процессе выхаживания (при шлифовании) происходит довольно интенсивный съем удаленного металла (уменьшается величина y) во времени, тогда как параметр шероховатости обработки R_{max} уменьшается не существенно, а через определенное время обработки становится практически постоянным.

Следовательно, при нормальном протекании процесса обработки величина y стремится принять значение, равное толщине среза a , что равносильно параметру шероховатости обработки R_{max} , т.е. по сути, процесс выхаживания должен обеспечить равенство значений параметров y и R_{max} . Если процесс резания (по причине невыполнения условия $a_z / \rho \geq 0,04$) прекратится раньше, то справедливо неравенство $y > R_{max}$. На рис. 2 показан характер изменения параметров y и $a = R_{max}$ с течением времени обработки (заштрихованным показана величина a).

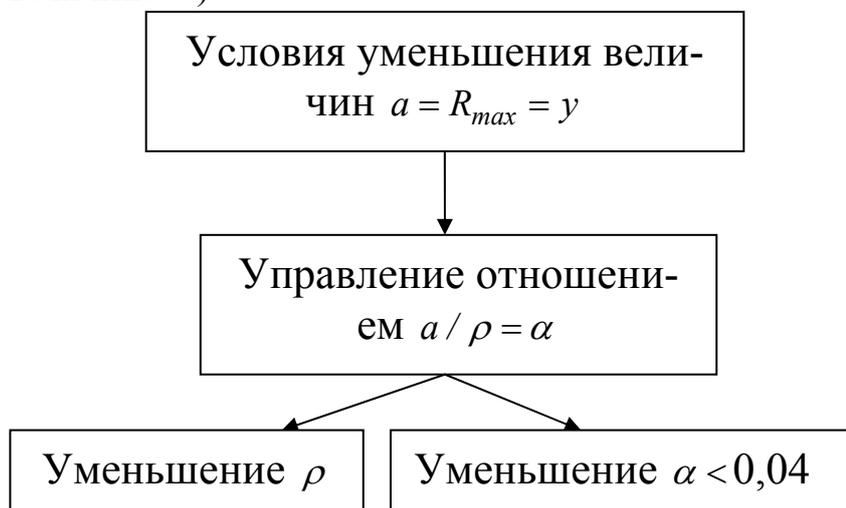


Рис. 3. Условия уменьшения величин $a = R_{max} = y$.

Таким образом, установлено, что в конечном итоге величина упругого перемещения y и параметр шероховатости обработки R_{max} определяются из условия $a_z / \rho = 0,04$, рассматривая $a = R_{max} = y$. Уменьшить значение $a = R_{max} = y$ можно двумя путями: уменьшением радиуса округления режущей

кромки ρ и предельного значения a_z / ρ , при котором возможен процесс стружкообразования (процесс резания), рис. 3. В первом случае необходимо использовать методы, обеспечивающие непрерывное микроразрушение режущих кромок абразивных или алмазных зерен в процессе обработки, исключая затупление зерен. Во втором случае необходимо использовать методы обработки, позволяющие

уменьшить предельное значение a_z / ρ , при котором возможен процесс резания, т.е. методы обработки, расширяющие границы осуществления процесса резания.

Литература: 1. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: Дис...канд. техн. наук: 05.02.08. – Харьков, 1989. – 210 с. 2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 7. "Точность обработки деталей машин" – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 10. "Концепции развития технологии машиностроения" – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.

УДК621.1

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПРОТЯЖЕК ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Макаров В. Ф., докт. техн. наук, **Чигодаев Н. Е.,** канд. техн. наук,
Токарев Д. И., Туктамышев В. Р. (г. Пермь, Россия)

In the report are considered by the reason of fragile destruction of cutting edges tooth drive from firm alloys at processing details from materials which are difficultly processed. It is established, that the reason is change of the circuit of deformation of a material of a detail in a regional zone and change of process of formation of a shaving with process of a cut of the rest sheared a layer. Actions on decrease of fragile destruction drive are offered.

Использование для обработки деталей авиационных двигателей твердосплавных протяжек, позволяющих повысить скорости резания до 20,0 – 40,0 м/мин, сдерживается недостаточной изученностью процесса скоростного протягивания и теми недостатками, которые выявились при освоении этого метода обработки. Помимо технологических трудностей изготовления твердосплавных протяжек, сдерживающим фактором их применения является выкрашивание и хрупкое разрушение режущих кромок. Случайный характер «хрупкого» износа протяжек приводит к нестабильности процесса обработки, ухудшению качества протянутых поверхностей и к браку дорогостоящих деталей. Причинами преждевременного выхода из строя твердосплавных протяжек являются контактные процессы на рабочих поверхностях зубьев в переходные периоды процесса резания. Взаимодействие зуба протяжки со срезаемым слоем в моменты входа в обрабатываемую поверхность и выхода его из зоны резания создают условия для выкрашивания режущих кромок. Однако эти процессы еще недостаточно изучены, что не позволяет разработать эффективные способы повышения стойкости твердосплавных протяжек. Поэтому изучение процессов взаимодействия инструмента со срезаемым слоем в краевых зонах обрабатываемой детали, особенно в условиях выхода из контакта с ней, и установлению их влияния на

хрупкую прочность зубьев протяжек является весьма актуальной задачей.

После обобщения результатов выполненных и опубликованных работ была сформулирована цель исследований, заключающаяся в повышении стойкости твердосплавных протяжек за счет уменьшения выкрашивания режущих кромок зубьев путем изменения условий деформирования материала краевой зоны детали и поставлены следующие задачи исследования:

- исследовать механизм деформации срезаемого слоя при выходе инструмента из контакта с обрабатываемой деталью и его влияние на взаимодействие рабочих поверхностей зуба протяжки со срезаемым слоем;
- установить влияние нестационарных условий резания на напряженно-деформированное состояние режущего клина и создание условий хрупкого выкрашивания его кромок;
- разработать способы минимизации выкрашивания кромок зубьев твердосплавных протяжек путем управления деформированием краевой зоны детали.

По результатам проведенных исследований и моделирования можно сделать следующие выводы.

Выводы

1. Причиной хрупкого выкрашивания режущих кромок зубьев твердосплавных протяжек при обработке деталей из труднообрабатываемых материалов является изменение схемы деформирования материала детали в краевой зоне и смена процесса стружкообразования на процесс среза оставшейся части срезаемого слоя.
2. Изгиб краевой зоны детали приводит к перераспределению напряжений как в материале детали, на контактных поверхностях зуба протяжки, так и в самом зубе протяжки, создавая условия для смещения стружки к режущей кромке инструмента.
3. Смещение стружки к кромке инструмента вызывает появление растягивающих напряжений у самой кромки, величина которых, при определенных условиях, может достигать критических величин, достаточных для выкрашивания фрагментов кромки.
4. Для повышения стойкости твердосплавных протяжек разработаны способы уменьшения последствий изменения схемы деформирования материала краевой зоны и отделения срезаемого слоя, позволяющие минимизировать их влияние на хрупкое разрушение кромок зубьев.
5. Экспериментальная проверка предложенных способов показала эффективность применения метода управления деформированием материала в краевой зоне обрабатываемой детали путем создания определенной геометрии выходного торца детали и использования технологических упоров. Создание фаски с углом $\varphi = 60^{\circ}$ на выходном торце детали из сплава ХН35ВТЮ-ВД позволило получить пятикратное увеличение стойкости твердосплавных протяжек, зубья которых изготовлены из ВК8. Установка чугунных технологических упоров резко сократило выкрашивание режущих кромок и многократно (до 20 раз) увеличило длительность работы протяжки при обработке ею деталей из ХН56ВМКЮР.

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ларшин В.П., докт. техн. наук, Гречиха А.А. (г. Одесса, Украина)

Machine parts form-creating tools, technology and example are considered for computer-aided design systems Autodesk Inventor and Solid Works.

Компьютерные системы конструкторского и технологического проектирования находят всё более широкое распространение в машиностроении (как часть современных CALS технологий) в соответствии с известной тенденцией CAD/CAM. Сущность происходящих в этой области изменений заключается в замене 2-х и 3-х мерных систем машинной графики (типа AutoCAD) на соответствующие системы машинного (компьютерного) проектирования (типа Autodesk Inventor и Solid Works), позволяющих создавать информационные модели будущего продукта и соответствующих технологических систем для изготовления этого продукта.

Известно, что оставшееся в производственных цехах технологическое оборудование и оснастка уже не соответствуют требованиям современного машиностроения, отличающегося быстрой сменяемостью номенклатуры выпускаемой продукции в условиях единичного и мелкосерийного производства. Использование этого оборудования вынуждает при подготовке производства работать по-старому, т.е. делать множество дорогостоящих и трудоёмких приспособлений и штампов при выпуске изделий. Без приспособлений и штампов не обходятся и за рубежом, но там уже давно в ходу многофункциональные станки, прессы и сварочные манипуляторы с компьютерным управлением. Они позволяют отказаться от чертежей на бумаге и кальке, толстенных техпроцессов и, уменьшив объём всякой рутины, браться за изготовление изделий небольшими партиями и даже штучных, делать это вполне оперативно [1].

Эта тенденция находит свое отражение в перспективных планах развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Европейского Союза по тематике РП7 (таблица).

Таблица

Наименование и шифр проекта по тематике РП7.

Область применения	Задачи
Адаптивные производственные системы	NMP-2007-3.2-1 Быстро перепрограммируемые машины и производственные системы.
Быстрая переброска и интеграция новых технологий в создание и управление производственных процессов	NMP-2007-3.4-1 Быстрые производственные концепции для малосерийной продукции.

Для решения указанных перспективных задач может быть сформулировано следующее направление научных исследований: “Компьютерное моделирование и диагностика производственных (технологических) систем в гибком производстве”.

Для реализации задач **NMP-2007-3.2-1** и **NMP-2007-3.4-1** по тематике РП7 необходимо разработать *концепции, рабочие методики и программное обеспечение* для компьютерного моделирования и диагностики производственных (технологических) систем в гибком производстве

Управление процессами настройки и быстрого перепрограммирования производственных (технологических) систем может быть осуществлено на основе компьютерного моделирования и диагностики производственных (технологических) систем в режиме реального времени (on-line) с оценкой качества функционирования указанных систем по технологическим критериям, например по критериям точности обрабатываемых деталей и качества их поверхностного слоя.

Компьютерные технологии подготовки производства являются наиболее адекватными средствами для разрешения противоречия между технологиями единичного (индивидуального) и серийного производства. Здесь важное место принадлежит эффективным компьютерным программам технического (конструкторского и технологического) проектирования, которые до сих пор не находят должного применения в промышленности в связи с недостаточным количеством специалистов по их применению. В этой связи большое значение приобретает научно-методическая работа по разъяснению принципов компьютерного проектирования на основе указанных программ. Рассмотрим особенности и пример проектирования на основе компьютерных программ Autodesk Inventor и Solid Works.

Коренное отличие работы в Autodesk Inventor от работы в AutoCAD заключается в том, что первоначально создают *объёмные геометрические модели деталей*, которые затем объединяются в сборки [2].

Другими словами создаются *виртуальные детали и виртуальные сборки*, содержащие всю исчерпывающую информацию о создаваемой конструкции. Естественно, что эта информация является исходной для построения технологических процессов изготовления и сборки деталей, а также для программирования соответствующего технологического оборудования. Здесь следует указать одну важную особенность систем проектирования, отличающую их от систем черчения: в системах проектирования виртуальные детали машин изготавливают с помощью соответствующих инструментов формообразования *объёмных моделей* с применением соответствующих технологий формообразования. Это в какой-то степени аналогично инструментам и технологиям формообразования реальных *объёмных деталей*. Очевидно, что состав этих инструментов должен быть необходимым и достаточным для обеспечения требуемых формообразующих действий, которые отвечают реальной практике конструкторского и технологического проектирования. В качестве примера рассмотрим основные методы формообразования в системе Autodesk Inventor.

1. **Extrude** – выдавить. Осуществляется на основе эскиза, на плоскости. Объём создаётся путём выдавливания (перемещения) эскиза. Например, перемещая прямоугольник на регулируемую высоту можно получить параллелепипед (корпусная деталь), а перемещая круг – деталь типа вал (тело вращения). Можно отредактировать как результат выдавливания (экструзию), так и эскиз,

на котором основана экструзия.

2. **Revolve** – вращать. Создание конструктивного элемента детали путём вращения плоскости эскиза вокруг задаваемой оси. Например, вращая прямоугольник вокруг одной из его сторон, получаем объёмное тело - валик. Соответствует схеме токарной обработки.

3. **Hole** – делать отверстие. Предварительно на одной из граней детали необходимо создать эскиз с разметкой центра отверстия. Соответствует технологическим операциям: сверлить (drill), цековать (counterbore) и зенковать (countersink), нарезать внутреннюю резьбу (tap). Для всех указанных операций задают соответствующие параметры отверстия, которые будут практически идеально выдержаны, т.е. с погрешностью шага (snap) компьютерной сетки, которая характеризуется порядком 10^{-14} мм.

4. **Shell** – оболочка. Этот необычный инструмент позволяет удалить материал из тела детали, оставляя только стенки. Предназначен для создания пустотелых деталей, например отливок или деталей из пластмассы, т.е. соответствует литейной технологической операции.

5. **Rib** – снабдить ребром (для увеличения жёсткости). Соответствует литейной технологической операции или сварке.

6. **Loft** – плаз. Первоначально этот термин (плаз от французского слова place – место) использовался для помещения с гладким полом, на котором вычерчивали в натуральную величину линии обвода судна на судостроительном заводе. В системе Autodesk Inventor этот инструмент, позволяет формировать объёмные формы с переменным сечением по мере перемещения сечения в определённом направлении, например, снизу вверх или формировать контуры рельефа в виде линий – плазов. Этим инструментом в своё время пользовались конструкторы для изображения пространственных объёмных тел (детали типа фюзеляж самолёта, внешние формы автомобиля и т.п.).

7. **Sweep** – перенести (сместить) созданную в эскизе петлю (любая замкнутая линия) вдоль заданной траектории.

Образовавшийся след формирует деталь или один из её конструктивных элементов.

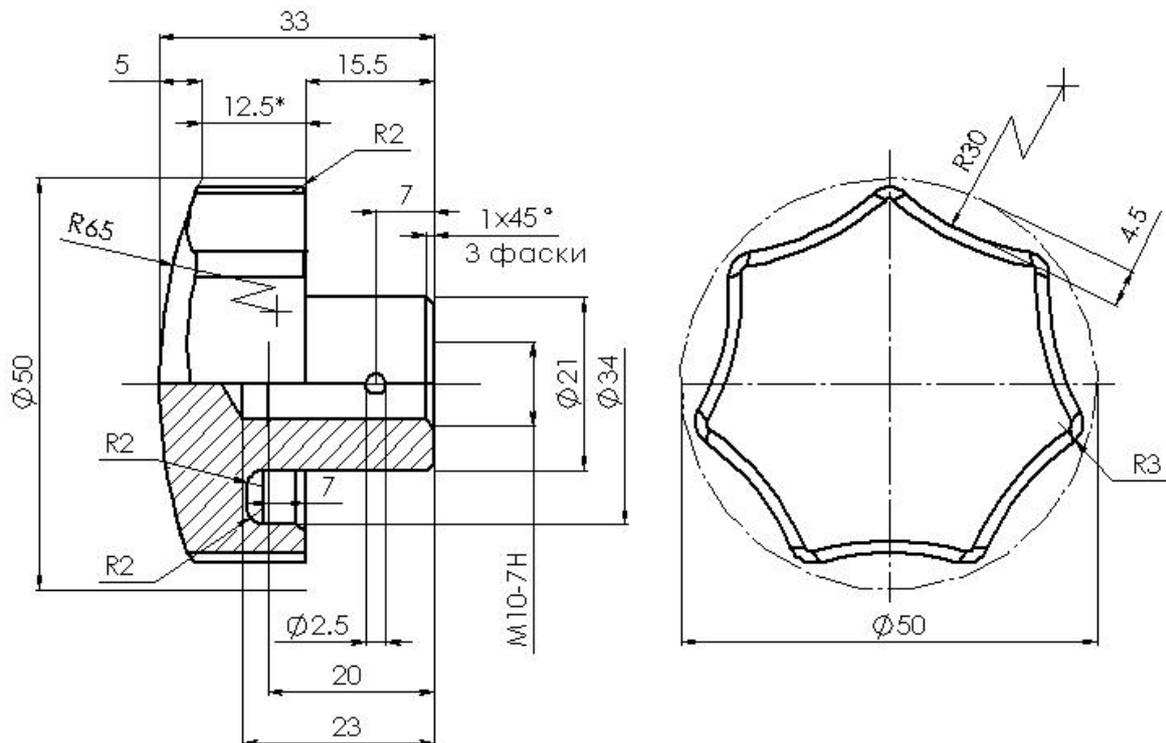
8. **Coil** – делать спираль (виток). Применяется для создания спиральных цилиндрических и конических пружин. Делается на основе эскиза, где указана ось спирали и её сечение.

9. **Thread** – делать резьбу наружную и внутреннюю. Выбирают положение резьбы на стержне и задают параметры резьбы (номинальный диаметр, шаг, класс точности).

Помимо рассмотренных основных операций формообразования имеются своего рода отделочные операции: 10) **fillet** (галтель), 11) **chamfer** (фаска), 12) **face draft** (вытягивание торца с образованием уклона), 13) **slit** (разделить).

Таким образом, в программе Autodesk Inventor имеется 13 формообразующих операций, позволяющих формировать *объёмные модели* деталей машин.

В качестве примера рассмотрим порядок построения детали «Рукоятка» в программе *Solid Works* (рисунок).



1. На плоскости «Спереди» открываем эскиз и вычерчиваем верхнюю часть наружного профиля детали (контур верхней половины главного вида). На панели инструментов «Элементы» выбираем элемент «Повернуть» и вращаем полученный контур (профиль) вокруг оси будущей детали.
2. На плоскости «Спереди» открываем эскиз и вычерчиваем профиль канавки. На панели инструментов «Элементы» выбираем элемент «Вырез-Повернуть» и вращаем профиль канавки вокруг оси детали.
3. Выбираем правый торец детали и на панели инструментов «Элементы» выбираем элемент «Отверстие под крепеж». Задаем в меню параметры резьбового отверстия ($M10 - 7H$, 23 мм и 20 мм). Нажимаем «ОК» и получаем требуемое резьбовое отверстие.
4. На плоскости «Спереди» «открываем» эскиз и строим окружность $\varnothing 2,5$ мм на расстоянии 7 мм от правого торца. На панели инструментов «Элементы» выбираем элемент «Вырез-вытянуть» и «вытягиваем» цилиндрическое отверстие от средней плоскости в режиме «через всё».
5. На плоскости «Справа» «открываем» эскиз и строим профиль одного из вырезов детали (вогнутость $R30$) под палец руки. На панели инструментов «Элементы» выбираем элемент «Вырез-вытянуть» и «вытягиваем» вырез в режиме «через всё».
6. При помощи инструмента «Круговой массив» на панели «Элементы» увеличиваем количество вырезов (по пункту 5) до 7 штук.
7. Инструментами «Скругление» и «Фаски» добавляем скругления и фаски где необходимо ($R2$, $1 \times 45^\circ$).

Литература: 1. Косый Н. Кому нужны танки? Газета Голос Украины.—№ 52 (4052) от 24 марта 2007 г. 2. Вербовой Л.В. Работа в Autodesk Inventor. —М.: Горячая линия-Телеком, 2004. — 496 с.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМУВАННЯ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ У КОМП'ЮТЕРНІЙ СИСТЕМІ ЧПК "Flex NC"

Рибалко А.П., канд. техн.. наук, Ларшин В.П., докт. техн.. наук
(м. Москва, Росія, м. Одеса, Україна)

A brief characteristic of the CNC system "Flex NC" and programming turning processing features for this system are given.

Система ЧПК (СЧПК) "Flex NC" створена в ООО «Станкоцентр» відповідно до розробленої ідеології СЧПК з відкритою архітектурою на основі промислового IBM сумісного персонального комп'ютера (з операційною системою Windows 2000). Розробці СЧПК передували етапи створення: 1) комп'ютерно-регульованого електроприводу змінного струму на основі трифазного асинхронного електродвигуна звичайної конструкції; 2) ідеології програмування типових циклів (програмних модулів) токарної обробки на основі постійної поповнюваної бібліотеки типових шаблонів-модулів в системі координат деталі (рис. 1).

Всі блоки шаблонів розбиті на 5 груп: 1-а група (блоки чорнової обробки для валу), 2-а група (блоки чорнової обробки для отвору), 3-а група (блоки контурної обробки для валу), 4-а група (блоки контурної обробки для отвору), 5-а група (блоки спеціальної групи). Приведені нижче параметри є загальними для всіх шаблонів чорнової і контурної обробки (рис.2): P - глибина одного проходу в циклі; Z і B - приріст по осям X і Z для початкової точки циклу (ПТЦ); V - локальний зсув по осі Z від торця деталі (на рис.2 параметр V не показаний).

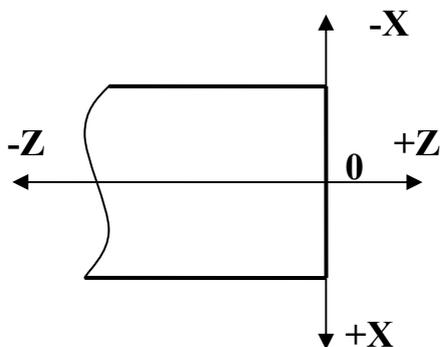


Рис.1. Система координат деталі.

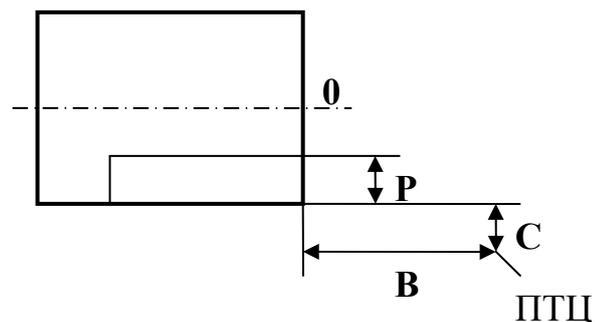


Рис.2. Загальні параметри шаблонів.

СЧПК базується на промисловому персональному комп'ютері з набором модулів. Пульт управління УЧПК складається з відкидної панелі з функціональною клавіатурою, комп'ютерною клавіатурою і мишею, а також передній панелі з екраном монітора і кнопкою «ЗАГАЛЬНИЙ СТОП». Функціональна клавіатура включає 34 активних і 3 резервних кнопки (табл.1).

Комп'ютерна клавіатура призначена для введення в комп'ютер інформації оператором при роботі в операційній системі Windows, а також для введення чисельних параметрів в ручному режимі і написання текстів програм, що

управляють, в СЧПК. На цій клавіатурі можна виділити клавіші з буквами латинського і російського алфавітів, цифрами і іншими символами, використовуваними при наборі тексту, а також додаткові клавіші управління режимом введення символів (табл.2).

Таблиця 1

Номери кнопок	Призначення кнопок, відповідно
1, 2	Включення і виключення комп'ютера і СЧПК.
3	Зменшення і збільшення швидкості швидких переміщень G00 в %.
5, 6	Включення ручного і автоматичного режимів.
10, 14	Переміщення на робочій подачі в “-X” і “+X”.
11, 13	Переміщення на робочій подачі в “-Z” і “+Z”.
15	Включення / виключення охолодження.
16	Установка інструменту в задану позицію.
17...20	Включення повільного, середнього 1 і середнього 2, а також швидкого режимів для прискорених переміщень.
21	Включення / виключення режиму покадрового відробітку програми.
25, 26	Пуск і останов програми.
28, 29	Зменшення і збільшення швидкості обертання шпинделя, в % від заданої швидкості.
30,31	Включення / виключення обертання шпинделя проти і за годинниковою стрілкою.
32, 33	Зменшення і збільшення робочої подачі, в % від заданої подачі.
34, 35	Включення і виключення режиму стеження приводів.
Примітка. При активізації кнопки над нею спалахує світловий індикатор.	

Таблиця 2

Клавіші	Призначення клавіш
[Enter]	Введення після завершення набору символів.
[Del]	Видалення символів.
[Caps Lock]	Перемикання на рядкові або прописні букви.
[←],[↑], [→],[↓]	Управління курсором (сюди відносяться також клавіші [Home] [End] [PgUp] [PgDn]).
[Backspace]	Видалення символу зліва від курсора.
[Shift],[Ctrl], [Alt]	Виконання спеціальних функцій і перемикання шрифту з російського на латинський і назад.
[F1], [F12]	Виконання спеціальних дій в СЧПК і дублювання натиснення лівої кнопкою миші на кнопки нижнього меню програмної оболонки ЧПК.

Після завантаження СЧПК на екрані монітора відкривається програмна оболонка «Flex NC Client». При цьому екран функціонально ділиться на декілька областей: верхнє меню, шаблони (Templates), область заданих значень, вікно програми, вікно спостереження **Position Window**, область відображення поточної інформації і нижнє меню.

У верхньому меню є рядок меню з розділами: **File** (Файл), **Edit** (Правка), **Templates** (Шаблони), **Window** (Вікно), **Help** (Допомога). Наприклад, розділ **Templates** (Шаблони) дозволяє працювати з вже готовими шаблонами для компоновки програм, що управляють, а також створювати нові шаблони. Для того, щоб вивести на екран ікони (піктограми) нових шаблонів, необхідно поставити галочку перед пунктом **Show Templates**.

Включення верстата і СЧПК відбувається таким чином.

1. Перевіряють, що робочі органи верстата не знаходяться в крайніх аварійних положеннях і що кнопка «**ЗАГАЛЬНИЙ СТОП**» на передній панелі пульта управління верстату не натиснута.
2. Включають силове живлення ввідним перемикачем на шафі приводів. При цьому на функціональній клавіатурі пульта управління зажевріє індикатор над кнопкою 2.
3. Натискають кнопку 1 на функціональній клавіатурі. При цьому відбудеться запуск комп'ютера і почнеться завантаження операційної системи Windows 2000.
4. Чекають завершення завантаження Windows 2000. Після цього автоматично почнеться запуск системи «Flex NC» (якщо відповідні ярлики знаходяться в автозавантаженні).
5. Чекають завершення завантаження системи «Flex NC». Тепер стає можливим режим ручного управління, а також введення і редагування керуючих програм.
6. Здійснюють виїзд супорта в опорну точку (на моніторі значення X1 і Z1 набудуть нульових значень). Тепер верстат і СЧПК готові до роботи в автоматичному режимі.

Виключення верстата і СЧПК відбувається таким чином.

1. Переконаються, що автоматичний відрібок програми завершено і переходять в режим ручного управління (на функціональній клавіатурі натискають кнопку 5).
2. Закривають всі додатки Windows, залишивши тільки систему «Flex NC».
3. Натискають кнопку 35 на функціональній клавіатурі, відбудеться виключення приводів. Натискають другий раз цю кнопку, відключиться силове живлення.
4. Натискають кнопку 2 на функціональній клавіатурі, відбудеться закриття оболонки «Flex NC» і закриття Windows, комп'ютер відключиться.
5. Вимикають ввідний перемикач на шафі приводів.

По аналогічній архітектурі будуються СЧПК для фрезерних, свердлильних, координатно-розточних та інших металорізальних верстатів.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ
КОНТАКТА ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ****Ларшин В.П.,** докт. техн. наук (г. Одесса, Украина)

A contact zone (between a grinding wheel and a work) geometrical model construction technique and a way of an estimation of its accuracy is resulted by comparison with mathematical model.

Часть 1. Геометрическая модель

Температурное поле в зоне профильного шлифования является результатом влияния на него комплекса геометрических, теплофизических и технологических параметров. Поэтому при моделировании температурного поля и при управлении процессом по температурному критерию необходимо, прежде всего, сформировать адекватную *геометрическую модель* зоны контакта. До появления современных САД систем конструкторского проектирования такие задачи решали исключительно математическим путём, т.е. путём создания соответствующей *математической модели*, описывающей геометрию зоны контакта шлифовального круга и заготовки. Здесь следует отметить, что сложность задачи определяется не только сложностью математической модели зоны контакта, но также сложностью соответствующей исследуемой характеристики (оценочной функции). В качестве такой характеристики в указанных выше работах использовалась *площадь пятна контакта*. Как правило, такой подход сопровождался определёнными допущениями, позволяющими упростить математическую модель (и оценочную функцию) таким образом, чтобы по уравнениям этой модели выполнять практические расчёты. Однако в этом случае нельзя было оценить погрешность определения соответствующих геометрических параметров (например, площади пятна контакта). Противоречие заключалось в том, что математическая модель, являясь потенциально самой точной, упрощалась исходя из возможностей выполнения практических расчётов. Кроме того, было замечено, что усложнение схемы обработки резко усложняет математическую модель. Например, учёт в математической модели угла подъёма резьбы при резьбошлифовании незначительно влияя на геометрию зоны контакта, резко усложняет математическую модель (и исследуемую характеристику – площадь пятна контакта).

Появление современных САД систем конструкторского проектирования (Unigraphics, Solid Works, T-Flex, Pro/Engineer, Autodesk Inventor и т.п.) позволило непосредственно создавать и количественно исследовать геометрическую модель зоны контакта, т.е. исследовать по модели *виртуальную зону контакта*. Однако полученные таким образом результаты моделирования (зоны контакта) и расчёта (площади пятна контакта) также нельзя оценить по точности, поскольку нет эталона для сравнения. Практические данные из эксперимента, который, как известно, является «критерием истины», не могут быть использованы в качестве эталона для сравнения. Поскольку эксперимент сопровождается появлением дополнительных погрешностей, связанных с погрешностью средств измерения, а часто и невозможен из-за отсутствия таковых.

Сущность предлагаемого в данной работе подхода заключается в оценке точности *геометрической модели* по результатам определения параметров ис-

следуемой характеристики (оценочной функции) одновременно двумя методами: *измерениями* параметров виртуальной геометрической модели (с использованием встроенного в САД систему Autodesk Inventor аппарата измерений) и *вычислениями* одноименных параметров по уравнению независимо полученной математической модели. Причём, модель зоны контакта в программе Autodesk Inventor построена для таких случаев, когда математическая модель этой зоны (и соответствующая ей оценочная функция) не содержат *никаких допущений*. В этом случае преимущество по точности имеет математическая модель и, следовательно, она может быть использована в качестве эталона для оценки теоретически возможной погрешности геометрической модели виртуальной зоны контакта. Такой подход соответствует принятому в метрологии методу оценки какого-либо измерительного средства с применением одноимённого средства повышенной точности. Положительное решение проблемы «аттестации» геометрической модели зоны контакта (в среде Autodesk Inventor) позволит в дальнейшем исследовать с помощью Autodesk Inventor (или Solid Works) более сложные случаи, но уже без использования математической модели. В том числе исследовать потенциальные возможности по точности технологических систем шлифования, что особенно важно с точки зрения тенденции развития нанотехнологий.

Для составления математической модели зоны контакта круга с заготовкой выбрана *схема плоского профильного шлифования* с полукруглой формой профиля. Радиус профиля круга $r = 3,07$ мм. Диаметр шлифовального круга $D = 400$ мм. Глубина шлифования на первом проходе $t = 0,5$ мм. Выбор этой схемы обусловлен сравнительной простотой математической модели зоны контакта. Хотя даже в этом случае оценочная функция – площадь пятна контакта – выражается двойным интегралом по области, лежащей в плоскости, отсекающей кусок поверхности с высотой $t = 3,07$ мм от наиболее удалённой точки профиля шлифовального круга. Переход к наружному резьбошлифованию с полукруглым профилем резьбы принципиально не изменяет задачу и отличается только заданием кривизны указанной плоскости (замене плоскости цилиндром – заготовкой).

Двухмерная схема геометрической модели для указанного случая содержит три вида, которые дают общее представление о зоне резания (рис. 1).

Для твёрдотельного моделирования этой схемы в САД-системе Autodesk Inventor выполнены следующие построения. В среде «Эскиз» задают окружность произвольного диаметра и ось, произвольно отстоящую от центра этой окружности. Вводят размеры для диаметра этой окружности и расстояния её центра до оси: 6,14 мм и 196,93 мм, соответственно. В среде «Деталь» формируют тело вращения, которое образуется путём вращения окружности вокруг указанной оси. Получают твёрдотельную модель шлифовального круга. Выбирают *рабочую плоскость*, совмещённую со стандартной плоскостью (XZ на рис.1 и XU в программе Autodesk Inventor) и «тянут» курсором эту плоскость в вертикальном направлении, задавая расстояние 199,5 мм, отсекая таким образом часть поверхности шлифовального круга (рис.2). Зафиксированное положение рабочей плоскости соответствует положению плоскости C на рис.1.

Часть 2. Математическая модель

Для построения математической модели зоны контакта получим уравне-

ние рабочей (тороидальной) поверхности шлифовального круга. Тороидальная поверхность получается путём вращения окружности, имеющей уравнение $F(z, x) = 0$, вокруг оси Z (рис.1, а и б). Уравнение $F(z, x) = 0$ в рассматриваемом случае (координатная плоскость XZ) имеет вид

$$z^2 + (x - R_k)^2 - r^2 = 0. \quad (1)$$

Для получения уравнения поверхности, образованной вращением окружности (1), лежащей в плоскости XZ (линия L_1 на рис.1, а) нужно в уравнении (1) заменить переменную x на $\pm \sqrt{x^2 + y^2}$. Получим

$$z^2 + (\pm \sqrt{x^2 + y^2} - R_k)^2 = r^2. \quad (2)$$

Преобразуем уравнение (2) к виду

$$z = \pm \sqrt{r^2 - R_k^2 - (x^2 + y^2) \pm 2R_k \sqrt{x^2 + y^2}}. \quad (3)$$

Знаки «+» и «-» перед правой частью формулы относятся, соответственно, к наружной (выпуклой) и внутренней (вогнутой) поверхностям тора. Т.к. $R_k > r$ (рис.1, а), то перед внутренним радикалом в формуле (3) следует взять знак «+». Тогда уравнение (3) применительно к рабочей (наружной) поверхности шлифовального круга принимает вид

$$z = \sqrt{r^2 - R_k^2 - (x^2 + y^2) + 2R_k \sqrt{x^2 + y^2}}. \quad (4)$$

Уравнение (4) является искомым уравнением рабочей (тороидальной) поверхности шлифовального круга. Эта поверхность пересекается плоскостью (наружная плоскость заготовки до обработки), уравнение которой в принятой системе координат (рис.1) имеет вид

$$x = R_k + r - t = \frac{D}{2} - t. \quad (5)$$

Здесь $R_k = \frac{D}{2} - r$ (рис.1, а).

Уравнения (4) и (5) определяют **уравнение линии в секущей плоскости C** (рис.1, а). Эта линия одновременно принадлежит рабочей поверхности круга и обрабатываемой плоскости (плоскости C). Для получения уравнения этой линии (линия L_2 на рис.1, в) решаем уравнения (4) и (5) совместно. Получаем

$$z = \sqrt{r^2 - R_k^2 - (R_k + r - t)^2 - y^2 + 2R_k \sqrt{(R_k + r - t)^2 + y^2}} \quad (6)$$

Уравнение (6) является искомым уравнением линии контакта (линии L_2) в обрабатываемой плоскости (плоскости C), которая расположена параллельно координатной плоскости YZ . Пользуясь этим уравнением можно аналитически определить большую A и малую B диагонали зоны контакта, а также периметр P , равный длине линии L_2 (рис.1 и рис.3).

Принимая в уравнении (6) $z = 0$ и $y = 0$ получим, соответственно

$$y = \pm \sqrt{t[2(R_k + r) - t]} = \pm \sqrt{t[D - t]} \quad (7)$$

и

$$z = \pm \sqrt{t(2r - t)}. \quad (8)$$

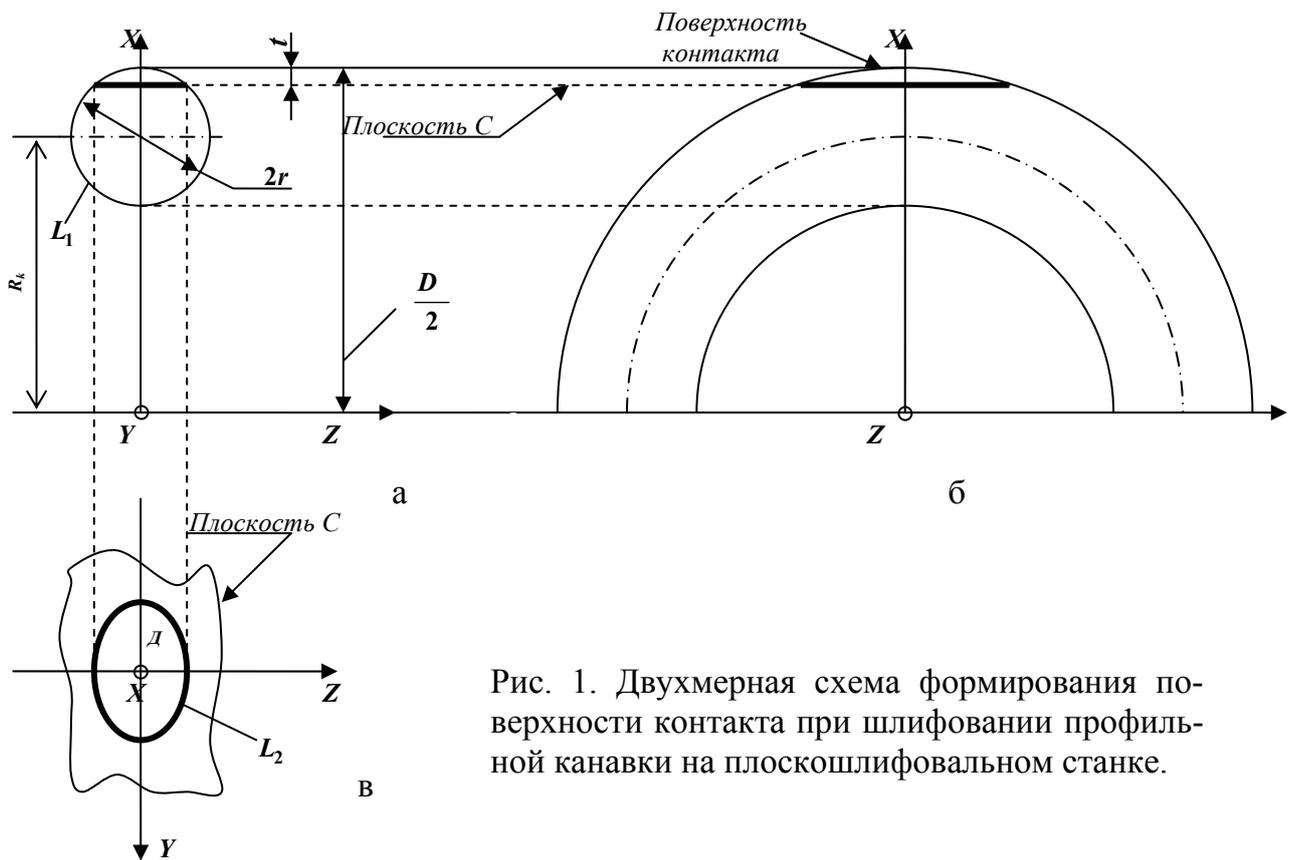


Рис. 1. Двухмерная схема формирования поверхности контакта при шлифовании профильной канавки на плоскошлифовальном станке.



Рис.2. Фрагменты геометрической модели в системе Autodesk Inventor: общий вид до (а) и после (б) увеличения.

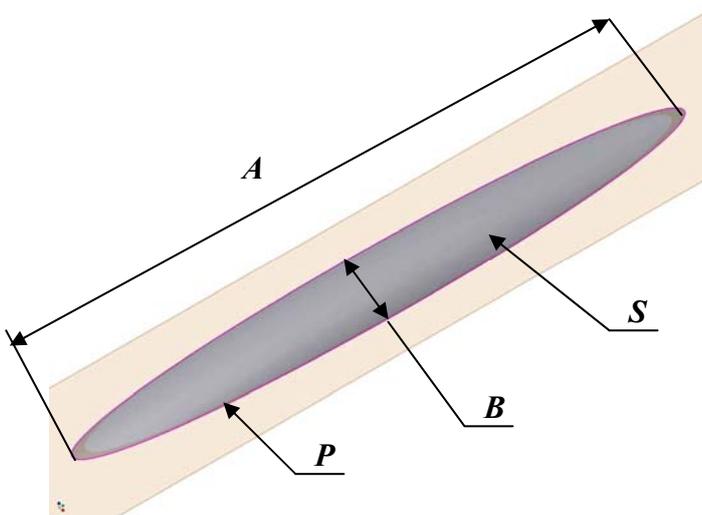


Рис.3. Фрагмент геометрической модели в системе Autodesk Inventor для измерения геометрических параметров зоны шлифования: продольного A и поперечного B размеров, а также площади S поверхности контакта.

Следовательно,

$$A = 2|y| = 2\sqrt{t[D-t]} \quad (9)$$

и

$$B = 2|z| = 2\sqrt{t(2r-t)}. \quad (10)$$

Подставляя принятые выше численные значения параметров t , D и r по формулам (9) и (10) получим

$$A = 2\sqrt{0,5[400 - 0,5]} = 2 \cdot 14,133294 = 28,266588 \text{ мм}$$

и

$$B = 2\sqrt{0,5 \cdot (2 \cdot 3,07 - 0,5)} = 2 \cdot 1,6792855 = 3,358571 \text{ мм.}$$

Площадь куска поверхности, отсекаемая плоскостью C (плоской обрабатываемой поверхностью), которая описывается уравнением (5), находим исходя из следующих соображений. Уравнение (5), представленное в виде $z = f(x, y)$, преобразуем к виду $x = f(y, z)$. Получаем

$$x = \pm \sqrt{(R_k^2 + r^2) \pm 2R_k \sqrt{r^2 - z^2} - z^2 - y^2}. \quad (11)$$

Площадь S куска поверхности по области D , расположенной в плоскости YZ (область, ограниченная линией L_2 на рис.1, v и являющаяся проекцией поверхности контакта на плоскость YZ), определяем по известной формуле [1]

$$S = \iint_{(A)} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)^2} dy \cdot dz = 4 \int_0^{B/2} \int_0^{A/2} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)^2} dy \cdot dz. \quad (12)$$

На основании уравнения (11) находим

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)^2 = \frac{y^2}{R_k^2 \pm 2R_k \sqrt{r^2 - z^2} - z^2 - y^2 + r^2}, \quad (13)$$

$$\left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)^2 = \frac{z^2 \left(\frac{\pm R_k}{\sqrt{r^2 - z^2}} - 1\right)^2}{R_k^2 \pm 2R_k \sqrt{r^2 - z^2} - z^2 - y^2 + r^2} \quad (14)$$

Результаты вычисления и измерения геометрических параметров зоны контакта приведены в таблице.

Параметр по рис.3	Название	Теоретическое значение	Измерение в Solid Works	Измерение в Autodesk Inventor
A	Большая диагональ	28,266588	28,2664186	28,26632328570256
B	Малая диагональ	3,3585710	3,35857123	3,35857112474929
S	Периметр контакта		57,80675	57,79676943272489
P	Площадь контакта		78,66322378	78,65109218003958

Литература: 1. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. —М.: Наука,1981. —720 с.

УДК 621. 9.011

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ ТВОРЧЕСТВА ПРИ СОЗДАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ларшин В.П. докт. техн. наук (г. Одесса, Украина)

Computer methods of technical creativity (copying, editing and creation) which are used in packages of applied programs of engineering purpose are considered.

Всякая теоретическая и практическая деятельность по созданию технических систем (ТС) основана на их описании, которое создаётся, изменяется и корректируется на протяжении всего жизненного цикла ТС. И в этом смысле само *описание имеет свой жизненный цикл* (от замысла ТС до рабочих чертежей и руководства по эксплуатации ТС).

Очевидно, что создание ТС происходит одновременно с разработкой их описания. Разработка описания это процесс обработки информации (в отличие от процесса обработки материалов). В этом смысле *описанием ТС является информационная модель ТС* (т.е. модель высокого уровня иерархии по сравнению, например с физической или математической моделью).

Для анализа сущности описания можно обратиться к философским категориям *содержания и формы, абстрактного и конкретного*. Если содержанием ТС назвать её структуру и параметры, то можно прийти к следующим выводам.

1. Содержание ТС представляется через её описания, которые являются формами представления содержания.
2. Одному и тому же содержанию ТС в процессе её разработки соответствует эволюция описаний ТС (т.е. форм, которые раскрывают содержание ТС).
3. Совокупность описаний (от концептуального описания до рабочей документации) имеет *иерархическую соподчинённость*, которая характеризуется двумя следующими свойствами.[1].
 - 3.1. Каждое последующее описание включает в себя предыдущее и основано на нём, т.к. не уяснив общую задачу, нельзя решать частные задачи.
 - 3.2. Каждое последующее описание является более детальным (подробным) по сравнению с предыдущим и более полно характеризует ТС.
 - 3.3. В процессе проектирования ТС имеет место эволюция (последовательные этапы развития) описаний ТС. В процессе этой эволюции осуществляется переход *от абстрактного к конкретному*.

Иерархия описаний ТС включает следующие уровни[1]: П – потребность; ТФ – техническая функция; ФС – функциональная структура; ФПД – физический принцип действия; ТР – техническое решение, проект.

Проекты ТС – это одно- и многотомные уникальные собрания сочинений (на бумаге или в электронном виде), которые пишут *технические писатели*:

учёные, конструкторы и технологи. Часто эти сочинения не доступны (секреты фирм) широкому читателю. Они предстают перед потребителем в виде готовых изделий и сооружений.

Из анализа эволюции описаний ТС следует, что при обучении студентов в вузах, в основном используются описания типа «проект», т.е. в учебном вузовском процессе предлагаются готовые технические решения и стандартные методики оформления проектов. Студенты не участвуют в творческой научно-исследовательской работе, которая захватывает все предыдущие стадии описания ТС. В этой связи вызывают интерес элементы теории обучения творчеству подрастающего поколения создателей (конструкторов и технологов), которые могут быть рассмотрены в курсе теории ТС.

Теория ТС нашла применение при разработке и использовании пакетов прикладных программ (ППП). В технической литературе ППП называют по-разному: прикладные пакеты для цифровой обработки информации, компьютерные программы, просто программы, приложения, интегрируемые приложения и т.п.). Следует отметить, что ППП как правило не являются языками программирования, поскольку сами создаются с помощью таких языков (например, с помощью языка С). Однако, некоторые ППП (например, MathLab) содержат в себе возможности создания программных процедур и циклов и в этом смысле являются языками программирования.

Отметим некоторые особенности ППП. Во-первых, сами ППП представляют собой ТС – виртуальные конструкции из алгоритмов, которые позволяют реализовать алгоритмы проектирования - вычислительные процессы (технические процессы, основанные на цифровой обработке информации). Во-вторых, сам процесс проектирования ТС, основанный на применении ППП, подразумевает использование определённых методов (своего рода степеней) творчества пользователей (рисунок).



Поясним указанные термины следующими соображениями.

1. Копировать, повторять (самая *низкая* степень творчества).
2. Редактировать, изменять, корректировать, поднастраивать (*средняя* степень).
3. Создавать, проектировать (*высокая* степень).

Рассмотрим пример, поясняющий различие между указанными методами технического творчества. Отвечая на вопрос о том, почему популярна компьютерная программа Photoshop CS (CS- **Creative Suite**, т.е. творческий набор) по сравнению с другими графическими программами, автор работы [2] сравнивает *рисование в чистом виде с редактированием частей готового изображения*. Корректировать и изменять – это легче, чем создавать с нуля. Но в результате

этой «лёгкой» работы создаётся новый информационный продукт (проект), который пользователь не смог бы нарисовать «с чистого листа». «Редактируя изображение, вы *искажаете или изменяете его фрагменты*. Вместо того, чтобы рисовать с помощью цвета, вы рисуете с помощью самого изображения» [2, с.29]. Т.е. на этапе «редактирование» пользователь также создаёт, но с меньшими затратами творческой энергии. «А теперь возьмите чистый лист бумаги – ни единого порыва» [2, с.18].

Здесь следует отметить, что в 2003 году компания Adobe объединила свои популярные графические пакеты для подготовки к печати и к Web-публикациям в новый набор (совокупность взаимно интегрированных приложений) CS- Creative Suite в составе [3, с.24]:

1. Photoshop вместе с ImageReady (подготовка Web-графики).
2. Illustrator.
3. In-Design.
4. GoLive.
5. Acrobat.

Процесс инженерного проектирования представляет собой многоэтапную последовательность принятия технических решений в соответствии с определённой (предварительно сформулированной) целью. Существенные особенности и отличия (по сравнению с эвристической деятельностью человека) имеет *компьютерное техническое проектирование*, которое связано с «машинной» обработкой данных и знаний. Для конструкторского и технологического проектирования разработаны ППП, номенклатура которых постоянно увеличивается. Это: Pro/Engineer, Solid Works, Autodesk Inventor, Master CAM и т.п. Практически в каждой из этих программ применяются рассмотренные выше компьютерные методы творчества.

Методологической основой компьютерного творчества является общая теория систем и общая теория управления. Характерными признаками (атрибутами) общей теории управления являются следующие [3]:

- 1) цель управления;
- 2) объект управления;
- 3) управляющий орган;
- 4) обратная связь (общая, местная);
- 5) информационная технология (преобразование и использование информации);
- 6) память (накопление прошлого опыта и текущих результатов);
- 7) информационная модель объекта.

Использование алгоритмов общей теории управления (встроенного менеджмента) позволит автоматизировать творческие процедуры поиска, направленные на создание эффективных технических систем при наименьших затратах на их изготовление.

Литература: 1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учебн. пособие для студентов вузов. - М.: Машиностроение, 1988. – 368 с. 2. Мак-Клеланд, Дик, Дейвис, Филлис. для «чайников».: Пер.с англ.: М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. - 448 с. 3. Уейнманн, Элейн, Лурекас, Питер. Photoshop CS для Windows.: Пер.с англ. Юдиной Е.В.-М.: ДМК Пресс, 2004. - 816 с. 4. Ларшин В.П. Интегрированные технологические системы в машиностроении. // Тр. Одес. политехн. ун-та. - Одесса, 1999, - Вып. 3(9). - с. 55-58.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАВИТАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СОЖ**Фесенко А.В.**, канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)*Kavitation processing's Greasing and Cooling liquids allows to improve its operational properties and to raise stability.*

Эффективность многих процессов в металлообработке зависит от состава и качества применяемых смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). СОЖ используется при резании лезвийным и абразивным инструментом, при пластическом деформировании металлов (листовая и объемная штамповка, выдавливание резьбы), на прокатных станах и т.д. Повышение производительности и качества обработки на металлорежущих станках, наряду с совершенствованием процессов резания, требует более тщательного подхода к выбору эксплуатационных свойств СОЖ, особенно на финишных операциях.

Многие концентраты СОЖ используются в виде водных эмульсий, в которые обычно входят: нефтяная основа, эмульгаторы, ингибиторы коррозии металлов, смазочные и другие присадки. Виды и соотношение компонентов определяют различие в функциональных свойствах эмульсий и, соответственно, области их применения [1,2]. Масляные эмульсии представляют сложную дисперсную (измельченную) систему, состоящую из двух нерастворимых жидкостей – масла и вода. Для получения качественной стойкой эмульсии частички масла (дисперсная фаза) должны равномерно располагаться в воде (дисперсионная среда) с образованием коллоидного раствора однородной среды. Для предотвращения слипания капель масла в однородный сплошной слой в эмульсию вводится эмульгатор, в качестве которого используются растворимые в воде ПАВ. Устойчивость эмульсий «масло-вода» против разложения обуславливается гомогенностью, мелкодисперсностью, качеством адсорбционной пленки и составом внешней среды.

В большинстве случаев процесс приготовления эмульсий на предприятиях заключается в предварительном смешении компонентов в малых емкостях с последующей подачей их в большой бак для смешения с водой. Иногда такие участки приготовления СОЖ занимают значительные площади часто на двух уровнях. Для получения стабильных эмульсий рекомендуется использовать специальные перемешивающие устройства и установки. С целью продления срока службы эмульсий в приготовленную эмульсию перед эксплуатацией рекомендуется вводить бактерицидную присадку.

Нужно отметить, что во время эксплуатации СОЖ возникают проблемы, связанные с появлением на поверхности маслянистых пятен (например, при утечках из гидросистемы), разложение эмульсии, появление гнилостного, сероводородного запаха, ухудшение технологических, антикоррозионных и санитарно-гигиенических свойств, образование линз с разной концентрацией и т.д. Все это снижает технологические возможности процесса обработки, нарушает санитарные нормы и требует значительных затрат на восстановление СОЖ.

Срок службы водных эмульсий составляет обычно от 1 до 9 мес. в зависимости от типа эмульсии, вида операций, обрабатываемого материала и других условий. Эффективность применения и срок службы СОЖ во многом опре-

деляет очистка ее от органических и неорганических загрязнений и дезинфекция. Очистку и дезинфекцию циркуляционной системы рекомендуют осуществлять при каждой плановой смене СОЖ, но не реже 1 раза в 1-3 мес. (согласно ГОСТ 12.3.025-80).

Технология очистки и дезинфекции централизованной системы подачи (циркуляции) СОЖ трудоемка [2]. Она включает в себя: слив из системы отработанной эмульсии; механическую очистку, промывку горячим (60-70 С) моющим и дезинфицирующими растворами. Качество очистки контролируется визуально, а эффективность дезинфекции определяется по остаточному количеству микроорганизмов в промывочной воде. Оно не должно превышать 100 кл/мл. (ГОСТ 18963-73).

Возможность получения гомогенных мелкодисперсных эмульсий нужного состава с минимальной трудоемкостью и малыми энергозатратами обуславливается эффективной схемой их приготовления и рациональными аппаратными средствами. Комплексно решить эту задачу удалось при создании специальной установки с использованием эффекта кавитационной обработки СОЖ в потоке.

Идея использовать кумулятивное действие схлопывающихся кавитационных пузырьков для интенсификации технологических процессов привела к созданию различных конструкций смесителей, в том числе гидродинамических кавитационных аппаратов.

Гидродинамическая кавитация обусловлена сильным локальным понижением давления вследствие больших скоростей течения жидкости. Присутствующие в жидкости пузырьки газа или пара, двигаясь с потоком жидкости и попадая в область давления меньше критического, приобретает способность к неограниченному росту. Переходя в область повышенного давления, кавитационные пузырьки резко захлопываются.

Таким образом, при расширении и сжатии кавитационной полости происходит своеобразная трансформация мощности. В конечной стадии захлопывания кавитационной полости возникают мощные кратковременные импульсы давления. Скорость смыкания полости при некоторых условиях возрастает до сверхзвуковой, что приводит к возникновению ударной сферической волны, значительному локальному повышению температуры и интенсивному выделению энергии в момент захлопывания полости. При захлопывании парогазовая смесь достигает температуры выше критической и адиабатически сжимается до высоких давлений. Давление газа внутри полости достигает весьма больших значений – десятков и сотен тысяч атмосфер [3]. При развитой кавитации внешним проявлением ее является акустический эффект в виде «шипения» со сплошным спектром от несколько сотен герц до сотен КГц. Спектр расширяется в область низких частот по мере увеличения максимального радиуса пузырьков схлопывания.

Опыты, проведенные в Тамбовском государственном техническом университете [4], показали, что наиболее перспективными для кавитационной обработки СОЖ являются аппараты роторного типа. Обработка СОЖ (5% эмульсия Укринол -1 ТУ 38-101-197-76) в таком аппарате позволила, на операции то-

чения стали 45, повысить стойкость резца в 1,7 раза, понизить шероховатость – в 1,3 раза.

На кафедре технологии машиностроения и металлорежущих станков НТУ «ХПИ» проводятся работы по совершенствованию и интенсификации процессов смешения различных жидких сред. В основу этих методик положен принцип обработки смесей в центробежных диспергаторах с интенсивным энергетическим воздействием на среду при кавитационной обработке.

Приготовление эмульсии в диспергаторе включает в себя два этапа. На первом этапе происходит интенсивное перемешивание всех вводимых компонентов и получение однородной гомогенной эмульсии (смеситель). При дозированной подаче компонентов смешение выполняется в потоке за один проход. На втором этапе эмульсия проходит кавитационную обработку в специальных каналах ротора (диспергатор). При этом образование и схлопывание каверн, сопровождающееся локальными микрогидроударами, приводит к созданию мелкодисперсной смеси.

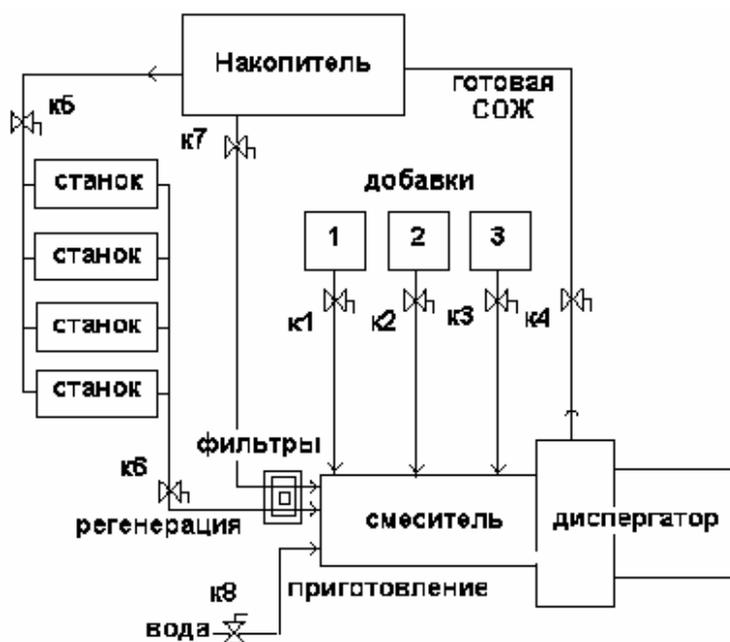


Рис.1. Схема централизованного приготовления и эксплуатации СОЖ.

Гидроудары и локальные всплески температур при схлопывании каверн приводят к разрушению бактерий, что улучшает санитарно-гигиенические условия эксплуатации СОЖ и увеличивает период ее стойкости в 2 – 5 раз. Предлагаемая схема централизованного приготовления и эксплуатации СОЖ (рис.1) обеспечивает смешение необходимых компонентов в потоке и подачу готовой СОЖ в накопитель, а также восстановление (регенерацию) ее в процессе эксплуатации.

Диспергатор может встраиваться в существующие технологические линии приготовления СОЖ, заменяя или дополняя имеющиеся узлы перемешивания. Особенностью данной технологической схемы является то, что диспергатор может выполнять и функции перекачивающего насоса, создавая рабочее давление на выходе до 3 кг/см^2 .

В зависимости от технологических особенностей и производительности диспергаторы могут иметь различные конструкции отдельных узлов и агрегатов.

Роторные диспергаторы могут также найти успешное применение в термических цехах при приготовлении различных водомасляных эмульсий. Изменение соотношения «масло-вода» позволяет получить различные (переходные) режимы закалки, что обеспечит однородность структуры и требуемое качество деталей.

Внедрение технологических линий (или отдельных роторных диспергаторов), обеспечивающих кавитационную обработку СОЖ позволяет значительно

улучшить технологические свойства и повысить стойкость эмульсий, существенно упростить схему приготовления, уменьшить габариты установки (т.к. приготовление смесей выполняется в потоке), значительно снизить энергозатраты на приготовление СОЖ, гибко в широких пределах изменять количество и состав смешиваемых компонентов (в зависимости от технологических требований к обработке резанием), снизить капитальные затраты.

Литература: 1. Смазочно-охлаждающие средства, применяемые при шлифовании. Худобин Л.В. -М.: «Машиностроение», 1971. – 214с. 2. Технологические рекомендации по применению смазочно-охлаждающего технологического средства «Универсал». http://nv2000.tele-kom.ru/recom_primen.htm. 3. Федоткин И.М., Немчин А.Ф. Использование кавитации в технологических процессах. –К.: Вища школа. Изд-во при Киев. ун-те, 1984.-68с. 4. Червяков В.М., Воробьев Ю.В., Родионов Ю.В. Использование роторного аппарата для приготовления высококачественной смазочно-охлаждающей жидкости. <http://www.ostu.ru/conf/tech2002/sect3/chervyakov/chervyakov.html>.

УДК 621.9.06

АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Карпуть В.Е., докт. техн. наук, **Котляр А.В.** (г. Харьков, Украина)

In article the method for fast and exact definition of intensity forming of the rod tools is resulted. The dependences of intensity forming from various factors are presented. The analysis of the importance of components which influence productivity is made.

В гамме современных металлорежущих инструментов, которые представляют собой широкий спектр конструкций, исполнений и комбинаций, особое место занимают стержневые инструменты. Они, как правило, предназначены для обработки внутренних поверхностей, а именно основных, вспомогательных, установочных и крепежных отверстий в деталях типа втулки, фланца, диска, корпус и т. д. Большую часть стержневых инструментов составляют сверла, зенкеры, развертки и метчики. Стержневые инструменты применяются на многих типах металлорежущих станков, но в основном они предназначены для станков сверлильно-расточной группы и многоцелевых.

Комплексно оценить производительность обработки на станках позволяет критерий интенсивности формообразования, который является системным показателем, соответствующим структуре технологической системы. Интенсивность формообразования представляет собой фиктивную скорость рассредоточенного технологического воздействия режущих инструментов на заготовку с учетом влияния технологических, конструктивных и эксплуатационных факторов [1].

Технологическая интенсивность формообразования W_T представляет собой действительную скорость поступательного перемещения инструмента в направлении рабочей подачи, другими словами минутную подачу.

Цикловая интенсивность формообразования $W_{Ц}$ определяется с учетом вспомогательного времени на установку, закрепление и снятие заготовки, вспомогательного и режущего инструмента, на управление станком и, ускоренные перемещения рабочих органов.

Нормативная интенсивность формообразования W_H определяется с учетом нормы времени на операцию, в том числе на организацию и обслуживание рабочего места, на отдых и личные надобности рабочего и подготовительно-заключительного времени, связанного с обработкой партии деталей.

С использованием прикладной программы "MatchCad" нами получены полиномиальные зависимости для расчета интенсивности формообразования при обработке на различных типах металлорежущего оборудования.

Ниже представлены некоторые полиномиальные зависимости для определения интенсивности формообразования при обработке деталей типа "диск" на сверлильном станке с ЧПУ, которые учитывают основные конструктивные и технологические параметры обрабатываемых поверхностей, а именно диаметр и длину обрабатываемых отверстий и их количество в заготовке.

Сверление стали:

$$W_T = 786.46 \cdot e^{-0.015D} - 314.446,$$

$$W_{\dot{O}} = (1.221 \cdot e^{-0.021D} - 0.025)(0.704 \ln(L + 16.042) - 2.101)(59,99 + 19,884N_o),$$

$$W_i = (1.236 \cdot e^{-0.019D} - 0.5)(0.764 \ln(L + 18.646) - 2.234)(50,33 + 18,321N_o),$$

Развертывание чугуна:

$$W_T = 3.425 \cdot 10^4 \cdot e^{-3.196 \cdot 10^{-4} D} - 3.378 \cdot 10^4,$$

$$W_{\dot{O}} = (-7.70 \cdot e^{2.594 \cdot 10^{-3} D} + 8.88)(0.678 \ln(L + 14.926) - 1.83)(60,791 + 20,54N_o),$$

$$W_i = (-4.164 \cdot e^{4.49 \cdot 10^{-3} D} + 5.32)(0.73 \ln(L + 17.506) - 2.113)(50,875 + 18,90N_o),$$

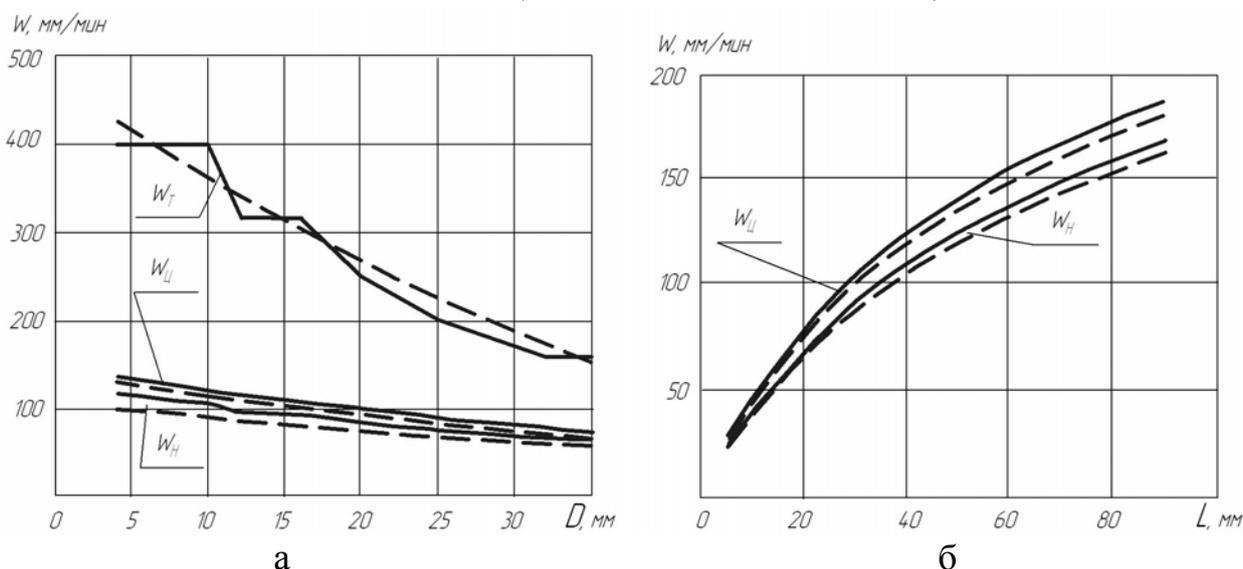


Рис. 1. Зависимости интенсивности формообразования отверстий ($N_o = 4$ шт) в стальной детали, полученные по нормативам (—) и аналитическим зависимостям (-----), от диаметра (а) и длины (б).

На рис. 1 и 2 показаны зависимости интенсивности формообразования от величины диаметра и длины обрабатываемого отверстия, полученные аналитическими расчетами и путем аппроксимации с помощью полиномиальных зависимостей при сверлении четырех отверстий в стальной и чугунной заготовке.

Режимы резания и нормы времени на обработку определялись с помощью общемашиностроительных нормативов [2].

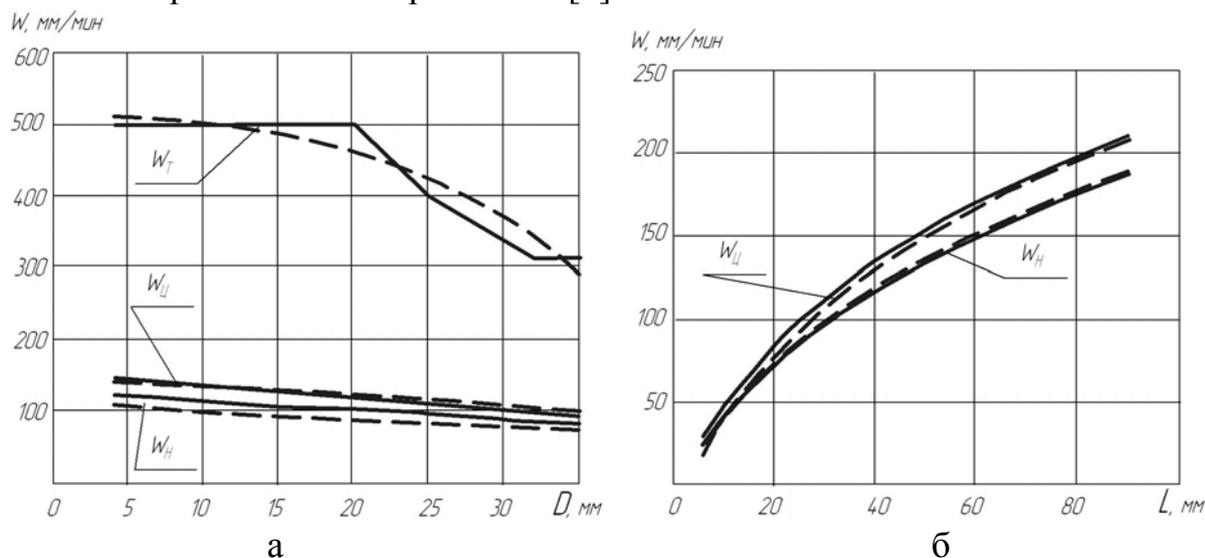


Рис. 2. Зависимости интенсивности формообразования отверстий ($N_o = 4$ шт) в чугунной детали, полученные по нормативам (—) и аналитическим зависимостям (-----), от диаметра (а) и длины (б).

Как видим, предложенные полиномиальные зависимости достаточно точно аппроксимируют графики полученные с помощью аналитических расчетов.

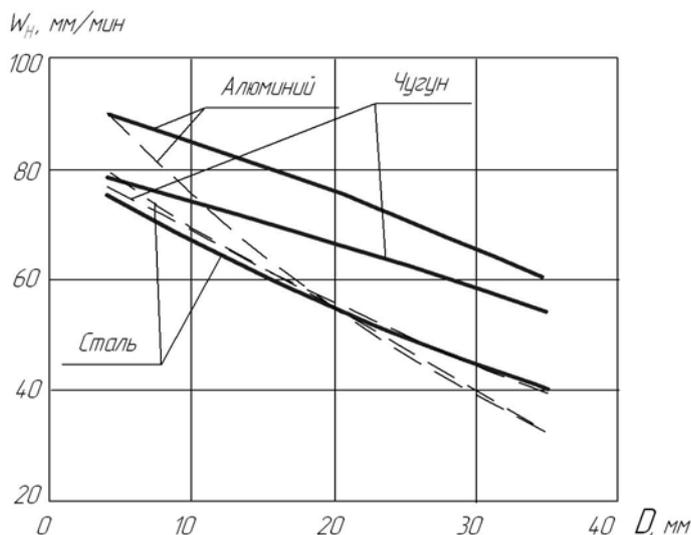


Рис. 3. Зависимость нормативной интенсивности формообразования от диаметра обрабатываемых отверстий и вида материала заготовки: (—) – сверление; (-----) – развертывание.

Также необходимо отметить более существенное влияние длины обработки на значение интенсивности формообразования, по сравнению с диаметром. Как видно с увеличением длины обработки, интенсивность формообразования увеличивается, а с увеличением диаметра - уменьшается.

На рис. 3 показаны зависимости нормативной интенсивности формообразования при сверлении и развертывании отверстий инструментом из быстрорежущей стали от различных видов материалов заготовки и диаметров обработки.

Как видим, вид обрабатываемого материала заготовки также оказывает влияние на величину значения интенсивности формообразования. При некоторых значениях диаметров обработка она составляет одинаковую или близкую величину для различных видов материала.

На рис. 4 показана зависимость нормативной интенсивности формообразования от диаметра и длины обработки.

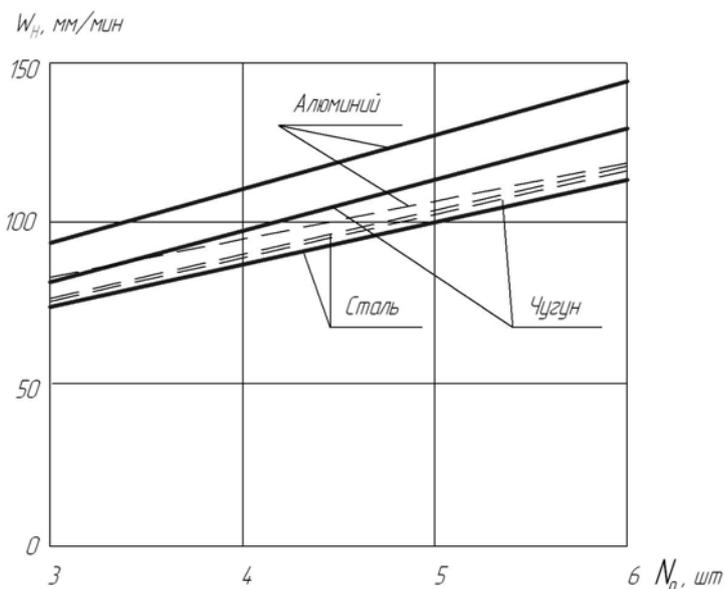


Рис. 4. Зависимость нормативной интенсивности формообразования от количества обрабатываемых отверстий в заготовке и вида материала заготовки: (—) – сверление; (-----) – развертывание.

материала заготовки и количество обрабатываемых отверстий в заготовке.

Литература: 1. Карпуть В.Е. Интенсивность формообразования технологических систем // Вестник машиностроения. - 2000. - № 2. - С. 30-34 2. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. В 2-х ч. - 1990. - М.: Экономика. - 208 с.

УДК 621.9

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ВЫБОРА УСТАНОВОЧНО-ЗАЖИМНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Карпуть В.Е., докт. техн. наук, Иванов В.А. (г. Харьков, Украина)

This article describes the choice questions of locate-and-clamp fixtures for DNC machine tools. Tooling parameters such as flexibility, processing capacity and accuracy are discussed. Versatile machine accessories have been shown to offer many advantages over assemblage devices. The new classifier of versatile locate-and-clamp fixtures for DNC machine tools has been developed. The perspective directions of the versatile machine accessory development are proposed.

Технологическая оснастка является одним из важнейших элементов технологической системы, обеспечивающим требуемую гибкость, высокую производительность и точность обработки. Гибкость отражает универсальность оснастки, то есть возможность ее переналадки в пределах заданных технических характеристик на обработку требуемой номенклатуры изделий.

Производительность обработки на многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станках в значительной степени определяется затратами вспомогательного времени, на величину которых большое влияние оказывает конструк-

разования от вида обрабатываемого материала и количества обрабатываемых отверстий в заготовке.

Как видим, что независимо от вида обрабатываемого материала, интенсивность формообразования увеличивается с увеличением количества обрабатываемых отверстий в заготовке.

Таким образом, на основании проведенных расчетов и полученных графических зависимостей необходимо отметить, что на величину интенсивности формообразования оказывает влияние не только диаметр и длина обработки, а также вид обрабатываемого

ция применяемой оснастки. От нее зависит время на установку и снятие детали, на переналадку и управление установочно-зажимным приспособлением (УЗП), очистку базовых поверхностей и т.д. Кроме того, особенности обработки на многоцелевых станках предъявляют повышенные требования к гибкости, надежности, максимальной инструментальной доступности и т.д. Важным фактором сокращения вспомогательного времени является уменьшение времени переналадки технологической оснастки при переходе к обработке деталей другого типоразмера за счет оптимального выбора механизмов регулирования установочных и зажимных элементов УЗП.

Точность обработки деталей на станке в большой степени зависит от точности изготовления оснастки, точности ее установки на рабочем столе станка, погрешности установки заготовок в УЗП и т.д.

Для оснащения металлорежущего оборудования с ЧПУ применяются УЗП, которые по общности способов обеспечения гибкости можно объединить в две группы: переналаживаемые и сборные. К первой группе относятся универсально-безналадочные приспособления (УБП), переналадка которых осуществляется регулированием положения установочно-зажимных элементов; универсально-наладочные приспособления (УНП), обеспечивающие установку заготовок другого типоразмера при помощи специальных сменных наладок; специализированные наладочные приспособления (СНП) также состоят из специализированного по схеме базирования и виду обработки типовых групп обрабатываемых деталей базового агрегата и сменных наладок и предназначены для установки и закрепления близких по конфигурации заготовок различных габаритных размеров с общей схемой базирования. Кроме того, СНП могут иметь и регулировочные элементы, то есть могут быть комбинированными. От УНП они отличаются, как правило, более высокой степенью механизации.

К сборным приспособлениям относятся универсально-сборные (УСП); сборно-разборные (СРП); универсально-сборочные механизированные приспособления для станков с ЧПУ (УСПМ-ЧПУ), являющиеся развитием системы УСП; универсально-сборная переналаживаемая оснастка (УСПО). В основу всех видов сборных приспособлений положен агрегатно-модульный принцип построения, предполагающий рациональное разделение УЗП на агрегаты, которые могут многократно использоваться при создании различных модификаций УЗП одного или различных типов.

УБП и УНП целесообразно применять на токарных, фрезерных и сверлильных станках с ЧПУ в условиях мелкосерийного производства. СНП наиболее эффективны в условиях среднесерийного и крупносерийного производства, особенно при групповой обработке.

УСП применяются, в основном, в единичном и мелкосерийном производстве. СРП предназначены для групповой обработки в серийном производстве, а также для крупносерийного производства. Основное отличие комплектов УСПО от УСП заключается в способе соединения деталей и сборочных единиц, в результате чего повышается комплектность и жесткость компоновок приспособлений. Приспособления системы УСПМ-ЧПУ предназначены для установки заготовок на станках с ЧПУ фрезерной и сверлильной групп в условиях еди-

ничного и мелкосерийного производств. В условиях серийного и крупносерийного производства сборные приспособления эксплуатируются в режиме специальной оснастки.

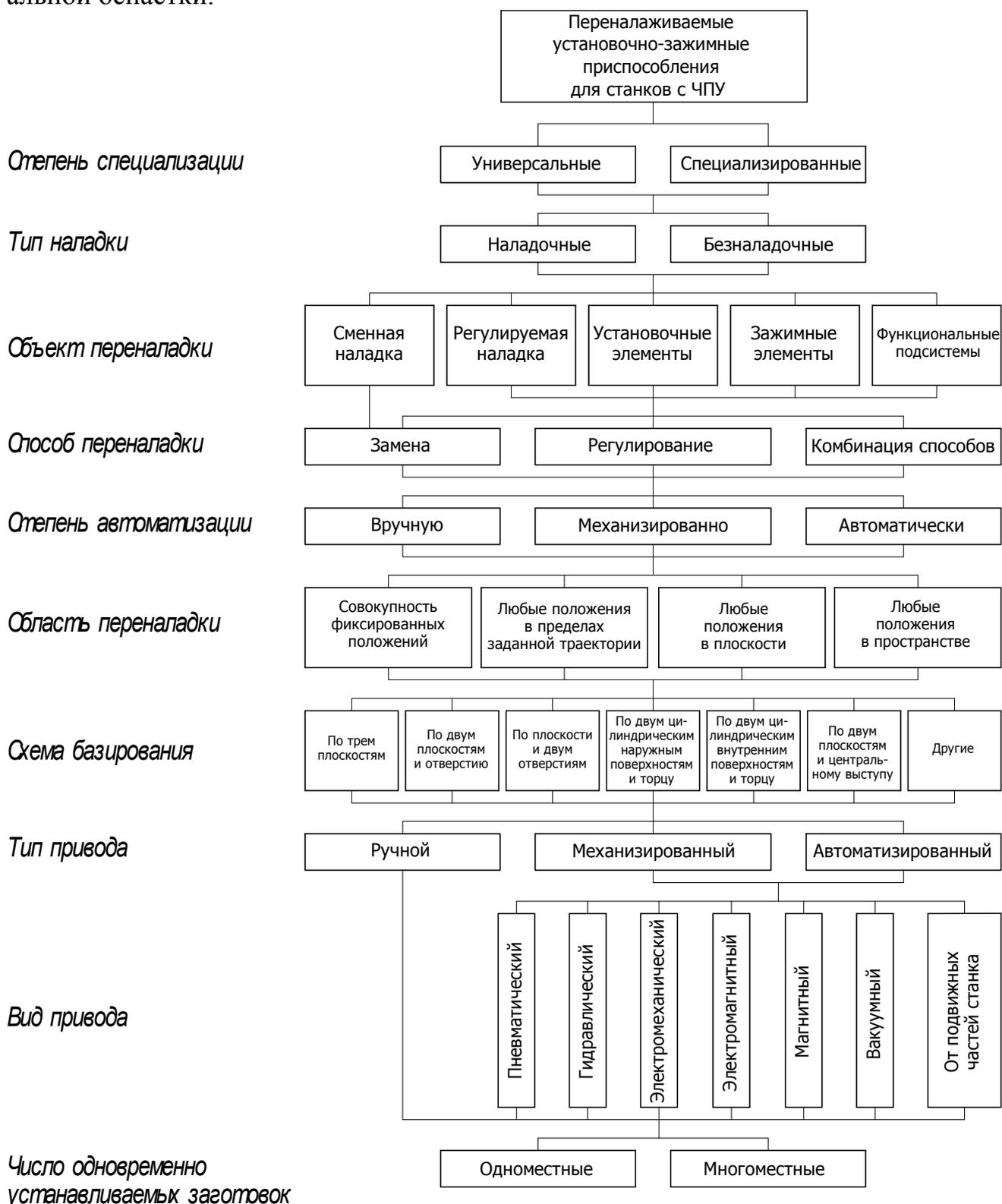


Рисунок. Классификатор переналаживаемых установочно-зажимных приспособлений для станков с ЧПУ.

Основные достоинства УБП, УНП и СНП следующие: близость по точности, габаритным размерам, массе и удобству в работе к неразборным УЗП;

жесткость конструкций; минимальные погрешности установки заготовок; возможность механизации зажима заготовок. Достоинства сборных приспособлений связаны с тем, что они обеспечивают [1]: возможность получения специализированной технологической оснастки, наиболее полно отвечающей решению конкретной технологической задачи; сокращение трудоемкости проектирования и изготовления за счет высокой степени унификации и стандартизации элементов и узлов конструкции; увеличение надежности за счет совершенствования конструктивных параметров деталей и узлов; улучшение условий эксплуатации и ремонтпригодности за счет уменьшения разнообразия конструкций элементов УЗП; удешевление производства.

В экономическом аспекте особенностью внедрения комплектов сборных приспособлений в производство является необходимость крупных предварительных капитальных вложений. Это обстоятельство существенно ограничивало применение сборной оснастки в период стабильного развития промышленности, а в условиях структурной перестройки украинского машиностроения является практически непреодолимым препятствием. Так, например, стоимость комплекта элементов приспособлений УСП-8 на сегодняшний день составляет более 400 тысяч гривен.

Таким образом, перспективными в украинском машиностроении системами приспособлений являются УБП, УНП и СНП, а также специализированные безналадочные (СБП), отличающиеся от УБП меньшей универсальностью. Классификатор переналаживаемых приспособлений приведен на рисунке.

Перспективным направлением развития конструкций УЗП для станков с ЧПУ является разработка систем автоматической переналадки установочно-зажимных элементов УЗП путем регулирования их положения по трем осям координат при смене объекта обработки.

Основными направлениями развития переналаживаемых приспособлений являются:

- повышение жесткости и точности установки заготовок;
- повышение производительности за счет сокращения затрат времени на переналадку, а также применения быстродействующих механизированных прижимных устройств;
- применение переналаживаемых устройств, расширяющих технологические возможности обработки заготовок без изменения их базирования;
- повышение надежности приспособлений;
- автоматизация и механизация процесса переналадки УЗП;
- обоснованное уменьшение разнообразия конструкций УЗП и повышение степени унификации их элементов;
- определение условий эффективного применения различных типов УЗП в конкретных производственных условиях.

Выводы:

1. Для оснащения металлорежущего оборудования в украинском машиностроении целесообразно применять переналаживаемые безналадочные и наладочные приспособления, учитывая большие капитальные затраты на

внедрение комплектов сборных приспособлений.

2. На станках с ЧПУ необходимо использовать механизированные переналаживаемые приспособления с быстродействующими зажимными устройствами, развивая подходы к разработке систем автоматической переналадки УЗП.
3. Актуальной является разработка системы выбора конструкции приспособления, оптимально сочетающего его функциональные характеристики на основе прогнозирования показателей производительности и точности обработки при условии обеспечения требуемой гибкости.

Литература: 1. Обратимая технологическая оснастка для ГПС/ Н.Д. Жолткевич, И.Я. Мовшович, А.С. Кобзев и др. – К.: Техніка, 1992. – 216 с.

УДК 621.91

ВПЛИВ ЧИСТОВОЇ ШЛІФУВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ПІСЛЯ ТФО НА СТРУКТУРУ СТАЛІ 65Г

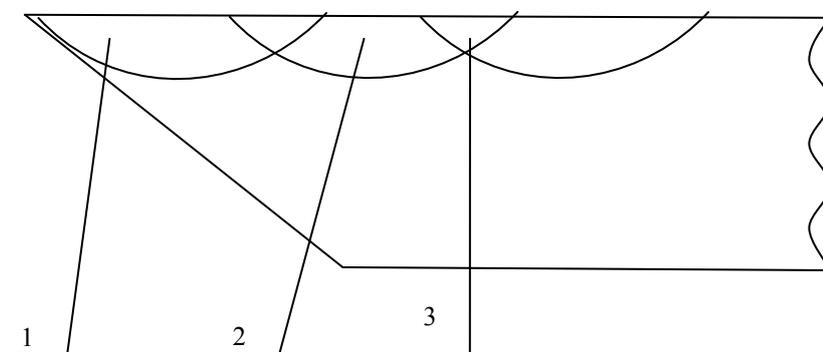
Погрібний М.А., канд. техн. наук, **Сизий Ю.А.**, докт. техн. наук,
Волков О.О. (м. Харків, Україна)

The wood treatment knife strengthening method by thermofriction process (TFP) which made of 65Г steel next finish is investigated. The effect of strengthening by TFP and next finish influence is investigated. The microstructural photos after TFP and next finish. The theoretical and experimental data are analyzed.

Велику актуальність у наш час набувають ресурсозберігаючі методи обробки. Одним з цих методів є зміцнююча термофрикційна обробка. Попередніми дослідженнями було показано позитивний ефект від ТФО [1, 2]. Однак практичний інтерес нині представляє вивчення питання зміцнення шляхом ТФО в комплексі з наступною чистовою обробкою та низькотемпературним відпуском які досить часто є неминучими.

ТФО проводилася по стандартній схемі [1].

Об'єктом дослідження були промислові деревообробні ножі із сталі 65Г у попередньому стані після загартування та низькотемпературного відпуску. Після

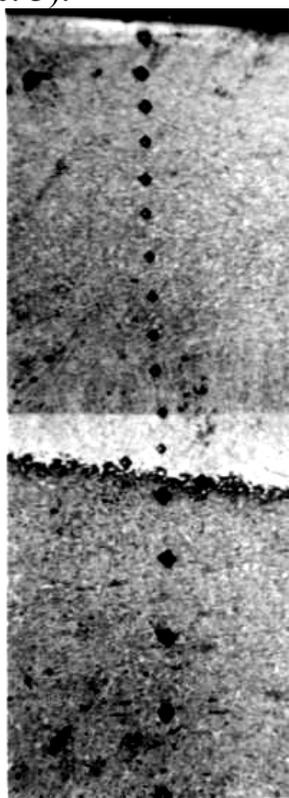


ТФО проводилася чистова шліфувальна обробка основною метою якої є поліпшення якості поверхні після ТФО. Після цього було проведено низькотемпературний відпуск з метою зняття внутрішніх напружень в матеріалі після ТФО, та для забезпечення безпечних умов експлуатації.

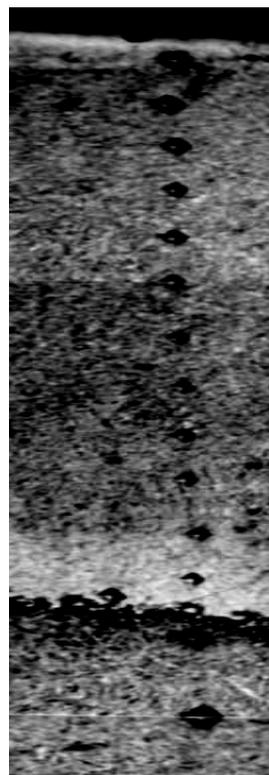
Дослідження мікроструктури і мікротвердості

Рис. 1. Схема розташування шару зі зміненою структурою у зразку зі сталі 65Г після ТФО: 1 зона – Крайня частина зони «білого» шару; 2 зона – центральна частина зони «білого» шару; 3 зона – Ділянка нахлесту сусідніх зон «білих» шарів.

зразків – деревообробних ножів зі сталі 65Г проведені в трьох зонах (див. рис. 1) показують, що у всіх трьох випадках у структурі зразків спостерігаються істотні зміни, які проявляються у вигляді формування в поверхні білого шару (рис. 2, 4). Детальний мікроаналіз цих структур показав, що даний “білий” шар має дрібнозернисту структуру з довгастою формою зерна й розміром істотно менше мартенситних голок присутніх у шарі основного металу і має рівень твердості який істотно перевищує твердість основного металу деревообробних ножів у вихідному стані (тобто після попереднього загартування й низькотемпературного відпуску. Це видно як при візуальному аналізі відбитків мікротвердості, так і на графіках розподілу мікротвердості від поверхні зразків у глибину (див. рис. 3).



× 250 (×0,5)



× 400 (×0,5)

Рис. 2. Мікроструктура поперечного перерізу деревообробного ножа зі сталі 65Г після ТФО в зоні 2.

Як видно з рис. 3 твердість “білого” шару дорівнює приблизно 10000 МПа і досягає свого максимуму, порядку 11000 МПа, у зоні 3, що характеризується перетинанням двох сусідніх проходів ТФО. У цьому зв’язку, дана ділянка “білого” шару може бути названа ділянкою зміцнення в силу високого рівня твердості. Так, глибина цієї ділянки може змінюватися в різних її зонах і досягає максимуму в середній частині (зона 2), що у свою чергу пояснюється існуванням у даній зоні максимального теплового потоку в деталь [3]. Таким чином, глибина ділянки зміцнення в зоні 1 досягає 0,54 мм, у зоні 2–0,55 мм, у зоні 3–0,60 мм.

Ділянка основного металу розташована в нижній частині зразків що досліджуються. Вона має голчасту структуру яка може бути ідентифікована як мартенситна структура, яка викликана попередньою термічною обробкою яка по-

лягала в загартуванні й низькотемпературному відпуску. Тому рівень твердості даної ділянки досягає 5300 МПа. Ці дві ділянки з'єднуються досить тонким прошарком з більш темною структурою іншого типу, з мінімальним рівнем твердості. Твердість тут знижується до рівня 3000–3500 МПа, що дозволяє назвати її ділянкою знеміцнення. Такий низький рівень твердості може бути пояснений поширенням на цю глибину температур відпуску, а структура відповідає сорбіто- і трооститоподібний.

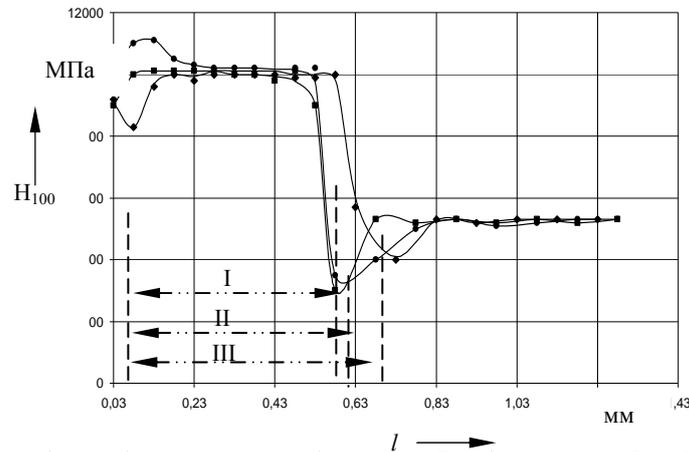
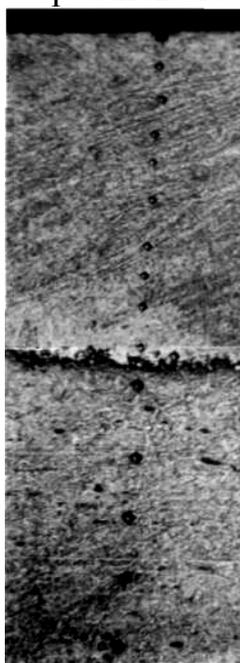
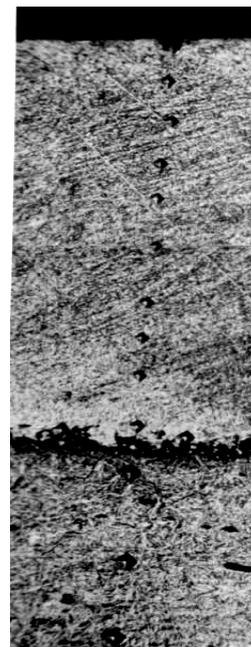


Рис. 3. Графік розподілу мікротвердості по глибині деревобробного ножа зі сталі 65 Г після ТФО: I – глибина зміцнення в зоні 1; II – глибина зміцнення в зоні 2; III – глибина зміцнення в зоні 3.

Аналіз мікроструктури та мікротвердості перерізу деревобробних ножів, які після ТФО піддавалися чистовій обробці, показує, що структура має той самий вигляд що й у випадках без чистової обробки (див. рис. 4). Однак, навіть при візуальному спостереженні можна побачити суттєве покращення чистоти поверхні, що оброблювалася (див. рис. 2, 4).



× 250 (×0,5)



× 400 (×0,5)

Рис. 4. Мікроструктура поперечного перерізу деревобробного ножа зі сталі 65Г після ТФО та чистової обробки в зоні 2.

Також слід зауважити, що рівень твердості та мікроструктура поверхневого “білого” шару залишаються практично не зміненими, а глибина цього шару стає менше саме на стільки, на скільки була проведена чистова обробка (див. рис. 5). Рівень твердості та структура інших зон такі ж самі, як у випадку без чистової обробки.

Аналіз мікроструктури та мікротвердості перерізу деревообробних ножів, які після ТФО піддавалися чистовій обробці та низькотемпературному відпуску, показує, що структура має той самий вигляд що й у випадках без чистової обробки та низькотемпературного відпуску. Збережено приблизно такий же рівень твердості, а його незначне зниження пояснюється процесами відпуску структури мартенситу “білого” шару (що перетворює його в структуру мартенситу відпуску “білого” шару). Глибина “білого” шару залишається такою ж як і після чистової обробки.

Під час дослідження якості поверхні після ТФО, та вивчення впливу на неї чистової обробки були отримані деякі результати, що представлені у таблиці 1. Порівняння цих результатів для випадків після ТФО та після ТФО з наступною чистовою обробкою, дозволяє оцінити ступінь впливу чистової обробки на покращення якості поверхні, що є одним з ключових питань цього дослідження.

Так, аналіз показників шорсткості поверхні дозволяє стверджувати, що після чистової обробки якість поверхні суттєво поліпшується у порівнянні з якістю поверхні після ТФО. Це показано на рис. 7. При цьому рівень шорсткості знизився в 5–8 разів, що практично дорівнює якості поверхні у вихідному стані.

Окрім того слід зауважити, що якість поверхні яку можна отримати під дією чистової обробки після ТФО може бути покращена ще більше за умов використання чистової обробки, яка здійснюється абразивним диском з меншою зернистістю.

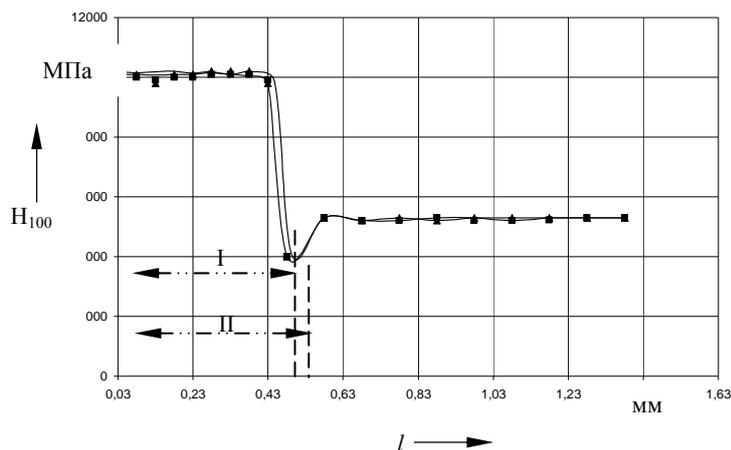


Рис. 5. Графік розподілу мікротвердості по глибині деревобробного ножа зі сталі 65 Г після ТФО та чистової обробки: I – глибина зміцнення в зоні 2; II – глибина зміцнення в зоні 3.

Дані для порівняння характеристик шорсткості зразків наведені у табл. 1.

Таким чином, дослідження мікроструктури усіх зразків показали, що під дією ТФО в структурі поверхневого шару мають місце перетворення які прояв-

ляються у формуванні структури із зміненою формою і розміром зерна, яку ми називаємо структурою “білого” шару. Ця структура більшою частиною складається з дрібнозернистого мартенситу деформації і має невелику частку карбідів, що виявлено у попередніх дослідженнях. Дослідження мікротвердості усіх зразків показали, що “білий” шар, який формується під дією ТФО, має надвисокі показники твердості, які також наведені в табл. 1. В результаті чистової обробки, яка поліпшує якість поверхні, не спостерігається суттєвих змін, як у мікроструктурі, так і в мікротвердості “білого” шару. Деяке падіння мікротвердості після чистової обробки може спостерігатися внаслідок незначного нагріву поверхні, що еквівалентно впливу низькотемпературного відпуску. А зменшення глибини зміцнення, в цьому випадку, характеризується зняттям певного слою металу для отримання необхідної чистоти поверхні.

Таблиця 1

Результати дослідження впливу чистової обробки та низькотемпературного відпуску на структуру та властивості деревообробного ножа зі сталі 65Г, після ТФО.

Марка сталі	Режим попередньої термічної обробки	Режим ТФО			Мікротвердість та мікроструктура поверхневого "білого" шару, МПа			Шорсткість поверхні, при $L_c = 0,25$ мм, мкм			Глибина “білого” шару, мм		
		Після ТФО	Після ТФО та чистової обробки	Після ТФО, чистової обробки та низько-температурного відпуску	Вихідна структура	Після ТФО	Після ТФО та чистової обробки	Після ТФО	Після ТФО та чистової обробки	Після ТФО, чистової обробки та низько-температурного відпуску			
Сталь 65Г	Загартування - 790°C, у воді, низькотемпературний відпуск - 180°C, на повітрі $S = 30$ мм/с; $t = 0,7$ мм	11000	11000	11000	Деформований зернистий мартенсит	Деформований зернистий мартенсит відпуску	Ra = 0,2 Rq = 0,32 Rz = 1,4	Ra = 1,82 Rq = 2,38 Rz = 7,0	Ra = 0,22 Rq = 0,42 Rz = 0,7	Зона 1 = 0,54 Зона 2 = 0,55 Зона 3 = 0,60	Зона 2 = 0,45 Зона 3 = 0,55	Зона 2 = 0,45 Зона 3 = 0,55	

Низькотемпературний відпуск, який було проведено після чистової обробки, переважно для часткового зняття внутрішніх залишкових напружень, фактично не змінив рівень твердості “білого” шару. При цьому глибина зони зміцнення залишилася приблизно на тому ж рівні. Результат порівняння характеристик мікротвердості та глибини зміцнення на трьох етапах обробки: 1) після ТФО; 2) після ТФО та чистової обробки; 3) після ТФО, чистової обробки і низькотемпературного відпуску наведено.

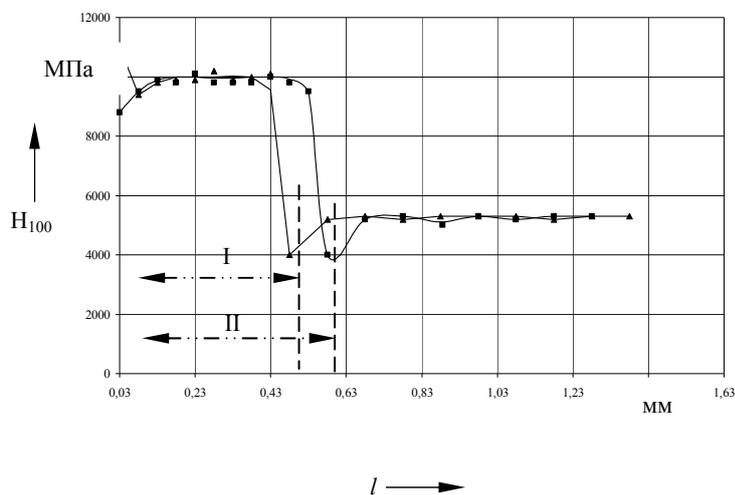


Рис. 6. Графік розподілу мікротвердості по глибині деревобробного ножа зі сталі 65Г після ТФО, чистової обробки та низькотемпературного відпуску: I – глибина зміцнення в зоні 2; II – глибина зміцнення в зоні 3.

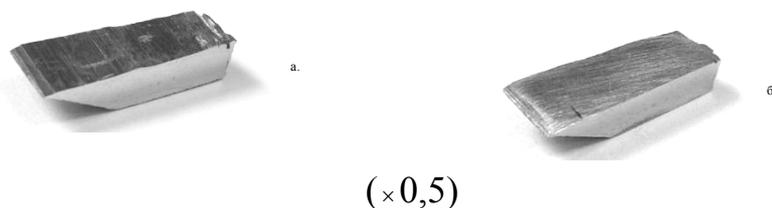


Рис. 7. Макроструктура поверхні зразків – деревобробних ножів зі сталі 65Г: а – після ТФО; б – після ТФО та чистової обробки.

Таким чином, дане дослідження дозволило підтвердити ефективність чистової обробки і низькотемпературного відпуску після ТФО та надати рекомендації щодо включення їх до технологічного процесу обробки деревобробних інструменту.

Література: 1. Сизый Ю.А., Погребной Н.А., Гуцаленко Ю.Г., Волков О.А. Упрочнение методом термофрикционной обработки материалов, применяемых в деревообрабатывающей промышленности // Вестник ХДТУ Сільського господарства – Харьков. – 2004. – Вып. 26. – С. 150–156. 2. Сизый Ю.А., Погребной Н.А., Гуцаленко Ю.Г., Волков О.А. Упрочнение деревообрабатывающих ножей из стали 65Г методом термофрикционной обработки // XII Міжнародна науково-практична конференція “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”. – Секція № 6. “Новые материалы и технологии в процессах горячей обработки металлов”. – Харків. – 2004. – С. 24. 3. Сизый Ю.А., Погрібний М.А. Температурне поле на кромці поверхні яка зміцнюється тертям. – Вісник ХДТУ Сільського господарства. – Харків. – 2002.

НЕОБХОДИМОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЕМКИХ ВЫСОКОБЕЗОПАСНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Савченко Н.Ф., канд. техн. наук, Соломяный А.У., канд. техн. наук,
Павиченко В.П. (г. Харьков, Украина)

Some features of designing of pulse devices with usage of gas power supplies are esteemed.

Важнейшими задачами, стоящими перед технологией машиностроения, как показали исследования профессора ХАИ Р.В. Пихтовникова еще в 50-70-е годы прошлого столетия (столетие которого в октябре 2007 г.), являются, с одной стороны, повышение эффективности использования ресурсов, а, другой, уменьшение издержек при создании все более точных и качественных изделий (или оказания услуг), отраженные в последующем многими авторами [1-5]. С позиций максимизации эффективности использования ресурсов экономически оправданными будут методы с использованием импульсных энергоносителей. Среди многих универсальных и технологически эффективных, с точки зрения экономии ресурсов, методов можно выделить струйную, гидроструйную обработку, обработку дробью, центробежную обработку, беспрессовые методы (гидровзрывную, электрогидравлическую, магнито-импульсную, с использованием эластичных и газовых сред) и т. п., оказывающие существенное влияние на качество, производительность и состояние поверхностей деталей и изделий, их коррозионные и прочностные характеристики.

Постановка задачи. Исходя из того, что любая технологическая система – это совокупность функционально взаимосвязанных предметов производства, средств технологического оснащения и исполнителей, можно сделать вывод о целесообразности включения в ее состав как дополнительного оснащения специально предусмотренных элементов минимизации расходования ресурсов и обеспечения безопасности технологического комплекса как технологической системы.

Цель исследования. Эволюционное изменение параметров любой технологической системы, например по принципу «жизненного цикла» (рис.1) свидетельствует о необходимости учитывать тенденцию совершенствования параметров технологических систем (ТС). Важнейшими из них могут быть:

- интенсивность воздействий на обрабатываемый материал;
- длительность воздействия;
- возможность групповой обработки;
- возможность изменения параметров ТС в самых широких пределах; возможность взаимосогласования в широких пределах параметров изделия и устройства для выполнения различных операций; возможность минимизации нерационального использования энергоносителей, используемого для выполнения технологических операций (основных и дополнительных).

Исходя из этого, целесообразно считать перспективным (интенсивность нагрузки, точность изделий) дальнейшее совершенствование импульсных технологий.

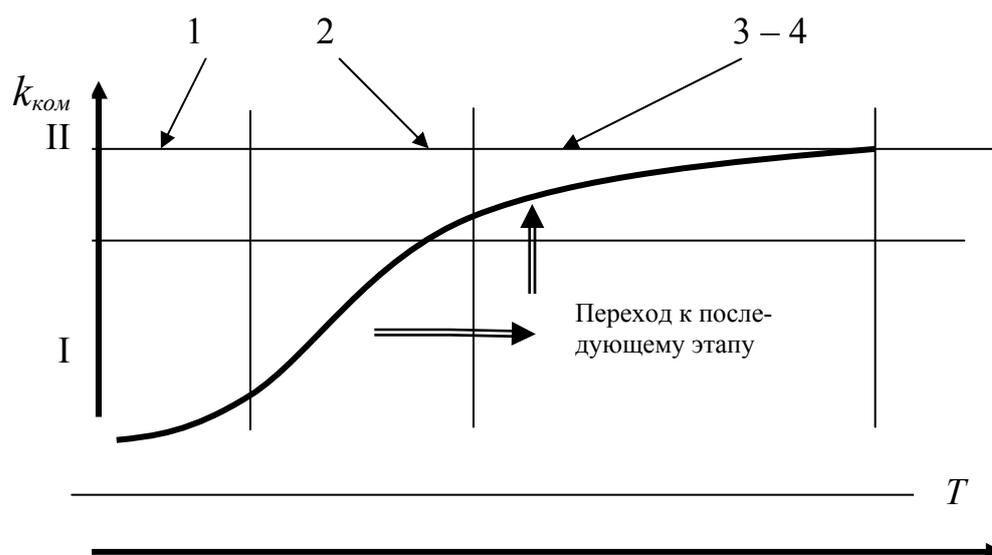


Рис.1. Эволюционное изменение параметров технологической системы (ТС): 1,2,3,4 – этапы изменения в течение периода времени T эффективности ТС.

Методика исследований. Как основное положение о необходимости разработки и усовершенствования методов проектирования именно импульсных устройств, кроме их известных преимуществ – минимальных капиталовложений (и недостатков – повышенных требований к технике безопасности), – используется положение о высоких энергетических возможностях и возможность осуществления экологически безопасных технологий.

Многообразие вариантов взрывчатого превращения (продукты реакции вода, углекислый газ, сажа, ядовитый газ) свидетельствует о необходимости рассмотрения импульсных устройств как специальных и гибких технологических систем. При этом такого типа импульсные устройства, являющиеся мобильными и многофункциональными, можно классифицировать как многофункциональные системы или могущие преобразовываться в них с интеллектуально программируемым комплексом технологических операций. При классификации и проектировании ГТС с использованием импульсных устройств следует исходить из того, что эти комплексы могут быть не только пассивными системами определенного технологического назначения, но и активными многофункциональными системами, специально оснащенными для адаптации к изменению ситуации в технологической зоне энергоаккумулирующими устройствами, например по принципу использования отходов производства. Общим с позиции построения различных типов ГТС можно считать наличие универсальных рабочего органа (или нескольких), привода и специального типа устройств управления работой рабочего органа для выполнения при необходимости нескольких различных технологических операций. Эффективность использования ГТС существенно может быть увеличена благодаря их адаптации к меняющимся условиям технологической среды, что обеспечивается управляющими системами с использованием специальных датчиков. Существенно и то, что важным преимуществом ГТС может также считаться и возможность встраивания в су-

ществующие технологические комплексы без ухудшения их функционирования. Именно эти признаки и позволяют классифицировать предлагаемые устройства как гибкие технологические системы.

Для разработки направлений проектирования и классификации ГТС необходимо также учесть назначение изделия, энергозатраты на его изготовление, особенности пространственного размещения в технологической зоне, совместимость имеющегося (традиционного для предприятия) оборудования и ГТС. Как основные признаки классификации могут быть выбраны конструктивные, особенности ГТС, а также применяемые средства их технологического оснащения. При этом все элементы такой системы могут быть двух основных видов исполнения по отношению к производственному технологическому комплексу: внешнего (вне цеха) или внутреннего.

Дальнейший выбор решений при необходимости может проводиться как:

- 1) общий структурный синтез всей ГТС, если определяется ее компоновка и принцип применения;
- 2) элементный синтез, если предполагается формирование каких-то узлов, частей ГТС.

Таким образом, на первом этапе следует разработать матрицы элементов, столбцы которых – составные части ГТС, а строки – альтернативные варианты локальных решений. Примерами такого подхода можно считать варианты ГТС, в составе которых имеется:

- привод – электрический, гидравлический, пневматический, термический, химические взрывчатые вещества;
- передача – волновая, упруго механическая, импульсно-циклическая, комбинированная;
- рабочий орган – высокоскоростной поток газовой, жидкой и комбинированной среды, твердое тело (снаряд, технологический блок), изменяющие в техногенной зоне агрегатное состояние среды или нет;
- системы и устройства аккумуляирования и обеспечения функционирования ГТС – термические, пневмо - вакуумные, электрические или отсутствовать;
- управляющие устройства – механические, пневматические, электромагнитные, тепловые и возможные их комбинации.

Дополнительные функции ГТС, обеспечиваемые ее элементами – дробление и утилизация отходов производства в технологической или интегрированной к ней зоне, возможность их вторичного использования.

Общее количество вариантов решений может определяться как произведение количества элементов в каждой строке создаваемой морфологической таблицы как приложение к паспорту предприятия или техногенного объекта:

$$N = Z_{otj} \cdot Z_{6e} \cdot \dots \cdot Z_{m_w},$$

где a, q, \dots, m - элемент в соответствующей строке с характерными признаками, $j, e, w = 1, 2, \dots, k, \dots, n$ – их количество.

Примерами ГТС могут быть экологические комплексы, оснащенные специальными рабочими органами по типу вакуумные малогабаритные камеры (капсулы), контейнеры с энергоносителями (горючие газы, взрывчатые веще-

ства и другие: электромагнитные, магнитно-импульсные, пневматические, тепловые и т.д.), а также их соответствующие комбинации. При этом использование мощных и компактных импульсных энергоносителей (горючих газов, взрывчатых веществ) представляется одним из эффективных направлений разработки ГТС.

Основные положения, на которых базируется создание ГТС:

- перевооружение производства и пересмотр существующих технологий (их паспортизация) с позиций экологической безопасности, максимального ресурса - и энергосбережения;
- создание новых технологий на основе последних научных достижений;
- экономическая эффективность;
- пересмотр организационно-экономических принципов;
- внедрение готовых технологических систем, способных к автономному функционированию;
- высокий уровень надежности систем и их гибкость, под которой понимается способность технологической системы к дальнейшему ее функционированию, безопасному для окружающей среды даже в случае выхода из строя отдельных элементов системы;
- минимальные затраты на технологическое переоснащение производства;
- возможность взаимодействия с автоматизированными системами управления производством.

Основные результаты. Разработаны подходы к совершенствованию импульсного типа устройств на основе использования легко адаптируемых к условиям производства энергоносителей. При этом в качестве таких энергоносителей могут быть не только вещества, традиционно относящиеся к энергоносителям типа горючих газов, но и вещества, относящиеся к отходам производства, которые после определенных воздействий могут использоваться в технологических целях.

На рис. 2 приведена схема модульно-блочного устройства для импульсной обработки материалов (штамповка, очистка каналов, микролегирование, получение сажи).

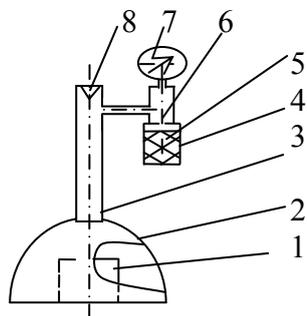


Рис. 2. Импульсное устройство модульного типа: 1 – объект воздействия (заготовка); 2 – энергоблок; 3, 8 – элементы модуля инициирования импульсного воздействия (детонационная трубка и блок поджига смеси); 4, 5, 6 – модуль энергоносителей (корпус газогенератора, реакенты, активатор); 7 – модуль контроля и управления.

Внешняя нагрузка интенсивностью p (до 100 Мпа и более) создается с использованием специального типа импульсных камер с энергогенерирующими устройствами типа газогенераторов (патент Украины № 72357).

С позиций системного подхода процессы, происходящие в системе, могут быть описаны как совокупность энергетических потоков различной

природы (электрическая, тепловая, механическая и др.).

Идентифицировать ГТС и ее компоненты как гибкие технологические комплексы и объекты исследования, разработки, внедрения и эксплуатации позволяют следующие принципы [1,2]:

1. Принцип совмещения высокой производительности и универсальности. В традиционном производстве наибольшая производительность достигается на автоматических линиях и специализированном оборудовании, а наибольшая универсальность – на технологическом оборудовании с ручным управлением и ограниченными возможностями интенсификации использования энергоресурсов. При этом производительность такого оборудования недопустимо мала.

Применение ГТС, использующих легко перестраиваемое импульсное оборудование, позволяет совместить высокую производительность с универсальностью на оптимальном уровне, возможном при современном развитии техники.

2. Принцип технологической гибкости. Способность ГТС в короткие сроки и с минимальными затратами переходить к изготовлению новых объектов производства (деталей, узлов, изделий) характеризует гибкость системы.

Различаются следующие виды гибкости ГТС [2]:

- операционная (технологическая), обеспечиваемая возможностью быстрой смены комплектов приспособлений, инструментов и управляющих программ;
- маршрутная, проявляющаяся в возможности изменения маршрута детали по станкам внутри системы в соответствии с программой ее обработки;
- морфологическая (функциональная), направленная на обеспечение оптимального распределения материальных потоков (деталей, инструментов и т. д.) внутри системы путем соответствующей ее перенастройки или перестройки.

3. Принцип модульности. ГТС строится на базе модулей.

Модуль, являясь компонентом ГТС, также может состоять из компонентов. Не только модуль, но и его компонент может быть самостоятельно разработан, изготовлен и внедрен, однако присущие ему функции он может выполнять только в составе модуля. Важнейшие модули могут быть классифицированы по технологическому принципу (или оснащению); по виду энергоносителя; наличию или отсутствию аккумулирующих устройств; оснащению устройствами управления; сигнализации; обеспечения безопасности; возобновления ресурсов и др.

4. Принцип иерархичности. ГТС в самом общем виде представляет собой многоуровневую структуру: на самом нижнем уровне находятся заготовительные операции, на самом высоком – формирование поверхностного слоя или сборка конструкции.

5. Принцип обеспечения максимальной предметной замкнутости на возможно более низком уровне. Соблюдение этого принципа позволяет свести к минимуму затраты на межоперационное перемещение деталей, сократить

число деталей операций. Наиболее эффективно достижение предметной замкнутости на уровне модуля. Однако при современном развитии техники это не всегда достижимо, а в некоторых случаях экономически нецелесообразно.

6. Принцип функционирования при ограниченном количестве производственного персонала (принцип безлюдности). В соответствии с этим принципом решается задача максимального сокращения численности обслуживающего персонала за счет повышения уровня автоматизации выполняемых системой функций и автоматического контроля за ходом технологического процесса. Другим аспектом этой задачи является возможное продление срока функционирования системы без вмешательства человека.
7. Принцип специализации и интеграции. Этот принцип определяет возможность создания совместимых технологических систем.
8. Принципы системной организации ГТС. Под этими методологическими для поискового проектирования ГТС [1] принципами подразумеваются принцип технологической универсальности и принцип самоорганизации, в свою очередь базирующийся на принципах приспособительной деятельности, живучести, самовосстановления, саморазвития, эволюционно-адаптированного проектирования и внедрения системы.

Принцип универсальности выражает тенденцию к расширению технологических возможностей системы и соответственно номенклатуры обрабатываемых деталей, уменьшению числа установов, сокращению технологических маршрутов, протяженности транспортных путей, увеличению производительности системы, степени завершенности обработки детали.

Принцип приспособительной деятельности проявляется в адаптации системы к условиям внешней (технологической) среды. В результате реакции системы ее технологические возможности приводятся в соответствие с технологическими потребностями запускаемых в производство изделий путем соответствующих переналадок элементов и связей внутри системы.

Принцип живучести характеризует свойство ГПС активно противостоять вредным воздействиям внешней среды и, в случае помех, выполнять свои функции путем перестройки структуры или перераспределения функций между нормально работающими элементами.

Принцип самовосстановления направлен на поддержание и сохранение технологического потенциала системы на заданном (проектном) уровне, что достигается обеспечением системы средствами самодиагностики и самовосстановления отказавших элементов или их автоматической замены.

В основу принципа саморазвития положено свойство системы развиваться и эволюционизировать как путем замены элементов более эффективными и прогрессивными, так и путем трансформации морфологической структуры с целью расширения технологического потенциала.

Принцип эволюционного проектирования и внедрения ГТС выражается в продолжении проектирования после того, как она создана, корректировке проектных решений в процессе отладки и ступенчатом (поэтапном) наращивании мощности технологического потенциала и степени автоматизации ГТС в про-

цессе внедрения.

Таким образом, возможные конструктивные решения обнаруживаются последовательно, после полного перебора вариантов, с учетом принципов системного проектирования, при этом каждый вариант проверяется на соответствие всем условиям ограничения совместного применения. При большом количестве возможных вариантов такой подход довольно трудоемкий, но является вполне оправданным при прогнозировании эффективности имеющихся средств обеспечения предприятия возобновляемыми и, в особенности, невозобновляемыми ресурсами.

Литература: 1. Модульное оборудование для гибких производственных систем механической обработки: Справочник/Р. Э. Сафраган, Г. А. Кривов, В. Н. Татаренко и др. – К.: Техника, 1989.– 175 с. 2. Технологичность конструкции изделия / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др. – М.: Машиностроение, 1990.– 768 с. 3. Согришин Ю.П. и др. Штамповка на высокоскоростных молотах. М.: Машиностроение, 1978.– 167 с. 4. Шамарин Ю.Е. и др. Высокопроизводительные методы обработки металлов давлением. К. Техника. 1991. – 102 с. 5. Гибкая автоматизация единичного и мелкосерийного производства в машиностроении.— Л.: О-во «Знание» РСФСР, ЛО, ЛДНТП, 1990.-32 с. Состояние и развитие гибких производственных систем/Труды международного совещания (г. Магдебург, 1985).—М.: МЦНТИ, 1986.

УДК 621.92; 621.135

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПРОЦЕССА ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ

Сурду Н. В., канд. техн. наук, **Телегин А. В.** (г. Харьков, Украина)

A method and algorithm for analyzing the regimes of in-depth high-efficiency grinding of hard-to-machine materials by means of a planetary-grinding head are given. The method ensures manifestation of the adsorption-plastifying effect during grinding, and provides for using round grinding wheels.

Прогресс в области металлообработки труднообрабатываемых материалов (ТОМ), в значительной степени связывается с использованием метода глубинного шлифования (ГШ) в различных его модификациях. Это связано с тем, что по скорости съема металла он в несколько раз превосходит методы точения, фрезерования и протягивания, сохраняя при этом все преимущества традиционного шлифования.

Интенсивность тепловыделения в зоне резания при ГШ значительно превышает обычное шлифование, поэтому обеспечение высокого качества обработанной поверхности требует: специального абразивного инструмента (высокопористые круги, открытые структуры); техники подачи СОТС (ультразвук, $P = 0,8$ МПа., $V = 1200$ л/мин); мощности привода главного рабочего движения до 20 – 50 кВт; увеличение жесткости технологической системы в несколько раз. Также любые непредвиденные нарушения технологического процесса - нестабильность характеристик РИ, отклонение от режимов резания, появление автоколебаний в технологической системе, неправильная подача и очистка СОТС и др. – приводят к дефектам обработки (шлифовальные прижоги, микротрещины, размерные отклонения). Характерным для известных методов ГШ является то, что их

кинематика не позволяет обеспечить условия для снижения энергоемкости и теплонапряженности процесса диспергирования материала за счет проявления адсорбционно-пластифицирующего эффекта (АПЭ), которые достигаются при выполнении критериальных требований, предложенных в работе [1].

Указанных недостатков лишен способ планетарно-сопряженного шлифования [2, 3], который предполагает использование в качестве инструмента планетарно-шлифовальной головки (ПШГ). Однако при этом способе обработки абразивные круги имеют сложную (эллипсообразную) форму. Это накладывает жесткие требования на надежность закрепления абразивных кругов на шпинделях, поскольку поворот абразивного круга относительно шпинделя приводит к резкому отклонению формы абразивного круга от сопрягаемой поверхности изделия, что может вызывать разрушение абразивных кругов и даже поломку станка. Кроме того, в формировании микрогеометрии одного и того же участка обрабатываемой поверхности участвуют одни и те же участки режущей поверхности абразивных кругов, что способствует повышению шероховатости поверхности.

Таким образом, был разработан способ скоростного глубинного планетарного шлифования (ГПШ) плоских и плоско-фасонных поверхностей [4, 5], который, во-первых, позволяет использование для обработки абразивных кругов с формой в виде круга. Во-вторых, обеспечивает возможность участия в формировании микрогеометрии одного и того же участка обрабатываемой поверхности всех режущих зерен, расположенных на режущей поверхности абразивных кругов. И, в-третьих, обеспечивает выполнение критериальных требований [1] для снижения энергоемкости процесса стружкообразования за счет проявления АПЭ.

При этом способе, абразивный круг устанавливают перпендикулярно к обрабатываемой поверхности и сообщают ему переносное вращение ω_2 вокруг оси O_2-O_2 и собственное вращение ω_1 вокруг планетарной оси O_1-O_1 .

Кроме того, абразивному инструменту и обрабатываемому изделию задают относительное движение подачи S_{dem} . При этом указанные скорости устанавливают такими [5], чтобы выполнялись критериальные требования [1].

Устройство для реализации способа (рис. 1) состоит из шпинделя 1, который

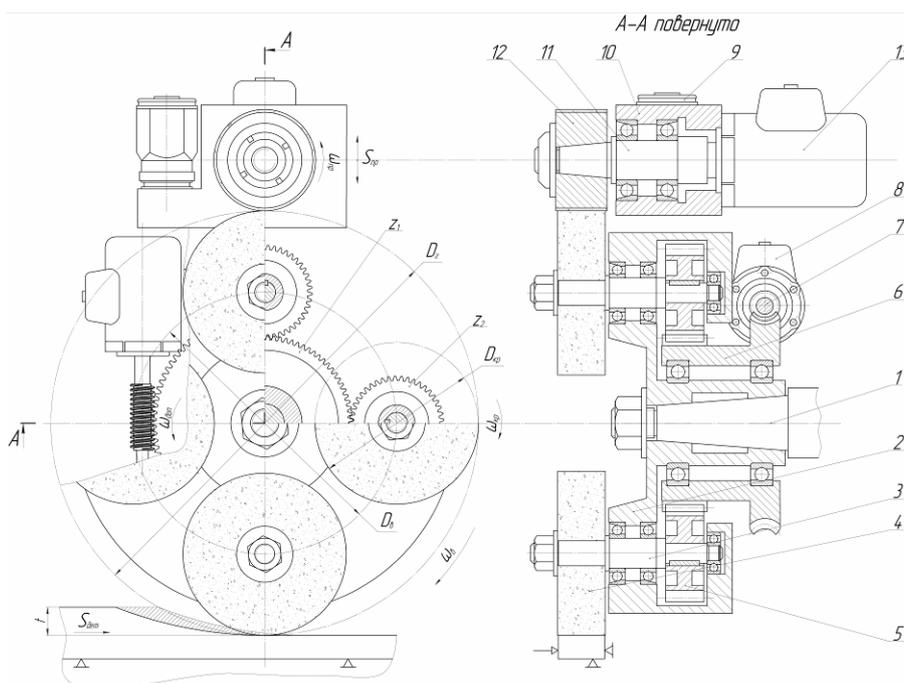


Рис.1 Кинематическая схема ПШГ для скоростного глубинного шлифования.

приводится во вращение двигателем станка (на схеме условно не показан). На шпинделе 1 жестко закреплено водило 2, на котором с возможностью вращения установлены валы 3. На одном конце каждого вала жестко закреплен абразивный круг 4, а на другом - шестерня (сателлит) 5, которая установлена с возможностью обкатывания солнечного колеса 6. При этом последнее установлено на шпинделе станка с возможностью поворота (например, с помощью червячного венца от червяка 7) при помощи дополнительного привода вращения 8.

Кроме того, устройство снабжено узлом для правки абразивных кругов 4, который имеет возможность вертикального (радиального) перемещения, посредством привода 9 и может производить правку в двух режимах - непрерывном и дискретном. Узел правки состоит из корпуса 10 в котором установлен с возможностью вращения приводной вал 11, соединяющий правящий ролик 12 и его привод 13. Профиль правящего ролика такой же, как обрабатываемой поверхности изделия.

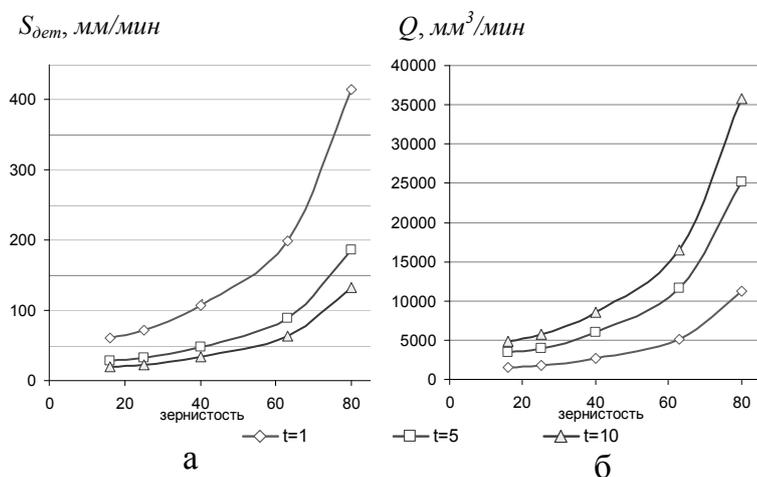


Рис.2. Изменение величины подачи $S_{дет}$ (а) и теоретической производительности Q (б) от зернистости.

Обеспечивая в процессе шлифования расчетные режимы работы, можно осуществлять обработку на всю (любую) глубину с минимальными энергозатратами, так как при этом обеспечиваются наиболее благоприятные условия для проявления АПЭ со всеми его преимуществами. При поддержке продольной подачи $S_{дет}$ на расчетном уровне толщина стружки, снимаемая каждым режущим зерном, не будет превышать предельно допустимого значения a_z . Следовательно, обеспечивается равномерная нагрузка на каждое режущее зерно, а толщина стружки не превышает предельно допустимого значения. Все это обеспечивает условия для повышения размерной стойкости абразивного инструмента, производительности, эффективности и надежности обработки.

Таким образом, представленный способ ГПШ хотя и обладает меньшей производительностью (Q до $37 \cdot 10^3$ мм³/мин), по сравнению с планетарно-сопряженным шлифованием, но способ правки и работы ПШГ для ГПШ обладает большей приемственностью к традиционному, моноосевому шлифованию. Это значительно упрощает применение данного способа шлифования в производстве.

Причем для успешной работы и достижения цели разработки кинематические и геометрические параметры ПШГ должны соответствовать [4]: а режимы резания назначаться по формулам приведенным в [5].

На рис. 2 представлены кривые зависимости величины продольной подачи $S_{дет}$ и теоретической производительности Q для различных зернистостей абразивных материалов.

Литература: 1. Сурду Н.В. Адсорбционное влияние сред при шлифовании // Пробл. машиностроения. – Харьков, 1999. – Т. 2. – №1-2. – с.106-113. 2. Пат. №2066268 РФ, МКИ В24В 1/00 Способ шлифования / Сурду Н.В., Буюкли И.М., Тарелин А.А., Горбачев А.Ф. (Украина). – №5064223; Заявл. 05.10.92; Опубл. 10.09.96, Бюл. №25.– 5 с. 3. Н.В. Сурду. Планетарно-сопряженное шлифование плоских поверхностей изделий. Сб. науч. труд. ХГПУ, Вып. 7, часть 2, Харьков, 1999 г. с 202-207. 4. Горбачев А.А., Сурду Н. В., Долматов А.И., Телегин А. В. “Способ планетарного шлифования”. Заявка № а200504196 от 4.05.05. 5. А.А. Тарелин, Н.В. Сурду, А.В. Телегин Способ глубинного планетарного шлифования // Сучасні технології у машинобудуванні : Збірник наукових статей / За заг. ред. А.І. Грабченка. – Том 2 – Харків. – 2006. с. 248 – 257.

УДК 621.92; 621.135

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ШЛИФОВАНИЕ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Сурду Н. В., канд. техн. наук, Телегин А. В. (г. Харьков, Украина)

A method of high-efficiency plane grinding of hard-to-machine materials by means of end planetary-grinding head are given. By improving the kinematics of the shaping process, the method allows employing advanced machining regimes, at which the energy capacity of chip forming is reduced due to Rebinder's adsorption-plastifying effect.

Существует широкая номенклатура деталей, имеющих плоские поверхности (корпусные изделия, станины, пресс-формы и пр.), изготовление которых сопряжено с необходимостью обеспечения как высокого качества и точности, так и высокой производительности обработки.

Для этих целей был разработан новый способ формообразования плоских поверхностей методом торцевого планетарного шлифования, суть которого заключается в следующем [1].

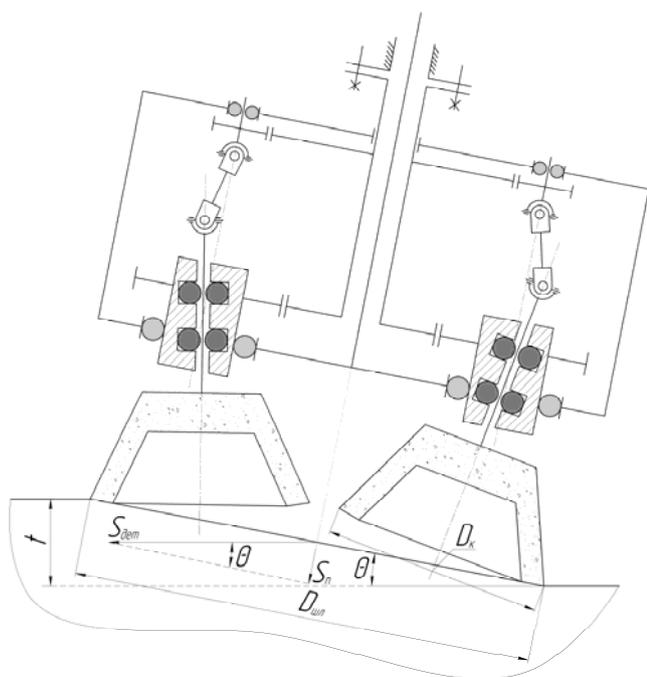


Рис. 1 Схема высокопроизводительного шлифования плоских поверхностей с применением ТПШГ.

Шлифовальный круг устанавливают под углом α к обрабатываемой поверхности и сообщают ему вращение ω_1 вокруг первой оси O_1-O_1 , совпадающей с осью круга. Кроме того, дополнительно задают: вращение ω_2 вокруг второй оси O_2-O_2 , перпендикулярной к обрабатываемой плоскости и пересекающейся с осью круга, и переносное вращение ω_3 вокруг третьей оси O_3-O_3 , перпендикулярной к обрабатываемой плоскости, и не пересекающейся с осью круга. Это позволяет регулировать время между повторными актами съема материала с одного и того же участка обрабатываемой поверхности.

Достигается это тем, что при

определенном [2] соотношении скоростей вращения ω_1 и ω_2 режущее зерно, стоящее в затылок первому зерну, войдет в контакт с обрабатываемой поверхностью, вне участка, обработанного первым зерном.

При организации кинематики процесса плоского торцевого шлифования согласно предлагаемой схеме (см. рис.1) и соблюдении соотношений [2] будут выполняться критериальные требования [3], необходимые для снижения энергоемкости процесса стружкообразования за счет проявления АПЭ.

Для реализации данного способа шлифования разработано два варианта кинематических схем устройств торцевой планетарной шлифовальной головки (ТПШГ), которые отличаются организацией передачи крутящих моментов [1, 2].

С учетом возможностей существующего станочного оборудования может быть выбрана схема шлифования плоских поверхностей с применением ТПШГ, изображенная на рис. 1. Суть ее состоит в том, что при плоском шлифовании в качестве абразивного инструмента берут ТПШГ, конструктивные параметры которой определяют так, как указано в [1], при этом ТПШГ устанавливают под углом Θ к обрабатываемой поверхности (рис. 2). Для обеспечения постоянного, равномерного съема материала каждым планетарным абразивным кругом и максимальной производительности, абразивному инструменту задают движение продольной подачи $S_{дет}$ относительно обрабатываемой поверхности, при этом режимы обработки определяют из соотношений:

$$\Theta = \arcsin(t/D_{\theta \ddot{e}}), \quad (1)$$

$$S_{\ddot{a}\ddot{a}\ddot{o}} = S_n / \sin \Theta, \quad (2)$$

$$S_n = a_z \omega_{\hat{a}}, \quad (3)$$

$$S_{\ddot{a}\ddot{a}\ddot{o}} = a_z \omega_{\hat{a}} / \sin \Theta, \quad (4)$$

$$Q = \frac{\pi D_{\theta \ddot{e}}^2}{4} S_{\ddot{a}\ddot{a}\ddot{o}} \sin \Theta = \frac{\pi D_{\theta \ddot{e}}^2}{4} S_n. \quad (5)$$

где t – глубина шлифования; $D_{шл}$ – диаметр шлифования ТПШГ; S_n – величина нормальной подачи; a_z – усредненная, предельно допустимая величина припуска,

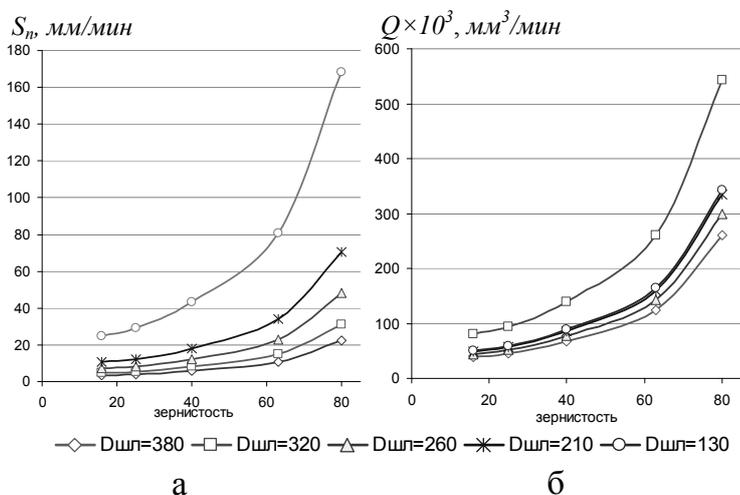


Рис.2 Зависимость величины нормальной подачи S_n (а) и теоретической производительности Q (б) от зернистости.

ка, снимаемого режущим абразивным зерном за один проход; $\omega_{\hat{a}}$ – скорость вращения водила ТПШГ.

Ниже приведены технологические параметры для схемы шлифования плоских поверхностей, изображенной на рис. 1 для конструктивной схемы ТПШГ с 4 планетарными шпинделями [1]. Рассмотрено использование стандартных конических чашечных шлифовальных

кругов тип 11 по ГОСТ 2424-83 следующих размеров $D_k \times d_k$, мм: 50×40, 80×65, 100×84, 125×88 и 150×130 зернистостью 16, 25, 40, 63, 80. Скорость резания во всех случаях равнялась максимальной рабочей скорости для кругов данного типа - 30 м/с. По этим данным проведен расчет диаметров обработки $D_{шл}$, величин углов Θ , нормальной подачи S_n и расчетной производительности Q для рассмотренных зернистостей абразивных материалов и представлен на графиках рис. 2.

Имитационное моделирование формообразования предлагаемого метода обработки показало, что режущие кромки кругов испытывают неравномерные нагрузки, что может негативно сказаться на стойкости абразивного инструмента. Обработанная поверхность, как и в способе, прототипе [4] получает вогнутость, величина которой зависит от конструктивных параметров ТПШГ - $D_{шл}$ и параметров обработки глубины шлифования t и ширины обработки H . Установлено, что величина систематической абсолютной погрешности Δ для $\bar{H} \leq 0,5$ в 15...100 раз меньше снимаемого припуска, что приемлемо для предварительной и окончательной обработки.

Таким образом, способ торцевого планетарного шлифования, разработанный с учетом опыта использования ПШГ, позволяет осуществлять плоское шлифование большемерных изделий или для групповой обработки на карусельных станках и пр. с производительностью до $500 \cdot 10^3$ мм³/мин с регулированием точности обработки до требуемого уровня. За счет управления величиной подачи, в пределах одного конструктива ТПШГ максимально эффективно работают абразивные круги различной зернистости.

Литература: 1. Н.В. Сурду, А.В. Телегин “Способ шлифования плоских поверхностей и устройство для его осуществления”. Заявка № а2005 08 817 от 16.09.05. 2. Сурду Н.В., Телегин А.В. Торцевое планетарное шлифование //Різання та інструмент в технологічних системах: Між. наук.-техн. збірник. - Харків. - 2005.- Вип. 69.- С. 293 – 300 3. Сурду Н. В. Микромеханизм влияния сред на пластическое деформирование и разрушение металлов. Часть 2. Модель микромеханизма // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов. – Харьков: НАКУ "ХАИ", 2001. –Вып. 24 (1) . – С.139-147. 4. Справочник шлифовщика /Л.М. Кожуро, А.А. Панов, Э.И. Ремизовский, П.С. Чистосердов; Под общ. ред. П. С. Чистосердова. – Мн.: Выш. школа, 1981. – 287.с., ил. 2.

УДК 621.923

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОСОЗУБЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Шаповалов В.А. (г. Симферополь, Украина)

The analysis of technologies of manufacturing косозубых of gear wheels by a method of powder metallurgy is given.

В конструкциях многих машин, приборов и агрегатов в качестве передаточных механизмов наибольшее распространение получили зубчатые передачи. Это вызвано рядом их преимуществ по сравнению с остальными видами передач, среди которых: возможность передачи наибольших крутящих моментов, обеспечение постоянства передаточного отношения, высокий КПД передачи,

небольшие габариты при передаче высоких крутящих моментов, плавность и бесшумность работы и т.д.

Изготовление зубчатых колес – многооперационный технологический процесс, который можно подразделить на два этапа:

- первый этап состоит из комплекса операций, связанных с образование геометрической формы заготовок зубчатого колеса до нарезания зубьев;
- второй этап включает зубонарезание и все последующие процессы, связанные с отделкой зубьев или восстановлением баз относительно нарезанного зубчатого венца.

Заготовка зубчатого колеса по форме и размерам приближается к форме и размерам готовой детали. Качество заготовки влияет на технологический маршрут механической обработки и ее трудоемкость. Наиболее часто используются штампованные заготовки, полученные методом холодной штамповки или горячей высадки на горизонтально-ковочных машинах. Коэффициент использования металла в заготовках, получаемых штамповкой на ковочно-штамповочных прессах, составляет 0,6–0,7, а на горизонтально-ковочных машинах – 0,65–0,75.

Нарезка зубьев на колесах осуществляется двумя способами: копированием и обкаткой. Способ копирования заключается в придании режущему инструменту формы впадины между зубьями, и затем копирования профиля инструмента на обрабатываемой поверхности. Этот метод является не точным и не производительным, вследствие чего он применим в единичном и мелкосерийном производстве, за исключением кругового протягивания.

Точным и производительным способом изготовления зубчатых колес является нарезание зубьев по способу обкатки червячной фрезой, круглым долбяком, зубостроганными резцами, резцовой головкой, накатыванием зубчатыми валками, при котором зубья на зубчатом колесе образуются при совместном согласованном вращении (обкатке) режущего инструмента и заготовки. Червячными фрезами нарезают как прямые, так и косые зубья цилиндрических колес. В последнем случае ось фрезы устанавливают под углом к торцу нарезаемого колеса, равным сумме углов подъема винтовой нитки фрезы и винтовой нитки (углов наклона зуба) нарезаемого колеса.

Зубчатые колеса с 3-й по 8-ю степенью точности нарезают методом обкатки, после чего сырые колеса 3, 4 и 5-й степеней точности подвергают тщательной отделке на притирочных станках и поверхности их закаливают токами высокой частоты (ТВЧ), исключая деформацию поверхности.

Зубчатые колеса, изготовленные по 6, 7 и 8-й степеням точности, обычно подвергают закалке в закалочных печах, дающих значительное искажение формы. Затем для сохранения формы у колес со степенями точности 6 и 7-й шлифуют боковые профили зубьев с базированием по отверстию.

Изготовление зубчатых колес методом порошковой металлургии является одним из перспективных направлений изготовления колес, что связано с рядом преимуществ технологии порошковой металлургии, таких как высокий коэффициент использования материала – до 0,9–0,95; высокая технологичность порошковой металлургии, позволяющая автоматизировать многие из них; высо-

кая производительность, низкая трудоемкость, возможность получения точных размеров (7–8-го квалитетов) без дополнительной механической обработки и др. Это подтверждается мировой тенденцией увеличения использования деталей, изготовленных методом порошковой металлургии, в автомобилестроении, приборах бытового назначения, электроинструменте, садовом инвентаре и т.п. Например, новые V8-двигатели “Daimler Chrysler” содержат 13,6 кг, а в некоторых из моделей насчитывается даже 27 кг порошковых деталей. Новые трансмиссии, уже готовые к производству, имеют порошковые втулки, звездочки и шестерни масляных насосов. Высокопрочные порошковые шестерни испытаны для использования в комбинированных трансмиссиях. На конкурсе, проведенном Североамериканской международной федерацией порошковой металлургии в 2004 году, Гран-при по категории изделий из порошков на основе железа завоевали компании “ASCO Sintering” Co и “Deltran” Inc. за зубчатую передачу, состоящую из четырех деталей (каркас, заготовка ротора, подшипник и зубчатое колесо). Детали выполнены из железифосфорного порошка с плотностью $7,0 \text{ г/см}^3$, обеспечивающей требуемые прочностные свойства – предел прочности 310 МПа и предел текучести 220 МПа.

Анализ зарубежных аналогов электроинструмента передовых фирм показал широкое использование в их конструкциях деталей, изготовленных методом порошковой металлургии, таких как противовес, зубчатое колесо, подшипники скольжения, державка и др.

При разработке технологии изготовления косозубых зубчатых колес нельзя не учесть появление новых технологий в порошковой металлургии, особенно технологий, способствующих повышению плотности порошковых изделий.

1. Теплое прессование предполагает предварительный нагрев прессформы и прессуемого порошка до невысокой температуры. Оно уже получило признание в промышленности. Эта технология обеспечивает более высокую плотность при использовании действующего прессового оборудования, однако требуются дополнительные средства на установку нагревательного оборудования, переучивания персонала и т.д.

Фирмой Хеганес предложен новый вариант теплового прессования, который заключается в простом подогреве пресс-инструмента до невысокой температуры (около 60°C) и специальном сочетании смазки со связкой для оптимизации прессуемого порошка при высоком давлении. В результате удается получить плотность прессовки из железного порошка $7,2\text{--}7,4 \text{ г/см}^3$.

2. Технология поверхностного уплотнения, которая разрабатывается главным образом фирмой “Stuckpole” из Канады и имеет целью получения изделий для работы при повышенных нагрузках, например шестерен.

3. Разработанная недавно в Швеции технология высокоскоростного компактирования направлена на достижение очень высокой плотности при возможном снижении стоимости прессового оборудования. Уплотнение в этой технологии осуществляется энергией удара, а плотность прессовки достигает $7,5 \text{ г/см}^3$.

4. Закалка при спекании – один из способов улучшения допусков спеченных деталей. Он особенно эффективен при изготовлении высокопрочных, трудно-

обрабатываемых деталей, для которых процесс допрессовки нежелателен.

5. Высокотемпературное спекание эффективно для изготовления ответственных деталей. Этот метод является действенным для улучшения свойств спеченных деталей.

Литература: 1. Беспалов Б.Л., Глейзер Л.А. Технология машиностроения. – М.: Машиностроение, 1973. 2. Ермаков С.С., Вязников Н.Ф. Порошковые стали и изделия. – Л.: Машиностроение, 1990.

УДК 621.923

ГЛУБИННОЕ АЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, **Рябенков И. А.**, **Кленов О. С.**
(г. Харьков, Украина)

The rating of technological opportunities of process of deep diamond grinding of quickly cutting steel is made.

В последние годы широкое развитие в металлообработке получили методы высокопроизводительного глубинного шлифования. Благодаря возможности съема значительных припусков за один проход круга и существенному увеличению производительности обработки, методы глубинного шлифования стали вполне конкурентноспособными с процессами лезвийной обработки. Так, по многочисленным экспериментальным данным, глубинное шлифование широко используется для создания глубоких пазов, канавок, фасонных поверхностей, при предварительном плоском и круглом наружном шлифовании труднообрабатываемых материалов и т.д.

Особенно эффективно применение глубинного шлифования при обработке деталей из высокопрочных сплавов с припуском 1 – 50 мм. Переход от традиционной технологии обработки таких деталей, основанной на предварительной лезвийной и последующей (окончательной) абразивной обработке, к прогрессивной технологии однопроходного глубинного шлифования позволяет в несколько раз повысить производительность труда при обеспечении высокого качества обработки. Вместе с тем, как показывает многолетняя практика, технологические возможности глубинного шлифования используются неполно. Основной причиной, препятствующей более широкому внедрению глубинного шлифования в производство, является отсутствие теории глубинного шлифования. В настоящее время образовался дисбаланс между теорией и практикой глубинного шлифования. С одной стороны накоплен большой объем экспериментальных данных для частных условий обработки, с другой стороны, отсутствуют обобщенные научно обоснованные рекомендации по назначению режимов резания, характеристик круга и т.д. Поэтому целью настоящей работы является оценка технологических возможностей процесса глубинного шлифования быстрорежущей стали P18 алмазным кругом 1A1 75x6x20x6 ЛКВ 100/80 100%.

В работе [1] показано, что максимальная (приведенная вероятностная) толщина среза H_{max} при плоском шлифовании аналитически описывается зависимостью:

$$H_{max} = \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{t} \cdot (1-\eta)^2}{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр} \cdot \sqrt{R_{кр}} \cdot (1+\eta)}}, \quad (1)$$

где \bar{X} – зернистость круга, м; m – объемная концентрация зерен в круге (для 100%-ной концентрации круга $m=100$); γ – половина угла при вершине конусообразного режущего зерна; $V_{дет}$, $V_{кр}$ – соответственно скорости детали и круга, м/с; t – глубина шлифования, м; $R_{кр}$ – радиус круга, м; η – безразмерный параметр, учитывающий степень затупления зерен круга ($\eta \rightarrow 0$ – для острого зерна, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленного зерна).

Используя данную зависимость, установим связь между параметрами процессов многопроходного и глубинного шлифования. Будем считать, что значения параметров \bar{X} , m , γ , η , $V_{кр}$ одинаковы для двух процессов, а значения $V_{дет}$, t и $R_{кр}$ – различны. Обозначим: $V_{дет1}$, t_1 , $R_{кр1}$ – для многопроходного шлифования и $V_{дет2}$, t_2 , $R_{кр2}$ – для глубинного шлифования. Тогда из условия равенства параметра H_{max} для двух процессов, получим:

$$V_{дет1} \cdot \sqrt{\frac{t_1}{R_{кр1}}} = V_{дет2} \cdot \sqrt{\frac{t_2}{R_{кр2}}}. \quad (2)$$

Откуда

$$V_{дет2} = V_{дет1} \cdot \sqrt{\frac{t_1}{t_2} \cdot \frac{R_{кр2}}{R_{кр1}}}. \quad (3)$$

Задавая значения $V_{дет1}$, t_1 , t_2 , $R_{кр1}$, $R_{кр2}$, по зависимости (3) можно рассчитать скорость детали $V_{дет2}$ при глубинном шлифовании. Пример расчета. Исходные данные: $V_{дет1}=10$ м/мин; $t_1=0,01$ мм; $t_2=1$ мм; $R_{кр1}=150$ мм; $R_{кр2}=37,5$ мм. Подставляя эти значения в зависимость(3), имеем: $V_{дет2}=0,5$ м/мин. Этим показано, что если оптимальными условиями многопроходного шлифования являются указанные выше значения $V_{дет1}$ и t_1 , то при глубинном шлифовании ($t_2=1$ мм) тем же алмазным кругом скорость детали необходимо принимать равной $V_{дет2}=0,5$ м/мин. В данном случае для двух рассматриваемых процессов шлифования максимальная (приведенная вероятностная) толщина среза H_{max} и соответственно нагрузка, действующая на максимально выступающее из связки круга зерно, будут одинаковыми. Следовательно, алмазный круг будет изнашиваться с одной интенсивностью при многопроходном и глубинном шлифовании. При этом удельная производительность обработки $Q_{уд} = V_{дет} \cdot t$ в условиях глубинного шлифования будет в 5 раз больше, чем при многопроходном шлифовании. Собственно, в этом и состоит эффект глубинного шлифования.

Оценим уровень теплонапряженности двух процессов шлифования, используя аналитическую зависимость для определения температуры θ [2]:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot z, \quad (4)$$

где $\sigma = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{K_{ш}}$ – условное напряжение резания при шлифовании, Н/м² [1];

$\sigma_{сж}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м²; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования; P_z , P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; z – относительная величина температуры.

Относительная величина температуры z определяется из уравнения:

$$\bar{l}_1 = \frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{уд} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} = -\ln(1-z) - z, \quad (5)$$

где \bar{l}_1 – безразмерная величина (рисунок); λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К.

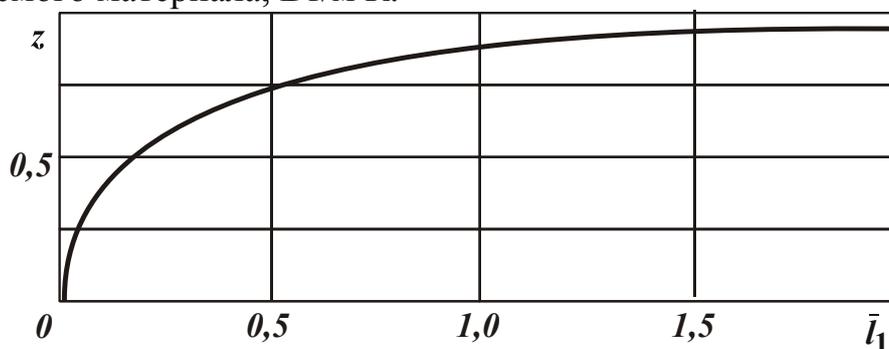


Рисунок. Зависимость z от \bar{l}_1 .

Как следует из рисунка, с увеличением \bar{l}_1 относительная величина температуры z увеличивается, асимптотически приближаясь к единице. Используя данный график, по известной величине \bar{l}_1 можно установить искомое значение z .

Определим значения \bar{l}_1 и z для многопроходного и глубинного шлифования быстрорежущей стали Р18 ($c=0,09$ кал/(г·град); $\rho=8,6$ г/см³; $\lambda=0,058$ кал/(см·с·град); $\sigma_{сж}=36 \cdot 10^8$ Н/м²). Для многопроходного шлифования $\bar{l}_1=0,012$; для глубинного шлифования $\bar{l}_1=0,128$. Используя рисунок, находим значения z : для многопроходного шлифования $z=0,05$; для глубинного шлифования $z=0,424$. Как видно, значения относительной величины температуры z для многопроходного и глубинного шлифования отличаются существенно. Для глубинного шлифования значение z больше, чем для многопроходного шлифования, и приближается к единице, т.е. к состоянию теплового насыщения поверхностного слоя обрабатываемого материала, определяющего установившийся тепловой процесс при шлифовании.

Очевидно, температура θ , описываемая зависимостью (4) и изменяющаяся по закону изменения z при глубинном шлифовании будет больше, чем при многопроходном шлифовании. Расчетами установлено, что при глубинном шлифовании ($K_{ш}=0,5$) температура $\theta=1868,1^{\circ}\text{C}$, при многопроходном шлифо-

вании $\theta=220,3^{\circ}\text{C}$. Уменьшить температуру θ при глубинном шлифовании для указанных параметров V_{dem2} , t_2 , R_{kp2} можно лишь за счет уменьшения условного напряжения резания σ , т.е. за счет увеличения коэффициента шлифования $K_{ш} = P_z / P_y$. Однако, как известно, коэффициент шлифования изменяется в относительно небольших пределах – $0,1 \dots 1,0$. Поэтому основной путь уменьшения температуры шлифования – обильное охлаждение зоны обработки. Это обусловлено тем, что зависимость (4) получена с учетом количества тепла, уходящего в стружку и обрабатываемую деталь. Тепло, уходящее в охлаждающую жидкость, в расчетах не учитывалось. Но его укрупнено можно учесть поправочным коэффициентом k_{θ} . Тогда зависимость (4) примет вид:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot z \cdot k_{\theta} . \quad (6)$$

Чем меньше коэффициент k_{θ} , т.е. чем меньше тепла уходит в стружку и обрабатываемую деталь и больше – в охлаждающую жидкость, тем меньше будет температура шлифования θ .

С целью проверки теоретических результатов были проведены экспериментальные исследования процесса вышлифовки канавки глубиной 3,6 мм алмазным кругом 1А1 75х6х20х6 ЛКВ 100/80 100% при изготовлении концевой шестиперой фрезы $\varnothing 24$ мм из быстрорежущей стали Р18 на станке GEMINI. Вышлифовка канавки производилась за четыре прохода круга с параметрами режима шлифования: $V_{dem2}=0,5$ м/мин, $V_{kp}=15,7$ м/с и $t_2=1$ мм при обильном охлаждении зоны обработки (путем распыления охлаждающей жидкости). Однако, как установлено экспериментально, на обрабатываемых поверхностях появлялись прижоги, что свидетельствует о высоком уровне температуры шлифования и достоверности полученных расчетных данных по температуре шлифования θ . Для исключения прижогов и обеспечения высокого качества обработки скорость детали V_{dem2} была уменьшена до значения 0,1 м/мин. В этом случае безразмерная величина \bar{l}_1 уменьшилась до значения 0,0256, а относительная величина температуры z – до значения 0,21. Температура шлифования θ принимает значение $925,3^{\circ}\text{C}$, что ниже критической температуры, при которой на обрабатываемых поверхностях появляются прижоги. Удельная производительность глубинного и многопроходного шлифования приблизительно равны. В таблице приведены расчетные значения параметров \bar{l}_1 , z и θ для $V_{dem2}=0,05-0,1$ м/мин, т.е. для скоростей детали, при которых гарантированно исключается образование прижогов на обрабатываемых поверхностях.

Таблица

Расчетные значения параметров \bar{l}_1 , z и θ

V_{dem2} , м/мин	0,05	0,08	0,1
\bar{l}_1	0,0128	0,02	0,0256
z	0,14	0,19	0,21
$\theta^{\circ}\text{C}$	616,8	837,1	925,3

Таким образом показано, что температурный фактор является существенным препятствием реализации высоких технологических возможностей высокопроизводительного алмазного шлифования и требует проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Литература: 1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 2. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Расчет температуры шлифования с учетом движения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали. – Физические и компьютерные технологии. – Труды 12-й Международной научно-технической конференции, 7-8 июня 2006г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2006. – С. 105–111. 3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 10. “Концепции развития технологии машиностроения” – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ КРУГЛОМ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Ковальчук А. Н. (г. Харьков, Украина)

The theoretical analysis of parameters of accuracy of processing is carried out at round in carved grinding.

Повышение точности обработки на операциях шлифования является важной научно-практической задачей. Ее решению посвящены многочисленные работы. Так, проф. Якимовым А.В., Новиковым Ф.В. и Новиковым Г.В. [1, 2, 3] разработан теоретический подход к аналитическому описанию погрешности размера обработки при шлифовании на основе баланса перемещений в технологической системе. Поэтому оценим возможности данного подхода применительно к круглому врезному шлифованию.

Уравнение баланса перемещений в технологической системе (рис. 1):

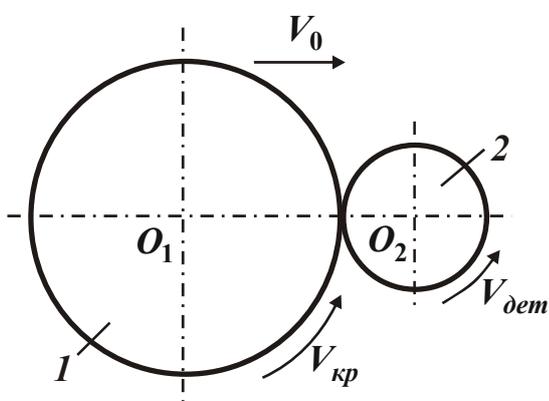


Рис. 1. Расчетная схема круглого врезного шлифования: 1 – шлифовальный круг; 2 – обрабатываемая деталь.

$$\int_0^{\tau} V(\tau) \cdot d\tau + \delta = V_0 \cdot \tau, \quad (1)$$

где $V(\tau)$ – линейная скорость съема припуска, м/с; V_0 – скорость радиальной подачи шлифовального круга, м/с; τ – время обработки, с; δ – величина упругого перемещения, возникающего в технологической системе, м.

Правая часть уравнения (1) определяет длину пути, пройденного шлифовальным кругом в направлении радиальной подачи в процессе съема припуска. Первое слагаемое в левой части уравне-

ния определяет величину снятого припуска, а второе слагаемое – величину упругого перемещения δ , которая может быть аналитически описана зависимостью [1]:

$$\delta = \frac{P_y}{c} = \frac{P_z}{c \cdot K_{ш}} = \frac{\sigma \cdot S_{мгн}}{c \cdot K_{ш}} = \frac{\sigma \cdot Q_{\phi}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} = \frac{\sigma \cdot F \cdot V(\tau)}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} = B \cdot V(\tau), \quad (2)$$

где P_z, P_y – соответственно тангенциальная и радиальная составляющие силы резания при шлифовании, Н; c – приведенная жесткость технологической системы в радиальном направлении, Н/м; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коэффициент шлифования, равный отношению тангенциальной и радиальной составляющих силы резания; σ – условное напряжение резания при шлифовании, Н/м²; $S_{мгн} = Q_{\phi} / V_{кр}$ – суммарная мгновенная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга, м²; $Q_{\phi} = F \cdot V(\tau)$ – фактическая производительность обработки, м³/с; $F = \pi \cdot D_{дет} \cdot H$ – площадь обрабатываемой поверхности, м²; $D_{дет}, H$ – соответственно диаметр и длина обрабатываемой детали, м; $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; $B = \frac{\sigma}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot F$ – постоянная

времени образования упругого перемещения в технологической системе, с.

Подставим зависимость (2) в уравнение (1):

$$\int_0^{\tau} V(\tau) \cdot d\tau + B \cdot V(\tau) = V_0 \cdot \tau. \quad (3)$$

В итоге пришли к интегральному уравнению, в котором неизвестной функцией является $V(\tau)$. Для упрощения решения уравнения (3) продифференцируем его левую и правую части по времени τ :

$$\frac{dV(\tau)}{d\tau} + \frac{1}{B} \cdot V(\tau) = \frac{1}{B} \cdot V_0. \quad (4)$$

Решение дифференциального уравнения для начального условия $V(\tau = 0) = 0$:

$$V(\tau) = \left[\int d\tau \cdot \frac{V_0}{B} \cdot e^{\int \frac{1}{B} \cdot d\tau} + C_1 \right] \cdot e^{-\int \frac{1}{B} \cdot d\tau} = V_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau} \right), \quad (5)$$

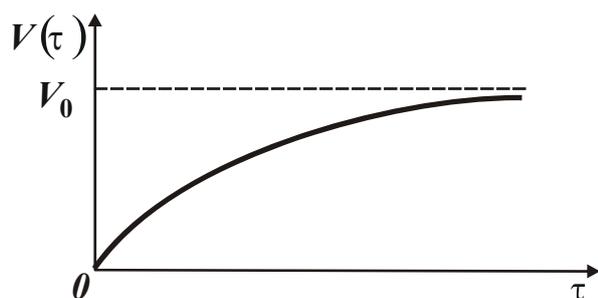


Рис. 2. Зависимость $V(\tau)$ от τ .

где C_1 – постоянная интегрирования, определяется из начального условия.

С увеличением τ функция $V(\tau)$ увеличивается, асимптотически приближаясь к значению V_0 , рис. 2. По такому же закону изменяется и величина упругого перемещения δ , определяемая зависимостью (2):

$$\delta = B \cdot V_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau} \right) = \delta_{уст} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Pi}{\delta_{уст}}} \right), \quad (6)$$

где $\delta_{уст} = B \cdot V_0$ – величина упругого перемещения, возникающего в технологической системе в установившемся во времени процессе шлифования, м;
 $\Pi = V_0 \cdot \tau$ – текущее значение снимаемого припуска, м.

Таблица 1

Расчетные значения δ и $\delta / \delta_{уст}$

Π , мм	0,02	0,05	0,1	0,15
δ , мм	0,0165	0,031	0,043	0,04974
$\delta / \delta_{уст}$	0,33	0,62	0,86	0,9946

Характер изменения величины упругого перемещения δ от снимаемого припуска Π для $\delta_{уст} = 0,05$ мм показан на рис. 3 и в табл. 1. При $\Pi = 0,15$ мм, т.е. при $\Pi / \delta_{уст} = 3$, отношение $\delta / \delta_{уст}$ практически равно единице (0,9946).

Следовательно, неустановившийся процесс съема припуска при шлифовании

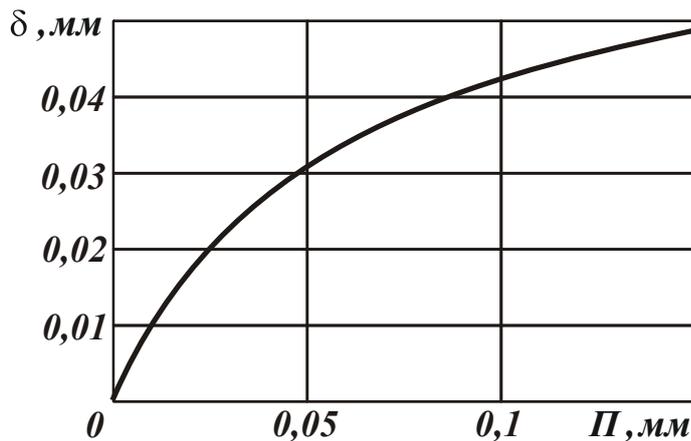


Рис. 3. Зависимость δ от Π .

имеет место при условии $\Pi / \delta_{уст} < 3$. При условии $\Pi / \delta_{уст} \geq 3$ с достаточной для практики точностью процесс съема припуска можно рассматривать установившимся.

Как следует из рис. 3, с увеличением величины снимаемого припуска Π величина упругого перемещения δ непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к значению $\delta_{уст}$.

Чтобы уменьшить величину δ до требуемого значения, необходимо после перехода чернового шлифования выполнить переход выхаживания, который математически описывается уравнением (3) при условии, что правая часть уравнения равна заданному значению величины упругого перемещения δ_1 (натягу в технологической системе, образованному в конце перехода чернового шлифования), т.е.

$$\int_0^{\tau} V(\tau) \cdot d\tau + B \cdot V(\tau) = \delta_1. \quad (7)$$

После дифференцирования по времени τ левой и правой частей уравнения (7), приходим к дифференциальному уравнению:

$$\frac{dV(\tau)}{d\tau} + \frac{1}{B} \cdot V(\tau) = 0. \quad (8)$$

Его решение для начального условия $\delta(\tau = 0) = \delta_1$:

$$V(\tau) = \frac{\delta_1}{B} \cdot e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau}, \quad \delta(\tau) = \delta_1 \cdot e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau}. \quad (9)$$

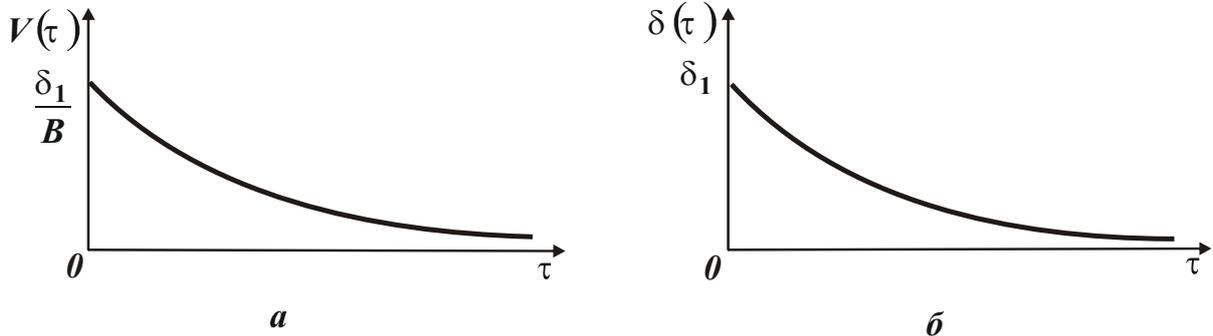


Рис. 4. Характер изменения функций $V(\tau)$ и $\delta(\tau)$ с течением времени обработки τ .

С увеличением τ функции $V(\tau)$ и $\delta(\tau)$ уменьшаются по экспоненциальному закону, рис. 4. Следовательно, упругое перемещение δ_1 , образующееся на переходе чернового шлифования при круглом врезном шлифовании со скоростью радиальной подачи V_0 , можно уменьшить до требуемого значения на переходе выхаживания. Для этого необходимо в технологической системе создать начальный натяг, равный величине δ_1 .

Оценим основное время обработки на операции круглого врезного шлифования, включающей переход чернового шлифования (с заданной скоростью радиальной подачи V_0) и переход выхаживания ($V_0 = 0$, начальный натяг в технологической системе равен δ_1). Характер изменения функций $V(\tau)$ и $\delta(\tau)$ с течением времени обработки τ на указанных переходах показан на рис. 5 (τ_1 – длительность перехода чернового шлифования, τ_2 – длительность перехода выхаживания). Как видно, с увеличением времени обработки на переходе чернового шлифования функции $V(\tau)$ и $\delta(\tau)$ увеличиваются, а на переходе выхаживания – уменьшаются.

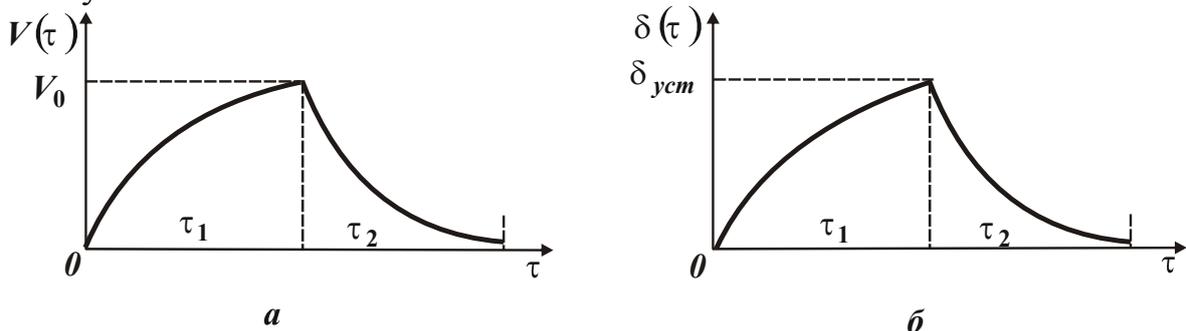


Рис. 5. Характер изменения функций $V(\tau)$ и $\delta(\tau)$ с течением времени обработки τ .

Длительность перехода чернового шлифования τ_1 равна:

$$\tau_1 = \frac{\Pi}{V_0}, \quad (10)$$

где Π – величина снимаемого припуска, м.

Длительность перехода выхаживания τ_2 определяется зависимостью (9):

$$\tau_2 = B \cdot \ln \frac{\delta_1}{\delta_0}, \quad (11)$$

где δ_0 – заданная точность размера обрабатываемой поверхности, м.

Тогда основное время обработки $\tau = \tau_1 + \tau_2$ равно:

$$\tau = \frac{\Pi}{V_0} + B \cdot \ln \frac{\delta_1}{\delta_0}. \quad (12)$$

Величина упругого перемещения δ_1 определяется зависимостью (6), рассматривая в ней $\delta = \delta_1$. Скорость радиальной подачи V_0 связана с величиной $\delta_{уст}$ соотношением $\delta_{уст} = B \cdot V_0$. С учетом этого, зависимость (12) опишется:

$$\tau = B \cdot \left[\frac{\Pi}{\delta_{уст}} + \ln \left[\frac{\delta_{уст}}{\delta_0} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Pi}{\delta_{уст}}} \right) \right] \right]. \quad (13)$$

Для удобства анализа зависимость (13) представим в виде:

$$\tau = B \cdot (\bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2), \quad (14)$$

где $\bar{\tau}_1 = \frac{\Pi}{\delta_{уст}};$ $\bar{\tau}_2 = \ln \left[\frac{\delta_{уст}}{\delta_0} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Pi}{\delta_{уст}}} \right) \right].$

Используя зависимость (14), рассчитаны значения безразмерных параметров $\bar{\tau}_1$, $\bar{\tau}_2$ и $\bar{\tau} = \bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2$ для различных значений $\delta_{уст}$ и δ_0 при $\Pi = 0,5$ мм, которые приведены в табл. 2 и на рис. 6.

Таблица 2

Расчетные значения безразмерных параметров $\bar{\tau}_1$, $\bar{\tau}_2$ и $\bar{\tau} = \bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2$

	$\delta_{уст},$ мм	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\delta_0 = 0,01$ мм	$\bar{\tau}_1$	50	25	10	5	2,5	1,67	1,25	1
	$\bar{\tau}_2$	0	0,7	1,61	2,3	2,91	3,19	3,35	3,45
	$\bar{\tau}$	50	25,7	11,61	7,3	5,41	4,86	4,6	4,45
$\delta_0 = 0,05$ мм	$\bar{\tau}_2$	0,69	1,38	2,31	3	3,6	3,89	4	4,1
	$\bar{\tau}$	50,69	26,38	12,31	8	6,1	5,56	5,25	5,1
$\delta_0 = 0,02$ мм	$\bar{\tau}_2$	1,61	2,31	3,22	3,91	4,5	4,8	4,9	5,0
	$\bar{\tau}$	51,61	27,31	13,22	8,91	7	6,47	6,15	6

Как видно, с увеличением величины $\delta_{уст}$ безразмерное основное время обработки $\bar{\tau}$ уменьшается, причем, более интенсивно в диапазоне $\delta_{уст} = 0,01 \dots 0,1$ мм. Это указывает на то, что переход черного шлифования эффективно производить при значениях $\delta_{уст} = 0,1 \dots 0,5$ мм. С увеличением величины δ_0 , определяющей точность размера обработанной поверхности, безразмерное основное время обработки $\bar{\tau}$ увеличивается, однако не значительно.

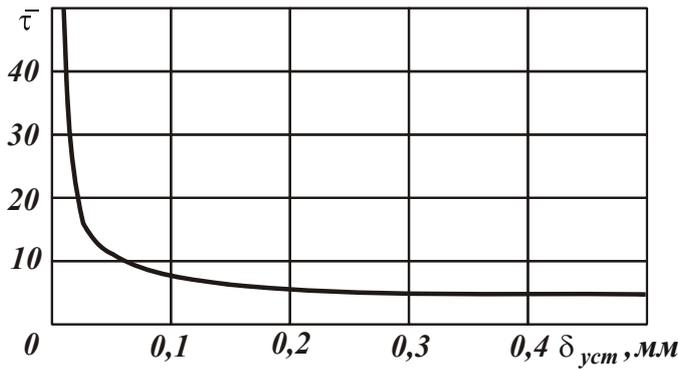


Рис. 6. Зависимость $\bar{\tau}$ от $\delta_{уст}$ для $\delta_0 = 0,01$ мм.

Это связано с несущественным увеличением параметра $\bar{\tau}_2$, определяющего продолжительность перехода выхаживания.

На переходе черного шлифования величина упругого перемещения δ_1 аналитически описывается зависимостью (6) при условии $\delta = \delta_1$:

$$\delta_1 = \delta_{уст} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Pi}{\delta_{уст}}} \right). \quad (15)$$

Используя данную зависимость, рассчитаны значения величины δ_1 и отношения $\delta_1 / \delta_{уст}$ для $\Pi = 0,5$ мм, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения $\Pi / \delta_{уст}$, δ_1 , $\delta_1 / \delta_{уст}$, δ_1 / Π

$\delta_{уст}$, мм	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\Pi / \delta_{уст}$	50	25	10	5	2,5	1,67	1,25	1
δ_1 , мм	0,0099	0,019	0,0499	0,0993	0,183	0,243	0,289	0,316
$\delta_1 / \delta_{уст}$	0,9999	0,9999	0,999	0,993	0,918	0,812	0,713	0,632
δ_1 / Π	0,0198	0,0398	0,0998	0,1986	0,366	0,486	0,578	0,632

Как следует из табл. 3, при относительно небольших значениях $\delta_{уст} = 0,01 \dots 0,05$ мм отношение $\delta_1 / \delta_{уст}$ равно приблизительно единице, т.е. значение δ_1 приближается к значению $\delta_{уст}$ (рис. 3 для случая $\delta = \delta_1$). При $\delta_1 > 0,1$ мм наблюдается достаточно существенное расхождение значений δ_1 и $\delta_{уст}$. Так, при $\delta_{уст} = 0,5$ мм отношение $\delta_1 / \delta_{уст} = 0,632$. Такое же значение принимает отношение δ_1 / Π при $\delta_{уст} = 0,5$ мм. Это свидетельствует о том, что переход черного шлифования протекает в неустановившемся режиме. Чтобы перейти от неустановившегося режима к установившемуся, на практике перед переходом черного шлифования производится ускоренное врезание шлифовального круга в обрабатываемую деталь с целью создания в технологической системе начального натяга, равного $\delta_1 = \delta_{уст}$. В этом случае характер изменения функций $V(\tau)$ и $\delta(\tau)$ с течением времени обработки (рис. 5), приобретает вид, показанный на рис. 7. Основное время обработки τ , определяемое зависимостью (12), выражается:

$$\tau = B \cdot \left(\frac{\Pi - \delta_{уст}}{\delta_{уст}} + \ln \frac{\delta_{уст}}{\delta_0} \right) \quad \text{или} \quad \bar{\tau} = \bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2, \quad (16)$$

где $\bar{\tau} = \frac{\tau}{B}$; $\bar{\tau}_1 = \frac{\Pi - \delta_{уст}}{\delta_{уст}}$; $\bar{\tau}_2 = \ln \frac{\delta_{уст}}{\delta_0}$.

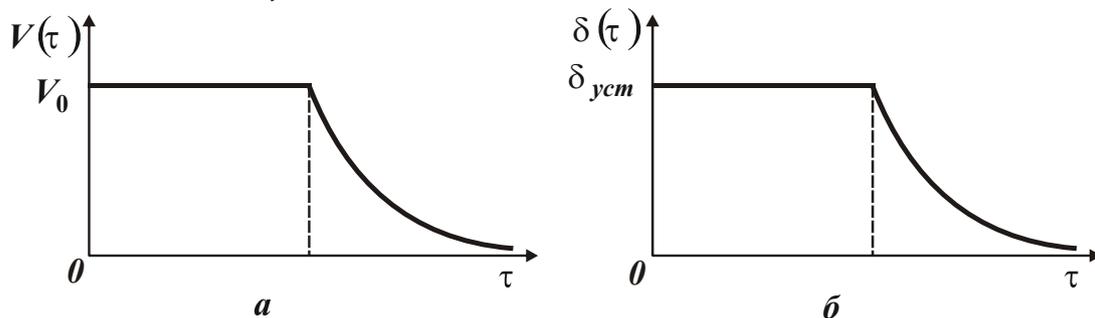


Рис. 7. Зависимости функций $V(\tau)$ и $\delta(\tau)$ от времени обработки τ .

Таблица 4

Расчетные значения безразмерных параметров $\bar{\tau}_1$, $\bar{\tau}_2$ и $\bar{\tau} = \bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2$

$\delta_{уст}$, мм		0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\delta_0=0,01$ мм	$\bar{\tau}_1$	49	24	9	4	1,5	0,67	0,25	0
	$\bar{\tau}_2$	0	0,7	1,61	2,31	3	3,4	3,69	3,92
	$\bar{\tau}$	49	24,7	10,61	6,31	4,5	4,07	3,94	3,92
$\delta_0=0,05$ мм	$\bar{\tau}_2$	0,69	1,38	2,31	3	3,69	4,1	4,4	4,6
	$\bar{\tau}$	49,69	25,38	11,31	7	5,19	4,77	4,65	4,6
$\delta_0=0,02$ мм	$\bar{\tau}_2$	1,61	2,31	3,22	3,91	4,6	5	5,3	5,5
	$\bar{\tau}$	50,61	26,31	12,22	7,91	6,1	5,67	5,55	5,5

В табл. 4 приведены рассчитанные по зависимости (16) значения безразмерных параметров $\bar{\tau}_1$, $\bar{\tau}_2$ и $\bar{\tau} = \bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2$ для различных значений $\delta_{уст}$ и δ_0 при $\Pi=0,5$ мм. Сравнивая приведенные в табл. 4 значения безразмерных параметров $\bar{\tau}_1$, $\bar{\tau}_2$ и $\bar{\tau} = \bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2$ с аналогичными значениями указанных параметров, приведенных в табл. 2, видно, что они несколько отличаются, в большей степени для $\delta_{уст}=0,01 \dots 0,05$ мм. Это указывает на то, что создание начального натяга в технологической системе, равного $\delta_1 = \delta_{уст}$, на переходе чернового шлифования позволяет несущественно уменьшить основное время обработки операции круглого врезного шлифования.

Аналитическое описание и теоретический анализ погрешности формы обрабатываемой детали на переходе чернового шлифования. При шлифовании необходимо обеспечить как требуемую точность размера обрабатываемой поверхности, так и требуемую точность формы обрабатываемой детали. Поэтому аналитически опишем погрешность формы обрабатываемой детали на основе уравнения баланса перемещений в технологической системе и определим условия уменьшения при шлифовании исходной погрешности формы обрабатываемой детали Δ_u до заданного значения Δ . Математически задача сводится к определению разности величин упругих перемещений δ_1 и δ_2 , возникающих в технологической системе, при одновременном съеме двух “условных” припусков, удаленных в направлении радиальной подачи шлифовального круга на расстояние Δ . На рис. 8 показан характер изменения величин упругих

перемещений δ_1 и δ_2 с течением времени обработки τ . Параметр τ_ϕ (рис. 8) определяет время начала съема второго “условного” припуска, удаленного от первого на расстояние Δ , т.е. τ_ϕ – это время съема припуска, равного величине исходной погрешности формы обрабатываемой детали. Величины δ_1 и δ_2 , исходя из зависимости (6), могут быть описаны зависимостями:

$$\delta_1 = B \cdot V_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau} \right), \quad \delta_2 = B \cdot V_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{B} \cdot (\tau - \tau_\phi)} \right). \quad (17)$$

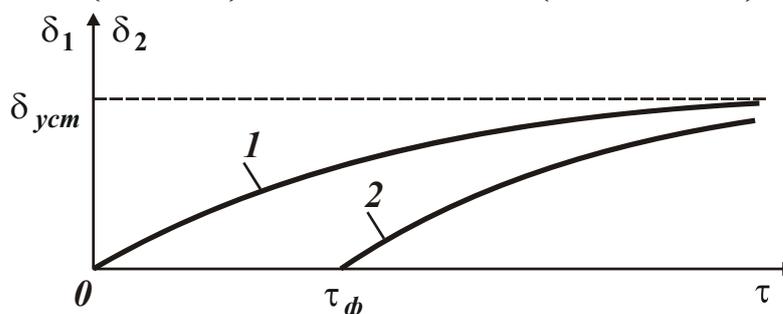


Рис. 8. Зависимости величин δ_1 (1) и δ_2 (2) от времени обработки τ .

Разность величин $\delta_1 - \delta_2$, определяющая погрешность формы обрабатываемой детали, после несложных преобразований выражается:

$$\delta_1 - \delta_2 = B \cdot V_0 \cdot e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau} \cdot \left(e^{\frac{1}{B} \cdot \tau_\phi} - 1 \right). \quad (18)$$

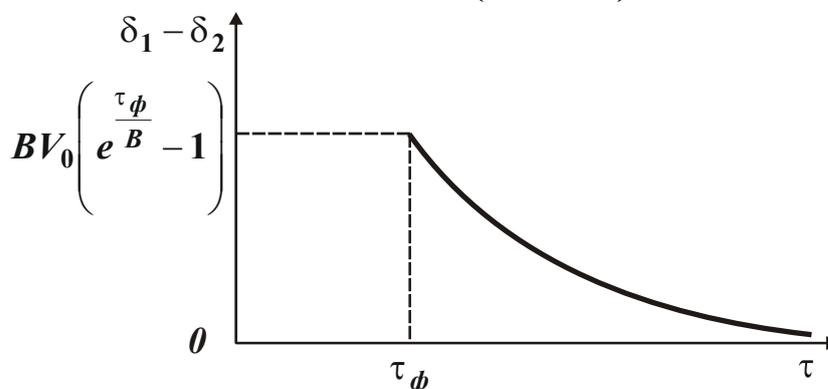


Рис. 9. Зависимость $\delta_1 - \delta_2$ от τ .

Как видно, уменьшить разность величин $\delta_1 - \delta_2$ можно за счет увеличения времени обработки τ (рис. 9) и уменьшения параметров B и V_0 . Чем больше исходная погрешность формы обрабатываемой детали, определяемая временем τ_ϕ , тем больше должно быть время обработки τ и меньше параметры B и V_0 . Увеличение времени обработки τ предполагает увеличения величины снимаемого припуска $\Pi = V_0 \cdot \tau$. Таким образом показано, что на переходе черного шлифования с постоянной скоростью радиальной подачи V_0 за счет реализации неустановившегося процесса съема припуска можно исправить погрешность формы обрабатываемой детали до определенной величины.

Установим суммарное уточнение $\varepsilon_{\text{сум}}$, равное отношению погрешности формы заготовки (т.е. исходной погрешности) к погрешности формы обрабатываемой детали. Исходная погрешность формы, как следует из рис. 8, равна величине упругого перемещения δ_1 при условии $\tau = \tau_\phi$. С учетом зависимости (17) величина δ_1 при условии $\tau = \tau_\phi$ выразится:

$$\delta_1(\tau = \tau_\phi) = B \cdot V_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau_\phi} \right). \quad (19)$$

Суммарное уточнение $\varepsilon_{\text{сум}}$ с учетом зависимостей (18) и (19) примет вид:

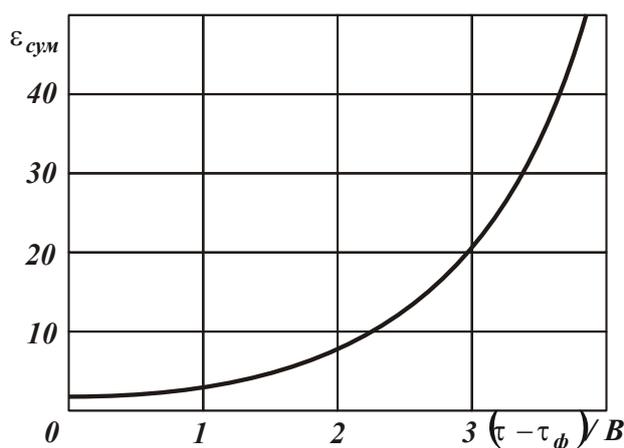


Рис. 10. Зависимость $\varepsilon_{\text{сум}}$ от $(\tau - \tau_\phi) / B$.

$$\varepsilon_{\text{сум}} = \frac{\delta_1(\tau_\phi)}{(\delta_1 - \delta_2)} = e^{\frac{1}{B}(\tau - \tau_\phi)}. \quad (20)$$

Как видно, суммарное уточнение $\varepsilon_{\text{сум}}$ тем больше, чем больше время обработки τ (рис. 10, табл. 5) и меньше параметр B . Следовательно, увеличивая время обработки τ за счет увеличения величины снимаемого припуска $\Pi = V_0 \cdot \tau$ или уменьшения скорости радиальной подачи V_0 , можно реализовать относительно большие значения суммарного уточнения $\varepsilon_{\text{сум}}$.

ного уточнения $\varepsilon_{\text{сум}}$.

Таблица 5

Расчетные значения суммарного уточнения $\varepsilon_{\text{сум}}$

$(\tau - \tau_\phi) / B$	0	1	2	3	4	5	6	7
$\varepsilon_{\text{сум}}$	1	2,71	7,39	20	54,6	148,4	403,4	1096,6

Проведем анализ закономерностей изменения погрешности формы обрабатываемой детали при круглом врезном шлифовании со скоростью радиальной

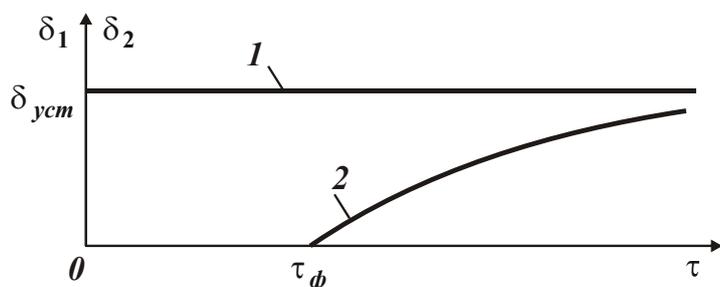


Рис. 11. Зависимости величин δ_1 (1) и δ_2 (2) от времени обработки τ .

подачи V_0 и созданным в технологической системе начальным натягом $\delta_{\text{уст}}$, рис. 11. Величина упругого перемещения δ_1 в этом случае описывается зависимостью $\delta_1 = \delta_{\text{уст}} = B \cdot V_0$, а величина упругого перемещения δ_2 — зависимостью (17). Тогда разность величин $(\delta_1 - \delta_2)$ определится:

$$\delta_1 - \delta_2 = B \cdot V_0 \cdot e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau} \cdot e^{\frac{1}{B} \cdot \tau_\phi} \quad (21)$$

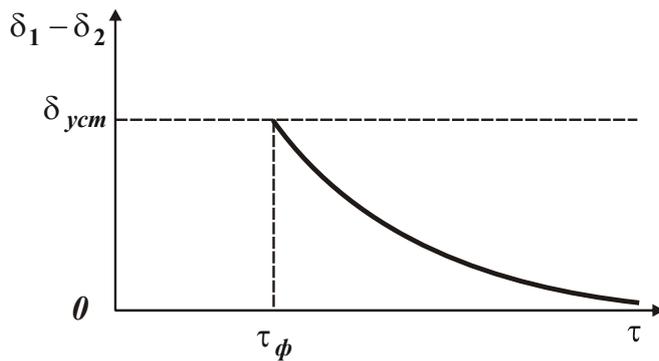


Рис. 12. Зависимость $\delta_1 - \delta_2$ от τ .

С течением времени обработки τ разность величин $(\delta_1 - \delta_2)$ уменьшается по экспоненциальному закону, рис. 12. Сравнивая зависимости (18) и (21), видно, что в первом случае разность величин $(\delta_1 - \delta_2)$ меньше. Это указывает на то, что с точки зрения уменьшения погрешности формы обрабатываемой детали, целесообразно переход

чернового шлифования осуществлять в неустановившемся режиме. Создание начального натяга в технологической системе на переходе чернового шлифования ведет к некоторому снижению интенсивности исправления погрешности формы обрабатываемой детали. Определим суммарное уточнение ε для второго случая (рис. 11):

$$\varepsilon_{\text{сум}} = \frac{\delta_{\text{уст}}}{(\delta_1 - \delta_2)} = e^{\frac{1}{B}(\tau - \tau_\phi)} \quad (22)$$

В итоге пришли к зависимости, идентичной зависимости (20). Это свидетельствует об отсутствии принципиальных отличий в механизме формирования погрешности формы обрабатываемой детали на переходе чернового шлифования с начальным натягом в технологической системе $\delta_{\text{уст}}$ (рис. 9) и без начального натяга (рис. 8). В двух рассмотренных случаях суммарное уточнение $\varepsilon_{\text{сум}}$ определяется, по сути, отношением τ / B . Чем больше это отношение, тем больше $\varepsilon_{\text{сум}}$. Очевидно, эффективнее уменьшать параметр B , т.к. увеличение времени обработки τ предполагает уменьшение производительности обработки. Из зависимости (22) можно определить время обработки τ , обеспечивающее заданное суммарное уточнение $\varepsilon_{\text{сум}}$:

$$\tau = \tau_\phi + B \cdot \ln \varepsilon_{\text{сум}} \quad (23)$$

Необходимо отметить, что добиться заданного значения погрешности формы обрабатываемой детали (с учетом ограничения по производительности обработки) можно также за счет применения перехода выхаживания и многопереходной обработки при шлифовании, уменьшая скорость радиальной подачи на переходах по определенному закону.

Оценка технологических возможностей исправления погрешности формы обрабатываемой детали на переходе выхаживания. При выхаживании, как показано выше, величина упругого перемещения $\delta(\tau)$ описывается зависимостью (9). Предположим, что исходная погрешность формы обрабатываемой детали равна $(\delta_{1\text{нач}} - \delta_{2\text{нач}})$. В отличие от перехода чернового шлифования, реализуемого по жесткой схеме со скоростью радиальной подачи V_0 , на

переходе выхаживания реализуется упругая схема обработки и поэтому время τ_ϕ (рис. 8, рис. 11) будет равно нулю. Тогда величины упругих перемещений δ_1 и δ_2 при обработке двух наиболее удаленных друг от друга участков поверхности, исходя из зависимости (9), определяются:

$$\delta_1 = \delta_{1нач} \cdot e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau}; \quad \delta_2 = \delta_{2нач} \cdot e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau}. \quad (24)$$

Разность величин $(\delta_1 - \delta_2)$, определяющая погрешность формы обрабатываемой детали, равна:

$$(\delta_1 - \delta_2) = (\delta_{1нач} - \delta_{2нач}) \cdot e^{-\frac{1}{B} \cdot \tau}. \quad (25)$$

Как видно, уменьшить разность величин $(\delta_1 - \delta_2)$ для заданного значения $(\delta_{1нач} - \delta_{2нач})$, определяющего исходную погрешность формы обрабатываемой детали, можно за счет увеличения времени обработки τ и уменьшения параметра B . Отношение $\frac{(\delta_{1нач} - \delta_{нач})}{(\delta_1 - \delta_2)}$ равно суммарному уточнению $\varepsilon_{сум}$:

$$\varepsilon_{сум} = \frac{(\delta_{1нач} - \delta_{нач})}{(\delta_1 - \delta_2)} = e^{\frac{1}{B} \cdot \tau}. \quad (26)$$

Суммарное уточнение $\varepsilon_{сум}$ тем больше, чем больше отношение τ / B , рис. 13. Причем, наиболее интенсивно увеличивается суммарное уточнение $\varepsilon_{сум}$ при увеличенных значениях τ / B .

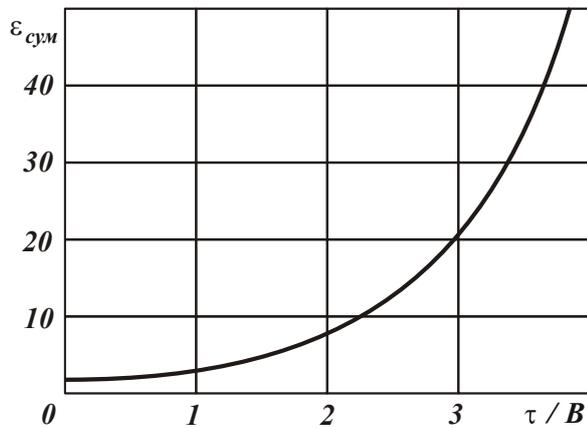


Рис. 13. Зависимость $\varepsilon_{сум}$ от τ / B .

Анализируя зависимости (22) и (20) можно сделать вывод, что переход выхаживания по сравнению с переходом черного шлифования позволяет реализовать большие значения суммарного уточнения $\varepsilon_{сум}$. Это свидетельствует о значительных технологических возможностях перехода выхаживания в плане исправления погрешности формы обрабатываемой детали.

Из зависимости (26) можно определить время обработки τ , обеспечивающее заданное суммарное уточнение $\varepsilon_{сум}$:

$$\tau = B \cdot \ln \varepsilon_{сум}. \quad (27)$$

Для сравнения оценим возможности обеспечения заданной точности размера обработанной поверхности δ_1 на переходе выхаживания. Для этого зависимость (24) представим в виде:

$$\frac{\delta_{1нач}}{\delta_1} = e^{\frac{1}{B} \cdot \tau}. \quad (28)$$

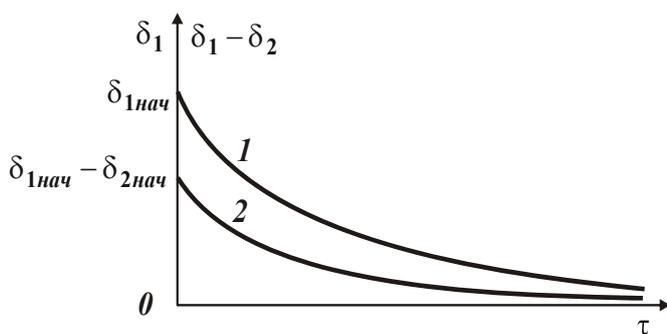


Рис. 14. Зависимость δ_1 (1) и $\delta_1 - \delta_2$ (2) от τ .

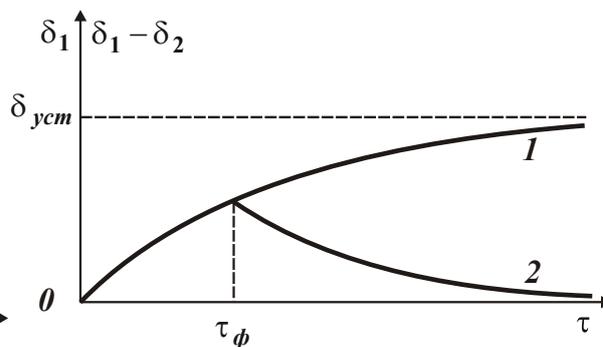


Рис. 15. Зависимость δ_1 (1) и $\delta_1 - \delta_2$ (2) от τ .

Как видно, отношение исходной погрешности размера обрабатываемой поверхности $\delta_{1нач}$ к заданной погрешности размера δ_1 вполне однозначно определяется отношением τ / B . Следовательно, на переходе выхаживания одновременно происходит исправление погрешности формы и погрешности размера обрабатываемой поверхности, рис. 14. На переходе черного шлифования, реализуемого по жесткой схеме, как показано выше, происходит лишь исправление погрешности формы. Погрешность размера обрабатываемой поверхности, обусловленная возникающими в технологической системе упругими перемещениями, при этом непрерывно увеличивается по закону, описываемому зависимостью (6), рис. 15. Этим можно объяснить широкое применение на практике схемы выхаживания для решения задач повышения точности обработки на различных финишных операциях.

Литература: 1. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 7. "Точность обработки деталей машин" – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с. 3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 10. "Концепции развития технологии машиностроения" – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с. 4. Новиков Ф.В., Ковальчук А.Н. Оптимизация структуры процесса съема припуска при механической обработке. – Вісник НТУ"ХП". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – Харків: НТУ "ХП". – 2005. – № 37. – С. 169-176.

УДК 621.923

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПЛАСТИН АТПМ ПОСЛЕ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Руднев А. В. (г. Харьков, Украина)

In article some features of grinding fine-grained diamond-set hard metal alloy are considered.

Как было отмечено ранее [1], имея положение о постоянстве соотношения средних квадратических отклонений микронеровностей обработанной поверхности и приведенного суммарного профиля круга σ_2/σ_1 для любых условий шлифования можно прогнозировать потенциальную шероховатость обработан-

ной поверхности, либо по заданной шероховатости управлять условиями обработки. Условия обработки при этом характеризуются совокупным фактором - числом встреч n , который в свою очередь определяется частотой вращения круга ω и продольной подачей S .

В связи с этим были проведены специальные экспериментальные исследования по определению шероховатости поверхности и среднего квадратического отклонения приведенного суммарного профиля σ_1 для пластин АТПМ при различных режимах обработки.

Проводилось две серии экспериментов: по определению среднего квадратического отклонения приведенного суммарного профиля σ_1 при различных режимах обработки и по определению шероховатости поверхности при тех же режимах.

В первой серии опытов при подготовке эксперимента пластины АТПМ доводились алмазным кругом на бакелитовой связке Б1, имеющим низкую зернистость - 28/20. Затем после разового контакта шлифовального круга с исследуемой доведенной пластиной производилось измерение параметра R_a . После определения параметра R_a приведенного профиля определялось его значение σ_1 по формуле:

$$\sigma_1 = 1,25 \cdot R_a; \quad (1)$$

В работе применялся соответствующий современным требованиям оценки шероховатости обработанной поверхности профилометр- профилограф SURTRONIC 3+ фирмы TAYLOR – HOBSON. Для исследования поверхности пластин после обработки применяли микроскоп МИМ-11.

Результаты обрабатывались с помощью специально написанной программы "Статистика" на объектно-ориентированном языке VisualFoxPro.

В первой серии экспериментов определялось среднее квадратическое отклонение приведенного суммарного приведенного профиля круга σ_1 при обработке пластин АТПМ при различных режимах обработки. Затем по формуле 2 вычисляли значения числа встреч n для каждой скорости резания.

$$n = \frac{b\omega}{S} \quad (2)$$

Зная величины числа встреч n , находим методом интерполяции значения R_σ . Затем, зная значение R_σ , из соотношения $\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = R_\sigma$ находим σ_2 и прогнозируемое значение R_{a2} .

Для проверки правильности расчётов были проведены контрольные испытания. Пластины шлифовались на тех же режимах и затем измерялась шероховатость. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Как видно, экспериментальные значения отличаются от расчётных. Разброс отклонений составляет от 3,54 до 34,77%. Выяснить причину такого расхождения помогли исследования обработанной поверхности режущей части пластин АТПМ с помощью микроскопа МИМ-11. На изображениях поверхности полученных при 256-кратном увеличении, видны «кратеры» - не глубокие (не более 30-40 мкм) вырывы обрабатываемого материала различной площади (рис. 1 – 2).

Расчётные и экспериментальные значения шероховатости

№ п/п	$V_{кр}$, м/с	S_{non} , мм/дв.х	Z , мкм	K , %	Ra_2 , мкм	R_a , мкм	Δ , %
1	35	0,011	142,5	150	0,3805	0,570	33,25
2	15	0,011	142,5	150	0,2674	0,400	33,15
3	35	0,005	142,5	150	0,2991	0,330	9,35
4	15	0,005	142,5	150	0,3398	0,427	20,37
5	35	0,011	45	150	0,1307	0,198	34,00
6	15	0,011	45	150	0,1447	0,220	34,22
7	35	0,005	45	150	0,1336	0,197	32,19
8	15	0,005	45	150	0,1762	0,267	34,02
9	35	0,011	142,5	50	0,2701	0,280	3,54
10	15	0,011	142,5	50	0,1604	0,227	29,22
11	35	0,005	142,5	50	0,1859	0,207	10,06
12	15	0,005	142,5	50	0,1479	0,227	34,77
13	35	0,011	45	50	0,1046	0,155	32,55
14	15	0,011	45	50	0,1227	0,147	16,35
15	35	0,005	45	50	0,1365	0,200	31,75
16	15	0,005	45	50	0,1384	0,133	3,82
17	35	0,008	90	100	0,1743	0,240	27,40
18	15	0,008	90	100	0,1573	0,230	31,61
19	25	0,011	90	100	0,1755	0,265	33,76
20	25	0,005	90	100	0,2119	0,220	3,70
21	25	0,008	142,5	100	0,1755	0,260	32,48
22	25	0,008	45	100	0,1301	0,190	31,50
23	25	0,008	90	150	0,1483	0,173	14,44
24	25	0,008	90	50	0,1150	0,167	30,99

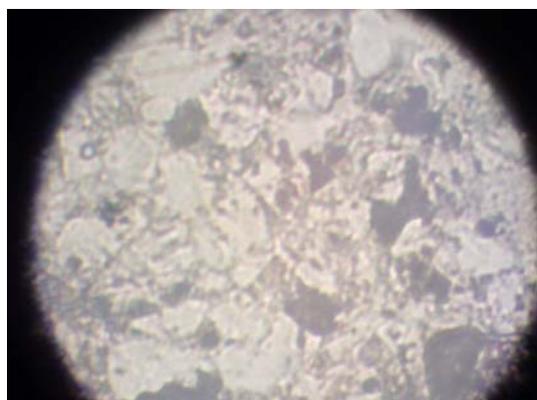


Рис. 1. Поверхность алмазного слоя пластины АТПМ. Условия шлифования: $V=15$ м/с, $S_{non} = 0,005$ мм/дв.ход, круг $z=160/125$, $\kappa=150\%$.

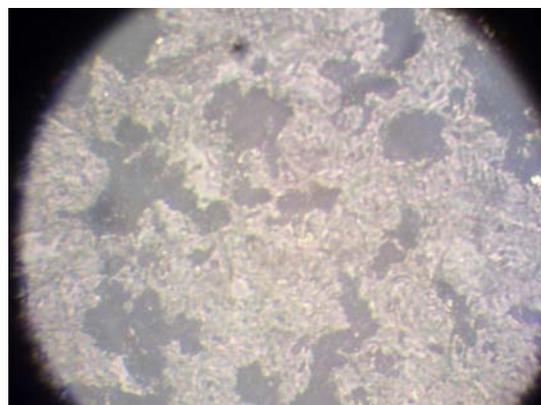


Рис. 2. Поверхность алмазного слоя пластины АТПМ. Условия шлифования: $V=35$ м/с, $S_{non} = 0,011$ мм/дв.ход, круг $z=160/125$, $\kappa=150\%$.

Ранее в работе В.А.Федоровича [2] показано, что для того, чтобы снять слой обрабатываемого алмаза, зёрна круга должны ударить несколько раз по обрабатываемому материалу для появления и роста трещины, которая и приводит к сколу частиц обрабатываемого алмаза (рис. 3). Происходят сколы от части зерна до нескольких зёрен, обрабатываемого материала одновременно, которые мы и видим на фотографиях.

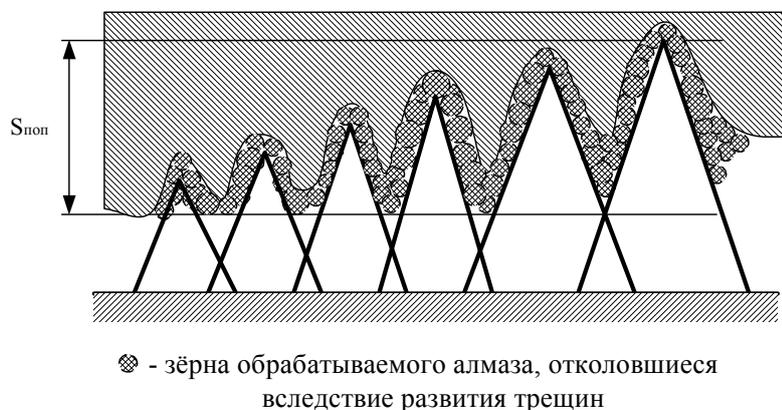


Рис. 3. Схема образования сколов на поверхности пластин АТПМ.

стин из ДСКМ «Томал-10», шлифованных на тех же режимах, близка к расчётным (табл. 2).

Были проведены аналогичные эксперименты для менее твёрдого и прочного инструментального материала, чем мелкозернистые алмазно-твёрдосплавные пластины, каким является двухслойный композиционный материал «Томал-10».

Шероховатость пластин из ДСКМ «Томал-10», шлифованных на тех же режимах, близка к расчётным (табл. 2).

Шероховатость пла-

Таблица 2

Расчётные и экспериментальные значения шероховатости для ДСКМ «Томал-10»

№ П/П	$S_{шп}$, мм/дв.х	Z, мкм	K, %	Ra_2 , мкм	Ra , мкм	Δ , %
1	0,016	50/40	100	0,1472	0,146	-0,82192
2	0,016	100/80	100	0,1656	0,166	0,240964
3	0,016	160/125	100	0,1856	0,192	3,333333
4	0,016	100/80	50	0,1792	0,172	-4,18605
5	0,016	100/80	100	0,1656	0,166	0,240964
6	0,016	100/80	150	0,1200	0,102	-17,6471
7	0,008	100/80	100	0,1360	0,132	-3,0303
8	0,016	100/80	100	0,1656	0,166	0,240964
9	0,024	100/80	100	0,2136	0,224	4,642857

Обработка результатов экспериментов на ЭВМ позволила установить зависимость шероховатости шлифованных поверхностей пластин АТПМ и ДСКМ «Томал-10» от параметров обработки.

Для ДСКМ «Томал-10» получено следующее уравнение регрессии:

$$Ra = 0,160191 \cdot z^{0,215} \cdot k^{-0,38} \cdot S^{0,304}$$

Для АТПМ получено следующее уравнение регрессии:

$$Ra = 0,230 + 0,009X_1 + 0,017X_2 + 0,058X_3 + 0,060X_4 + 0,034X_1^{**2} + + 0,020X_2^{**2} + 0,050X_3^{**2} - 0,060X_4^{**2} + 0,028X_1X_2 + 0,001X_1X_3 - - 0,011X_1X_4 + 0,022X_2X_3 + 0,000X_2X_4 + 0,031X_3X_4.$$

Выводы. 1. Использование положения о постоянстве отношения среднеквадратических отклонений микронеровностей поверхности и приведенного суммарного профиля круга σ_2/σ_1 при проектировании процессов высоких технологий является весьма перспективным, так как позволяет с высокой точностью спрогнозировать потенциальную шероховатость поверхности, либо по заданной шероховатости определить необходимые параметры круга и режимов резания, что доказано экспериментально. 2. Выявлены причины расхождения расчётных и экспериментальных значений шероховатости обработанных пластин АТПМ. Основной причиной является вырыв зёрен обрабатываемого материала при шлифовании. Проверочные эксперименты на менее твёрдом и прочном, чем АТПМ, инструментальном материале ДСКМ «Томал-10» показал высокую сходимость расчётных и экспериментальных значений шероховатости. 3. Установлено, что доводка шлифованных пластин АТПМ, которая проводилась в процессе исследований, позволяет повысить качество поверхности до $R_a = 0,02 - 0,06$ мкм или $R_a = 20 - 60$ нм, что позволит применять этот инструментальный материал в условиях нанотехнологий.

Литература: 1. Руднев А.В. Суммарный проведенный профиль и его влияние на качество обработанной поверхности различных материалов - Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 8-й Международной научно-технической конференции, 9-10 декабря 2003 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2003 г. – С. 139 – 141. 2. Федорович В.А. Разработка научных основ и способов практической реализации управления приспособляемостью при алмазном шлифовании сверхтвёрдых материалов. – Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – 36 с.

УДК 621.(922+924):004.925.8

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН В ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГАХ И ЕЁ ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Гуцаленко Ю.Г. (г. Харьков, Украина)

The generalized analytic solution for geometric problem of grinding wheel diamond grain runout which is extremely virtual from conditions of cutting realizability is presented. The general formulation of problem is done in context of steady in time grinding process realized by means of tools with working part as a binding matrix with abrasive grains located in it in random manner, for example, diamond grains. The maintenance of grinding stability is binded with retention of nonvarying maximal thickness of cut by single grains of wheel working surface in the prescribed system of kinematic-geometrical conditions (modes) of grinding, which determines processing productivity.

The linear characteristic of runout of diamond grain is viewed both as measure function of its cutting potential utilization and as attribute of its current working capacity at certain system of modelling of reference conditions of diamond grains, grinding wheel and grinding process. The cutting process realizability in contact between processing and processed solids is verified by satisfaction to Kragelskiy criterion of the necessary elevation of limit value of ratio of cut thickness to radius of cut edge rounding.

It is cited as an example the feasible nomographic chart structure for detailed and enlargement elaborations with respect to conclusived factors for technological decision and use as graphic tool for previous forecasting estimation.

The research results relative to microgeometry of diamond grains of different grades received at the Institute of Superhard Materials of the Nation Academy of Science of Ukraine are introduced to use in forecasting decision for conversion and projection of tool support for machine-building industry.

The practical applications of considered analytic-geometric approach to estimate of limit abilities of diamond grains of different grinding powders used for making of grinding wheels are realized in combined technologies based on introduction into cutting zone of electric discharges (diamond-spark grinding). Implementation of diamond-spark grinding technologies on the basis of developed generalized theoretical approach allows to use the tool with prescribed tool-life, moreover to make the most efficient use of it up to full exhausting of tool-life, determined by diamond-bearing thickness. Development is directed forward computer-aided manufacturing.

1. ВВЕДЕНИЕ. Предыдущие сообщения автора, опубликованные в трудах конференций «Физические и компьютерные технологии» (ХНПК «ФЭД») 2005-2006 гг., очертили потенциальные возможности выполненной в Харьковском политехническом институте разработки технологий и оборудования алмазно-искрового шлифования и проблему эффективного управления режимными параметрами в свете этих возможностей [1, 2]. Разработка и исследование модели устойчивого во времени процесса шлифования позволили сформулировать и представить для обсуждения необходимое условие рациональной организации подобных комбинированных технологий, позволяющих «переключать» скорость износа связки алмазного круга в заданной системе механических режимов обработки, определяющих производительность процесса, соответственно обновляя режущий рельеф. Необходимая скорость понижения связки алмазного круга подчинена строгой зависимости от средней скорости $V_{з\text{ер}}$ линейного износа режущих алмазных зерен в направлении нормали к номинальной рабочей поверхности круга (эквидистантной номинальной поверхности его связки) и максимальных значений величины X этого износа и толщины H_{max} среза, достигаемых наиболее выступающим над уровнем связки зерном [2]:

$$V_{\text{св}} = V_{\text{з\text{ер}}} / \eta \quad (1)$$

где

$$\eta = x(H_{\text{max}} + x) \quad (2)$$

Общий алгоритм выбора оптимальных условий шлифования согласно [2] предусматривает проверку соответствия параметра η , входящего в (1), на достаточность для осуществимости процесса стружкообразования.

Нынешнее сообщение посвящено изложению методики этой проверки в контексте принятых в выполняемом цикле исследований моделей алмазных зерен, шлифовального круга и процесса шлифования.

2. УСЛОВИЕ И ПОРОГ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ. Достаточность глубины внедрения абразивных зерен рабочей поверхности круга в обрабатываемый материал

мый материал является одним из общеизвестных неотъемлемых условий осуществимости процесса шлифования как процесса массового микрорезания. В классической формулировке И.В. Крагельского [3] глубина внедрения абразивной частицы в материал a_z достаточна для его микрорезания, если составляет примерно 0,2 – 0,3 радиуса R контактирующего выступа соответствующей конфигурации. Таким образом, рассматриваемое условие осуществимости процесса микрорезания можно записать в виде

$$\frac{a_z}{R} > \left[\frac{a_z}{R} \right], \quad (3)$$

где a_z – толщина среза, м; R – радиус округления вершины зерна, м; $\left[a_z / R \right] = 0,2 \dots 0,3$.

В интересах повышения вероятности практической воспроизводимости результатов следующих из геометрических моделей аналитических приближений, полученных с использованием моделей процесса шлифования, пороговое значение $\left[a_z / R \right]$ может быть несколько завышено, как это сделано, например, в работе [4], где оно поднято до величины $\left[a_z / R \right] = 0,4$. Это решение соответствует диапазону $\left[a_z / R \right] = 0,1 \dots 0,5$, приводимому М.Ф. Семко и др. [5] как обобщение исследований физических особенностей алмазного микрорезания.

3. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СХЕМА И МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ. Расчетная схема опирается на те же модельные подходы, что и в работе [2]. Радиус округления вершины зерна оценивается радиусом вписанной в его притупленную привершинную часть сферы (рис. 1). Из соответствующей трансформации площадки износа для ситуации максимального внедрения зерна в снимаемый припуск ($a_z = H_{max}$), учитывая соотношение (2), выполнению условия (3) эквивалентно соблюдение неравенства

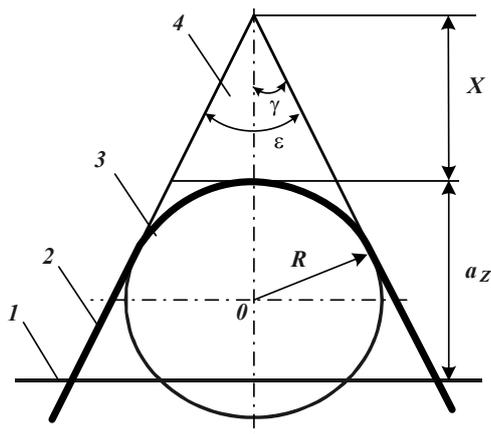


Рис. 1. Расчётная схема: 1 – уровень связки, 2 – контур зерна, 3 – сечение среза, 4 – изношенная часть зерна.

$$\eta < \frac{1}{1 + \frac{\sin \frac{\varepsilon}{2}}{1 - \sin \frac{\varepsilon}{2}} \left[\frac{a_z}{R} \right]}. \quad (4)$$

Входящий в (4) угол заострения вершин зерен ($\varepsilon = 2\gamma$, рис. 1) на практике зависит от марки и зернистости шлифпорошка (табл. 1).

Использование (4) позволяет проверить выполнимость условия (3) для установленного теоретическим путем по какому-нибудь критерию оптимизации значения нормы η на стадии проектирования технологической операции. Тем самым оценивается возможность осуществимости процесса микрорезания отдельными зернами рабочей поверхности круга, а значит и процесса шлифования в целом; если это необходимо, проект

технологической операции корректируется.

Таблица 1

Углы заострения ε° вершин синтетических алмазных зерен (по данным Института сверхтвердых материалов Национальной академии наук Украины [6])

Зернистость шлифпорошка, мкм	Марка синтетических алмазов			
	АС2	АС4	АС6	АС15
250/200			117	
200/160			122	116
160/125	113		105	113
125/100	115	117	120	127
100/80	112	127	126	
80/63	104	117	120	
63/50	114	115		
50/40	115	110	117	

Для предварительных прогностических оценок можно использовать также номограммы, рис. 2.

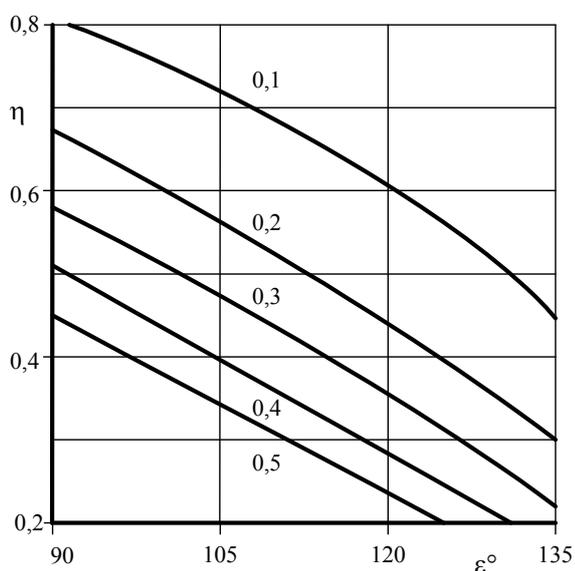


Рис. 2. Зависимости $\eta = \eta(\varepsilon)$ для некоторых значений отношения a_z/R в диапазоне рассматриваемых версий $[a_z/R]$.

При этом нахождение удовлетворительного численного решения расчетной схемы (рис. 1) может обеспечить переход к модели конусообразной вершины алмазного зерна с меньшим углом заострения. Смену марки и (или) зернистости шлифпорошка в результате моделирования в первом приближении можно предложить осуществить, например, выбором из табл. 1, принимая во внимание значение γ , ограничивающее сверху допустимые поливарианты $\varepsilon = 2\gamma$ для известных значений критериального ограничения $[a_z/R]$ и установленной нормы η . Определение предельной угловой характеристики $\lim \varepsilon = 2 \lim \gamma$ осуществляется аналитически из (4) или из номограммы.

Как следует из анализа данных по табл. 1, увеличение марочного числа (индекса прочности) зерен синтетических алмазов в 3...7,5 раза без изменения зернистости шлифпорошка позволяет повысить степень возможного затупления зерен при их использовании в шлифовальных кругах от 20...24% ($[a_z/R] = 0,1$) до 42...53% ($[a_z/R] = 0,5$). Увеличение же зернистости шлифпорошка (индекса размера) зерен синтетических алмазов в 1,6...3,2 раза без изменения марочной характеристики зерен позволяет повысить степень возможного затупления зерен от 12...31% ($[a_z/R] = 0,1$) до 30...70% ($[a_z/R] = 0,5$).

Таким образом, расширение технологических возможностей алмазного шлифования в контексте проводимого исследования в весомой степени определяется как диапазоном марок (прочности) синтетических алмазов, так и диапазоном зернистостей (размером зерен) шлифпорошков из них. При этом варьирование зернистостью является более ощутимым резервом возможного затупления зерен (и потому наиболее полного использования синтетических сверхтвердых алмазных абразивов), при котором процесс микрорезания (шлифования) еще осуществим.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Расчетно-проверочное аналитическое решение (4) является элементной конкретизацией общей структуры [2] разработки инженерной методики оптимизации проектирования операций стабильного высокопроизводительного алмазного шлифования в части обеспечения корректного расчета управляемого износом связки максимального затупления режущих зерен рабочей поверхности круга. Одним из технологических направлений использования разработки является развитие алмазно-искрового шлифования [4, 7, 8], в особенности в автоматизированных производствах.

Литература: 1. Гуцаленко Ю.Г. Рациональное использование алмазных инструментов на металлических связках в производственных процессах шлифования высокопрочных сталей и сплавов // Физические и компьютерные технологии. Тр. 10-й Междунар. науч.-техн. конф., 28 – 30 сент. 2004 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2004. – С. 63 – 66. 2. Гуцаленко Ю.Г., Новиков Ф.В. Математическое моделирование и анализ технологических возможностей операций высокопроизводительного алмазного шлифования изделий из высокопрочных пластичных материалов // Физические и компьютерные технологии. Тр. 11-й Междунар. науч.-техн. конф., 2 – 3 июня 2005 г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2005. – С. 126 – 135. 3. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машгиз, 1962. – 384 с. 4. Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Гуцаленко Ю.Г. Оптимизация параметров энергетически равновесного процесса алмазного шлифования // Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.9. – Одесса: ОНПУ, 2005. – С. 477-504. 5. Основы алмазного шлифования / Семко М.Ф., Грабченко А.И., Раб А.Ф., Узунян М.Д., Пивоваров М.С. – Киев: Техника, 1978. – 192 с. 6. Порошки и пасты из синтетических алмазов / Никитин Ю.И., Уман С.М., Коберниченко Л.В., Мартынова Л.М. – Киев: Наук. думка. 1992. – 284 с. 7. Yu. G. GUTSALENCKO: Electroerosion dimond grinding. MicroCAD 2005, Proceedings of International Scientific Conference, Production Engineering and Manufacturing Systems, Marhc 10-11, 2005, University of Miskolc, Miskolc, Hungary, pp.: 165-168. 8. Yu. G. GUTSALENCKO: Efficient stability support of electroerosion dimond grinding. MicroCAD 2006, Proceedings of International Scientific Conference, Production Engineering and Manufacturing Systems, Marhc 16, 2006, University of Miskolc, Miskolc, Hungary, pp.: 65-68.

УДК 621.923

НАНОАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА СУПЕРГЛАДКИХ ЮВЕНИЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ботвинников Б., докт. техн. наук (г. Кельн, Германия),

Прокофьев А.В. (г. Москва, Россия)

The results of researches of processing of super-smooth metal surfaces are given.

Для наноабразивной обработки деталей и обеспечения шероховатости поверхности 5–3 нм применяли ультрадисперсные абразивные порошки оксида

алюминия, полученные газодисперсным синтезом.

Суть метода ГДС заключается в синтезе ультрадисперсных порошков в зоне горения ламинарного двухфазного факела газозвесей металлических порошков в кислородсодержащем газе. При этом полностью реализуются возможности системы металл–кислород, и высокие температуры, необходимые для синтеза оксидов металлов, развиваются за счет тепловыделения от собственных химических реакций.

Частицы порошка имеют не остроугольную форму (как существующие природные абразивы), а сферическую.

В то же время выпускаемые промышленностью абразивные материалы имеют размеры зерен величиной в несколько микрон, а опытные партии ультрадисперсных порошков (УДП), полученных химическими методами, состоят из частиц неправильной формы, низкой химической чистоты и широкого гранулометрического состава.

Разработанный технологический состав на основе сферического УДП алюминия для нанотехнологии алюминиевых деталей позволил обеспечить высоту шероховатости на детали из сплава Амгб 3–5 нм. При этом минимальное шаржирование поверхности осколками Al_2O_3 и минимальная толщина окисной пленки практически не уменьшили величину отражаемой способности. Сглаживающий эффект, который оказывает абразивно-полимерная суспензия наличием сферического абразива, позволяет уменьшить резание – царапание поверхности и перейти к эффекту микровыкатывания. Кроме того, при обработке существует эффект химического взаимодействия высоковязкой жидкости со взвешенными абразивными частицами с обрабатываемой поверхностью. Эти два эффекта позволили получить максимальную отражательную способность на обрабатываемых деталях.

При наноабразивной обработке деталей применяли пеко-канифольные полировальники с добавлением мелкодисперсного фторопласта. Применение такого полировальника при обработке круглыми зернами, дает возможность создавать касательные и нормальные напряжения, которые зависят от нормальной нагрузки и упругопластической податливости полировальника. Обрабатываемая поверхность подвержена действию касательных напряжений, что в итоге приводит к возникновению сглаживающего полировального эффекта. Это позволяет без предварительной подготовки, исключая операцию шлифования, получать качественную поверхность.

Разработанные составы суспензий обеспечивают более ровный фон рисок, благодаря чему поверхность приобретает высокую коррозионную стойкость во влажной атмосфере в течение длительного периода эксплуатации (порядка одного года).

УДК 621.923

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ НАНОРАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Ибрагимов И.М., Перфилова Е.А. (г. Москва, Россия)

The results of researches of application ecology of processing of details of

machines are given

Нанотехнологии предстоит сыграть значительную роль в решении многих проблем экологии, связанных как с защитой окружающей среды от вредного воздействия промышленных объектов, так и с созданием новых экологически чистых методов получения энергии и материалов.

Для анализа экологического состояния окружающей среды большое значение имеет разработка разнообразных нанодатчиков. Весьма перспективными являются газовые сенсоры, которые анализируют воздух, проходящий через полупроницаемые мембраны из наноструктурных материалов. В результате химической реакции молекул газа, находящихся в воздухе, с электролитом генерируется электрический ток, по величине которого можно судить о наличии тех или иных токсичных веществ в атмосфере. С помощью нанодатчиков может быть обеспечена надежная радиационная защита окружающей среды при хранении и переработке отработанного ядерного топлива.

Использование нанотехнологии в производственных процессах позволяет существенно уменьшить образование отходов за счет повышения эффективности каталитических реакций с применением наноразмерных реагентов. Наноструктурные материалы находят все более возрастающее использование в процессах переработки, утилизации и обезвреживания отходов как путем окисления органических загрязнителей наночастицами TiO_2 , так и связывания атомов тяжелых металлов поглотителями из композитного материала с наномасштабными порами. Одним из эффективных методов очистки окружающей среды является введение активных наноразмерных реагентов непосредственно в места хранения отходов.

Ключевым направлением применения нанотехнологии в энергетике, от которой происходит основное загрязнение окружающей среды и парниковый эффект, является разработка методов прямого преобразования возобновляемой экологически чистой солнечной энергии в электрическую. Одним из перспективных способов решения этой задачи является использование состоящей из наноматериалов фотохимической ячейки Грацеля. Эффективность преобразования солнечной энергии такими ячейками составляет около 10%, и они обладают высокой стабильностью. Для развития глобальной водородной энергетики и создания компактных топливных элементов большие возможности открываются в случае применения углеродных нанотрубок, которые обладают достаточно высокой аккумулирующей способностью по отношению к газообразному водороду (около 4%) и имеют необходимые характеристики адсорбции и десорбции.

УДК 621.923

ТЕХНОЛОГИЯ ТУРБОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК В КАВИТИРУЮЩЕЙ СОЖ

Иванайский А.В., (г. Москва, Россия),

Костоньяро А., Президент компании «Foxenergy» (г. Верона, Италия)

The technology of processing of preparations in SOG is described.

Акустическая кавитация возникает в одном и том же объёме жидкости многократно, что позволяет эффективно влиять на скорость протекания в жидкой фазе различных физико-химических процессов. Одним из основных условий активации физико-химических процессов является организация протекания кавитации жидкой фазы во всём объёме реактора. Схема турбоабразивной обработки представлена на рис.1. Данный способ обработки основан на использовании кавитирующей СОЖ с абразивными зёрнами.

Абразивные зёрна совершают в «кипящем» слое перемещения в различных направлениях со скоростью $0,2 \div 0,9$ м/с в зависимости от интенсивности вибрационного воздействия на несущую среду и осуществляют микроударное воздействие на поверхность заготовки, которая вводится в рабочую камеру. Ввиду относительно малой энергии и частоты ударов абразивных зёрен при неподвижной заготовке интенсивность съёма металла в этом случае не превышает $0,04 \div 0,06$ мкм/мин. ($0,035 \div 0,06$ мг/(мин-см²)). С этой целью повышения производительности обработки заготовке сообщают рабочее движение (вращение, планетарное движение) со скоростью $10 \div 25$ м/с, что приводит к значительному увеличению частоты ударов зёрен абразива (до $350 \div 500$ 1/(с-мм²)[вместо $5-6$ 1/(с-мм²) при неподвижной заготовке] и энергии соударения.

В результате интенсивность съёма металла увеличивается до $1 \div 3$ мкм/мин и более с увеличением интенсивности вибрационного воздействия на несущую среду.

Степень разрежённости и текучесть кавитирующей несущей среды (СОЖ) с абразивными зёрнами весьма высоки, поэтому этим способом можно обрабатывать заготовки сложной формы. Путём соответствующего расположения заготовки можно обеспечить либо одинаковое, либо различное по интенсивности воздействие абразивных зёрен на различные участки профильной поверхности.

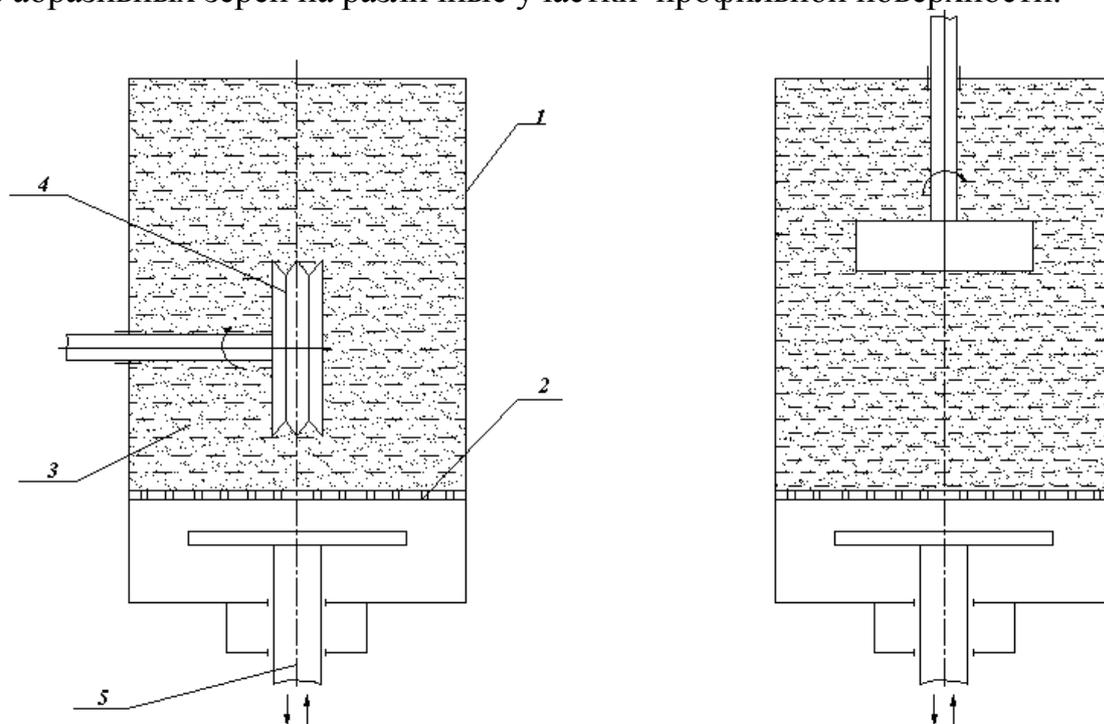


Рис. 1. Схема процесса турбоабразивной обработки с горизонтальной (а), с вертикальной (б) осью вращения заготовки: 1-рабочая камера; 2-волновод; 3-кавитирующая СОЖ; 4-заготовка; 5-привод установки; 5 - волновод.

Наиболее интенсивной обработке подвергаются кромки и прикромочные зоны, что делает данный способ высокоэффективным для удаления заусенцев и округления кромок на заготовках после операции резания и штамповки. Кавитирующий объем несущей среды (СОЖ) с абразивными частицами является своеобразным инструментом; рекомендуется использовать при турбоабразивной обработке зерно абразивных материалов обладающих повышенной прочностью и ударной вязкостью.

УДК 621.923

ФРАКТАЛЫ В РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ

Ломаев В.И., канд. техн. наук (г. Пермь, Россия)

Фракталы в размерной обработке деталей из композитов

Одним из путей достижения высокого качества изделий является применение обработки концентрированными потоками энергии (КПЭ), нанотехнологии, а также технологических процессов создания материалов с новыми физико-механическими свойствами, например, горячее изостатическое прессование (ГИП), ставшее штатной технологией на фирмах, поставляющих изделия для аэрокосмической техники.

Однако несмотря на неоспоримые достоинства перечисленных методов, они порождают и ряд проблем, связанных с формированием и оценкой качества поверхности изделий.

Качество поверхности традиционно характеризуется шероховатостью и физико-механическими свойствами поверхностного слоя. Причем, шероховатость поверхности рассматривается как статический объект, имеющий природу «отклика» на некое воздействие (физический процесс обработки), т.е. фактически как след инструмента на обрабатываемой поверхности, закрепленный в определенных геометрических образах, аппроксимированных простыми формами Евклидовой геометрии – сферами, конусами, цилиндрами и т.п. При этом влияние на шероховатость оценивается только по некоторым параметрам режима обработки, обычно считающимся факторами влияния (скорость, глубина резания и т.п.).

В связи с особенностями физической природы названных методов обработки и получения материалов (интенсивное воздействие различного рода полей – электрического, теплового, и т.п., широкий интервал значений давлений – до 2000 МПа, взаимодействие с высокоскоростными газовыми средами) возникают значительные трудности в описании и оценке шероховатости традиционным профильным методом такими известными параметрами шероховатости как R_a , R_{max} , S_m и т.д. Форма элементов шероховатости, их распределение на обрабатываемой площади сильно отличаются от традиционного представления о них, сформированного в рамках процесса обработки резанием, как о периодическом чередовании «выступов» и «впадин».

Шероховатость при этом формируется как сочетание элементов, имеющих сложную форму – грибообразную, гребешковую, ботиroidальную, форму сплэтов и висперов, либо представляет собой некую пористую структуру (ГИП).

Новые технологии, основанные на воздействии из внешней фазы на всю обрабатываемую поверхность (групповые процессы формирования поверхности), создают кластерные структуры, законы развития которых частично описаны в работе Колмогорова А.Н. Особенности таких процессов диктуют потребность в осмыслении новых подходов в прогнозировании свойств кластерных образований, их количественных (параметрических) оценок.

Одним из возможных путей решения поставленной задачи является использование математического аппарата фрактальной геометрии, а в качестве оценочных параметров – фрактальных размерностей D и фрактальных сигнатур. Такой подход позволит оценить шероховатость поверхности независимо от формы ее элементов и плотности их распределения, что придаст данной характеристике свойство универсальности.

Для подтверждения возможности применения такой оценки поверхности осуществлена обработка образцов (АД – 20, АК – 12м, сталь 45) различными методами – алмазным точением, микродуговым оксидированием, электроэрозионным упрочнением (синтез покрытий) с последующим исследованием их поверхностей на фрактальность на основе методов, разработанных в ИРЭ РАН. Предварительно поверхность образцов изучалась на сканирующем зондовом микроскопе NT – MDT SPM (Зеленоград) с *bmp* расширением в формате $512 \times 655 \times 256$ (табл.1).

Таблица 1

Значения фрактальных размерностей D и D_S исследованных образцов

№	Вид обработки	Фрактальная размерность D (по изображению)	Фрактальная размерность D_S (по спектру)	Дисперсия Σ^2
1	Алмазное точение	2,288	2,022	0,026
2	Микродуговое оксидирование	2,420	2,126	0,048
3	Электроэрозионный синтез покрытий	2,085	1,971	0,025



Рис. 1. Фрактальная сигнатура образца (микродуговое оксидирование).

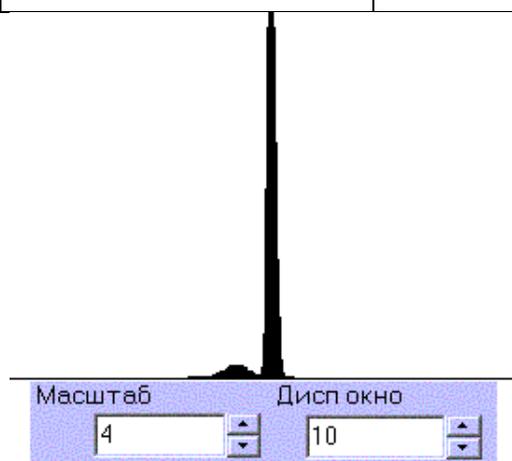


Рис.2. Экспериментальное распределение фрактальных размерностей для образца, обработанного методом микродугового оксидирования.

Полученные результаты, указывающие на фрактальность исследуемых поверхностей (рис. 1, 2), позволяют в дальнейшем расширить диапазон методов обработки, а последующий анализ шероховатости, формируемой на их основе, – выстроить кластерную модель формирования поверхности, что адекватно физико-химическим процессам на поверхности, имеющей кристаллическую структуру.

Особенно перспективным представляется разработка физико-математической модели процесса образования шероховатости поверхности, основанной на анализе заложенных в КПЭ методах обработки процессов самоорганизации, рассматривающей шероховатость поверхности и поверхностный слой материала изделий как единую самооптимизирующуюся иерархическую мультифрактальную структуру. Это, как ожидается, позволит получать изделия с заданными шероховатостью и физико-химическими свойствами поверхностного слоя.

УДК 621.923

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА ПРИ НАНОЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Польцер Г., докт. техн. наук (г. Цвикау, Германия),
Свириденко Д.С. (г. Москва, Россия)

The features of process of deterioration of the tool are opened at processing.

При нанолезвийной обработке на режущей кромке алмазного резца могут развиваться локально зоны повышенной температуры. При достаточно малом радиусе кривизны ($r = 0,1$ мкм) повышение температуры приводит к окислению режущей кромки резца кислородом воздуха и, как следствие, к ее обгоранию, росту r . При этом изменяется длина резца, что снижает точность обработки.

Поэтому большое значение имеет определение критического температурного режима резца.

Для получения высококачественных поверхностей таких изделий, как,

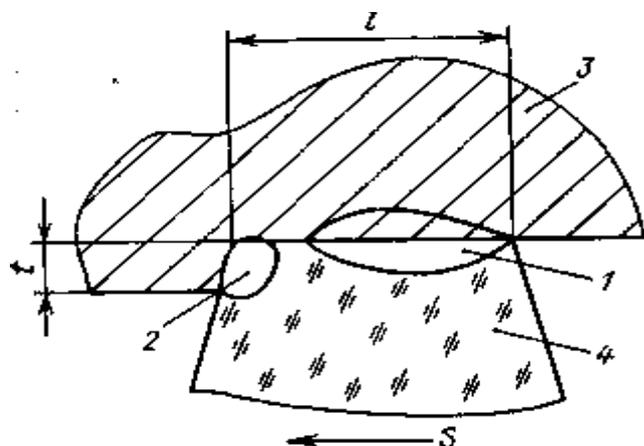


Рис. 1. Схема алмазного точения ОМД: 1 – зона выглаживания; 2 – зона резания; 3 – деталь; 4 – алмазный резец; l – ширина фасетки; t – глубина резания; S – подача.

например, основы магнитных дисков (ОМД) и зеркала лазерных отражателей нашли применение алмазные резцы с прямолинейной режущей кромкой (фасеткой), например, резец типа ИР 227 (рис. 1).

Процесс обработки поверхностей фасеточным резцом состоит из двух составляющих: резание (зона Q) и выглаживание (зона P). При перемещении вдоль обрабатываемой поверхности при подаче, намного меньшей, чем длина l фасетки ($S < l$). Фасетка многократно

проходит по обрабатываемой поверхности, либо подрезая, либо приминая неровности, возникающие в процессе резания в зоне Q . Совмещение этих двух процессов позволяет получить поверхность с $Ra \leq 0,01$ мкм.

Высота шероховатости поверхности при обработке таким резцом определяется, кроме качества резца и положением фасетки инструмента относительно направления подачи.

На рис. 2 показаны варианты взаимного расположения режущей кромки инструмента и заготовки.

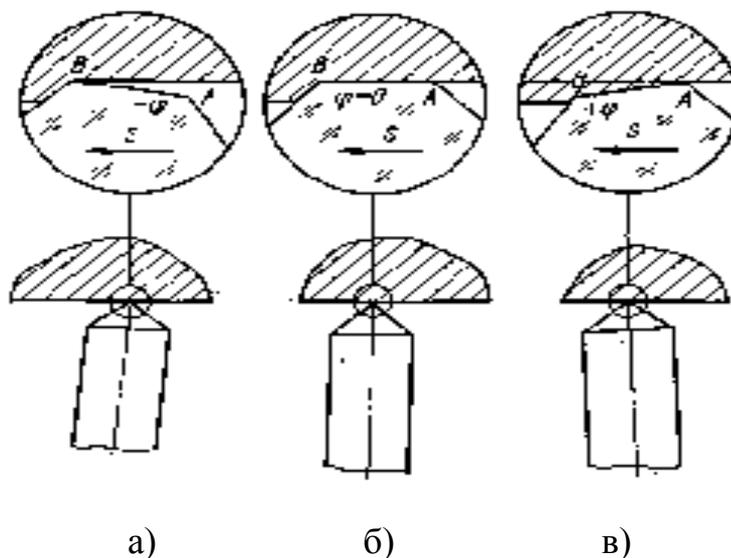


Рис. 2. Варианты взаимного положения режущей кромки инструмента и обрабатываемой детали.

Предпочтительное положение показано на рис. 2 б, так как в этом положении происходит выглаживание и подрезание выступов и получение шероховатости 8-10 нм. В противном случае прямолинейная кромка либо не взаимодействует с обрабатываемой поверхностью (см. рис. 2, а), либо резание происходит всей кромкой (см. рис. 2, в). В том и другом случае высота микронеровностей увеличивается до 200 нм.

УДК 621.9-50

АНАЛИЗ И ПОСТРОЕНИЕ КИНЕМАТИКИ РЕЗЬБОРЕЗНОГО ПРИВОДА ПОДАЧ С СУММИРУЮЩЕЙ ВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

Громов В. В., Забара А. С. (Харків, Україна)

It is suggested to use in the drive of serves of screw-cutters the helical gear as resumptive mechanism with the simultaneous rotation of screw and nut. Such mode of operations of this transmission will allow to replace a few mechanisms used in the kinematics of existent machine-tools.

Традиционная кинематика резьборезных приводов подач в токарно-винторезных (ТВ) станках включает в себя следующие механизмы:

- 1) винтовая передача, как механизм преобразования вращательного движения в поступательное (с шагом T);

2) набор механизмов для настройки требуемого значения подачи и управления, куда входят (в последовательности соединения от источника движения – шпинделя):

- а) механизм увеличения шага - $i_{ув}$;
- б) механизм реверса (переключение – правая/левая резьба) - $i_{рев}$;
- в) гитара сменных зубчатых колес - $i_{см}$;
- г) основной механизм для настройки значения шага – $i_{осн}$;
- д) механизм переключения с метрической резьбы на дюймовую и обратно – $i_{мд}$;
- е) множительный механизм для настройки значения шага - $i_{мн}$.

Уравнение кинематического баланса (УКБ) для расчета значения шага нарезаемой резьбы будет иметь вид:

$$S = l \dot{a} \cdot i_{\dot{o}\dot{a}} \cdot i_{\delta\dot{a}\dot{a}} \cdot i_{\dot{m}} \cdot i_{\dot{i}\dot{n}\dot{i}} \cdot i_{\dot{i}\dot{a}} \cdot i_{\dot{i}\dot{i}} \cdot t.$$

Кроме этого в приводе подач ТВ станков для выполнения обычного точения и получения продольной подачи имеется реечная передача. При этом реечная шестерня получает вращения от отдельного вала (ходовой вал).

В винтовой передаче ТВ станка обычно вращается винт, а гайка зафиксирована в фартуке, перемещается вместе с ним и не вращается. Для упрощения кинематики и конструкции привода подач предлагается использовать винтовую передачу как суммирующий механизм, т.е. с одновременным вращением винта и гайки. При этом изменением направления и скорости вращения гайки относительно винта можно настраивать различные значения подачи (шага резьбы).

В настоящее время винтовые передачи, как суммирующие (дифференциальные) механизмы применяются для точной настройки положения рабочих органов [1, с.968] или для корректировки погрешности кинематической цепи в прецизионных станках [3, с.425].

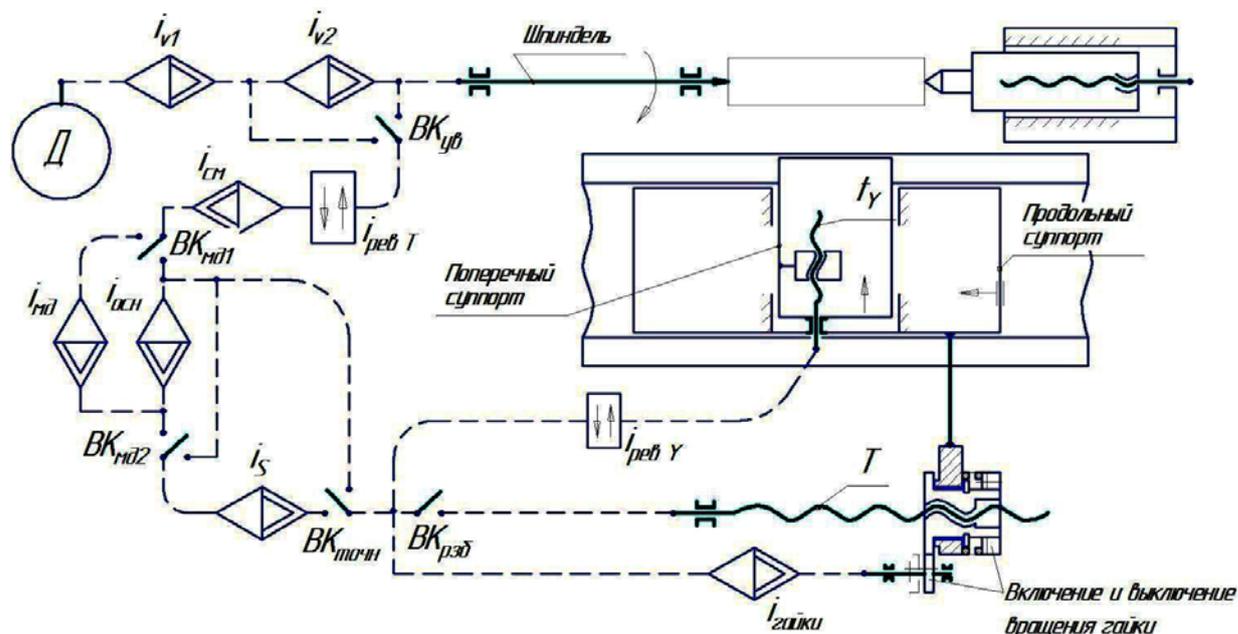
Механизм регулирования скорости вращения гайки с передаточным отношением i_g может заменить любой из механизмов настройки подачи (шага резьбы) в традиционной кинематике ТВ станков ($i_{ув}$, $i_{осн}$, $i_{мн}$) и реечную передачу. Например, при замене множительного механизма УКБ будет иметь вид:

$$S = l \dot{a} \cdot i_{\dot{o}\dot{a}} \cdot i_{\delta\dot{a}\dot{a}} \cdot i_{\dot{m}} \cdot i_{\dot{i}\dot{n}\dot{i}} \cdot i_{\dot{i}\dot{a}} \cdot (1 - i_{\dot{g}}) \cdot t,$$

В этом уравнении: при $i_g = 0$ гайка не вращается (зафиксирована на суппорте), при $i_g > 0$ гайка вращается в одну сторону с винтом и их скорости вычитаются, а при $i_g < 0$ гайка вращается в противоположную сторону от винта и их скорости складываются. Передаточное отношение i_g при ее вращении в одну сторону с винтом можно устанавливать в пределах $1 > i_g > 0$ и получать очень большие замедления, а при вращении в разные стороны максимальное значение i_g не может быть большим (обычно до 8), т.к. ускорительные передачи работают менее надежно, чем замедлительные. Ниже приведена структурно-кинематическая схема этого варианта кинематики токарно-винторезного станка, на которой приведены все необходимые кинематические механизмы.

При этом кинематическая структура этого варианта кинематики имеет меньше механизмов чем в существующих ТВ станках, В нем исключена реечная передача, а для получения малых значений подач при обычном точении на

месте множительного механизма установлен механизм замедления $i_S = 1/16$. Однако, здесь усложнена конструкция самой винтовой передачи, что связано с необходимостью управления вращением гайки (настройки скорости ее вращения, включения, выключения и фиксации на суппорт).



По структурно-кинематической схеме записываем полную структурную формулу привода подач, в которой отображаются все кинематические механизмы, начиная от шпинделя до рабочих органов (суппортов).

$$i_{\dot{a}} \cdot (1 + \frac{1}{i_{v2}}) \cdot i_{\dot{\delta}\dot{\delta}\dot{\delta}} \cdot i_{\dot{m}} \cdot ((i_{\dot{i}\dot{m}} + i_{\dot{i}\dot{a}} \cdot \frac{1}{i_{\dot{i}\dot{m}}}) \cdot i_S + 1) \cdot ((1 + i_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{e}\dot{e}}) \cdot T; + i_{\dot{\delta}\dot{\delta}\dot{Y}} \cdot t_Y;) = S$$

В этой формуле: знак умножения означает последовательное соединение механизмов (логическое “И”), знак плюс – параллельное соединение (логическое “ИЛИ”), знак “;” – конец локальной кинематической цепи (выход на рабочий орган), открывающая скобка – начало разветвления параллельных кинематических цепей, а закрывающая – схождение этих цепей. Раскрытие скобок в этой формуле позволяет получить уравнения кинематического баланса для всех рабочих цепей.

С целью повышения точности и снижения потерь на трение в кинематике привода подач будет использоваться шариковая винтовая передача качения [2, с.278]. В дальнейшем, для определения эффективности применения суммирующей винтовой передачи, предполагается проведение исследования работоспособности предлагаемого варианта кинематической структуры ТВ станка. Исследование будет проведено построением ее твердотельной модели (3D-модели) в современных системах автоматизированного конструирования SolidWorks или Kompas-3D и проведения ее испытания средствами этих систем.

Литературы: 1. Артоболевский А.А. Механизмы в современной технике. В 5 т., Т.2. – М.: Изд. Наука, 1971.- 1008 с.; 2. Решетов Д.Н. и др. Детали и механизмы металлорежущих станков, В 2 т., т.2- М.: Машиностроение, 1972.-520 с.; 3. Кучер И.М. Металлорежущие станки.- М.: Машиностроение, 1969. – 481 с.

УДК 621.396.6.

ОБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ И МОНТАЖА ИЗДЕЛИЙ

Бондарь В.И., канд. техн. наук, Гусарев В.С., Панов Л.И.

(г. Одесса, Украина)

The equipment of automatic assembly and installation of products.

В современной технологии производства изделий существенное значение имеет автоматизация сборочно-монтажных операций с применением высокопроизводительного технологического оборудования и автоматическим управлением.

Сложность сборочно-монтажного оборудования (СМО) определяется сложностью изделия, технологического процесса и алгоритмами его функционирования. СМО должно обеспечивать высокую точность и производительность, а изготавливаемое изделие должно производиться с минимальными энергетическими и экономическими ресурсами.

Этим требованиям отвечают СМО построенное по модульному принципу. Такой принцип определяют рассмотрение сборочно-монтажных операций (СМОП) в соответствии с выполняемыми операциями и разнообразием конструктивных компонентов (КК), входящих в изделие. КК – имеют обычно разнообразную номенклатуру, при этом могут существенно различаться по номиналам.

Исходя из сказанного СМО должны иметь модули:

1. базовых компонентов БК, они обычно сосредоточены в выходном накопителе (на них монтируют остальные КК);
2. конструктивных компонентов КК, которые распределяются в накопителях по номенклатуре и номиналам;
3. установки, выполняющие захват КК и установку на конкретные элементы базовых компонентов;
4. конвейерный транспорт для перемещения изделия;
5. контрольные для проверки правильности монтажа.

Громоздкость и сложность СМО, а так же сложность алгоритмов его функционирования позволяют предложить метод структурных схем для изображения СМО и метод функциональных выражений для описания технологических алгоритмов.

Рассмотрим элементарный модуль для установки КК (рис.1.). На входе имеется накопитель (БК), далее собственно установщик с захватом А, который установлен на монтажной головке (Q), имеющей координатные перемещения X, Y. Эти перемещения необходимы для захвата компонента из накопителя КК и установки его в нужную точку БК. После выполнения этой операции БК транспортёром перемещается в позицию контроля или в выходной накопитель.

Алгоритм функционирования такого модуля будет иметь вид:

$$U_0 p(x) \circ [Q(x, y) V Q(x, y) U(A)] p(x) \circ V_0.$$

Если циклы установки повторяются, то алгоритм функционирования будет иметь вид:

$$U_0 p(x) \circ [\downarrow_1 Q(x, y) V_i Q(x, y)_i U_i(A_i) \uparrow^n] p(x) \circ V_0.$$

Здесь: U_0 – установка базового компонента, $p(x)$ – перемещение конвейера-транспортёра вдоль оси X ; $Q(x,y)$ – перемещение головки установщика в координатах x,y ; V_i – захват головкой установщика i -го КК в накопителе КК; $q(x,y)_i$ – перемещение головки установщика с i -м КК; $U_i(A_i)$ – установка i -го КК в фиксированную точку БК; A – фиксация (закрепление); V_0 – вывод БК с установленными КК из модуля; $\downarrow_1 \uparrow^n$ – указание на повтор элементов цикла; \circ – знак одновременного действия элементов модуля (или системы).

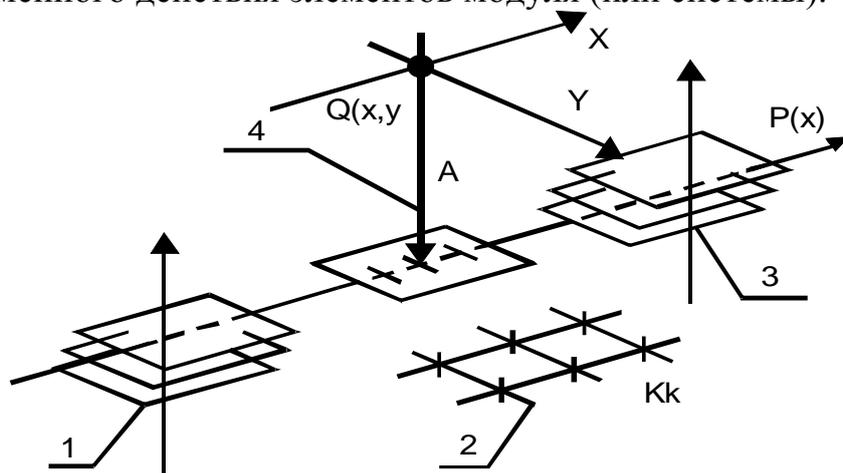


Рис.1. Элементарный модуль для установки КК. 1-накопитель БК; 2-накопитель КК; 3-накопитель изделий; 4-установщик (А-захват, X,Y-координатный механизм головки).

Соответственно, все действия по размещению КК могут выполняться не координатной установочной головкой, а за счёт перемещения стола.

Для повышения производительности в зоне установки можно использовать несколько головок установщиков. Кроме того если КК существенно различны в размерах, то необходимо иметь различные захватывающие элементы.

Для разрешения этого требования установочная головка оснащается несколькими различными (под соответствующие КК) захватами, которые вводятся в действие по программе. Такое решение позволяет гибко реагировать на изменяющиеся (при необходимости) номенклатуры КК.

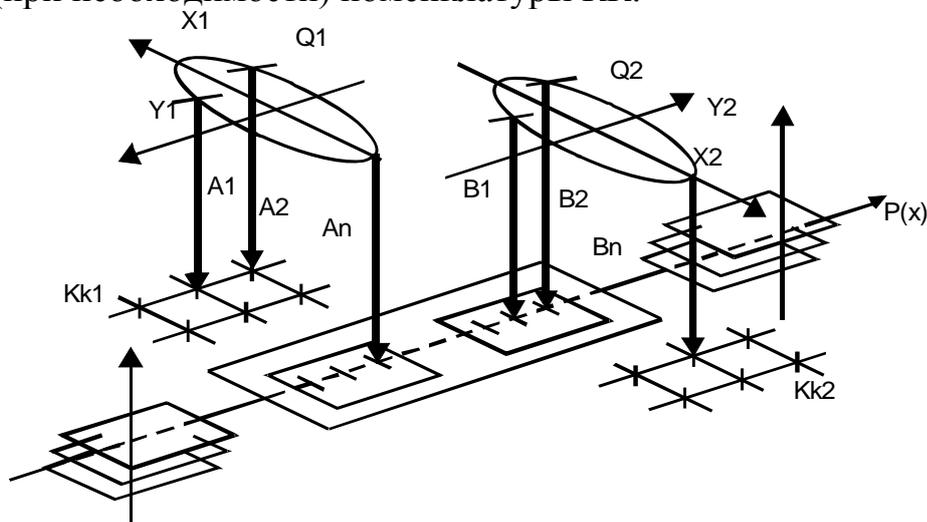


Рис. 2. Элементарный модуль для установки КК с двумя независимыми головками.

На рис.2 представлена структура СМО, реализующая некоторые из указанных требований. Здесь применены две автономные головки-установщики, работающие с двумя противоположно расположенными накопителями КК₁ и КК₂.

Алгоритм функционирования такого модуля будет иметь вид:

$$U_0 p(x) \circ \{ [\downarrow_1 Q_1(x_1, y_1) V_{1 \dots n} Q_1(x_1, y_1)_{1 \dots n} U_{i \dots n}(A_i) \uparrow^n] \circ \\ [\downarrow_1 Q_2(x_2, y_2) V_{1 \dots n} Q_2(x_1, y_1)_{1 \dots n} U_{i \dots n}(B_i) \uparrow^n] \} p(x) \circ V_0$$

Работу в таком модуле осуществляют два независимых установщика (q_1, q_2), выполняющие СМОП одновременно. Собственные действия установочных головок – это захват необходимых компонентов $1 \dots n$, а затем их установка в заданные точки БК. Указанные КК, если они различаются по конструктивному, исполнению требуют специальных захватывающих устройств. В стандартных головках-установщиках разнообразие захватывающих устройств не более 7.

С целью охвата большей номенклатуры устанавливаемых КК, модули снабжают накопителем захватов, и устройством переноса (установки) захвата из накопителя в головку. Такая гибкая автоматизированная система позволяет расширить возможности СМО.

На рис.3 представлена структура автоматической гибкой СМО для установки нескольких различающихся номенклатур или номиналов КК.

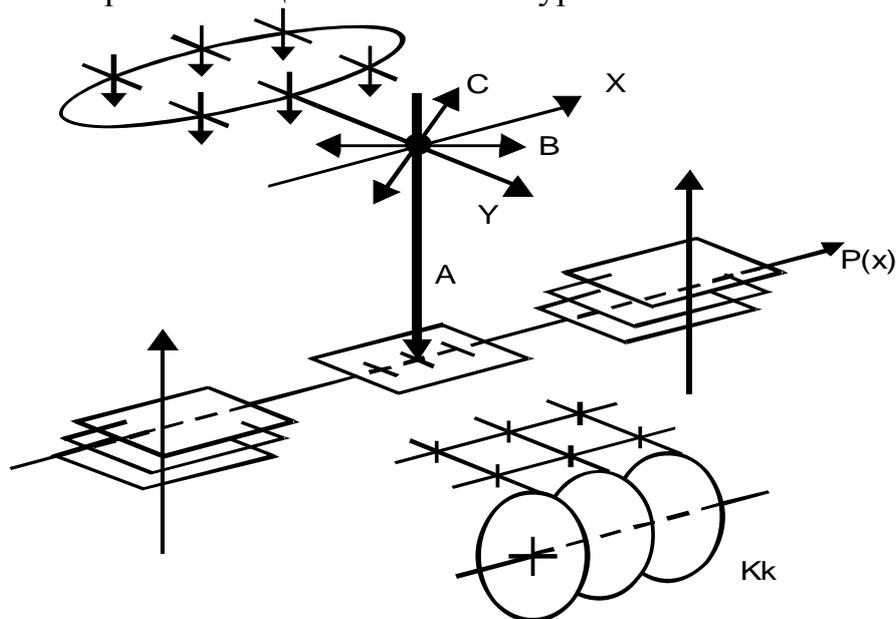


Рис.3. Гибкая автоматизированная СМО.

В этой структуре применяется установочная головка с набором захватов. Кроме того накопители КК представляют собой ленточные держатели компонентов на бобиных, которые разматывая ленту подают КК в зону действия захвата головки установщика. Представление структуры модулей СМО позволяет их использовать в сборочно-монтажных линиях, например, для плоского монтажа электронных компонентов на плату.

Системы производительны, например, автомат-установщик SMD-Fuji CP2 устанавливает до 15000 КК в час, число компонентов на БК достигает 5000 погрешность установки до 0,15мм, надёжность 99,99.

Структурный метод описания СМО позволяет анализировать существующие

ющие системы и синтезировать при разработке новых, ранее несуществующих в практике. Кроме того, этот метод позволяет описывать структуру функциональными алгоритмами.

Литература: 1. Грачев А., Мельник А., Панов Л.И., Поверхностный монтаж - Одесса ОНЮА, 2003г. – 428с. 2. Гусарев В.С. ,Структурные схемы сборочных автоматов – сб. трудов РПУ. Рига. РПИ, 1980г., 5-11с. 3. Гусарев В.С., Высокопроизводительные машины-автоматы – сб. трудов «Расчёт, конструирование и исследование оборудования», АН СССР – ВНИИТ – М., Энергия, 1968г., 13-18с.

УДК 621.02.001.63

ДИСКРЕТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБРАЗУЮЩЕЙ ФРЕЗЕРУЕМОГО ПАЗА КОНЦЕВОЙ ФРЕЗОЙ

Фадеев А.А., ведущий инженер (г. Курск, Россия)

Discrete representation of a forming processable surface (a groove or a ledge) a trailer mill.

При создании САПР концевых фрез на первоначальном этапе необходимо учитывать профиль обрабатываемой поверхности – паз или уступ. Данный профиль можно задать набором конструктивных параметров паз (рис. 1): шириной паз B и B_1 ; высотой фрезеруемой детали H_1 ; глубиной фрезеруемого паз H ; величиной радиусов скругления: слева – R_1 , справа – R_2 ; размерами фасок: f_{1x}, f_{1y} - слева, f_{2x}, f_{2y} - справа паз. Тогда профиль представляет собой набор “типовых” кривых, таких как: отрезок прямой (участки АВ, ИК, КЛ, LM, MF, AG, GH, HF); дуг окружности (участки ВС, DE). Каждая прямая определяется своими параметрами (для отрезка прямой это координаты начала и конца, для дуги окружности - ориентация, координаты начала, конца, центра).

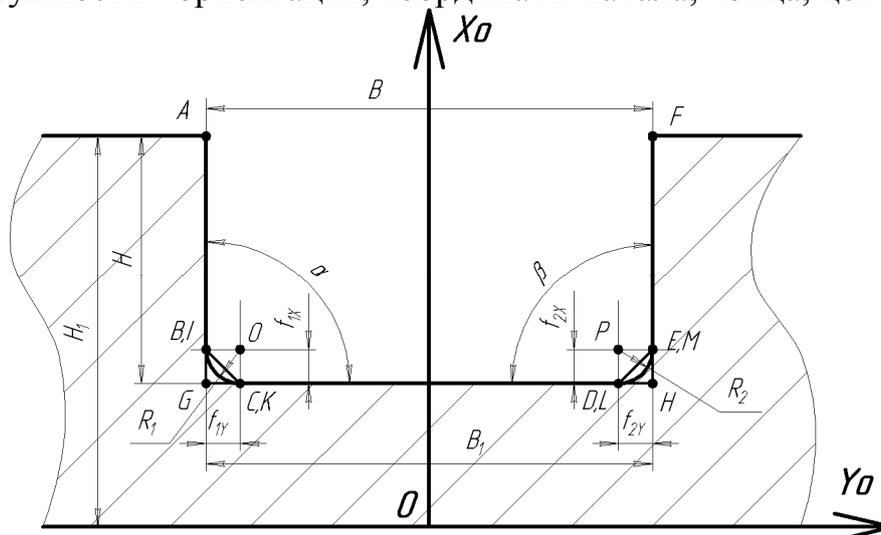


Рис. 1. Конструктивные параметры обрабатываемого паз концевой фрезой.

Расчет дискретного представления профиля реализуется в три этапа [1]:

- 1) расчета по конструктивным параметрам профиля параметров и координат опорных точек участков “типовых” кривых;
- 2) расчета дискретного представления “типовых” кривых;

3) объединения дискретного представления участков “типовых” кривых в одно общее дискретное представление профиля.

В [1, приложение 2.1.] приведена блок-схема для пересчета конструктивных параметров в координаты опорных точек и параметры “типовых” кривых профиля. Выполняемая ей функция имеет вид:

{набор конструктивных параметров, задающий профиль} \rightarrow { $K[\dots], P[\dots]$ },
 где $K[\dots]$ - массив кодов участков; $P[\dots]$ - массив параметров и координат опорных точек участков.

Для нашего случая эта функция будет иметь вид:

$$\left\{ H_1, H, B, \begin{array}{c|c} r_1 & r_2 \\ \hline (f_{1x}, f_{1y}) & (f_{2x}, f_{2y}) \\ \hline 0 & 0 \end{array}, \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} J_{AK} \geq 2, J_{RP} \geq 2, J_{VM} \geq 2, J_{AC} \geq 2, J_{LE} \geq 2, J_{ST} \geq 2, J_{GN} \geq 2, \\ J_{WM} \geq 2, J_{CE} \geq 2, J_{EG} \geq 2, J_{NM} \geq 2, J_{RT} \geq 2, J_{SP} \geq 2, J_{RG} \geq 2, \\ J_{EP} \geq 2, J_{SG} \geq 2, J_{ET} \geq 2 \end{array} \right\} \rightarrow \{K[\dots], P[\dots]\},$$

где $J_{AK}, J_{RP}, J_{VM}, J_{AC}, J_{LE}, J_{ST}, J_{GN}, J_{WM}, J_{CE}, J_{EG}, J_{NM}, J_{RT}, J_{SP}, J_{RG}, J_{EP}, J_{SG}, J_{ET}$ - количество точек дискретного представления соответствующих участков.

В общем случае массив кодов участков профиля паза будет иметь вид:

$$K[\dots] := \left[\begin{array}{c|c} -1 & -1 \\ \hline 2, (-1, 2, -1), 2, (-1, 2, -1), 2, 0 & \\ \hline 3 & 3 \end{array} \right],$$

где 2 - отрезок прямой, 3 - дуга окружности, -1 - точка излома, 0 - конец профиля.

В общем случае массив параметров профиля паза будет иметь вид:

$$P[\dots] := \left[\begin{array}{c|c|c|c} J_{AK} & J_{RG} & J_{GN} & J_{NM} \\ \hline & J_{TN} & J_{WM} & \\ \hline J_{RP}, J_{VM} & & & \\ \hline J_{AC} & J_{CE} & J_{EG}, J_{GN} & J_{NM} \\ \hline & J_{ET} & J_{WM} & \\ \hline & J_{LE} & J_{EP}, J_{VM} & \\ \hline & & J_{SP} & \end{array} \right].$$

Введем цифровое обозначение паза состоящего из двух цифр. Левая - для левой стороны паза, правая - для правой стороны паза. Цифра 1 обозначает прямой угол, 2 - фаска, 3 - дуга окружности. Таким образом 11 обозначает паз с прямыми углами справа и слева, 22 - паз с фасками, 33 - паз с скруглениями и т.д.

Рассмотрим частные случаи.

Вариант 11.

Массив кодов участков: $K[...]:= [2, -1, 2, -1, 2, 0]$;

Массив параметров и координат опорных точек участков:

$$P[...]:= [J_{AK}, x_{0A}, y_{0A}, x_{0K}, y_{0K}, \\ J_{RP}, x_{0R}, y_{0R}, x_{0P}, y_{0P}, \\ J_{VM}, x_{0V}, y_{0V}, x_{0M}, y_{0M},]$$

Вариант 22.

Массив кодов участков: $K[...]:= [2, -1, 2, -1, 2, -1, 2, -1, 2, 0]$;

Массив параметров и координат опорных точек участков:

$$P[...]:= [J_{AC}, x_{0A}, y_{0A}, x_{0C}, y_{0C}, \\ J_{LE}, x_{0L}, y_{0L}, x_{0E}, y_{0E}, \\ J_{ST}, x_{0S}, y_{0S}, x_{0T}, y_{0T}, \\ J_{GN}, x_{0G}, y_{0G}, x_{0N}, y_{0N}, \\ J_{WM}, x_{0W}, y_{0W}, x_{0M}, y_{0M},]$$

Вариант 33.

Массив кодов участков: $K[...]:= [2, 3, 2, 3, 2, 0]$;

Массив параметров и координат опорных точек участков:

$$P[...]:= [J_{AC}, x_{0A}, y_{0A}, x_{0C}, y_{0C}, \\ J_{CE}, x_{0C}, y_{0C}, x_{0E}, y_{0E}, x_{0D}, y_{0D}, r_{0CE}, \\ J_{EG}, x_{0E}, y_{0E}, x_{0G}, y_{0G}, \\ J_{GN}, x_{0G}, y_{0G}, x_{0N}, y_{0N}, x_{0F}, y_{0F}, r_{0GN}, \\ J_{NM}, x_{0N}, y_{0N}, x_{0M}, y_{0M}]$$

Предложенная математическая модель позволяет при автоматическом режиме спроектировать сборную концевую фрезу с СМП для обработки необходимого паза или уступа.

Литература: 1. Лашнев С.И., Борисов А.Н., Емельянов С.Г. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами: Монография/ Курск.гос.тех.ун-т. Курск, 1997, 391 с.

2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОФЕССОРА ПИХТОВНИКОВА РОСТИСЛАВА ВЯЧЕСЛАВОВИЧА

Кириченко Л.Р., канд. техн. наук, **Борисевич В.К.**, докт. техн. наук,
Савченко Н.Ф., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

Научная школа профессора Пихтовникова Ростислава Вячеславовича

6 октября 2007 г. исполняется сто лет со дня рождения выдающегося харьковского, известного во всём мире ученого, профессора Пихтовникова Р.В. - создателя первой в СССР научной школы обработки материалов импульсными источниками энергии.



Ростислав Вячеславович Пихтовников (1907-1972г.г.) родился в семье земских врачей в Белгородском уезде Харьковской губернии. После смерти отца в возрасте 15-ти лет приехал в г. Харьков. В г. Харькове работал на строительстве Госпрома, на ХЭМЗе.

1930-1935 г.г. – учеба в Харьковском авиационном институте. Будучи студентом, Ростислав Вячеславович включается в научную, ад-

министративную и общественную работу. Оставлен для научно-педагогической работы в институте, где проработал с 1935 г. по 1972 г. Из них 25 лет – проректором. Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по вопросам листовой штамповки металлов (1939 г.), доктор технических наук (1954г.), профессор (1955г.), зав. кафедрой технологии и организации производства самолётов (1942-52г.г.); зав. кафедрой технологии металлов и материаловедения (1954-72г.г.); зам. декана (1935-42г.г.); заместитель директора по научной и учебной работе и проректор по научной работе (1942-67г.г.). Участник и дипломант выставок ЭКСПО-67 (Монреаль, действующая автоматизированная гидродинамическая пушка, энергоноситель – порох), ВДНХ-69. (Москва, действующая модель автоматизированной рабочей зоны взрывного участка, энергоноситель – бризантные взрывчатые вещества). Заслуженный деятель науки и техники УССР (1968г.); Орден Ленина (1967г.); награды периода второй мировой войны; премия Совета Министров СССР (1985г. посмертно).

Обладая острым умом и редкой наблюдательностью Пихтовников Р.В., занимаясь в годы 2-й мировой войны восстановлением разрушенной боевой техники, обратил внимание на необычное для листовой штамповки явление –

значительное увеличение пластической деформации после взрывного деформирования авиационных изделий, хотя по канонам традиционной науки высокоскоростная штамповка была невозможна из-за хрупкого разрушения. Но в том то и заслуга ученого: увидеть то, что другие просто не замечают.

Начиная с 1944г. Ростислав Вячеславович проводит фундаментальные исследования и создает научные принципы обработки импульсными источниками энергии (а.с. № 157957 и № 157958 от 1949г.; а.с. № 139407 от 1960г.; 143211 от 1961г.).

Реализацию в сфере производства научных разработок Пихтовников Р.В. осуществляет вместе со своей научной школой. Великая роль молодежи заключается в легком восприятии всего нового, необычного. Пока не потеряно это качество, Пихтовников Р.В. стремился к тому, чтобы его фундаментальными идеями талантливые студенты овладели еще на старших курсах Вуза. Одновременно прививал им систему творческой работы. После такой подготовки молодые специалисты легко входили в коллектив научной школы. Ростислав Вячеславович обладал особым даром привлекать к себе талантливых работников благодаря личной целеустремленности, уважительному отношению к молодым специалистам по принципу «сегодня студент – завтра профессор» или «тот не солдат, кто не мечтает быть маршалом». Создавался теплый климат в коллективе. К находкам, стимулировавшим творческий и соревновательный дух в коллективе следует отнести и создание на кафедре целевой группы – «перспективной группы» для исследования сигнальных, первых идей коллектива, где личное участие Пихтовникова Р.В. проявлялось не только в обсуждении новых идей, многие из которых актуальны и сегодня, но и непосредственное его участие в проведении экспериментальных исследований. Так Пихтовников Р.В. формировал свой «человеческий капитал», сыгравший важнейшую роль в уникальных достижениях Пихтовникова Р.В. и его школы.

В результате взрывная штамповка во времена интенсивного освоения космоса, создания новых конструкций летательных аппаратов и двигателей становится практически единственной технологией изготовления высокоточных крупногабаритных деталей из новых, высокопрочных и трудно деформируемых материалов, необходимых для создания образцов новой техники при минимальных сроках подготовки производства. Координацию научной и технической деятельности огромной страны СССР в этот период осуществляет Государственный Комитет по науке и технике при Совете Министров СССР, в структуре которого имелись тематические научные советы, укомплектованные соответствующими профессионалами. С 1961г. Пихтовников Р.В. становится членом одного из этих научных советов (секция импульсных технологий). В том же году Пихтовников Р.В. входит в состав научного совета по проблеме "Народнохозяйственное использование взрыва" при Президиуме АН СССР.

Учитывая важность научно-исследовательских работ и практической реализации результатов как в ХАИ, так и на предприятиях страны, соответствующим постановлением Совета Министров Украины в авиационном институте в 1963 году была создана проблемная научно-исследовательская лаборатория по использованию импульсных источников энергии в промышленности. Её первым

научным руководителем был назначен профессор, д. т. н. Пихтовников Р. В.

Коллектив проблемной лаборатории разрабатывал и практически использовал принципиально новые направления импульсной обработки материалов, таких как взрывная штамповка (д.т.н В.К Борисевич, к.т.н А.А. Губский, к.т.н. В.Я. Зорик, к.т.н Зайцев А.Н., к.т.н В.Е.Еременко, к.т.н. В.П. Горбань, к.т.н В.И. Елисеев, к.т.н А.И. Сабакарь, А.В. Шкалова и др.) импульсное деформирование материалов ударом твердого тела (Кононенко В.Г., Боборыкин Ю.А., Зайцев К.И.), гидродинамическая штамповка (к.т.н Ю.Г. Мацукин, к.т.н А.И.Волков, к.т.н. А.П. Брагин, В.Г., Касьян, Г.К. Крыжный, А.В. Лисицын, и др.), газодетонационная штамповка (к.т.н. Б.А. Черепенников, д.т.н Сухов В.В., к.т.н. Ю.Б. Трахтенберг, д.т.н Фролов Е.А., к.т.н. Савченко Н.Ф. и др.), электрогидравлическая штамповка (к.т.н Ю.И. Чебанов, д.т.н. М.Е.Тараненко) и других, например сварки (к.т.н Н.Д. Сазоненко), сверхинтенсивных нагружений (к.т.н В.Я. Самойлов, П.И. Коваленко), повышения точности (к.т.н, проф. Н.И. Семишов и др.), штамповка сжиженными газами (А.П. Барсуков, А.Я. Лазаревич и др.).

В ХАИ была организована подготовка руководителей взрывных работ по обработке металлов (сотни человек для всей страны). Через целевую аспирантуру и соискательство из работников предприятий подготавливались кадры высшей квалификации (Казанович Л.Е., Баранников А.И. , Мартынов Е.Н. и др., всего свыше 50 к. т. н.). Научная школа Р. В. Пихтовникова под его непосредственным руководством и трудами его учеников, впоследствии также выдающихся ученых (Ю.Н. Алексеев, В.Г. Кононенко, В.К. Борисевич, В.С. Кривцов, В.П. Сабелькин, Э.А. Лимберг, С.А. Бычков и многих других) подготовила для вузов, НИИ и предприятий страны более 30 докторов технических наук и более 200 кандидатов наук.

Под непосредственным руководством Р. В. Пихтовникова коллектив учёных Харьковского авиационного института в стране создает не только постоянно действующие производственные участки и цехи взрывной штамповки, но и временные – для решения сложных научно-технических задач при создании уникальных изделий. На одном из таких участков под г. Санкт-Петербургом были отштампованы детали диаметром свыше пяти метров с точностью рабочей поверхности до одной десятой миллиметра. При прессовом варианте изготовления высокоточной детали потребовался бы не только уникальный пресс с площадью стола до 40 кв. м, но и штамповая оснастка весом более ста тонн, рабочую поверхность которой пришлось бы корректировать после уточнения упругого пружинения при деформировании. Экономическая эффективность составляла десятки миллионов рублей СССР.

Уникальная взрывная технология была использована также на Мариупольском заводе тяжелого машиностроения при получении желобов сложной формы для слива нефтепродуктов в уже изготовленных железнодорожных цистернах. При этом не было необходимости в создании (использовании) оборудования для реализации технологии, а масса матрицы с формующей поверхностью не превышала десяти тонн.

Таких автономных участков, без монтажа и установки технологического оборудования, без необходимых при традиционных методах энергоисточников,

было создано несколько десятков. После решения научно-технических задач они легко демонтировались или перепрофилировались. Большую помощь предприятиям, осваивавшим новые образцы изделий с крупногабаритными листовыми деталями, для штамповки которых ещё отсутствовало оборудование, оказывал опытно - экспериментальный полигон импульсной штамповки ХАИ. Он был оснащён различными типами универсального технологического оборудования для взрывной штамповки, разработанного и апробированного в ХАИ. Так для Чебоксарского завода промышленных тракторов были изготовлены сотни крупногабаритных деталей при отсутствии на предприятии смонтированного уникального прессового оборудования.

Для завода «Море» (г. Феодосия) изготавливались высокоточные сопла водомёттов, а для «Турбоатома» (г. Харьков) - листовые детали для мини ГЭС.

Большинство созданных участков импульсной обработки металлов (более сорока) были постоянно действующими, функционирующими на предприятиях не один десяток лет. Один из лучших цехов взрывной штамповки, созданный в Запорожье, обеспечивал годовые программы в десятки тысяч деталей в год. В производственных подразделениях импульсной металлообработки решались научно-технические проблемы изготовления листовых деталей сложного профиля из высокопрочных сплавов. Это, прежде всего, моторостроительные предприятия в г. Рыбинске, Перми, Омске, Казани, Самаре.

На авиазаводах, наряду с применением взрывной штамповки, широко использовались методы гидродинамической штамповки (прежде всего при изготовлении крутоизогнутых элементов и соединений трубопроводов различных систем самолёта) и газодетонационной и электрогидравлической штамповки. География этих предприятий обширна, но среди них следует отметить участки импульсной металлообработки в городах Киеве, Ульяновске, Казани, Перми, Н. Новгороде, Новосибирске, Самаре, Ташкенте, Тбилиси, Москве и т. д. (некоторые из изделий приведены на рисунках). В 1999 -2000 г.г. импульсные методы штамповки листовых деталей благодаря изготовлению высокоточных антенн обеспечили возможность повысить точность радиопеленгации на установках типа «Кольчуга» отечественного производства. Новые технологии сегодня в ХАИ разрабатываются под руководством доктора технических наук, профессора, академика Борисевича Владимира Карповича, основавшего Международный институт новых технологий и материалов.

Попрежнему актуальны основные положения, на которых базировалось создание технологических процессов импульсной обработки материалов:

- создание новых технологий на основе экспериментально подтвержденных научных исследований;
- перевооружение производства и пересмотр существующих технологий (их паспортизация) с позиций экологической безопасности, максимального ресурсо - и энергосбережения;
- высшие показатели экономической эффективности;
- пересмотр организационно-экономических принципов внедрения новых технологий с позиций функционирования производственных систем;

- внедрение гибких технологических систем, способных к автономному функционированию;
- высокий уровень надежности систем, их способность к дальнейшему функционированию в экстремальных условиях, безопасному для окружающей среды даже в случае выхода из строя отдельных элементов технологической системы;
- минимальные затраты на технологическое переоснащение производства;
- возможность интегрирования в существующие технологические комплексы и взаимодействия с автоматизированными системами управления производством.

Под руководством Р.В. Пихтовникова разрабатывались все известное на сегодняшний день виды импульсного оборудования: бассейны, бронеймы (к.т.н. А.А. Губский, к.т.н. А.И. Волков, д.т.н. И.И. Бажин, к.т.н. А.У. Соломяный, В.П. Павиченко, к.т.н.В.А. Нестеренко и др.) и бронекмеры (к.т.н. Л.Р. Кириченко, к.т.н. С.И. Молодых, к.т.н. Н.Ф. Савченко), пресса (к.т.н. В.И. Исаенко и др.), ставились задачи и были намечены направления превращения их в комплексы, оснащенные специальными рабочими органами по типу вакуумные малогабаритные камеры (капсулы), контейнеры с энергоносителями (горючие газы, взрывчатые вещества и другие: электромагнитные, магнитно-импульсные, пневматические, тепловые и т.д.), а также их соответствующие комбинации с целью превращения их в автоматизированные рабочие места и участки. Например, успешное применение резки металлов энергией взрыва было осуществлено при непрерывной разливке стали под руководством профессора В.Г. Кононенко сначала на Новотульском металлургическом заводе. Резка осуществлялась взрывным копром порохового действия, который конструктивно был выполнен на базе автоматической авиационной пушки типа Н-37Д.

Исследование и совершенствование процессов резания шло параллельно с эволюцией оборудования для резки на установках непрерывной разливки стали.

Впервые в практике патентно-лицензионной работы ВУЗов бывшего СССР ХАИ продал лицензию немецкой фирме «Демаг» на технологический



Действующая модель автоматизированной установки типа бронекмера.

процесс и высокоскоростное оборудование для безотходного резания слитков. Замечательным достижением явилось и представление автоматизированной пушки для гидродинамической штамповки на выставке ЭКСПО-67 в Монреале и дальнейшее внедрение в производство модификаций пушек на многих заводах (Ю.Г. Мацукин, В.П. Брагин и др.). В настоящее время работы по импульсным технологиям координируются ректором Харьковского авиационно-космического университета д.т.н. проф., Кривцовым Владимиром Станиславовичем в соответствии с концепцией создания технологических систем производства деталей летательных аппаратов с использованием импульсных методов обработки.

Актуальны и могут считаться важнейшими задачи, сегодня остро стоящие перед технологией машиностроения, сформулированные еще в 50-70-е годы прошлого столетия как основополагающие принципы профессора Р.В. Пихтовникова, ресурсо- и энергосбережения, такие как:

- созданию все более точных и качественных изделий, обеспечивающими:
- возможность групповой обработки изделий;
- возможность изменения параметров заготовок в самых широких пределах;
- возможность взаимосогласования в широких пределах параметров изделия, энергоносителей и конструкции устройств для выполнения различных операций;
- возможность безопасного использования энергоносителей, используемого для выполнения технологических операций (основных и дополнительных).

Исходя из этого, и сегодня во многих научных коллективах (ХАИ, ХНЭУ и др.) используются положения профессора Р.В. Пихтовникова для расширения области применения импульсных технологий. Их использование находит место в новых технологиях для:

- интенсификации добычи нефти или газа;
- очистки колонн и трубопроводов от парафиновых отложений и продуктов коррозии;
- ликвидации аварий путем устранения не герметичности в особо сложных условиях: зоне повреждения обсадной колонны, а также ее смятия;
- проведения перфорации обсадной колонны последовательным прожиганием отверстий в стенке колонны;
- ликвидации прихватов и других работах, обычно осуществляемых с применением конденсированных бризантных взрывчатых веществ, пороховых аккумуляторов и генераторов давления;
- обезвреживания ядовитых и взрывоопасных материалов
- ликвидации пожаров на крупных объектах, требующих интенсивного силового воздействия потоками различных сред или с использованием устройств метательного типа (например, снарядов или гранат).

Вклад профессора Р.В. Пихтовникова в развитие технологии машиностроения поистине можно считать уникальным. За 30 лет Р.В. Пихтовников и его школа проделали путь от возникновения идей, их фундаментальных проработок и через технологии к обширной реализации в сфере производства.

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ НАНЕСЕНИЯ И ДОЛИ ЗОЛЬНЫХ ДОБАВОК
ВО ФЛЮС НА ТВЁРДОСТЬ ПОКРЫТИЯ****Скобло Т.С.**, докт. техн. наук, **Коломиец В.В.**, докт. техн. наук,**Ридный В.Ф.**, канд. техн. наук, **Ридный Р.В.** (г. Харьков, Украина)

The results of an experimental research of influence of modes of drawing and share of slag on hardness of a covering of details restored by a method electroarc surfacing are given. The modes are determined which provide the maximal hardness.

Нанесение покрытия методом дуговой наплавки под флюсом – один из основных видов восстановления изношенных поверхностей деталей машин. Главными его преимуществами являются непрерывность процесса, высокая производительность и качество, незначительные потери электродного материала, отсутствие открытого излучения дуги, что значительно улучшает условия труда электросварщиков [1].

При нанесении покрытия методом автоматической наплавки под слоем флюса электрическая дуга горит между наплавляемой деталью и электродной проволокой. В зону горения дуги автоматически равномерно и непрерывно подаётся электродная проволока или лента. Под действием теплоты дуги электродный и основной металлы, плавясь, образуют на поверхности детали ванну жидкого металла, а флюс, частично расплавляясь на поверхности металла, создаёт шлаковый слой, защищающий расплавленный металл от вредного воздействия воздуха. Вследствие защитного свойства расплавленного флюса замедляются охлаждение металла покрытия, что благополучно влияет на формирование слоя, снижает пористость и затрудняет образование закалочных структур в зоне термического влияния. Благодаря этому получается слой металла покрытия с высокими механическими свойствами, улучшить которые можно, вводя в состав металла легирующие элементы, в том числе и через флюс.

Тела вращения – наиболее распространённый объект нанесения покрытия методом автоматической наплавки. Нанесение покрытия на цилиндрическую поверхность обычно ведётся по винтовой линии с перекрытием предыдущего валика последующим на $1/2 \dots 1/3$ ширины. Преимущества такого метода:

- 1) непрерывность процесса, обеспечивающая высокую производительность;
- 2) качественное формирование наплавленного слоя, что позволяет свести к минимуму припуск на обработку;
- 3) симметричность напряжений по отношению к оси детали, что уменьшает (или совсем устраняет) деформации.

Диаметр электрода выбирают в зависимости от диаметра восстанавливаемой детали или толщины стенки полой детали. Вылет электрода выбирают в зависимости от диаметра проволоки и требуемой глубины проплавления. Ток и напряжение определяют длину сварочной ванны. В свою очередь допустимая длина ванны зависит от диаметра восстанавливаемой детали (при чрезмерной длине ванны возможно стекание металла) [2, 3].

Целью работы являлось повышение твёрдости восстанавливаемых поверхностей деталей путём дополнительного микролегирования введением в жидкую ванну зольных отходов. В задачу исследования входило и определение

оптимальной концентрации таких добавок.

Таблица 1.

План эксперимента при оптимизации твёрдости металла покрытия нанесенного наплавкой с использованием зольных отходов

Интервал варьирования и уровень факторов	Сила тока	Скорость перемещения дуги V , м/ч	Зольные отходы, D , %
	I , А	X_2	X_3
Нулевой уровень $x_i=0$	190	22	10
Интервал варьирования δ_i	30	4	5
Нижний уровень $x_i=-1$	160	18	5
Верхний уровень $x_i=+1$	220	26	15
Звёздные точки $x_i=-1,682$ $x_i=+1,682$	140	16	0
	240	28	20

Таблица 2.

План – матрица эксперимента при оптимизации твёрдости покрытия нанесенного наплавкой с использованием зольных отходов

№ п/п	X_1	X_2	X_3	I , А	V , м/с	D , %	HRC
1	–	–	–	160	18	5	47
2	+	–	–	220	18	5	35
3	–	+	–	160	26	5	42
4	+	+	–	220	26	5	32
5	–	–	+	160	18	15	49
6	+	–	+	220	18	15	34
7	–	+	+	160	26	15	43
8	+	+	+	220	26	15	33
9	–1,682	0	0	140	22	10	39
10	+1,682	0	0	240	22	10	29
11	0	–1,682	0	190	16	10	42
12	0	+1,682	0	190	28	10	36
13	0	0	–1,682	190	22	0	34
14	0	0	+1,682	190	22	20	42
15	0	0	0	190	22	10	43
16	0	0	0	190	22	10	45
17	0	0	0	190	22	10	42
18	0	0	0	190	22	10	44
19	0	0	0	190	22	10	42
20	0	0	0	190	22	10	45

На кафедре «Ремонт машин» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенка были проведены исследования по упрочнению восстановленных методом электродуговой наплавки покрытий деталей микролегированием с использованием продуктов сгорания

(золы) тепловых электростанций [4, 5]. Одним из этапов исследований являлась оптимизация режимов процесса. Покрытие наносили низкоуглеродистой низколегированной проволокой Нп-30ХГСА диаметром 1,6мм под слоем высококремнистого марганцевого флюса общего назначения АН-348А на цилиндрическую поверхность детали диаметром 75мм из стали 40Х. Входные параметры: сила тока I , скорость перемещения дуги (скорость нанесения покрытия) V и доля вводимых золных отходов D ; выходной параметр – твёрдость поверхностного слоя покрытия (HRC). Выполнено математическое планирование эксперимента [6] для получения эмпирической зависимости: $HRC=f(I, V, D)$. Для создания математической модели выбран рототабельный трёхфакторный план второго порядка. Результаты кодирования факторов приведены в табл. 1, план эксперимента приведен в табл. 2.

В результате проведенных расчётов было получено следующее уравнение регрессии:

$$HRC=43,4-4,673X_1-1,837X_2+1,205X_3 +0,875X_1X_2-0,375X_1X_2+0,125 X_2X_3-2,771X_1^2-1,003X_2^2-1,357X_3^2.$$

Влияние режимов процесса нанесения покрытия при восстановлении деталей на твердость поверхностного слоя HRC представлены на рис. 1 – 3.

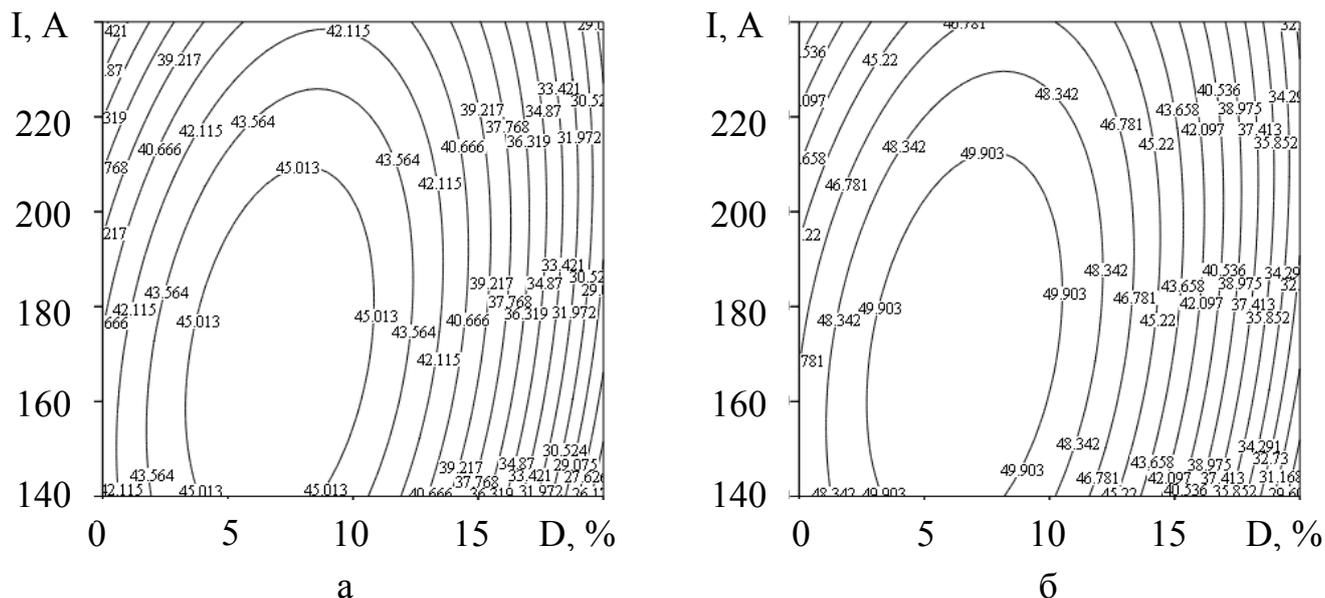


Рис. 1. Влияние доли золы D (%) во флюсе и силы тока I (А) на твердость (HRC) нанесённого покрытия при скорости перемещения дуги: а – $V=16$ м/ч; б – $V=22$ м/ч.

В случае, когда не изменяется скорость перемещения дуги V (см. рис. 1), анализируется совместное влияние доли золы во флюсе D и силы тока I на твердость покрытия восстановленной детали. Поверхность отклика имеет вид эллиптического параболоида с длинной осью, ориентированной в направлении изменения силы тока. Это свидетельствует о значительно большем влиянии доли золы во флюсе D в сравнении с силой тока I на исследуемый параметр HRC . Из рис. 1. видно, что оптимальные значения доли легирующей добавки золы во флюсе D колеблется в пределах 5...7%, а сила тока $I=160...180$ А при скорости перемещения дуги $V=22$ м/ч.

Рассматривая случай, когда не изменяется сила тока (см. рис. 2), получили поверхность отклика подобную предыдущей. Анализ линий сечения полученной поверхности свидетельствует об аналогичном характере совместного влияния доли вводимой золы и скорости перемещения дуги на твердость. Только в данном случае, изменение скорости оказывает меньшее влияние, чем сила тока в ранее рассмотренном случае, о чём свидетельствует вытянутость эллипсов линий уровня в вертикальном направлении. Также видно, что оптимальные значения параметров доли легирующей золы во флюсе $D=5\dots7\%$, а скорость перемещения дуги $V=23\dots27\text{м/ч}$.

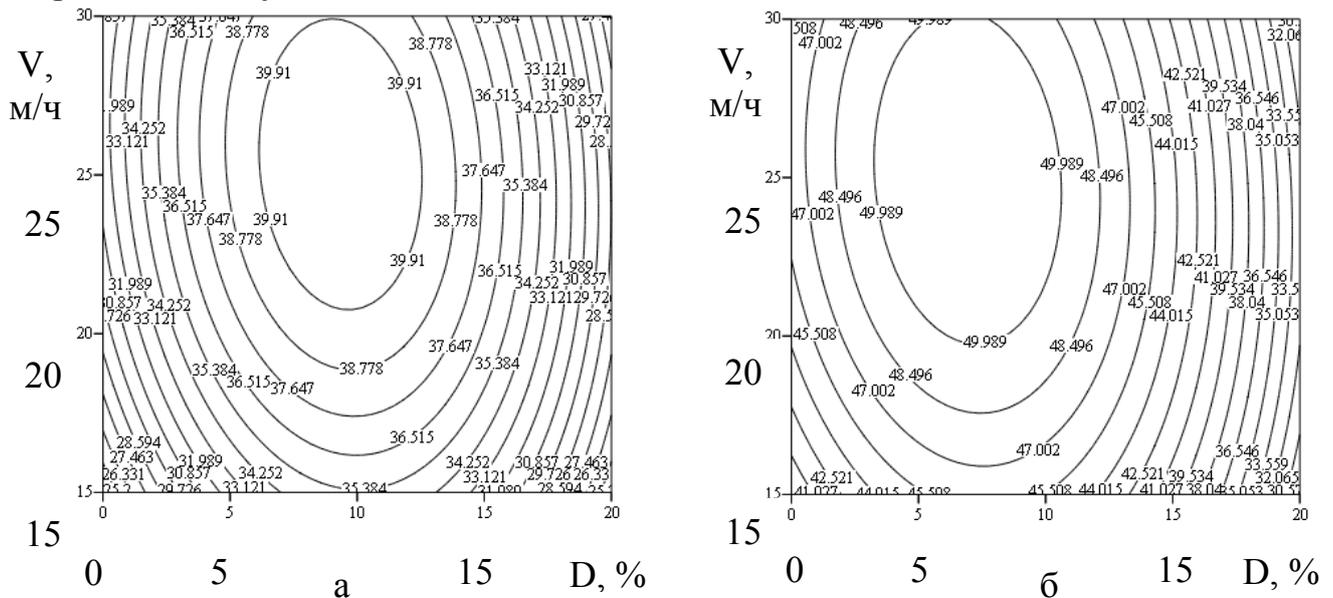


Рис. 2. Влияние доли золы D (%) во флюсе и скорости перемещения дуги V (м/ч) на твёрдость (HRC) нанесенного покрытия при силе тока I (А): а – $I=190\text{A}$; б – $I=280\text{A}$.

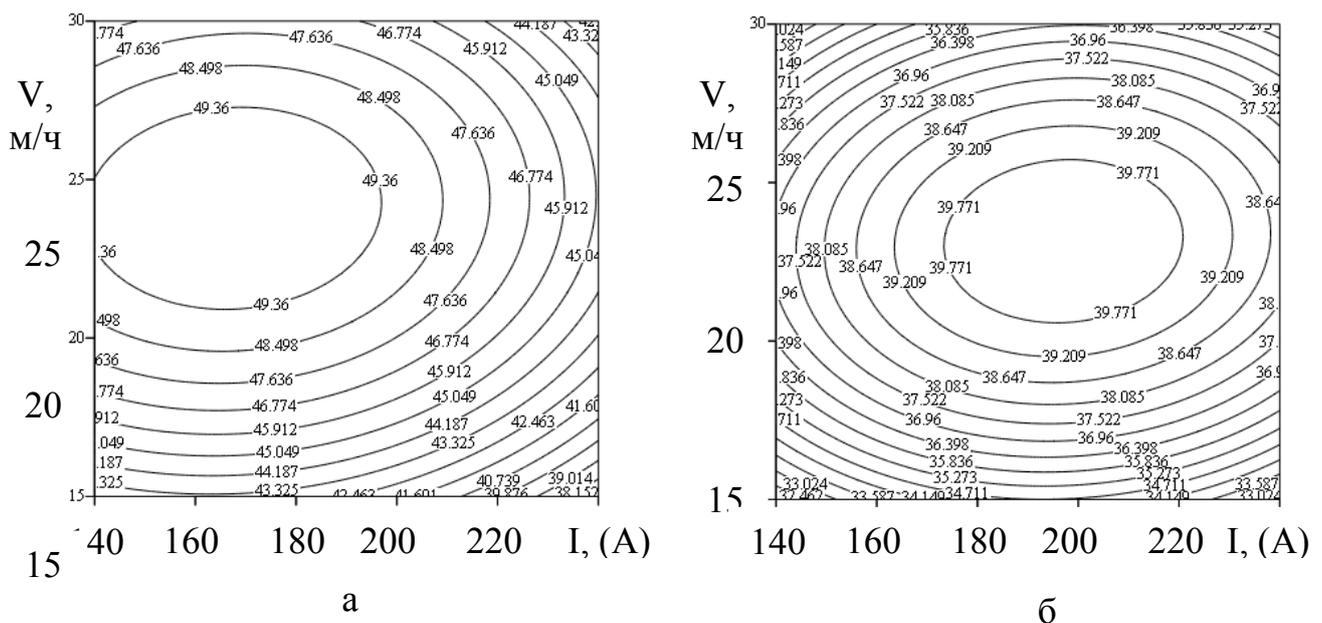


Рис. 3. Влияние силы тока I (А) и скорости перемещения дуги V (м/ч) на твёрдость (HRC) нанесенного покрытия при доле золы во флюсе: а – $D=5\%$; б – $D=15\%$.

Результаты изучения взаимного влияния силы тока и скорости перемеще-

ния дуги на твердость при постоянном количестве добавки легирующей золы во флюс приведены на рис. 3.

Поверхность отклика также имеет вид эллиптического параболоида, однако эллипсы линий уровня менее вытянуты, что свидетельствует о примерно равнозначном влиянии силы тока и скорости перемещения дуги, хотя просматривается незначительно большее влияние на твердость восстановленной поверхности силы тока, в сравнении со скоростью перемещения дуги. Из данных зависимостей также можно определить оптимальные параметры процесса соответствующие: $I=160...180\text{А}$, $V=23...27\text{м/ч}$.

Ранее проведенными исследованиями [4, 5] было экспериментально установлено, что введение золных отходов более 10% приводит к снижению качества покрытия за счёт появления повышенной пористости.

Из изложенного выше можно сделать следующий вывод, что оптимальными параметрами процесса нанесения покрытия методом электродуговой наплавки под слоем флюса являются: сила тока $I=160...180\text{А}$; скорость перемещения дуги $V=23...27\text{м/ч}$, доля золных отходов ТЭС во флюсе $D=5...7\%$.

Литература: 1. Основы технологии механизированной наплавки. И.И. Фрумин, Е.И. Лейначук, Ю.А. Юзвенко, М.М. Нероденко. – М.: Профтехиздат, 1961. –303с. 2. Метлин Ю.К., Новиков И.В., Акильев С.А. Сварочные и наплавочные работы при ремонте деталей строительных машин. Справочник. – М.: Стройиздат, 1981. – 161с. 3. Шехтер С.Я., Резницкий В.Д. Наплавка металлов. – М.: Машиностроение, 1982. – 71с. 4. Скобло Т.С., Власовец В.М., Ридный Р.В. Упрочнение восстановительных покрытий деталей микролегированием с использованием отходов ТЭС // Физические и компьютерные технологии: Труды 11-й международной научно-технической конференции. – Харьков., 2005. – с.176 – 180. 5. Ридный Р.В. Использование золных отходов тепловых электростанций для микролегирования покрытий // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Підвищення надійності відновлюємих деталей машин.–2005.–№26.–с.240– 244. 6. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. «Техніка», 1975. – 168с.

УДК 621.797

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЗАКАЛЕННЫХ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ПО ОТКЛОНЕНИЯМ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ

Скобло Т.С., докт. техн. наук, **Сидашенко А.И.**, канд. техн. наук,
Поздняков Н.Г. (г. Харьков, Украина)

The analysis of rejections of koertcitiv force on the shells of cylinders on formative and on the height of shell is conducted. The difference of values of koertcitiv force between the hard-tempered and raw surfaces of shells is explored.

Одной из наиболее ответственных деталей двигателей внутреннего сгорания является гильза цилиндров. В связи с этим к ней предъявляются достаточно высокие требования по качеству. Это требует разработки такого метода контроля, который бы позволил проводить 100 % надежный анализ качества гильз цилиндров, поступающих к потребителю.

Таким методом был выбран неразрушающий метод контроля качества по коэрцитивной силе.

В основу метода было положено проведение замеров коэрцитивной силы

в гильзах цилиндров на внешней (сырой) и внутренней (закаленной) поверхностях гильзы.

Целью работы являлось определение отклонений контролируемого показателя по продольному и поперечному сечениям исследуемых образцов. Также планировалось выявить разницу показаний коэрцитивной силы между закаленной и сырой поверхностями, что даст возможность определить влияние закалки на магнитные свойства материала, оценивать структурное состояние и глубину упрочненного слоя.

В качестве образцов были выбраны гильзы цилиндров различных двигателей: СМД-60; Д-240; ЯМЗ-238; СМД-31.

При проведении работы, на каждой исследуемой гильзе было выполнено ряд измерений коэрцитивной силы, количество которых определялось геометрическими размерами гильзы и шупа коэрцитиметра.

Схема проведения замеров представлена на рис. 1.

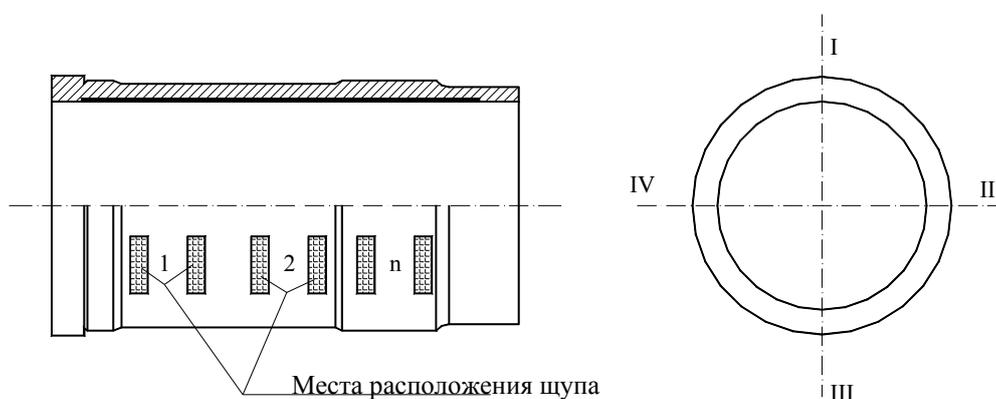


Рис. 1 Схема проведения замеров коэрцитивной силы.

Анализировали следующие параметры:

- отклонения коэрцитивной силы по образующей гильзы (в нескольких местах на равном удалении от бурта);
- отклонения коэрцитивной силы по высоте гильзы (разница между замерами в местах, удаленных от бурта на различные расстояния и расположенные на одной линии);
- разница между замерами на термообработанной (рабочей) поверхности и соответствующими им замерами на сырой (наружной).

Результаты измерений коэрцитивной силы сведены в табл. 1.

По каждой гильзе рассчитывали среднее значение, отклонение максимальных и минимальных значений от среднего и размах значений по следующим формулам:

среднее:

$$\bar{O} = \frac{1}{N} \sum_{1}^N X, \quad (1)$$

где N – количество измерений; X – значение коэрцитивной силы в месте замера, А/см.

Таблица 1

Результаты измерений коэрцитивной силы на закаленных гильзах цилиндров

Гильза	Производитель гильз	Сечение		1	2	3	4	5	6	7
СМД-60_№1	Конотоп	I	сырая	9,3	9,5	9,3	9,3	11,3	10,6	
			ТВЧ	12,7	12,7	12,6	12,6	11,7	10,9	
		II	сырая	9,2	9,5	9,5	9,5	11,7	10,7	
			ТВЧ	12,8	12,7	12,8	12,8	12,3	11,6	
		III	сырая	9,7	9,8	9,7	9,4	11,7	10,7	
			ТВЧ	13,1	12,3	12,9	12,2	11,7	10,6	
		IV	сырая	8,9	8,9	9,0	9,2	11,4	10,3	
			ТВЧ	11,7	11,5	12,1	12,0	11,3	10,5	
СМД-60_№3	Киев	I	сырая	10,0	10,6	10,7	10,8	11,8	10,2	
			ТВЧ	12,7	12,7	12,6	13,0	11,5	9,7	
		III	сырая	9,5	10,5	10,6	10,6	11,5	10,3	
			ТВЧ	12,9	12,4	12,5	13,1	11,6	9,6	
		II	сырая	10,4	10,7	10,5	10,2	11,5	10,3	
			ТВЧ	12,8	12,4	12,5	13,0	11,4	9,6	
		IV	сырая	10,0	10,6	11,1	10,9	11,6	10,6	
			ТВЧ	13,0	12,6	12,6	13,2	11,8	9,6	
Д-240_№2	Конотоп	I	сырая	10,9	11,0	11,4	11,3	11,8	11,5	11,9
			ТВЧ	12,2	12,2	12,0	11,9	12,5	12,6	11,8
		II	сырая	11,0	11,5	12,0	11,7	11,8	12,1	12,4
			ТВЧ	12,3	12,2	12,3	12,4	12,4	12,4	11,7
		III	сырая	11,1	11,2	11,6	11,5	11,5	11,4	12,1
			ТВЧ	11,4	11,1	11,0	11,0	11,0	11,2	11,0
		IV	сырая	11,1	11,1	11,3	11,5	11,7	11,8	12,0
			ТВЧ	11,8	11,6	11,1	11,5	11,6	11,9	11,3
Д-240_№4	Киев	I	сырая	9,3	9,3	9,4	9,5	9,5	9,8	10,3
			ТВЧ	8,6	8,5	8,6	8,7	8,7	8,7	9,1
		III	сырая	9,4	9,7	9,8	9,9	9,9	10,1	10,5
			ТВЧ	8,8	8,8	8,8	8,9	8,9	9,1	9,1
		II	сырая	9,4	9,4	9,6	9,7	9,7	9,9	10,3
			ТВЧ	8,6	8,6	8,7	8,8	8,9	8,9	9,0
		IV	сырая	9,2	9,2	9,4	9,4	9,5	9,7	10,2
			ТВЧ	8,5	8,7	8,5	8,6	8,7	9,1	9,1
СМД-60_1'	Киев	I	сырая	8,1	8,2	8,2	8,3	10,4	8,5	
		II	сырая	8,2	8,5	8,6	8,6	10,6		
		I	ТВЧ	10,0	10,1	9,9	10,0	9,6	8,4	
СМД-60_2'	Киев	I	сырая	8,5	9,1	9,1	9,5	9,5	9,2	
		II	ТВЧ	11,1	10,7	10,6	11,0	11,1		
СМД-31_1		I	сырая	9,7	8,9	8,8	8,7	10,6	10,9	
			ТВЧ	11,3	10,6	10,6	10,6	11,6	13,7	
		II	сырая	9,8	9,6	9,7	9,9	12,4	12,3	
			ТВЧ	11,5	11	11,2	11,3	12,9	14,2	
СМД-31_2		I	сырая	9,8	9,2	9,2	9	11,2	11,5	
			ТВЧ	11,4	10,3	10,6	10,6	11,3	13,2	
		II	сырая	9,9	9,2	8,8	8,6	10,5	10,3	
			ТВЧ	11,7	10,9	10,8	11	11,6	13,1	

Продолжение табл.1

Гильза	Производитель гильз	Сечение		1	2	3	4	5	6	7
ЯМЗ-238_3	Ярославль	I	сырая	6,4	6,6	6,7	6,8	8,3	8,1	
			ТВЧ	9,2	8,9	9,1	9,2	9,1	8,1	
		II	сырая	6	6,1	6	6	6,4	7,8	
			ТВЧ	8,6	8,4	8,3	8,1	8,6	7,4	
ЯМЗ-238_4	Ярославль	I	сырая	6,7	6,8	6,9	7	7,8	9	
			ТВЧ	10	9,8	9,8	10,1	10,8	12,3	
		II	сырая	6,9	6,8	7	6,9	7,7	8,9	
			ТВЧ	9,3	9,4	9,8	10,1	10,9	10	
ЯМЗ-238_5	Ярославль	I	сырая	7,9	7,9	7,8	7,7	7,8	7,8	
			ТВЧ	11,4	11,2	11,3	11	11,1	9,8	
		II	сырая	8,2	8,4	8,4	8,2	8,8	10,1	
			ТВЧ	11	10,5	10,9	10,5	11,1	10,4	

Отклонения:

максимального значения от среднего:

$$\tilde{O}_{i_{max}} = \max(X) - \bar{X}; \quad (2)$$

минимального значения от среднего:

$$\tilde{O}_{i_{min}} = \bar{X} - \min(X). \quad (3)$$

Размах:

$$R = \max(X) - \min(X), \quad (4)$$

где $\max(X)$, $\min(X)$ – соответственно максимальное и минимальное значение коэрцитивной силы на гильзе.

При подстановке значений для расчета отклонений по высоте гильзы были получены следующие данные:

размах значений

- на закаленной поверхности колебался в пределах от 0,4 до 3,6 А/см;
- на сырой – от 1,0 до 2,8 А/см;

отклонения составили:

- на закаленной поверхности – $X_{o_{max}} = 0,2...1,1$, А/см $X_{o_{min}} = 0,1...2,5$ А/см;
- на сырой поверхности – $X_{o_{max}} = 0,2...1,1$ А/см, $X_{o_{min}} = 0,1...2,5$ А/см.

Таким же образом подсчитывали размах и отклонения по образующей гильзы:

размах значений

- на закаленной поверхности колебался в пределах от 0,1 до 1,5 А/см;
- на сырой – от 0,1 до 1,9 А/см;

отклонения составили:

- на закаленной поверхности – $X_{o_{max}} = 0...0,7$ А/см, $X_{o_{min}} = 0...0,9$ А/см;
- на сырой поверхности – $X_{o_{max}} = 0...1,2$ А/см, $X_{o_{min}} = 0...1,0$ А/см.

Также подсчитали разницу между показаниями коэрцитивной силы на закаленной и сырой поверхностях. При этом получили разброс значений от 0 до 3,6 А/см.

В результате проведенных исследований установлено, что отклонения на исследуемых гильзах превышают значения погрешности измерений прибора (для коэрцитиметра КРМ-Ц она составляет 2,5%, что в нашем случае не превышает 0,4 А/см). Из этого следует, что в ряде случаев имеются отклонения от требований на структуру материала гильз, что является предметом наших дальнейших исследований.

УДК 621.793.7

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ЗАМЕРЕ
КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ ВО ВТУЛКАХ ЦИЛИНДРОВ НА
СТАБИЛЬНОСТЬ СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ И РАЗМАХОВ**

Скобло Т. С., докт. техн. наук, **Сидашенко А.И.**, канд. техн. наук,
Марченко М. В. (г. Харьков, Украина)

In work the influence of magnetic transformer of device on the testimonies of koertcitiv force is definite, and the analysis of measuring process on stability of middle sizes and scopes is similarly conducted

Как известно [1] работа двигателя внутреннего сгорания в наибольшей мере зависит от качества деталей. Особое внимание следует уделять наиболее ответственным деталям, которые работают при больших знакопеременных нагрузках, к ним относятся: коленчатые валы, поршни, распределвалы, шатуны, втулки цилиндров и т.д.

Следует отметить, что наличие брака во втулках цилиндра может привести к ее преждевременному выходу из строя, а это в свою очередь ведет к увеличению расхода топлива, уменьшению мощности и в конечном итоге к тому, что капитальный ремонт двигателя будет производиться раньше запланированного срока.

Существующие методы оценки качества втулок по твердости (оценка производится по одной втулке из партии) не дают 100% гарантии, и в эксплуатацию попадает брак. Внедрение метода неразрушающего контроля качества по коэрцитивной силе позволит определять качество втулок не одной из партии, а всех, что позволит получить полную отбраковку изделий. При этом проверку качества можно осуществлять не только на предприятии изготовители но и на входящем контроле у потребителя.

В предыдущих работах [2, 3] были проведены исследования по влиянию структурного фактора на зависимость коэрцитивная сила – твердость. Целью данной работы является определение влияние магнитного преобразователя прибора на показания коэрцитивной силы, а так же определение измерительного процесса на стабильность средних размеров и размахов.

Для определения влияния различных факторов на показания твердости и коэрцитивной силы производили сопоставительные исследования. Сопоставительные исследования втулок цилиндров малых судов, рассмотренные в работе (замер коэрцитивной силы по "свежеотлитой" заготовке; вырезка кольца для замера твердости, определения структуры и химического состава), производили как на предприятии - изготовителе "Мотордеталь - Правэкс" так и в исследовательском центре ХНТУСХ, Лутугинском заводе прокатных валков. Контроль-

ные замеры (входной контроль готовой продукции) выполняли на харьковском предприятии "Универсалкомплект".

В процессе проведения работы было проанализировано свыше 400 втулок. Более детальные исследования, согласно действующей нормативно – технической документации [4], проводили на 10 представителях от общего количества втулок. При этом разброс значений твердости в этой группе выборки, составлял 5,2-12,0%, а коэрцитивной силы 2,8-9,0%. В среднем отклонения примерно одинаковые для этих показателей. Отклонения от требований ТУ по твердости, а также - уровня коэрцитивной силы от средних значений выявлены для отдельных втулок (до 3,3%), что связано с ликвацией компонентов в чугуне, несоответствием химического состава и неравномерным распределением углерода (в отдельных зонах доля цементита $\geq 5\%$). Это возможно при нарушении технологии модифицирования расплавленного металла, из - за плохого его перемешивания. Таким образом, уровень коэрцитивной силы может определять не только уровень твердости, но и химическую, структурную неоднородность.

В процессе проведения испытаний были использованы два типа коэрцитиметров которые отличались размером магнитных преобразователей один из них имеет магниты размером 5 мм и расстоянием между ними составляет 25 мм; второй с магнитами размером 12 мм и расстоянием между ними 33 мм. Статистическими исследованиями было установлено, что размеры щупа не значительно влияют на показания коэрцитивной силы и различия в показаниях не превышают 2,5%, что находится в пределах погрешности прибора.

Исследование измерительного процесса на стабильность средних размеров и размахов производили в соответствии с ГОСТ Р 51814.3.

Для оценки статистических характеристик измерительного процесса отбирали образцы из различных втулок в соответствии со следующими требованиями:

- образец отобран из значимого (текущего) цикла производства;
- значение измеряемого параметра отобранного образца было близко к середине поля допуска на него (табл. 1).

Определили периодичность проведения измерений параметра образца (ежедневно), а также необходимое количество измерений Q (от трех до пяти раз) в одном цикле измерений. Количество циклов измерений (для получения достоверных свидетельств стабильности измерительного процесса во времени) $T=12$.

Для каждого цикла измерений производили расчет среднего значения результатов измерений \overline{X}_i и размах результатов измерений R_i по формулам:

$$\overline{X}_i = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q X_{ik}, \quad 1)$$

$$R_i = \max_{k=1, Q} (X_{ik}) - \min_{k=1, Q} (X_{ik}), \quad 2)$$

где X_{ik} – результат k -ого измерения (попытка) образца в i -м цикле; i - номер цикла измерений от 1 до T , k - номер измерения (попытка) образца в цикле изменяется от 1 до Q .

Результаты расчетов \overline{X}_i и R_i занесли в табл. 1.

Таблица 1

Данные средних значений (\bar{X}_i) и размах (R_i)

Образец №	327	333	328	330	335	329	338	324	306	375
Попытка 1	18,9	17,8	17,6	16,7	17,1	19,2	20,4	15	16,9	18,5
Попытка 2	18,7	17,8	17,9	17,8	17,0	18,4	19,5	14,3	18,4	17,7
Попытка 3	17,8	17,9	17,4	35,4	17,5	17,9	18,8	19,4	16,6	15,8
Попытка 4	17,3	17,2	18,9	17,8	16,9	19,1	20,9	19	16,0	15,7
Попытка 5	19,8	18,5	18,0	35,4	17,6	19,0	20,0	18,7	16,5	13,8
Попытка 6	19,2	17,9	17,6	17,8	18,2	18,6	19,7	17	18,4	14,3
Попытка 7	18,2	18,7	20,1	17,4	18,0	18,7	19,9	17,3	16,8	13,8
Попытка 8	18,0	17,2	17,6	30,4	16,7	18,7	19,0	15,8	16,0	13,2
Попытка 9	17,5	17,1	18,5	17,5	17,2	18,2	18,7	15		
Попытка 10	16,8	17,4	20,1	16,5	17,0	18,1	18,6	15,1		
Попытка 11	18,2	17,9	18,0	16,5	16,7	18,6	19,6	14,7		
Попытка 12	18,7	19,2	18,5	17,8	17,4	19,2	19,2	14,6		
сумма	219,1	214,6	220,2	257	207,3	223,7	234,3	195,9	135,6	122,8
среднее	18,3	17,9	18,4	21,5	17,3	18,7	19,6	16,3	16,9	15,4
размах	3	2,1	2,7	18,9	1,5	1,3	2,3	5,1	2,4	5,3
Карта средних: Среднее = 17,9; LCL=16,6; UCL= 19,4					Карта размахов: Среднее = 4,5; LCL=0,98; UCL= 7,9					

Произвели расчет средних результатов всех измерений $\bar{\bar{X}}$ и средний размах \bar{R} по формулам:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \bar{X}_i, \quad (3)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T R_i. \quad (4)$$

Линии среднего значения измеряемого параметра и размаха нанесли на рис. 1. Затем оценили контрольные границы для средних значений и размаха:

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}, \quad (5)$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R}, \quad (6)$$

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{R}, \quad (7)$$

$$LCL_R = D_3 \cdot \bar{R}, \quad (8)$$

где $UCL_{\bar{X}}$, $LCL_{\bar{X}}$ – верхняя и нижняя границы контрольной карты средних значений соответственно; UCL_R , LCL_R – верхняя и нижняя границы контрольной карты размахов значений соответственно; A_2 , D_4 , D_3 – константы для построения контрольных границ для средних значений и размахов, зависящие от

количества измерений в одном цикле измерений $A_2 = 0,31$, $D_4 = 0,22$, $D_3 = 1,78$.

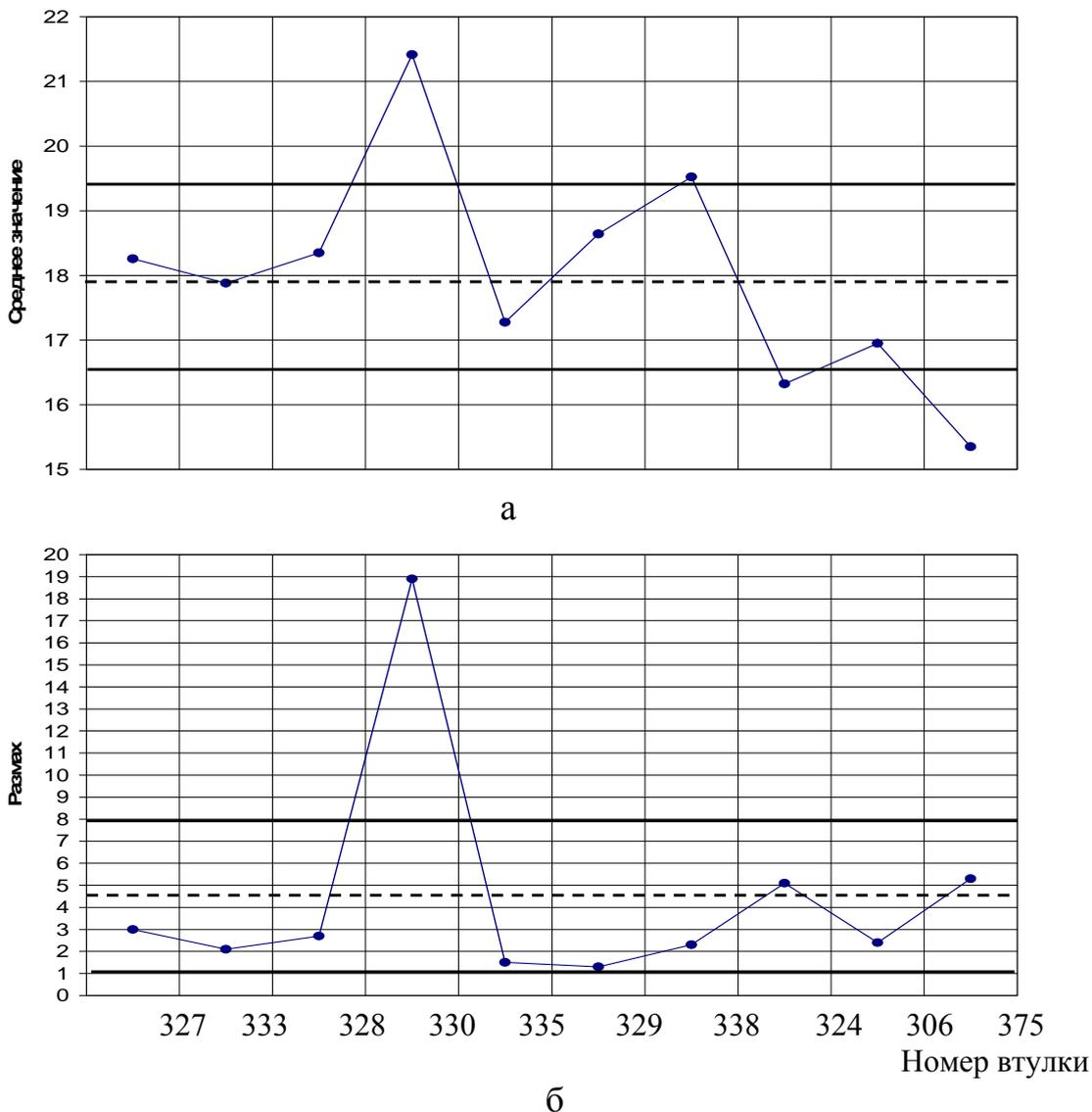


Рис.1. Изменение средних значений (а) и размахов (б).

По полученным результатам, приведенным в табл. 1 и на рис. 1 произвели оценку стабильности измерительного процесса. Из этих данных можно заключить, что средние значения замеров коэрцитивной силы во втулках 330, 324, 375 выходят за пределы границы для средних значений. Так во втулках 330 и 338 происходит выброс выше верхнего предела, что связано, как показали предыдущие исследования [2], с уменьшением содержания графита и появлением неметаллических включений. При выпаде втулок 324 и 375 ниже нижнего предела в металле выявлено существенное увеличение количества графита и появлению пор [3].

Литература: 1. Погодаев Л.И. Повышение надежности трибосопряжений. Материалы. Пары трения ДВС. Смазочные композиции / Л. И. Погодаев, В. Н. Кузьмин, П. П. Дудко. - СПб.: 2001. - 303 с. 2. Скобло Т. С., Марченко М. В. Оценка скоплений неметаллических включений в низколегированном чугуна по коэрцитивной силе. Вісник ХДТУСГ. Випуск 22, 2003. с. 137 – 142. 3. Скобло Т. С., Марченко М. В., Власовец В. М. Влияние включений графита на коэрцитивную силу. Вісник ХНТУСГ. Випуск 26, 2005. с. 243-248. 4. Технические требования на производство втулок цилиндров для малых судов. Предприятие "Мотор – деталь Правэкс". 2005. – 10 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ ВВЕДЕНИЕМ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ

Скобло Т.С., докт. техн. наук, Сидашенко А.И., канд. техн. наук,
Пасько Н.С. (г. Харьков, Украина)

The influence of mixes which is investigated form slags on structure and properties of metal certain temperature and qualitative parameters.

Для повышения качества чугуна с шаровидным графитом используют различные модифицирующие и микролегирующие добавки [1-3]. Наиболее дешевым способом повышения качества изделий является введение шлакообразующих смесей.

Целью работы явилось исследование влияния шлакообразующих смесей на структуру и свойства высокопрочного чугуна, который находит широкое применение для различных деталей (коленчатых валов, гильз-цилиндров и др. ответственных деталей сельскохозяйственного машиностроения).

При выплавке чугуна с шаровидным графитом в вагранке корректировать качество металла затруднительно, по сравнению с электропечным производством чугуна. Поэтому улучшение качества производили за счет внепечной обработки шлакообразующими смесями.

Для обработки чугуна применяли легкоплавкую смесь отличающуюся от обычной повышенным содержанием бора и кальция. При проведении опытных плавок смесь присаживали в ковш перед выпуском металла из вагранки в количестве 0,3-0,35% из расчета получения содержания бора 0,013-0,022%. При таком содержании бора обеспечивалось наибольшее повышение прочности металла. Химический состав используемых шлакообразующих смесей приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав шлака

Номер пробы	Массовая доля элементов, %					
	SiO ₂	CaO	MgO	FeO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃
1	37,8	28,1	1,02	3,2	9,0	4,95
2	35,6	25,8	0,80	2,5	10,4	5,8

Температура металла на желобе при обработке смесью составляла 1320-1330°C, а при заливке форм – 1290-1310°C.

При заполнении ковша металлом тонкой струей, при выпуске металла, смесь всплывает, остается на поверхности шлака и плохо перемешивается с металлом. Это приводит к большим потерям основного элемента смеси – бора.

Для повышения степени усвояемости бора и снижения расхода смеси была опробована технология, согласно которой в ковше присадкой смесью на желоб обрабатывается часть металла (1/3-1/2), а затем производится доливка металлом того же состава с температурой 1490-1500°C. При переливке металла из ковша в ковш происходит более интенсивное его перемешивание, повышается температура обеспечивается полное растворение смеси и возрастает степень усвоения бора.

Механические свойства исследуемого чугуна до и после обработки шлаковой смесью приведены в табл. 2.

Таблица 2

Механические свойства чугуна до и после обработки шлаковой смесью

Номер проб	Прочность, σ_b , Н/мм ²		Твердость, НВ	
	до обработки смесью	после обработки смесью	до обработки смесью	после обработки смесью
1	-	346	-	242
2	-	334	-	228
3	-	321	-	222
1	312	-	215	-
2	303	-	208	-
3	283	-	200	-

Исследования показали, что твердость чугуна после обработки шлаковой смесью составила 220-240НВ. Предел прочности 320-346 Н/мм². До обработки 200-215НВ и 280-312 Н/мм² соответственно.

Для обеспечения выплавки металла в одном плавильном агрегате была опробована технология плавки чугуна с присадкой шлакообразующей смеси на основе октабората натрия в печь вместе с шихтой.

В результате обработки в электропечи расплавов шлакообразующей смесью на основе датолитового концентрата обеспечивается снижение расхода лигатуры на модифицирование в среднем на 30%. При этом повышается твердость, прочность металла в среднем на 15%.

Отливка чугуна с шаровидным графитом производилась в пламенной печи. Для определения основных параметров технологии обработки шлаковыми смесями расплавов в такой печи была произведена выплавка расплава с присадкой смеси на основе трехкальциевого бората.

Смесь на основе трехкальциевого бората вводили в печь с шихтой в количестве 0,8-1,0% от веса металла, а на основе датолитового концентрата - 1,0-1,2% из расчета получения в металле 0,013-0,022% бора. Из этого следует, что содержание бора в обработанном металле составляло 0,013-0,022%, а коэффициент усвояемости бора достиг 30-35%.

После модифицирования магнием содержание бора в металле повышается в среднем на 0,01%

Исследования показали, что графит, формируемый при обработке шлакообразующими смесями, кристаллизуется шаровидным и не требует повышенного введения магния.

Таким образом, при анализе качественных характеристик металла определены основные параметры технологии обработки чугуна с шаровидным графитом шлакообразующими смесями:

- присадка смеси в печь вместе с шихтой в количестве 0,8-1,2% от веса металла в зависимости от состава смеси и из расчета получения в металле 0,013-0,025% бора;
- температура металла перед выпуском из печи должна быть не ниже 1430-

1460°C;

- модифицирование металла в ковше магнием из расчета снижения его расхода на 0,15-0,2кг/т по сравнению с обычным способом обработки.

Экспериментально проводили обработку различным составом шлаковых смесей, отличающихся концентрацией бора и степенью его усвояемости в металле: смесь 1, 2 – 1,0-1,2% от веса металла; смесь 3 – 0,1-0,3% -//-; смесь 4 – 1,0-1,1% -//-; смесь 5 – 0,6-1,2% -//-.

Исследование микротвердости производили на микротвердомере ПМТ-3. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние содержания добавок на структуру и микротвердость фаз

Способ обработки	Содержание бора	Площадь занятая структурной составляющей			Микротвердость, Нм	
		Перлит	Графит	Цементит	Перлит	Цементит
-	0,018	89,8	3,5	6,7	304	881
2	0,03	89,5	3,3	7,2	323	900
2+Mg лигатура	0,03	90,7	2,9	6,4	259	937
-	0,0045	93,7	5,0	1,3	306	967
3	0,015	85,7	7,9	6,4	351	1052
3	0,024	79,1	2,8	18,1	312	999
3	0,03	80,4	3,6	16,	385	979
-	0,005	95,1	3,6	1,3	304	1056
4	0,015	91,7	3,2	5,1	314	959
4	0,024	87,3	4,3	8,4	326,5	789
4	0,024	90,7	4,6	4,7	314	960
-	0,0043	96,1	2,3	1,6	278	1078
5	0,0106	85,1	3,3	11,6	327	936
5	0,0187	91,6	4,1	14,3	299	852
5	0,0194	75,3	4,5	20,2	280	850

Исследования показали, что структура металла до обработки боросодержащими смесями состоит из пластинчатого графита, перлита и цементита (рис. 1а, 3а, 4а), однако обработка металла боросодержащими смесями приводит к изменению распределения структурных составляющих и их микротвердости. Общей закономерностью является тенденция к увеличению количества цементита и графита, снижению доли перлита в структуре металла после обработки. Микротвердость при этом возрастает.

При обработке металла смесью №2 значительных изменений по сравнению с необработанными в распределении структурных составляющих не выявлено (рис. 1,б). При дополнительной обработки магнием при содержании его в металле 0,05% происходит образование шаровидного графита (рис. 1в,) и снижение микротвердости перлита по сравнению с необработанным металлом в среднем на 15% и увеличение микротвердости цементита в среднем на 11%.

Обработка смесью №3 ведет к значительному увеличению количества

цементита (рис. 2б) и увеличению его дисперсности. Микротвердость перлита также повышается по сравнению с необработанными на 2-25%.

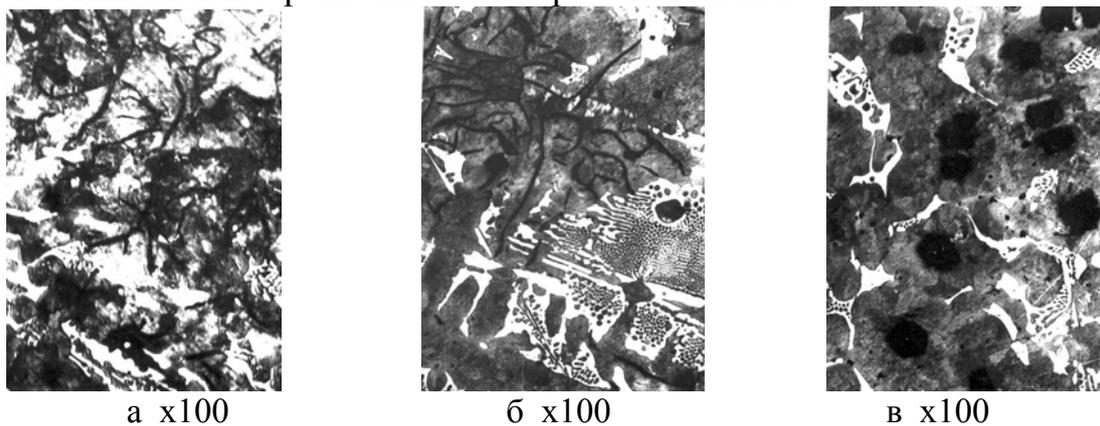


Рис. 1 Структура металла до обработки (а) и после обработки смесью (б, в) и магнием (в).

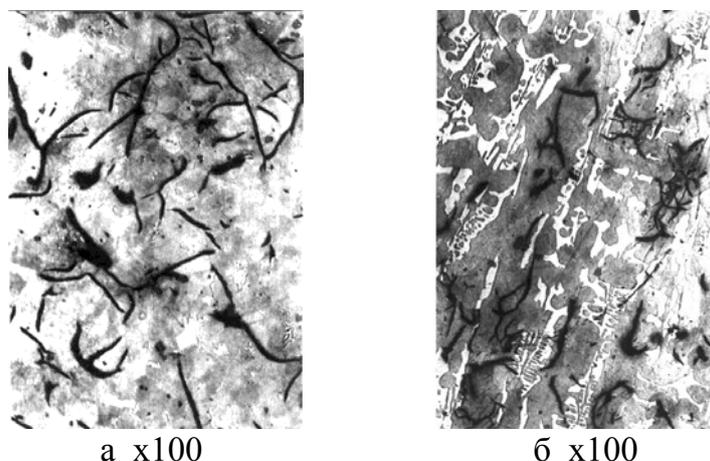


Рис. 2 Структура металла до обработки (а) и после обработки (б) смесью.

При обработке смесью №4 также наблюдается повышение количества цементита (рис. 4б, в) в несколько раз и увеличение микротвердости перлита на 3-7%. Однако микротвердость цементита при этом снижается на 9-25%.

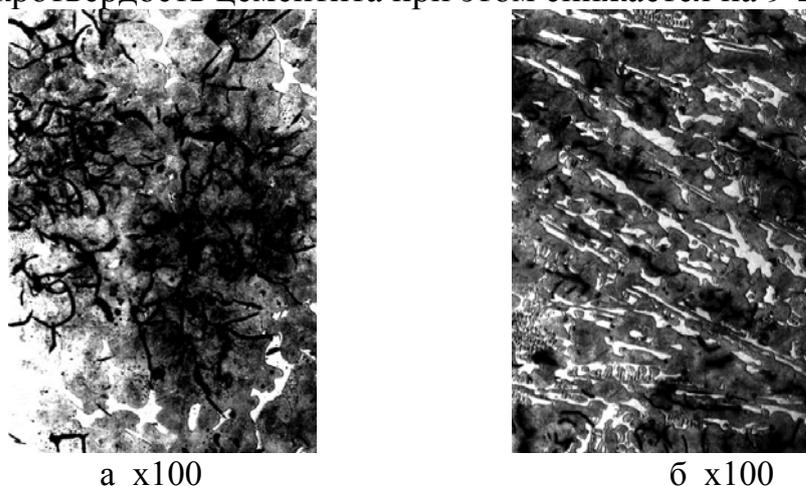
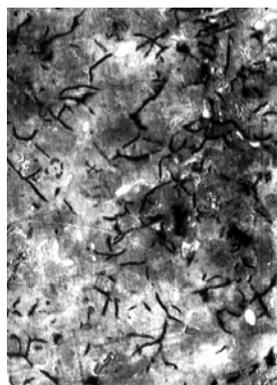
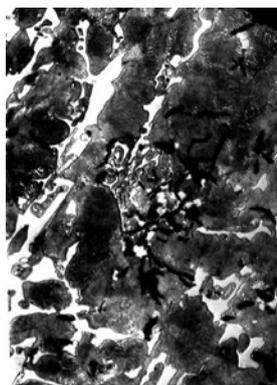


Рис. 3 Структура металла до обработки (а) и после обработки (б) смесью №4.

Обработка смесью №5 ведет к увеличению количества цементита (рис. 4б) в несколько раз. Отмечается рост микротвердости перлита на 3-7%. Однако микротвердость цементита при этом снижается на 9-25%.



а x100



б x100

Рис. 4 Структура металла до обработки (а) и после обработки (б) смесью № 5.

Из приведенных результатов видно, что лучшие показатели по структуре достигаются при обработке металла смесями №3 и №5. Таким образом, в результате обработки расплава боросодержащими смесями происходит повышение микротвердости перлитной матрицы в среднем на 13%, а также значительное увеличение количества цементита, что способствует повышению твердости металла и износостойкости изделий.

Из проведенных исследований видно, что обработка шлакообразующими смесями может существенно повысить свойства и долговечность изделий. Будет целесообразно использовать для модифицирования и различные шлакообразующие добавки, в том числе получаемые в виде отходов различных металлургических производств. Однако, это требует проведения специальных исследований, поскольку такие смеси существенно отличаются составом окислов и компонентов.

Литература: 1. А.с. 755848/СССР/. Смесь для рафинирования чугуна. Авт. Изобр. Д.В. Кириченко, В.А. Воронина, Н.С., Н.С. Филипченко и др., 1980, БИЗО. 2. Черепов А.А. Влияние бора на структуру и свойства чугуна в толстостенных отливках. – Литейное производство, 1981, № 3, с. 21. 3. Маслов А.А., Воронина В.А. и др. Синтетический шлак для модифицирования и рафинирования стали. Авт. Свид. СССР. № 421716, 1973, Б.И. № 12.

УДК 621.771.63:621.981.3

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВАЛКОВОЙ ФОРМОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ЗАМКНУТЫХ ПРОДОЛЬНЫХ ГОФРОВ

Тришевский О.И., докт. техн. наук (г Харьков, Украина)

In clause the items of information on the developed new technological process of formation of structures with long closed гофрами of rigidity for two technological transitions, in first of which формулюются faltering periodic гофры are given which serve the beginning and end future(next) длинномерных гофров, and in the second transition - the flat sites of a strip between them are formed.

В различных отраслях промышленности, в частности, в транспортном машиностроении в качестве обшивок пассажирских вагонов, электричек, вагонов метрополитена, рефрижераторов, автобусов, фургонов и другой техники широкое применение находят тонкостенные листовые профили с длинномерными

(длиною более 6 м) продольными замкнутыми гофрами. В настоящее время их изготавливают малопродуктивным и дорогостоящим способом приварки к концам обычных гофрированных профилей со сквозными гофрами, отштампованных на прессах участков выхода гофров в плоскость.

Известна технология получения листовых профилей с продольными периодически повторяющимися замкнутыми гофрами жёсткости высокопроизводительным и эффективным способом валковой формовки, которая реализована на специализированном агрегате 1-5x300-1650 [1]. Вместе с тем, технические возможности данной технологии не позволяют получать замкнутые гофры с длиной, превышающей длину окружности бочки валков, в которых они формуруются, т.е. 2000 – 2100 мм.

В последнее время в технической литературе появляется всё больше сведений о патентах и технических разработках, направленных на получение различными способами крупногабаритных листовых профилей с длинномерными замкнутыми продольными гофрами жёсткости [2]. Однако, практически все из них носят рекламный характер и сведения о реально существующих установках и оборудовании для производства подобной продукции отсутствуют. Поэтому разработка и исследование технологического процесса, позволяющего производить длинномерные замкнутые гофры длиной превышающей длину окружности бочки валков стана, на котором они производятся, а также выдача необходимых данных для проектирования специализированного оборудования представляется актуальным и целесообразным.

Разработанная для отработки валковой формовки длинномерных замкнутых продольных гофров технология представляет собой модернизацию и расширение технологических возможностей освоенного промышленностью технологического процесса валковой формовки профилей высокой жёсткости с периодически повторяющимися продольными гофрами. [1]. Процесс предусматривает поэтапную формовку длинномерных гофров в двух переходах. На первом этапе для обеспечения чёткого выхода в плоскость начала и конца длинномерных гофров, в клети, оборудованной механизмом сведения и разведения валков в процессе работы, на месте расположения длинномерных гофров на полосе валковой формовкой формуруют группы периодически повторяющихся гофров. Причём, период формовки этих гофров выбирают таким, чтобы он, с одной стороны, мог обеспечиваться техническими возможностями клети выбранного стана, а с другой – был кратным длине формуемого длинномерного гофра. Таким образом, на первом этапе на полосе осуществляется формообразование чёткого начала и конца будущего длинномерного гофра с плоскими (недеформированными) промежутками полосы между ними. На втором этапе формовки (во второй клети) осуществляют доформовку в продольном направлении плоских промежутков полосы между периодическими гофрами, находящимися на участках требуемых длинномерных, на высоту готовых профилей. Доформовка плоских участков также осуществляется с применением механизма сведения и разведения валков, при этом валки, имеющие кольцевые формирующие элементы с формой сечения, соответствующей длинномерному гофру, сводятся на участке середины первого отформованного периодического гофра, а разводятся на

участке середины длины последнего периодического гофра.

Для опробования и отработки новой технологии был выбран трёхклетевой стан с рабочими клетями аналогичными клетям среднесортных профилегибочных агрегатов типа 1-4x50-300, установленных на имеющих профилегибочное производство металлургических комбинатах России и Украины.

В соответствии с техническими характеристиками клетей принятого стана был разработан чертёж экспериментального профиля (рис.1 б), позволяющий при номинальной толщине и марке стали исследовать получение наиболее характерных параметров промышленных профилей, а именно: обеспечение необходимой плоскостности боковых участков профиля, определение рациональной конфигурации формуемых гофров, участков входа и выхода гофров в плоскость, совпадение гофров, отформованных в различных клетях, утяжку плоского бокового элемента, утонение и поверхностную деформацию на гофрах, а также ряд других параметров технологии.

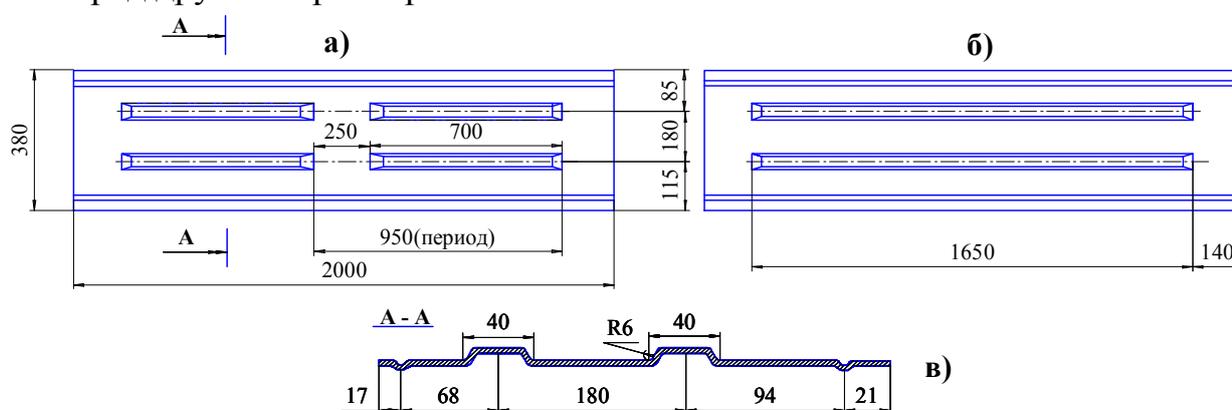


Рис.1. Экспериментальный профиль для отработки технологии формовки длинномерных гофров после первого (а) и второго (б) переходов формовки.

Поскольку выбранный для отработки новой технологии стан предназначен для профилирования сортовых гнутых профилей и снабжён шестерённой клетью с передаточным отношением равным 2,48, принцип равенства основных диаметров формирующих валков, соблюдение которого необходимо для формовки периодически повторяющихся гофров, на нём не соблюдается. В связи с этим было решено приводить в движение от двигателя лишь верхний валок, а вращение нижнего валка осуществлять от верхнего через пару синхронизирующих шестерён. Таким образом, длина гофров экспериментального профиля определялась исходя из возможности установки в клетки выбранного стана валков равного диаметра и составила 1650 мм, что вдвое превышает конструкционные возможности клетки данного вида по формовке периодически повторяющихся гофров жёсткости. В принципе по разрабатываемой технологии можно формовать длинномерные гофры и большей длины, но кратные величине периода периодических гофров, формуемых на первом переходе (рис.1, а) – 950 мм (т.е. 2600мм, 3550 и т.д.)

Ширина экспериментального профиля принята максимальной для клетки станом 1-4x50-300 – 380 мм, форма гофров высотой 8 мм и шириной 40 мм – трапецевидная, обеспечивающая наибольшую жёсткость формуемого профиля, с радиусами закругления у вершины и основания – 6 мм. На боковых полках

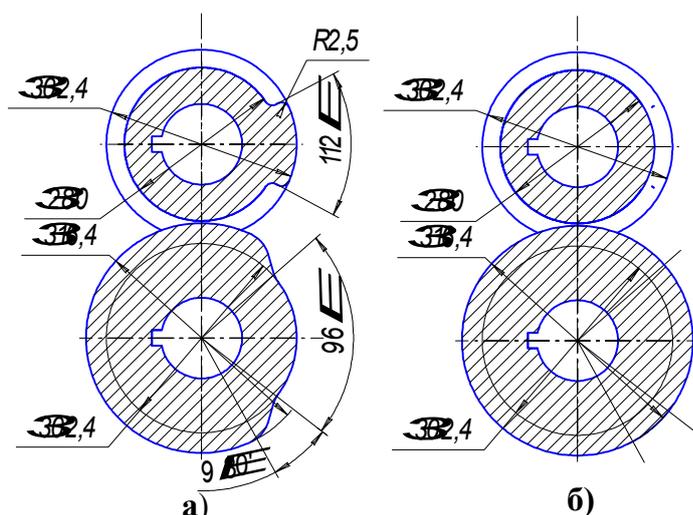


Рис.2. Конфигурация валков в сечении формируемых гофров на первом (а) и втором (б) переходах формовки.

длинномерных гофров в первой клетке (на первом переходе) разработанной технологией предусмотрено формообразование прерывистых периодических гофров с периодом, кратным длине будущих гофров (рис. 1, а). Формовку предполагалось осуществлять в паре валков равного диаметра, один из которых (нижний) имеет выпуклые прерывистые формирующие элементы, а второй – соответствующие им кольцевые впадины (рис.2, а). Получение чёткого участка входа и выхода гофров в плоскость обеспечивалось ограничением очага деформации гофра за счёт применения на верхнем валке технологических заглушек с длиной развёртки равной длине плоского участка между прерывистыми гофрами.

При проектировании технологии и разработке калибровки валков экспериментального профиля были учтены основные положения, соблюдение которых обязательно при формовке профилей высокой жёсткости и которые сводятся к следующему: 1) линейные скорости точек на окружностях основных диаметров верхнего и нижнего валков должны быть одинаковыми; 2) на окружностях основных диаметров рабочих валков должно укладываться целое число периодов формируемых гофров; 3) максимальные и минимальные расчётные диаметры валков клеток не должны выходить за соответствующие пределы, допустимые для данной клетки; 4) относительное удлинение при формовке за счёт местной вытяжки плоского участка заготовки в гофр требуемой конфигурации не должно превышать предельное относительное удлинение для формируемой марки стали.

Относительное удлинение металла (δ_5) в местах формовки гофров принятой конфигурации составляет 12%, что не превышает допустимого для холоднокатаной стали 08КП – 25%. Требования первых трёх пунктов обеспечивались расчётами калибровок первой и второй формирующих клеток, выполненными в соответствии с рекомендациями работы [3].

Во второй формирующей клетке (второй переход), основные диаметры валков были равны основным диаметрам валков первой клетки, а кольцевые выпуклые и вогнутые формирующие элементы (без заглушек) в поперечном сечении были идентичны формирующим элементам первой клетки (рис.2 б), осуществлялась доформовка плоских участков между прерывистыми гофрами с образованием

профиля для обеспечения большей жёсткости и предотвращения возможного образования волнистости на полках на расстоянии 21 и 17 мм от кромок на профиле предусмотрена формовка двух сквозных продольных рифлений высотой 2,5 мм (рис. 1,в). Материал профиля сталь 08 КП толщиной 1 мм.

Поскольку клетки стана 1-4x50-300 не оборудованы механизмом сведения и разведения валков, то для получения

длинномерных гофров. Поскольку стан 1-4x50-300 не оборудован механизмом подъёма и опускания одного из валков, то отвод верхнего валка во второй клетки и его прижим к нижнему валку предусматривалось осуществлять нажимными винтами с остановкой стана. В контакт с заготовкой валки вступали на участке постоянной высоты отформованного в первой клетки прерывистого гофра по середине его длины и выходили из контакта с заготовкой на середине второго или последующего гофра в зависимости от требуемой длины длинномерного гофра.

По разработанной калибровке были изготовлены валки и проведено опробование предлагаемой технологии. Визуальный осмотр полученных профилей показал, что при формовке были получены профили с длиной гофров –1650 мм, что вдвое превышает возможности формовки прерывистых гофров по традиционной технологии, при этом обеспечивались требуемая высота формовки гофров – 8 мм. Однако, наблюдалось наличие такого дефекта, как загиб вверх переднего конца профиля после выхода из валков, в результате чего продольный прогиб на профиле достигал 150 мм на метр длины. Устранение этого дефекта было достигнуто за счёт применения вводных и выводных направляющих проводок, представляющих собой плоские плитовины, максимально приближенные к разьёму валков.

Для пропуска отформованных гофров на соответствующих участках верхней выводной проводки были выфрезерованы продольные пазы высотой 10 мм. Причём, устранение дефекта по продольному прогибу достигалось при помощи варьирования «уровня формовки», что обеспечивалось путём соответствующей установки выводных проводок на высоту h относительно плоскости разьёма валков. Высота установки проводок в процессе отработки технологии изменялась от +20 до -20 мм относительно плоскости разьёма валков с интервалом 10 мм. Установлено, что наилучший результат, при котором изгиб переднего конца профиля устранялся полностью, достигался при $h = -10$ мм. Дальнейшее снижение уровня формовки вызывало на профиле обратный прогиб. Полученный с применением указанной арматуры по разработанной технологии профиль удовлетворял всем техническим требованиям на аналогичную продукцию.

Таким образом, на основании выполненной работы была создана и в клетях стана типа 1-4x50-300 опробована новая технология получения профилей высокой жёсткости с длиной периода, превышающей длину окружности бочки валков в два и более раз; освоен экспериментальный профиль по качественным показателям полностью удовлетворяющий техническим требованиям на аналогичную продукцию. В дальнейшем исследования в данного процесса следует продолжить в направлении комплексного изучения свойств и качества полученных профилей с длинномерными замкнутыми профилями, определения требований к составу и условиям работы оборудования специализированных рабочих клеток для изготовления аналогичной продукции и организации её промышленного производства.

Литература: 1. Тришевский О.И., Крюк А.Г. Новая технология изготовления гнутых профилей с периодически повторяющимися гофрама // Вестник машиностроения.–1977.–№1.– С. 78-80. 2. Тришевский О.И., Скобло Т.С. Способы производства длинномерных профилей высокой жёсткости // Чёрная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации.– 2002.– Выпуск 3 (1227).– С.25-29. 3. Тришевский О.И. Комплексная методика расчёта основных технологических параметров изготовления профилей высокой жёсткости формовкою в валках // Вестник инженерной академии Украины.–Киев.– 2001.– №3.– С.34-36.

УДК 539.074

ДОЗИМЕТР РАДИОАКТИВНОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПРОДУКТОВ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО ФОНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Шестиалтынов В. К., канд. техн. наук, Спольник А. И., докт. физ.-мат. наук.,
Власенко В. Г., канд. физ.-мат. наук
(г. Харьков, Украина)

A principle scheme of high-speed device for control of radioactive pollution of vegetable and animal production is proposed.

Последствия аварии на Чернобыльской АЭС вызвали настоятельную необходимость разработки быстродействующих приборов контроля радиоактивной загрязненности продуктов растительного и животного происхождения, потребляемых населением.

Минздравом Украины установлены очень жёсткие санитарные нормы, регламентирующие временно допустимые уровни (ВДУ) радиоактивной загрязненности продукции сельскохозяйственного производства. Причём, эти нормы всего лишь в два – пять раз превышают уровень естественной радиоактивности окружающей среды.

Санитарные нормы задаются в единицах удельной радиоактивности *кюри на килограмм* ($\frac{Ки}{\hat{e}\tilde{a}}$) контролируемого материала (мясо, молоко, зерновые и т.д.), в то время как существующие дозиметрические приборы широкого применения в основном определяют экспозиционную дозу в *рентгенах* (P), либо мощность экспозиционной дозы *рентген за секунду* ($\frac{D}{\tilde{n}}$).

Методы современного контроля радиоактивной загрязненности продукции сельскохозяйственного производства достаточно трудоёмки и долговременны, что является их существенным недостатком, особенно это ощутимо в условиях повышенного фона окружающей среды.

В данной работе рассмотрены структурные методы, положенные в основу разработки прибора, позволяющего исключить влияние изотропного радиоактивного излучения окружающей среды при контроле радиоактивной загрязненности продуктов растительного и животного происхождения.

Прибор выполнен по схеме прямого измерения с компенсацией радиоактивного фона окружающей среды и состоит из двух основных блоков: блока детектирования ионизирующих излучений и блока обработки информации (рис. 1). Последний выдает абсолютный результат измеренной удельной радиоактивности визуально в $\frac{\hat{E}\hat{e}}{\hat{e}\tilde{a}}$ [1], а также посылает электрический сигнал на срабатывание исполнительного устройства.

Компенсация осуществляется измерением радиоактивного фона окружающей среды тем же блоком детектирования, которым, в последствии, контролируется радиоактивная загрязненность продуктов потребления. Считая, что окружающий радиоактивный фон изотропный и квазистационарный, время измерения фона выбрано на порядок больше, чем время измерения радиоактивно-

сти объекта контроля. В дальнейшем количество импульсов (деленное на десять), эквивалентное радиоактивному фону окружающей среды, хранится в оперативном запоминающем устройстве и является опорой в вычитателе устройства сравнения.

Устройство сравнения на основе операции одновременного вычитания реализуется двухканальной структурой [2] и приведено на рис.1.

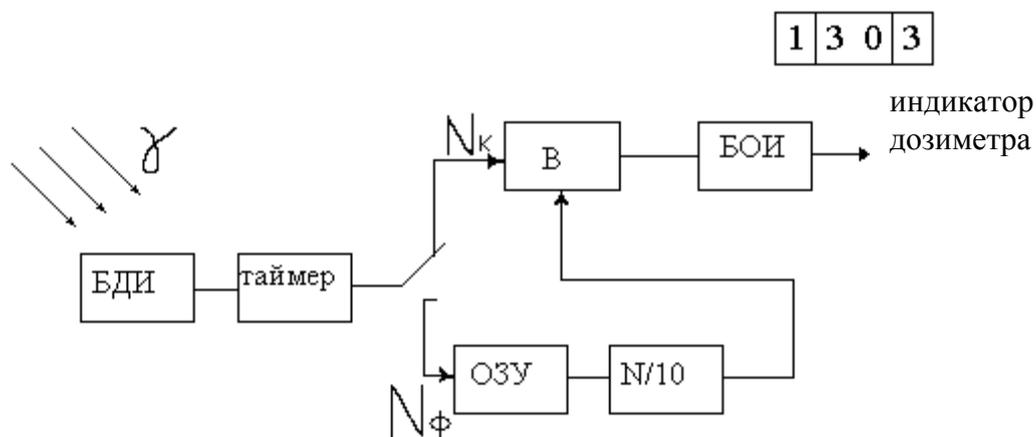


Рис.1. Устройство сравнения на основе одновременного вычитания.

Здесь: БДИ – блок детектирования ионизирующих излучений; таймер – блок выбора времени измерения фона окружающей среды либо объекта контроля; N_k – число импульсов при контроле; N_ϕ – число импульсов фона окружающей среды; В – вычитатель; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; $N/10$ – декадный делитель; БОИ – блок обработки информации.

Результатом сравнения является двухзначный кодовый сигнал a_i в виде случайной двухзначной последовательности логических „0” и „1”, содержащий информацию о соотношении между сравниваемыми величинами

$$a_i = [0,5 + 0,5 \operatorname{sign}(N_k - N_\phi)] = 0 \text{ при } N_k < N_\phi; 1 \text{ при } N_k > N_\phi.$$

Количество импульсов с выхода вычитателя поступает на вход БОИ, в котором преобразуется в величину, пропорциональную измеренной радиоактивной загрязненности объекта контроля. Последнее выводится в цифровом виде на табло и, при необходимости, используется в виде световой и звуковой сигнализации.

Предложенный принцип компенсации радиационного фона окружающей среды был заложен в разработку принципиальной схемы, по которой изготовлен прибор контроля радиоактивной загрязненности мяса на конвейере мяскокомбината при технологической переработке туш и полутуш. Время измерения радиоактивного фона окружающей среды перед началом рабочей смены на рабочем участке равнялось 100 секунд. Время измерения радиоактивной загрязненности туш и полутуш там же, составляло 10 секунд.

Лабораторные испытания метрических измерений потребителя удовлетворили.

Литература: 1. В.К. Шестиалтынов, В.Г. Власенко, А.И. Спольник, А.П. Мохир. Контроль удельной радиоактивной загрязненности туш и полутуш крупного рогатого скота в процессе их переработки.– Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв./Вісник ХДТУСГ. – Харків : ХДТУСГ, 2001.– Випуск 5. – С. 24–29.
2. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – 2-е изд., перераб. и доп.– Киев : Вища школа. Головное изд-во, 1983, – 455 с.

УДК 621.315

ТРАНСПОРТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ КОАКСИАЛЬНЫМ СЛОЕМ ДИЭЛЕКТРИКА, ДВИЖУЩЕГОСЯ ЧЕРЕЗ ОБЛАСТЬ ИОНИЗИРОВАННОГО ГАЗА.

Золотарёв В.М., канд. техн. наук, **Карпушенко В.П.**, канд. экон. наук,
Золотарёв В.В., **Науменко А.А.**, канд. техн. наук (г.Харьков, Украина)

The physical processes of electric charge transport by coaxial layer of dielectric moving through the area of ionized gas are studied. This takes place during testing of coaxial cable and wire products by spark testing in technological lines.

Случай движущегося через область ионизированного газа слоя диэлектрика, нанесённого на проводящую подложку, имеет широкое распространение в практике поточных испытаний изоляционных элементов различных кабелей и проводов электрическим напряжением на проход. В соответствии с действующим в настоящее время ГОСТ-2990, такие испытания в технологических линиях проходит изоляция всех кабелей и проводов с пластмассовой и резиновой изоляцией, а также пластмассовые, резиновые оболочки и шланговые наружные покровы, что чрезвычайно важно для обеспечения их качества. В [1] были рассмотрены физические процессы, приводящие к транспорту электрических зарядов из области ионизированного газа, возникающей внутри высоковольтного испытательного электрода, через которую движется при таких испытаниях испытуемый объект в виде замкнутого слоя диэлектрика (изоляции, оболочки или шланга), нанесённого на проводящую металлическую подложку (жилу, металлическую оболочку или броню). При этом, для упрощения анализа, предполагалось, что слой диэлектрика является весьма тонким, а кривизной внешней поверхности в этом случае можно пренебречь. Было показано, что транспорт электрических зарядов из ионизированной области осуществляется внешней поверхностью слоя диэлектрика и зависит не только от его свойств, но и от уровня приложенного напряжения.

Однако, в связи с освоением отечественной промышленностью производства высоковольтных кабелей на 110 кВ, а в недалёком будущем и на напряжение до 500 кВ переменного тока, а также высоковольтных СИП, толщину слоя диэлектрика в таких конструкциях уже нельзя считать малой и необходимо рассматривать движение толстого коаксиального диэлектрического слоя, равномерно нанесённого на круглый цилиндрический проводник.

Постановка задачи. Обозначим радиус этого заземлённого проводника

через r , а толщину слоя диэлектрика - через δ . Тогда внешняя поверхность слоя диэлектрика, ограниченная радиусом $R = r + \delta$, является собственно транспор-тёром электрических зарядов, в данном случае - в коаксиальной геометрии, в которой одним электродом является проводник, а вторым – ионизированная область, плотно облегающая в пределах длины испытательного электрода слой диэлектрика по внешнему радиусу R .

В общем случае возникающий при этом ток переноса i_{II} равен [1].

$$i_{\dot{r}} = \varepsilon_0 (\varepsilon_g E_g - E_0) \dot{I} V, \quad (1)$$

где E_0 – пробивная напряжённость воздуха, равная приблизительно 30 кВ/см; E_δ – напряжённость электрического поля с внутренней стороны поверхности радиуса R ; $\dot{I} = 2\pi R$ - внешний периметр диэлектрического слоя; V – скорость движения диэлектрика относительно испытательного электрода; ε_δ – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика; ε_0 – диэлектрическая постоянная вакуума.

Учитывая, что в слое диэлектрика толщиной $R-r_0$ действует распределённая неравномерно радиальная компонента напряжённости электрического поля E_r при воздействии напряжения U , воспользуемся средней напряжённостью E_{cp} , такой, что

$$\int_{r_0}^R E_r dr' = E_{\tilde{n}\delta} (R-r),$$

при условии нормировки

$$\int_r^R E_r dr' = U, \quad (3)$$

откуда

$$E_{\tilde{n}\delta} = \frac{U}{R-r_0}. \quad (4)$$

Тогда ток переноса в случае тонкого диэлектрика получается из [1]:

$$i_{\dot{r}}' = \varepsilon_0 \left(\frac{\varepsilon_g U}{R-r} - E_0 \right) \dot{I} V = \varepsilon_0 (\varepsilon_g E_{\tilde{n}\delta} - E_0) \dot{I} V. \quad (5)$$

Решение задачи. Для рассматриваемого случая коаксиальной геометрии электродов выражение для тока переноса i'_{II} также следует из [1]:

$$i_{\dot{r}}' = \varepsilon_0 \left(\varepsilon_g \frac{U}{R \ln \frac{R}{r}} \right) \dot{I} V. \quad (6)$$

Если учесть решение дифференциального уравнения для напряжённости электрического поля E_r на внешней стороне диэлектрика, к которому приложено напряжение U

$$E_R = \frac{U}{R \ln \frac{R}{r}}. \quad (7)$$

Используя теперь [1] и [6], найдём соотношение тока переноса слоя диэлектрика радиуса R с неравномерно распределённым в нём полем и слоя диэлектрика с однородным полем.

$$\frac{i'_i}{i_i} = \frac{\frac{U}{R-r}}{\frac{U}{R \ln \frac{R}{r}}} = \frac{\frac{R}{r} \ln \frac{R}{r}}{\frac{R}{r} - 1} = f(R/r). \quad (8)$$

Как видно, в последнем выражении при значении безразмерной переменной $x = R/r = 1$ имеет место неопределённость вида $0/0$. Раскрывая эту неопределённость, получаем

$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{x \ln x}{x - 1} = \lim_{x \rightarrow 1} \left(\ln x + \frac{1}{x} \right) = 1 \quad (9)$$

Подставив значение i_n из (5) в (8) имеем:

$$i'_i = i f(R/r) = \tilde{I} \varepsilon_0 (\varepsilon_g E_{\tilde{n}\delta} - E_0) V f(R/r) \quad (10)$$

Вводя теперь аналогично [1] коэффициент K_r , зависящий только от свойств диэлектрика и средней напряжённости поля в нём E_{cp} .

$$K_r = 1 - \frac{E^*}{\varepsilon_g} \quad (11)$$

$$E^* = \frac{E_0}{E_{\tilde{n}\delta}} \quad (12)$$

получаем окончательно выражение для тока переноса диэлектриком радиуса R

$$i'_i = \tilde{I} \varepsilon_0 \varepsilon_g E_{\tilde{n}\delta} K_r V f(R/r). \quad (13)$$

Анализ полученных результатов. Из (13) видно, что ток переноса коаксиальным слоем диэлектрика, при учёте неравномерного распределения электрического поля в нём также пропорционален скорости движения через область ионизированного газа, но с коэффициентом K_r , зависящим теперь уже не от напряжённости на внутренней стороне внешней поверхности диэлектрика, как это имеет место в случае малой его толщины, а от средней напряжённости в толще самого этого диэлектрика. Функцию $f(R/r)$ естественно рассматривать как некоторый безразмерный геометрический фактор. В самом деле, если радиус диэлектрика r близок к его внешнему радиусу R , то функция $f(R/r)$ стремится

к единице, а толщина диэлектрика $\delta = R - r$ становится малой величиной по сравнению с R , что позволяет пренебречь кривизной слоя диэлектрика и принять среднее значение напряжённости E_{cp} примерно равным U/δ . При этом выражение для тока переноса i_n для случая коаксиальной геометрии переходит, как видно, в выражение для тока переноса тонкого диэлектрика, полученное в [1].

$$i_i' = \dot{I} \varepsilon_0 \varepsilon_g K V, \quad (14)$$

где

$$K = 1 - \frac{E_0}{E_g}, \quad (15)$$

$$E^* = \frac{E_0}{E_g}. \quad (16)$$

Это имеет место при значении электрической напряжённости E_g с внутренней стороны внешней границы диэлектрика, равной средней напряжённости поля в этом диэлектрике

$$E_g = E_{\tilde{n}\delta} = U/\delta \quad (17)$$

Выводы.

1. Ток переноса, возникающий при движении коаксиального слоя диэлектрика, нанесённого на проводящую подложку, через область ионизированного газа, пропорционален скорости его движения, с коэффициентом пропорциональности, зависящим от средней напряжённости электрического поля в толще диэлектрика и геометрического фактора коаксиальной геометрии.
2. В отличие от ранее полученных результатов, выражение для тока переноса содержит среднюю напряжённость электрического поля в диэлектрике, что важно с практической точки зрения, поскольку действующая нормативно-техническая документация на испытания электрическим напряжением на проход нормирует как раз среднюю напряжённость в диэлектрике (изоляции, оболочке, шланговом наружном покрове).
3. Полученное теоретически выражения для тока переноса имеет практическое значение при конструировании новых, а также выборе и настройке существующих средств сухих испытаний различных конструкций кабелей и проводов с пластмассовой изоляцией в технологических линиях.
4. Результаты работы могут быть положены в основу создания принципиально нового метода безынерционного электрического измерения скорости движения кабельно-проводниковых изделий с использованием измерения тока переноса, возникающего в результате движения толстого слоя диэлектрика на металлической подложке, через высоковольтный испытательный электрод, что характерно для большинства конструкций кабельно-проводниковых изделий с пластмассовой изоляцией.

Литература: 1. Науменко А.А., Золотарёв В.М., Карпушенко В.П., Золотарёв В.В. Физические процессы, приводящие к транспорту электрических зарядов слоем диэлектрика на проводящей подложке. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2005. – Вып. 42. – С. 3 – 15.

УДК: 536.483;536.413.2

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ НА ИХ КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Спольник А.И., доктор физ.-мат. наук, Волчок И.В., канд. физ.-мат. наук
(г. Харьков, Украина)

Influence of structural condition of austenitic steels on their kinetic characteristics.

The results of experimental investigation of a thermal conductivity temperature dependence of X18H10T and X18H8 austenitic steels are given for a broad temperature interval (4,2-300 K). The expediency of these steels application in the equipment manufacture of cryogenic engineering is considered.

Специфика использования конструкционных материалов криогенной техники требует сочетания высоких механических характеристик и низкой теплопроводности, являющейся одной из основных кинетических характеристик материала. Материалами, широко используемыми в криогенных условиях (в среде ожиженных газов), являются стали аустенитного класса. Характерным для таких сталей является протекание при охлаждении и деформации при низких температурах структурных фазовых превращений по мартенситной кинетике. Как известно [1], вклады электронной и фононной проводимостей в механизм теплопроводности во многом определяются структурными элементами материала. В связи с этим целью настоящей работы являлось изучение влияния мартенситных фазовых превращений в сталях аустенитного класса на коэффициент теплопроводности в температурной области их практического использования.

Образцы из сталей X18H8 и X18H10T проходили гомогенизирующий отжиг при температуре 1100° в течение 1 часа в атмосфере гелия с последующим охлаждением на воздухе, что обеспечивало их полную аустенизацию. Для получения сведений о структурных изменениях в сталях при охлаждении до температуры 4,2 К и последующего нагрева до 300 К осуществляли металлографический контроль изменения структуры, а также магнитометрические измерения фазового состава сталей. Измерения теплопроводности в интервале 2-300 К осуществляли на специальной установке и по методике, подробно описанным в [2,3]. Используемая установка позволяла также одновременно измерять электросопротивление (ρ) исследуемых сталей в этом же температурном интервале. Коэффициент теплопроводности (λ) для обоих типов стали определялся как в процессе охлаждения (скорость охлаждения составляла 0,1-0,6 град/мин.), так и в процессе отогрева с той же скоростью.

На рис. представлена температурная зависимость коэффициента теплопроводности для сталей X18H10T и X18H8. Видно, что для стали X18H10T имеет место монотонный характер изменения $\lambda(T)$ во всем интервале температур 4,2-300 К. Температурный ход для стали X18H8 имеет ряд особенностей. Так, при охлаждении стали X18H8 в области 110-95 К наблюдается некоторое увеличение теплопроводности и последующее резкое ее уменьшение вплоть до 60 К. Причиной появления такого локального максимума в районе 95 К может являться реализация мартенситных превращений. Возникающие при

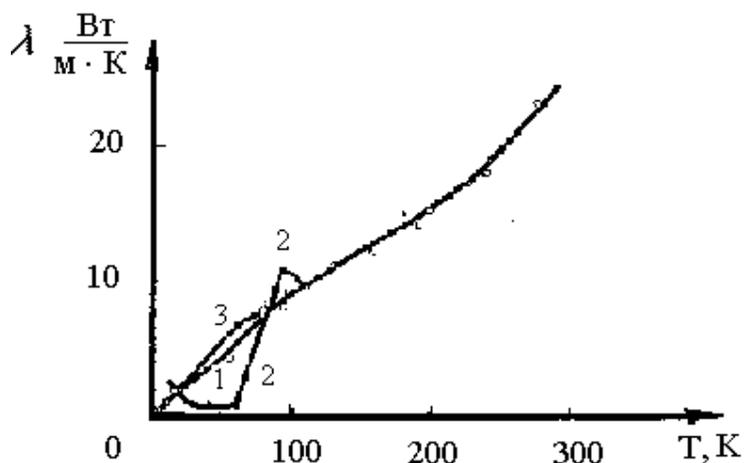


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности сталей X18N10T и X18N8: 1 – сталь X18N10T (4,2 – 300 К); 2 – сталь X18N8 (300 – 4,2 К); 3 – сталь X18N8 (4,2 – 300 К).

напряжений, обусловленных когерентной связью мартенсита с аустенитной матрицей, составляет 5-6 периодов решетки. Исходя из этого, была проведена оценка длины свободного пробега фононов (ℓ) в области мартенситного превращения, которая показала, что $\ell \approx 15 \text{ \AA}$ при 100 К. Ниже 60 К наблюдается замедленное увеличение коэффициента теплопроводности вплоть до гелиевых температур, что, по-видимому, обусловлено исчезновением областей неоднородных напряжений – релаксации процессов, связанных с обратным $\alpha \rightarrow \gamma$ структурным превращением. О завершении мартенситного превращения можно судить по монотонному температурному ходу теплопроводности, которая была измерена в процессе нагрева образца от 4,2 до 300 К и практически совпадает с теплопроводностью стали X18N10T.

Нами проведена оценка вкладов электронной и фононной составляющих теплопроводности для образца X18N8 с привлечением данных измерения электросопротивления $\rho(T)$. На всем протяжении исследуемого температурного интервала наблюдается пропорциональная зависимость $\rho(T)$. Это обстоятельство позволяет воспользоваться законом Видемана-Франца для оценки электронной компоненты теплопроводности. Как оказалось, λ составляет 4 Вт/м·град при 100 К, в то время как общая теплопроводность при этой же температуре равна 10,5 Вт/м·град.

Таким образом, для твердых растворов с высоким содержанием примесных атомов, для которых ощутимый вклад в процесс теплопереноса вносят обе компоненты теплопроводности – электронная и фононная, резкое изменение одной из них (в нашем случае, фононной теплопроводности в области мартенситного превращения) приводит к наблюдаемым экспериментально аномалиям температурного хода теплопроводности.

Известно, что температура начала мартенситного превращения M_s существенно зависит от скорости охлаждения образца [4]. В частности, для стали X18N10 точка M_s соответствует 230 К при охлаждении со скоростью 0,5

охлаждении такие структурные элементы, как частицы α -мартенсита, внося искажения и «разрыхляя» кристаллическую решетку остаточного аустенита, увеличивают фононную составляющую теплопроводности. Образование частиц α -фазы, размеры которых соизмеримы с длиной свободного пробега фононов, приводят к резкому повышению теплосопротивления. Следует отметить, что протяженность области неоднородных

град/мин. Увеличение скорости охлаждения до 1,5 град/мин приводит к снижению M_s до 216 К, а при 10 град/мин M_s соответствует 204 К. Зависимость положения M_s от скорости охлаждения, безусловно, отразится на изменении теплопроводности с температурой. С другой стороны, скорость охлаждения определяет степень превращения, т.е. количество мартенситной фазы при соответствующей температуре. Это обстоятельство, в свою очередь, влияет на характер температурной зависимости теплопроводности. Исходя из этих соображений, можно полагать, что увеличение скорости охлаждения образца приведет к смещению аномального хода теплопроводности в сторону более низких температур. При этом значения коэффициентов теплопроводности будут фиксироваться в области между верхней и нижней гистерезисными кривыми $\lambda(T)$. Полученные результаты находятся в соответствии с данными металлографического анализа. Так, микроструктурные данные, полученные после охлаждения до 4,2 К и отогрева образцов до комнатной температуры, показывают, что образец X18H10T после обработки холодом сохранял исходную аустенитную структуру. Наличие мартенсита обнаружено только в месте механического крепления образца к измерительной ячейке, что, очевидно, связано с деформацией материала на участке крепления образца. В стали X18H8 после охлаждения образца до 4,2 К и последующего отогрева до 300 К обнаружено наличие мартенситных включений, а также повышенная намагниченность, соответствующая содержанию ~ 40 % магнитной α -фазы. Это свидетельствует о том, что структура стали X18H8 в значительной степени определяется наличием α -фазы.

Выявленные отличия в температурном ходе коэффициента теплопроводности для сталей двух сортов позволили установить, что сталь X18H10T является более стабильной в условиях низких температур, т.е. ее применение в конструкциях криогенной техники целесообразнее

Литература: 1. Займан Дж. Электроны и фононы. М.: ИИЛ 1962, с. 273. 2. Андерс Э.Е., Волчок И.В. Авторское свидетельство СССР, № 1182363, 1985 г. Изобретения. Официальный патентный бюллетень 1985 г, № 36. 3. Андерс Э.Е., Сухаревский Б.Я., Волчок И.В. Прецизионные исследования теплопроводности и электропроводности твердых растворов системы ниобий-цирконий при низких температурах. В сб. «Теплофизические свойства веществ и материалов», вып. 9, М., Издательство стандартов, 1976, с. 72-99. 4. Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. и др. Процессы пластического структурообразования металлов, Наука и техника, Минск, 1994.

УДК 669.131.7:621.78-97

ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ НОЖЕЙ БУЛЬДОЗЕРОВ

Лалазарова Н.А., канд. техн. наук, **Путятин Л.И.**, канд. техн. наук,
Нестеренко Е.А., **Проскурня Н.А.** (г. Харьков, Украина)

The analysis of influencing of heat treatment on mechanical properties of high-strength spheroidal graphite cast iron and wearproof is conducted. The rational modes of heat treatment for the knives of bulldozers are certain.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. Повышение качества и эффективности дорожно-строительных машин, их долговечности и ремонтпригодности способству-

ет ускорению темпов работы на всех стадиях строительства дорог. Важное значение при этом имеет повышение износостойкости рабочих органов, взаимодействующих со средой. Эти задачи решаются путём совершенствования конструкций машин, новых материалов и применения новых технологических методов их изготовления. Для дорожно-строительных машин одной из главных причин потери работоспособности рабочих органов является абразивное и ударно-абразивное изнашивание. Рабочим органом бульдозера является отвал, а режущими элементами – ножи, которые крепятся к отвалу. Средние ножи изготавливают из листового проката. Для повышения долговечности на режущие кромки ножей наносят износостойкие покрытия [1].

Левым и правым боковыми ножами защищают края отвала. Получают боковые ножи методом литья из износостойкой стали [2].

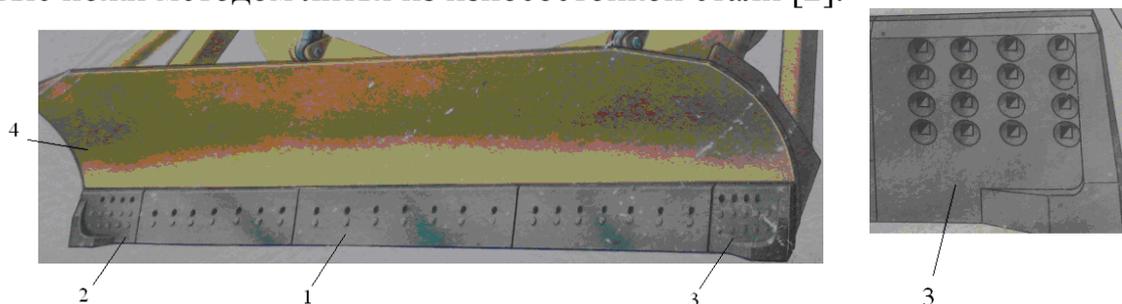


Рис.1. Режущие ножи: 1 – средний, 2 – боковой правый, 3 – боковой левый, 4 – отвал.

Боковой нож является плоской пластиной, боковая и нижняя внешние кромки которой утолщены для повышения срока их службы. Ножи изготавливают из различных материалов: стали 110Г13Л, 60С2ХА, 65Г, 15ХСНД, стали Ст 5 с наплавкой и др. В литературе приводятся данные результатов исследований износостойкости ножей для двух основных случаев работы: ножи металлические с разными видами термообработки и ножи с наплавленными рабочими поверхностями. Влияние способа термообработки на износостойкость было проверено при изнашивании ножей, подвергнутых объёмной закалке. Ножи с упрочнением закалкой на глубину 3-4 мм обладают большим запасом вязкости и мало подвержены сколу при ударных нагрузках. При глубине закалки на 3,5-4 мм износостойкость сталей 45 и 65Г одинакова, что позволяет рекомендовать более дешёвую сталь 45 к широкому применению [1].

Наплавка рабочей поверхности ножа износостойким покрытием является эффективным методом повышения износостойкости. Применяют наплавку твёрдыми сплавами, сормайт (доэвтектический сплав карбидного класса на основе хрома, структура мелкозернистая, дендритная, средняя микротвёрдость 656 МПа), электродами Т-620 (мелкозернистый железоуглеродистый сплав карбидного класса с ярко выраженными дендритами и избыточным аустенином), порошком ПЛ-У40Х38Г2 (эвтектический сплав железо-хрома, смесь карбидов и твёрдого раствора) и др.

В работе [3] в качестве материала ножей бульдозеров предлагается использовать высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ) марки ВЧ50 после изотермической закалки. Этот материал не является типичным для изготовления ножей бульдозеров и вообще деталей, работающих в таких тяжё-

лых условиях. Однако экспериментальные исследования показали высокую работоспособность ножей из высокопрочного чугуна.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ) сочетает технологичность серого чугуна с комплексом свойств более высоких, чем у ковкого чугуна и в ряде случаев даже литой и ковкой стали [4]. Из ВЧШГ изготавливают детали автомобилей, тракторов, комбайнов. Эти чугуны являются серьёзным конкурентом традиционно используемым легированным сталям, что объясняется очевидным преимуществом ВЧШГ как в технологическом, так и в экономическом аспектах. Технологичность чугуна – его хорошие литейные свойства – особенно важна при изготовлении боковых ножей бульдозеров, имеющих фасонную форму. Использование чугуна вместо легированных сталей позволяет снизить расход сырья на 20 %, сократить время производства в 4 раза, уменьшить вес изделий на 10%, уменьшить стоимость производства на 30% [3].

Поэтому высокопрочный чугун является перспективным материалом для режущих элементов строительных и дорожных машин, которые подвергаются интенсивному абразивному и ударным нагрузкам.

МАТЕРИАЛ, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА. Для проведения исследований был выбран высокопрочный чугун следующего химического состава: 3,3-3,8 % С; 2,4-3,2 % Si; $C+1/3 Si = 4,25-4,35$ %; 0,004-0,007 % S; 0,5-0,9% Mn; 0,045-0,008 % P; 0,05-0,1 % Cr; 0,1-0,15 % Ni; 0,04-0,09 % Mg. Этот чугун широко применяется в промышленности. Для его получения не требуется дефицитных легирующих добавок и модификаторов.

Графит сравнительно равномерно распределён по сечению отливки. Размеры графитовых включений колеблются в пределах 20-100 мкм, но основная масса (60 %) графитовых включений имеют размеры 30-60 мкм.

Исходный чугун характеризуется развитой ликвацией всех химических элементов, входящих в его состав, в частности, кремний подвержен значительной обратной ликвации, марганец и фосфор прямой. При среднем содержании в металле 2,6 % кремния в околографитных объёмах его количество достигает 3,6 %. Литой чугун неоднороден и по структуре и по распределению химических элементов (рис. 1, а).

Режущие элементы бульдозеров испытывают абразивное изнашивание и ударные нагрузки. В связи с этим материал ножей должен обладать высокой ударной вязкостью и твёрдостью, так как главный фактор повышения износостойкости – это твёрдость.

В связи с этим **целью работы** является выбор материала и режимов термической обработки ножей бульдозеров, которые работают в условиях абразивного изнашивания и ударных нагрузок. Поэтому были проведены исследования влияния различных видов термической обработки на механические свойства, в том числе твёрдость, которая определяет износостойкость, и ударную вязкость.

В литом состоянии ВЧШГ обладает недостаточно высокими показателями прочности и пластичности. Для изменения этих свойств применяется термическая обработка, цель которой не только изменить структуру, но и выровнять

химическую неоднородность, чтобы получить необходимый комплекс свойств. Наиболее широко применяются в промышленности следующие виды термической обработки чугуна: нормализация из надкритического интервала температур, нормализация из межкритического интервала температур (МКИ), изотермическая и индукционная закалка. Все эти виды термообработки и были выбраны для исследуемых чугунов. Для повышения износостойкости чугуна было предложено также использовать объёмную закалку из МКИ с низким отпуском.

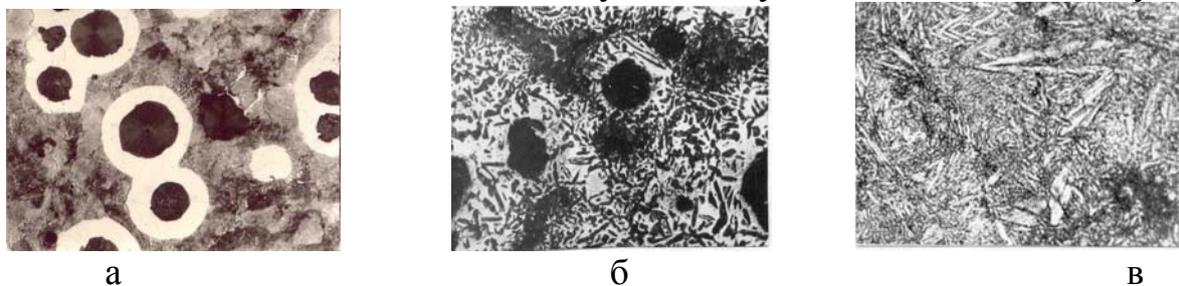


Рис. 2. Микроструктура исследованного чугуна в литом состоянии (а), после нормализации из МКИ, после закалки из МКИ и низкого отпуска, травление 4% азотной кислотой, $\times 450$.

Исследования микроструктуры чугунов после различных режимов термической обработки показали, что в результате нормализации из МКИ образуется достаточно однородная мелкодисперсная перлитно-ферритная структура (рис. 1, б), ударная вязкость $K_{CV}=45-50$ Дж/см². Неоднородность в распределении кремния не устраняется, а становится более тонкой, так как участки феррита и перлита измельчаются, участки высококремнистого феррита чередуются с участками, содержащими мало кремния [4]. Чугун после двойной нормализации характеризуется высокими значениями прочности и ударной вязкости. Повторный нагрев после первой нормализации приведёт к возникновению ещё более дисперсной феррито-аустенитной смеси, которая в процессе охлаждения в струе воздуха превратится в тонкую смесь феррита и продуктов распада γ -фазы (структур перлитного семейства), ударная вязкость $K_{CV}=60-70$ Дж/см². После изотермической закалки в структуре сохраняется феррит и после изотермической выдержки при 400 °С структура чугуна: бейнит, остаточный аустенит и феррит. Данная структура обеспечивает высокую ударную вязкость чугуна - $K_{CV}=73-80$ Дж/см². После закалки и низкого отпуска иголки мартенсита соседствуют с участками феррита и остаточного аустенита (рис. 1, в). Наличие феррита и остаточного аустенита не позволяет получить очень высокую твёрдость чугуна, но способствует получению определённого значения ударной вязкости ($K_{CV}=20$ Дж/см²). Наличие мягких структур способствует также предотвращению появления трещин в процессе закалки. Нормализация из надкритического интервала температур не позволяет получить высокие значения ударной вязкости.

Поэтому чугуны для изготовления боковых ножей бульдозеров подвергали нормализации из МКИ и изотермической закалке, а для повышения износостойкости рабочая часть ножей была подвергнута закалке ТВЧ на глубину 2 мм.

В работе исследовалось влияние термической обработки и соответственно микроструктуры чугуна на его износостойкость. Испытания проводились на

образцах с различной микроструктурой в литом состоянии и после: нормализации из МКИ, закалки ТВЧ и низкого отпуска; после закалки из МКИ и низкого отпуска; после изотермической закалки, закалки ТВЧ и низкого отпуска. В табл. 1 приведены результаты испытаний на износостойкость.

Таблица 1

Результаты испытаний на износостойкость чугуна в литом состоянии и после термической обработки по различным режимам

№ п/п	Состояние чугуна и вид термической обработки	Твёрдость, НВ	Суммарный износ в мг за 140 ч испытаний
1	Литое состояние	210-220	0,022
2	Нормализация из МКИ	275-285	0,015
3	Закалка из МКИ + низкий отпуск	470-480	0,0043
4	Нормализация из МКИ + закалка ТВЧ + низкий отпуск	506-560	0,0021
5	Изотермическая закалка + закалка ТВЧ + низкий отпуск	464-525	0,0031

Самую высокую износостойкость имеет чугун, подвергнутый нормализации из МКИ, закалке ТВЧ и низкому отпуску. Во-первых, этот чугун имеет самую высокую твёрдость. Во-вторых, индукционная закалка создаёт мелкозернистую структуру, для которой характерны сжимающие напряжения. Немного интенсивнее изнашивается чугун, подвергнутый изотермической закалке, закалке ТВЧ и низкому отпуску. Твёрдость чугуна, обработанного по режиму №5, меньше твёрдости чугуна, обработанного по режиму №4. Снижение твёрдости после закалки ТВЧ связано со снижением твёрдости чугуна после предварительной термической обработки – изотермической закалки.

Суммарный износ чугуна в литом состоянии на порядок больше, чем после нормализации из МКИ. Это можно объяснить тем, что, во-первых, чугун в литом состоянии имеет твёрдость ниже, чем чугуны термообработанные, во-вторых, структура литого чугуна характеризуется наличием крупнопластинчатого перлита и крупных полей феррита, расположенных вокруг графитных включений. Вследствие различной твёрдости структурных составляющих абразивные частицы разрушают их не одинаково интенсивно. Например, зёрна кварца (основная составляющая грунта) относительно глубоко вдавливаются в перлит, особенно интенсивно в феррит, но в меньшей степени – в мартенсит. На абразивный износ, как видно из результатов износных испытаний, основное влияние оказывает всё-таки твёрдость чугуна. Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

Выводы. 1. Так как режущие элементы бульдозеров – ножи – подвергаются интенсивному абразивному изнашиванию и ударным нагрузкам со стороны грунта, то материал и термическая обработка ножа должны обеспечить, с одной стороны, достаточную для предупреждения скола при ударных нагрузках ударную вязкость, а с другой стороны – для обеспечения сопротивления абра-

живному изнашиванию – высокую износостойкость; 2. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом отличается высокой технологичностью (хорошими литейными свойствами), экономичностью, высоким комплексом свойств после различных режимов термической обработки; 3. Для землеройных отвалов, которые используют при разработке грунтов и насыпных материалов, бульдозера можно рекомендовать в качестве режущих элементов использовать ВЧШГ, который подвергнут объёмной закалке и низкому отпуску. Этот чугун имеет достаточно высокую износостойкость и не очень высокие значения ударной вязкости. Главным недостатком такого режима термической обработки является то, что тонкая отливка больших размеров может покоребиться; 4. Для более тяжёлых условий работы можно рекомендовать ножи из ВЧШГ после нормализации из МКИ и изотермической закалки, рабочие поверхности которых подвергнуты закалке ТВЧ. Обе предварительные термические обработки способствуют получению однородной по химическому составу (по кремнию) мелкодисперсной перлитно-ферритной структуры, характеризующейся высоким уровнем ударной вязкости. Такие элементы могут работать без угрозы скола при любых ударных нагрузках. А закалка ТВЧ позволяет получить высокий уровень износостойкости.

Литература: 1. Рейш А.К. Повышение износостойкости строительных и дорожных машин. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с. 2. Петров И.В., Домбровская И.К. Повышение долговечности рабочих органов дорожных машин наплавкой. – М.: Изд-во «Транспорт», 1970 – 104с. 3. Малышева И.Е., Малинов Л.С. Влияние термической обработки на износостойкость высокопрочного чугуна ВЧ50 // Мир техники и технологий. – 2004. – №1. – С. 39-40. 4. Солнцев Л.А., Зайденберг А.М., Малый А.Ф. Получение чугунов повышенной прочности. – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. – 152с. 5. Яковлев Ф.И. О превращениях при индукционном нагреве перлитного и ферритного чугуна с шаровидным графитом // Митом. – 1986. – №5. – С. 55-56.

УДК669.15.620.186.5

ХАРАКТЕР ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ДЕТАЛЯХ МАШИН В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Гладкий И.П., канд. техн. наук, **Мощенко В.И.**, канд. техн. наук,
Глушкова Д.Б., канд. техн. наук, **Тарабанова В.П.**, канд. техн. наук,
Черняева А.В. (г. Харьков, Украина)

It is researched structural changes and the nature of formation of crack in the parts, which use in the conditions of high stresses.

Постановка задачи. В наиболее нагруженных местах деталей машин, работающих длительное время в условиях повышенных напряжений, часто образуются трещины задолго до окончания расчетного срока.

Опыт эксплуатации деталей подвижного состава показывает, что появление трещин не исчерпывает ресурс их работы, поэтому исследование характера разрушения металла в процессе работы является весьма актуальным и представляет особый интерес с точки зрения прогнозирования срока их службы.

Материал и методика исследования. Материалом исследования были легированные стали. Химсостав одной из них, поставляемой по техническим условиям, приведен в табл. 1.

Химсостав исследуемой стали

Содержание элементов, %									
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	W
0,23	0,29	0,48	0,014	0,008	2,71	0,13	0,48	0,70	0,41

Для раскрытия характера трещинообразования использовались такие методики, как металлографический, замер микротвердости, метод количественной металлографии, фрактография поверхности разрушения. Исследованиям подвергались участки металла вблизи магистральной трещины, образовавшейся в процессе эксплуатации, и на некотором расстоянии от нее.

Результаты исследования характера трещинообразования. Исследование структуры металла в районе эксплуатационных трещин показало, что под действием напряжений происходит дополнительное выделение из матричного раствора карбидов в теле и по границам зерен. Обращает на себя внимание резкое различие в размерах карбидов по границам и в теле зерен.

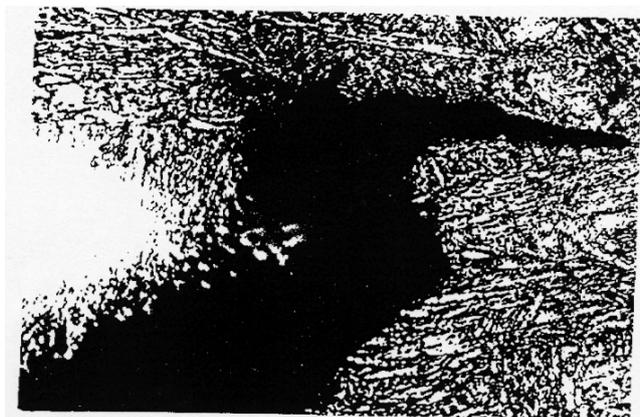


Рис. 1. Характер распространения магистральной трещины.

На рис. 1 представлен характер распространения магистральной трещины.

Как видно на рис. 1, от магистральной трещины отходят мелкие ответвления. Следует отметить характерную особенность - отсутствие заостренности на концах трещины, „тупые“ концы.

Вдали от магистральной трещины накопление повреждаемости проходит как путем образования отдельных камневидных микротрещин,

так и путем образования микроповреждений овальной формы.

Наблюдаются также мелкие клиновидные трещины, расположенные по границам зерен.

Установлено, что часто неметаллические включения инициируют образование микроповреждений. Замечено, что трещина повторяет конфигурацию зерна, распространяясь по границе.

Разрушение - это сложный кинетический процесс, характеризующийся рядом стадий. На первых стадиях раскрытия трещины и ее увеличения до критического размера значительная часть энергии расходуется на пластическую деформацию. В большинстве случаев структура изломов определяется не механизмом зарождения трещины, а характером ее распространения.

Неоднократно было замечено образование пор вокруг включений при вязком разрушении. Чем более неоднородна микроструктура, тем больше локальные концентрации напряжений и тем больше склонность к хрупкому разрушению.

В результате проведения исследований была установлена следующая за-

кономерность при распространении трещины. Если структура в месте прохождения магистральной трещины однородная, то не наблюдается ответвления от магистральной трещины. Если же структура неоднородная, то трещина имеет ответвления. Как правило, у концов трещины преобладает межзеренное разрушение.

Образование сетки трещин вблизи магистральной трещины происходит как бы в два этапа - образование отдельных трещин и возникновение „перемычек“ между ними.

Вдали от магистральной трещины преобладает накопление повреждаемости путем образования микроповреждений овальной формы и мелких трещин как внутри зерна, так и по границе. Была проведена количественная оценка поврежденности металла. Накопление поврежденности оценивалось по числу микроповреждений на единицу поверхности шлифа, а также их размерами вблизи магистральной трещины и на расстоянии.

На рис. 2 представлены вероятностные кривые распределения межзеренных (кривая 1) и внутризеренных (кривая 2) микроповреждений вблизи (а) и вдали (б) от магистральной трещины в металле изделия. Как видно из этих кривых, вблизи магистральной трещины преобладает межзеренное разрушение, вдали - реализуются оба вида разрушений.

Подробное изучение трещинообразования свидетельствует о том, что от магистральной трещины повреждения распространяются произвольно по ослабленным местам или местам скопления карбидов - местам повышенной хрупкости.

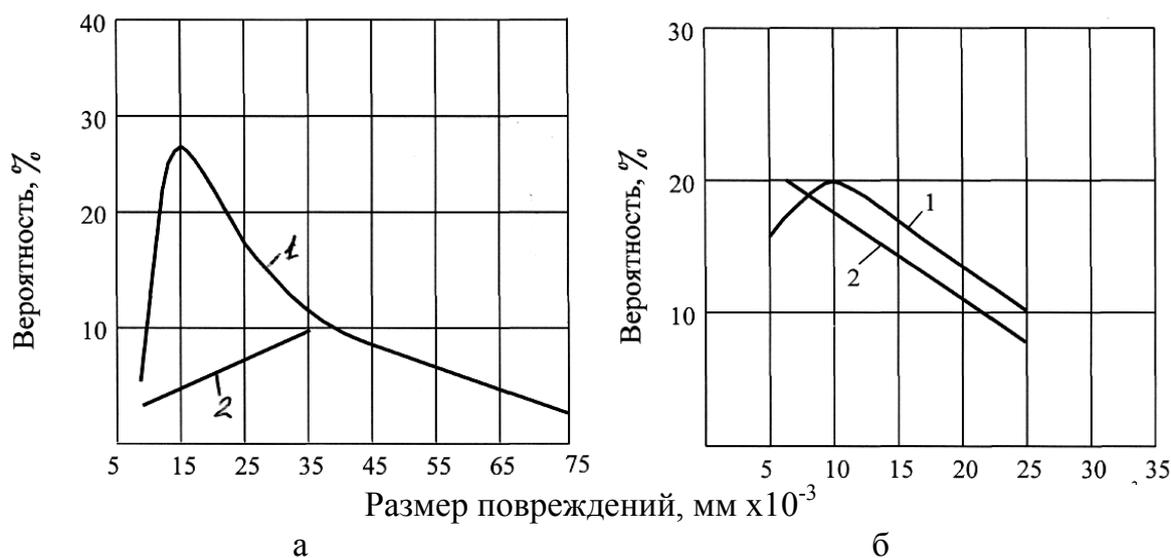


Рис. 2 Вероятностные кривые распределения межзеренных (кривая 1) и внутризеренных (кривая 2) микроповреждений вблизи (а) и вдали (б) от магистральной трещины.

Исследование характера на участках с разными структурными составляющими показывает, что в местах с ферритной структурой разрушение происходит главным образом по объемам металла, прилегающим к карбидам, что, по всей вероятности, связано с релаксацией напряжений. В участках с бейнитной или ферритокарбидной структурой разрушение происходит главным образом на границе карбид - матрицы.

Фрактографические исследования поверхности разрушения свидетельствуют о том, что на начальной зоне наблюдается борозчатость поверхности,

объясняемая, по-видимому, периодичностью продвижения трещины.

На большей части этой зоны расстояние между складками стабилизируется на расстоянии 8... 10 мкм. Трещина в основном распространяется по границам зерен феррита. Впадины на линии фронта, как правило, расположены против перлитных участков. Это свидетельствует о том, что участки перлита являются стопорами на пути разрушения.

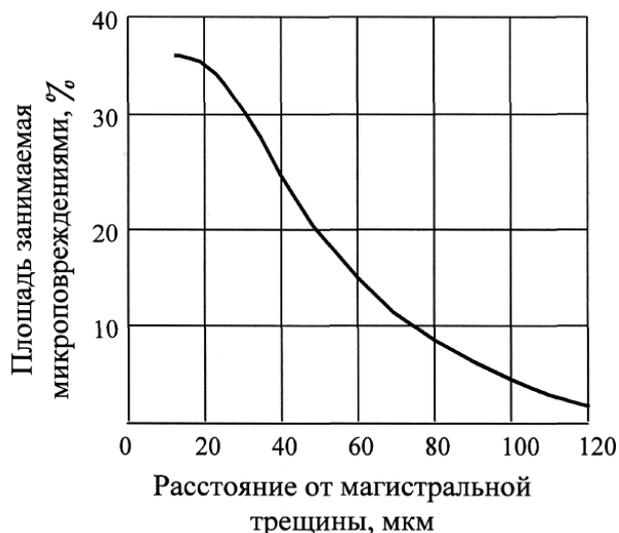


Рис. 3. Распределение площади металла, занятой поврежденностью, в зависимости от расстояния от магистральной трещины.

вано как смешанное.

Изучение поврежденности металла показало, что наибольшая площадь поврежденного металла находится вблизи магистральной трещины, а именно на полосе шириной 40 мкм. С удалением от этой полосы поврежденность резко убывает и носит хаотический характер.

На рис.3 представлено распределение площади металла, занятой поврежденностью, в зависимости от расстояния от магистральной трещины.

Исследование микротвердости в пределах зерна в участках вблизи магистральной трещины показало, что у границы зерна - повышенная микротвердость по сравнению с центром зерна. По всей вероятности, причиной повышенной твердости границ зерен является декорирование их дисперсными частицами. Это же и объясняет тот факт, что вблизи магистральной трещины поврежденность распределяется главным образом по границам зерен, которые являются зонами повышенной хрупкости.

Выводы. 1. Особенности трещинообразования обусловлены рядом структурных изменений в металле в процессе эксплуатации, а также неоднородностью структуры, имевшей место до эксплуатации, и усилившейся под влиянием эксплуатационных факторов. 2. Повышенная хрупкость структуры объясняется не только наличием карбидов по границам зерен, но и декорированием их дисперсными частицами.

Литература: 1. Зеленова В.Д. Механизм вязкого и хрупкого разрушения и методы оценки сопротивления разрушению металлов и сплавов. М., Машиностроение, 2000, 275с., с илл. 2. Касаткин Б.С. Структура и микромеханизм хрупкого разрушения. К., 2001, 246с., с илл.

**СКЛОННОСТЬ К ЗАМЕДЛЕННОМУ РАЗРУШЕНИЮ И
ЭЛЕКТРОННАЯ ФРАКТОГРАФИЯ ЦЕМЕНТОВАННОЙ
СТАЛИ 07Х3ГНМ**

Аксенова С. И., канд. техн. наук, **Земляной В. Б.** (г. Харьков, Украина)

Are obtained the data of sensitive to delayed fracture tests and electron fractography for economical alloyed carburized steel 07X3ГНМ.

Новые низкоуглеродистые мартенситные стали (НМС) обладают благоприятным сочетанием технологических и механических характеристик [1]. Это, а также экономное легирование их дефицитным никелем обуславливает целесообразность использования их при изготовлении цементованных деталей, в частности, высоко нагруженных зубчатых колес. Для оценки надежности и работоспособности этих сталей необходимы сведения об их склонности к замедленному разрушению [2] и о характере разрушения при различных условиях нагружения. В литературе такие данные для сталей НМС (в том числе в цементованном состоянии) отсутствуют.

Сталям в высокопрочных состояниях с неравновесной (мартенситной) структурой, в том числе в цементованном состоянии, присуща склонность к замедленному разрушению, что в значительной степени определяет их надежность и работоспособность в эксплуатации [2]. Поэтому для оценки конструктивной прочности высокопрочных сталей необходимы данные об их сопротивлении замедленному разрушению, а также об их склонности к хрупкости при различных условиях нагружения [3].

Целью настоящей работы явилось исследование склонности к замедленному разрушению и характера разрушения при различных скоростях нагружения низкоуглеродистой мартенситной стали 07Х3ГНМ в цементованном состоянии в сравнении с широко используемой хромоникелевой сталью 20Х2Н4А.

Механические испытания образцов на склонность к замедленному разрушению проводили на универсальной испытательной машине 1231У-10. Испытывали призматические образцы с U-образным надрезом. Нагружение осуществляли по схеме трех точечного изгиба. В процессе испытания под действием постоянной нагрузки фиксировали время от момента нагружения до момента разрушения. По результатам испытаний при различных уровнях постоянной нагрузки строили кривые замедленного разрушения и определяли пороговое напряжение [3].

Для исследования влияния скорости нагружения на характер разрушения использовали испытания статическим и ударным изгибом.

Исследование изломов проводили с помощью электронно-фрактографического анализа на просвечивающем электронном микроскопе ЭМВ-100БР с использованием двухступенчатых пластико-углеродных реплик.

На рис. 1 приведены кривые замедленного разрушения сталей 07Х3ГНМ и 20Х2Н4А в цементованном состоянии.

Пороговые напряжения, определенные по кривым замедленного разрушения, для сталей 07Х3ГНМ и 20Х2Н4А в цементованном состоянии состав-

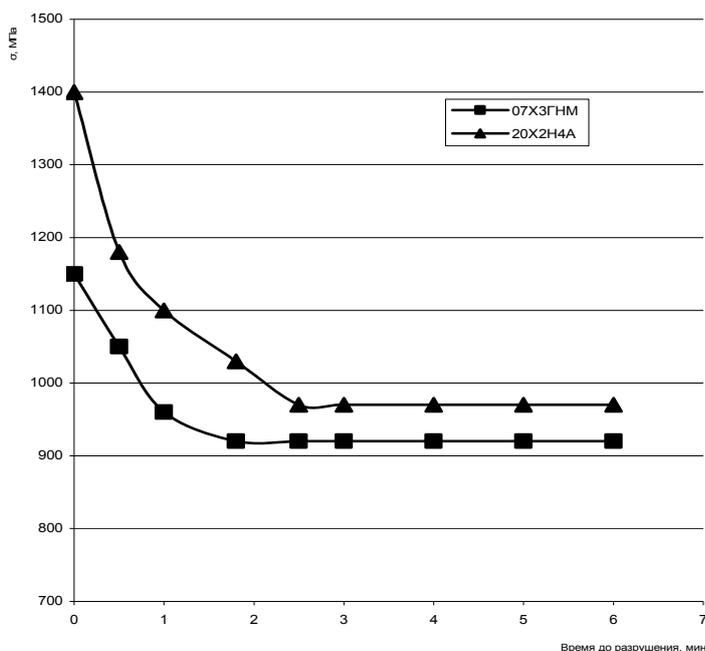
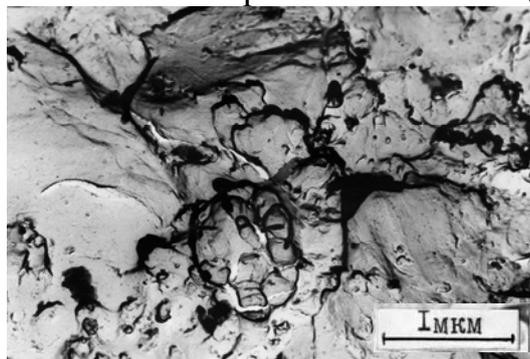
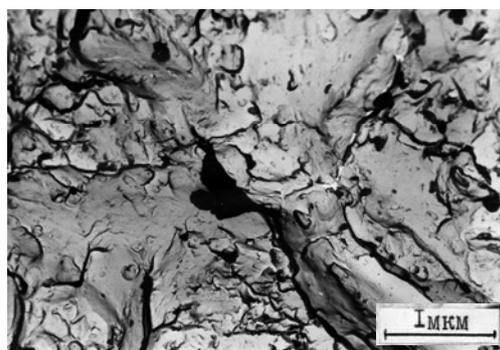


Рис. 1. Кривые замедленного разрушения сталей 07Х3ГНМ и 20Х2Н4А в цементованном состоянии.

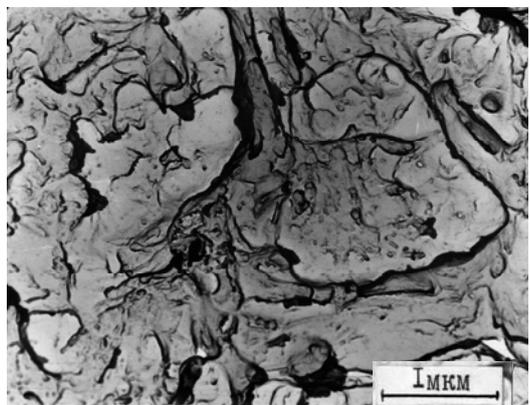
ственно в поверхностных зонах (рис. 2).



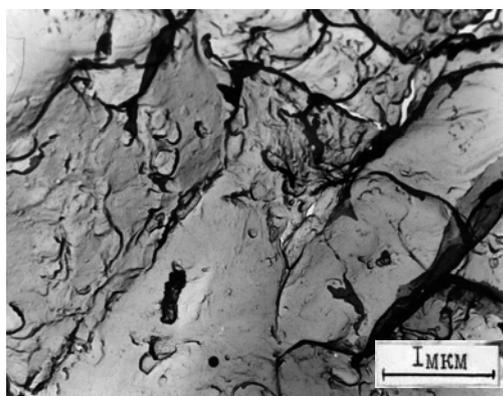
а



б



в



г

Рис. 2. Микроструктура изломов по цементованному слою при динамическом (а, б) и статическом (в, г) разрушении стали 07Х3ГНМ.

ляют соответственно 920 и 970 МПа.

Из приведенных данных видно, что сравниваемые стали близки по сопротивлению замедленному разрушению.

Электроннофрактографическое исследование показало, что при динамическом и статическом изгибе стали 07Х3ГНМ в микростроении изломов по цементованному слою аналогично традиционно цементуемым хромоникелевым сталям [3] наблюдается малоэнергоемкая ямочная и квазискольная структура с отдельными локализованными участками хрупкого и межзеренного скола, расположенными преимуще-

Излом сердцевины характеризуется ямочной структурой (ямки значительно более крупные, чем в цементованном слое) и участками хрупкого скола. При этом излом сердцевины у стали 07Х3ГНМ характеризуется значительно большим количеством хрупкой составляющей, чем у хромоникелевых сталей.

После закалки с охлаждением в масле и низкого отпуска различий в микростроении изломов при динамическом и статическом изгибе практически не выявлено. Это свидетельствует о том, что цементованная сталь 07Х3ГНМ после закалки в масле и низкого отпуска слабо подвержена тенденции к охрупчиванию с уменьшением скорости нагружения при испытании, характерной для высокопрочных сталей с неравновесными структурами, в том числе для цементованных хромоникелевых сталей [3].

После закалки с охлаждением на воздухе (в сравнении с закалкой в масле) и низкого отпуска при динамическом изгибе в цементованном слое увеличивается доля ямочной составляющей; при этом наблюдается большая разнородность ямок по величине и энергоемкости. В изломах статического изгиба в цементованном слое, наоборот, возрастает доля хрупкой составляющей – участков хрупкого и межзеренного (межсубзеренного) скола. Есть основания полагать, что выявленные особенности микростроения изломов после закалки стали на воздухе (в сравнении с закалкой в масле) связаны с неоднородностью, обусловленной наличием в микроструктуре наряду с мартенситом продуктов немартенситного распада аустенита.

Изломы замедленного разрушения цементованной стали 07Х3ГНМ (после закалки как в масле, так и на воздухе) в зоне медленного развития трещины имеют преимущественно хрупкое межзеренное строение с отдельными локализованными участками ямок или квазискола (рис. 3), типичное для закаленных сталей [3].

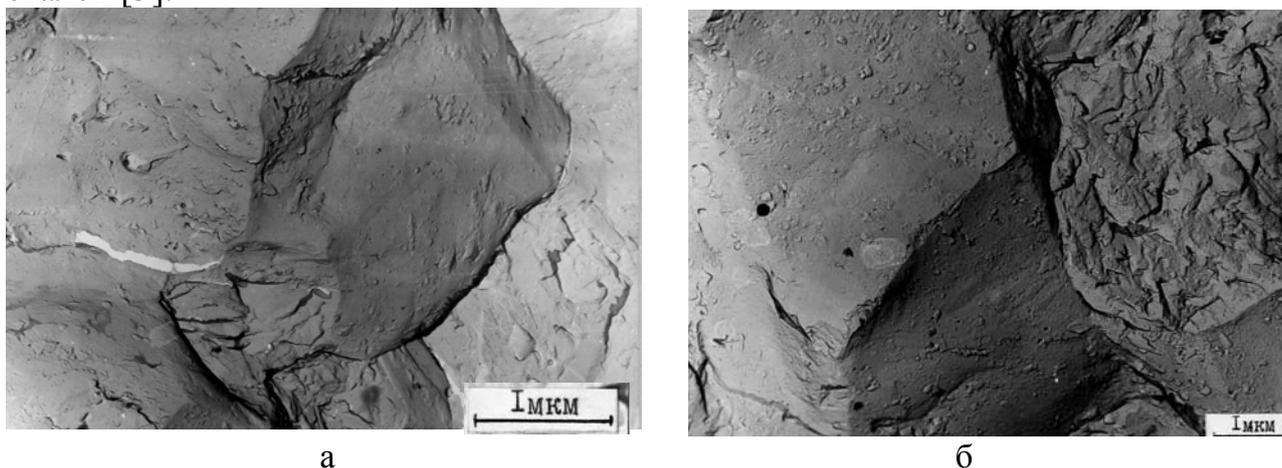


Рис. 3. Микростроение изломов по цементованному слою при замедленном разрушении стали 07Х3ГНМ.

Выводы. Установлено, что по склонности к замедленному разрушению сталь 07Х3ГНМ в цементованном состоянии близка к хромоникелевым сталям, традиционно применяемым для изготовления ответственных тяжелонагруженных зубчатых колес (типа 20Х2Н4А).

Данные, полученные в работе, целесообразно использовать при опреде-

лении возможности применения стали 07ХЗГНМ для ряда цементованных деталей (взамен хромоникелевых сталей) и при выборе способа ее закалки.

Литература: 1. Низкоуглеродистые мартенситные стали/Р. И. Энтин, Л. М. Клейнер, Л. М. Коган, Л. Д. Пиликина – Изв. АН СССР. Металлы, 1979, №3, с. 114-120. 2. Саррак В. И., Филипов Г. А. Задержанное разрушение стали после закалки: - ФХММ, 1976, т. 12, №2, с. 44-54. 3. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей/М. А. Балтер, А. П. Любченко, С. И. Аксенова и др. – М: Машиностроение, 1987. – 160 с.

УДК 623.454.86

ПРО СПОСОБИ ВИРШЕННЯ ЗАДАЧІ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИЗНАЧЕННЯ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Подобедов В.В., канд.техн.наук, **Сатановський Є.А.**, канд.техн.наук,
Каракуркчі Д.А, Грязєва Г.В. (м. Харків, Україна)

The review of methods of the controlled from distance determination of radiocontammant is conducted. The system of spectrometryc defenses detectors is offered and the method of registration of flashes is described.

Аварії на радіаційно небезпечних об'єктах (РНО) характеризуються утворенням радіоактивного забруднення місцевості (РЗМ), яке суттєво впливає на безпеку населення та потребує швидкого, точного та повного виявлення радіаційної обстановки (РО) [1].

Під час руйнувань РНО існує висока ймовірність виникнення ситуацій, коли виявлення РО штатними силами та засобами є дуже складною або взагалі неможливою задачею. Такі умови можуть скластися при надвисоких потужностях доз випромінювання ($10^3 - 10^4$ рад/год), коли перебування в зоні РЗМ веде або до загибелі екіпажів розвідувальних хімічних машин (РХМ) внаслідок переопромінення, або до виходу з ладу приладів та вузлів техніки внаслідок радіаційної нестійкості апаратури (радіаційних дефектів, поляризації та ін.). Також, край важливим є постійне отримання інформації про РО у режимі реального часу та на протязі як можна більшого терміну. Така вимога обґрунтовується високим ступенем впливу динаміки зміни рівнів РЗМ на адекватність прийняття рішення щодо ліквідації наслідків аварії, а за умов аварій на РНО, які характеризуються постійними нерівномірними викидами компонентів ядерного палива, фрагментів конструкції технологічних вузлів (викиди мають флуктуаційний неперіодичний характер), набуває визначальної ролі. Термін ведення розвідки обмежений запасом ходу РХМ та складає біля 6 годин. Є невирішеним також питання повноти обстеження важкодоступних місць через ходові можливості РХМ.

Таким чином, актуальною є задача розробки та випробування методів та технічних засобів дистанційного визначення рівнів радіоактивного забруднення.

Метою статті є огляд систем дистанційного визначення РО та викладення шляхів підвищення ефективності існуючих методів та технічних засобів дистанційного визначення ступеню РЗМ та вмісту радіоактивних нуклідів у навколишньому середовищі.

Створення систем дистанційного зондування радіоактивного забруднення

місцевості (ДЗРЗМ) розвивається, в основному, у напрямку створення роботів (сухопутних або безпілотних літальних апаратів) з устаткуванням, що включає засоби вимірювання іонізуючих випромінювань (ІВ), відбору проб та забезпечує прив'язку до координат і зв'язок із пунктом управління. Досвід застосування таких систем для виявлення РО у зоні аварії Чорнобильської АЕС дозволив обґрунтувати деякі шляхи розвитку та актуальні проблеми цієї технології.

По-перше, спостерігалися відмови радіоелементів (в основному у напівпровідникових елементах) та в ізоляції електроланцюгів внаслідок низької радіаційної стійкості апаратури через такі радіаційні дефекти, як збільшення концентрації носіїв заряду, поляризації, наведених електромагнітних полів, а також виявилися недосконалості в роботі вузлів зв'язку та керування, що проявилось у неможливості керувати агрегатом та отримувати інформацію за умов великих потужностей експозиційної дози (ПЕД) та впливу електромагнітних полів радіоактивного походження. По-друге, спостерігалось зниження мобільності (виявилось обмеженням пересування) більшості сухопутних агрегатів по пересіченій місцевості з уламками конструкції реактору, та, як наслідок, виявилось неможливо дослідження важкодоступних місць. Безпілотні повітряні апарати тоді не використовувались, але відомо, що такі фактори, як нерівномірність забруднення, швидкість носія детектору ІВ, відстань до джерела ІВ, та радіаційна нестійкість апаратури, обумовлює визначальну похибку вимірювання та, як наслідок, невисоку ефективність таких систем.

На початку 90-х років минулого століття було проведено випробування системи радіаційної розвідки місцевості СРРМ-1, що була призначена для виявлення фактичної РО у режимі реального часу. Принцип дії СРРМ-1 полягав у тому, що у районі, який підлягає обстеженню, розташовувалось близько ста детекторів ІВ, з яких інформація надходила до пультів управління за допомогою дротових з'єднань. Як детектори ІВ використовувались газорозрядні лічильники, але принципово могли бути використані будь-які сенсорні елементи зі прийнятними характеристиками. Таку систему було розроблено, насамперед, для контролю РО на територіях аварійних РНО. Вона дозволяла постійно та ефективно оповіщати центральний пульт управління про динаміку змін рівнів радіації на підконтрольних ділянках місцевості. Роботу такого роду системи, за умов використання досягнень сучасного рівня метрології ІВ, може бути вдосконалено наступними шляхами.

По-перше, застосування дротових каналів прийому-передачі інформації між детекторами ІВ та пультом управління потребує використання якісного перешкодозахищеного кабелю, завчасного встановлення детекторів (до початку РЗМ) та не дозволяє іншого методу встановлення на місцевості, як за допомогою оператора або машини, й, таким чином, унеможливує застосування системи при великих ПЕД (у важкодоступних місцях) без втрат особового складу у випадку ЯВ.

По-друге, використані у СРРМ-1 детектори (газорозрядні лічильники) мають такі недоліки, як низький енергетичний дозвіл (біля 20%), що робить неможливим здійснення спектрометрії ІВ, порівняно невеликий діапазон вимірювання ІВ різних видів та енергій, складні в експлуатації та технічному обслугову-

уванні. Переваги високого енергетичного дозволу напівпровідникових детекторів з власного напівпровідника n-типу CdZnTe (CdTe), що здатний працювати при звичайних температурах (без глибокого охолодження) та можливості отримання спектру гамма- та рентгенівського випромінювання показано в [2–5].

Отже, рішенням поставлених проблемних питань може бути бездротова система з можливістю дистанційного встановлення детекторних блоків іонізуючого випромінювання (ДБІВ), здатних передавати по радіо відомості про РЗМ та своє місце знаходження (координати) до центру керування. Відомі напівпровідникові технології [3] дозволяють створити потрібні перешкодозахищені ДБІВ. У польових умовах кращі результати у метрології ІВ показують напівпровідникові детектори з великою шириною забороненої зони (алмаз С, арсенід галію GaAs, телурид кадмію CdTe, діюлід ртуті HgI₂), серед яких найбільш оптимальними параметрами характеризується телурид кадмію [3]. Автори [2] повідомляють про створення вітчизняного спектрометра ТДК 10 для визначення складу та вмісту радіонуклідів середовищі з таким детектором.

Таким чином, з застосуванням вище згаданих технологій, методик визначення та програмного забезпечення, конструкція ДБІВ повинна включати детектор з передпідсилювачем та блок радіозв'язку з джерелом електропостачання. Центр керування повинен мати аналого-цифровий перетворювач, блок якого буде з'єднуватися з ПЕОМ із передвстановленим програмним забезпеченням.

Переваги запропонованого підходу полягають:

- у можливості в режимі реального часу та без попереднього відбору проб контролювати динаміку зміни РО безперервно без постійного контролю з боку оператора;
- у реалізації дистанційного метода розміщення у заданій точці, що дозволить знизити час отримання даних про фактичну РО у разі її виявлення вже після факту утворення РЗМ;
- у здатності повідомляти про місце розташування з високою достовірністю;
- у можливості вирішувати задачі аналізу складу важких елементів в сполуках за характеристичним рентгенівським випромінюванням, а також складу і кількості радіонуклідів в діапазоні енергій 5,9 – 662 кеВ (завдяки енергетичному дозові на запропонованих спектрометричних ДБІВ в межах 10⁻¹ – 1%);
- у зниженні вартості у порівнянні зі штатними засобами РР.

Іншим варіантом вирішення зазначеної задачі проектування систем ДЗРЗМ може служити наступний, очікувано, не менш ефективний підхід сутність якого полягає у дистанційній реєстрації спалахів. У дозиметрії ІВ відомі сцинтиляційний та люмінесцентний методи. Сутність цих методів полягає у реєстрації сцинтиляцій (короткочасних спалахів) або люмінесценції, що виникають під час проходження іонізуючих часток у сцинтиляційному середовищі (СС) або при взаємодії з люмінофором. Оптичні властивості світіння (спектр випромінювання та тривалість висвітлювання) визначаються властивостями СС, а яскравість сцинтиляції – питомими іонізаційними втратами, тобто зарядом та імпульсом (енергією) частки. Наприклад, сцинтиляції, що викликані у

сульфіді цинку проходженням альфа-частинок та протонів, можливо спостерігати візуально за допомогою мікроскопу кратністю порядку десяти у межах від 1 – 50 спалахів за хвилину [3].

У випадку реєстрації не тільки кількості іонізуючих часток, але і їх розпізнавання та визначення енергії, необхідне дотримання вимог пропорційності між світловим виходом (кількістю квантів) та енергією кванту, яку втрачено у СС. Для ряду сцинтиляторів така пропорційність спостерігається у широкому діапазоні енергій реєстрованих часток. Сцинтиляційні детектори мають високу ефективність реєстрації фотонів та нейтронів (завдають максимальної шкоди при зовнішньому опроміненні). Так ефективність реєстрації м'якого рентгенівського випромінювання досягає 100%, а для реєстрації більш жорстких фотонів необхідно збільшувати розміри детекторів, що можливо для рідких та пластичних сцинтиляторів. У табл.1 наведені основні характеристики деяких найбільш розповсюджених сцинтиляторів.

Отже, на підставі викладених відомостей пропонується розпорошувати сцинтиляційні матеріали (або суміші на їх основі) у районі визначення РО та реєструвати аналітичний ефект (характеристичні спалахи) на безпечній відстані оптичними (квантовими, оптико-електронними) детекторними системами. Як реєстраційні системи таких спалахів можуть бути застосовані, як фотоприймачі, так і лідарні системи.

Таблиця 1

Характеристики сцинтиляторів

№, з/п	Сцинтилятор	Питома вага, г/см ³	Ефективний атомний номер Z	Довжина хвилі спектру випромінювання, нм	Відносний світловий вихід	Час висвітлювання, нс
Органічні сцинтилятори						
1.	Антрацен	1,25	5,8	445	1,00	25
2.	Стильбен	1,16	5,7	410	0,73	7
3.	Дифеніл бутадиєн	1,15	5,7	461	0,67	8
4.	P-терфеніл	1,23	5,8	525	0,55	12
5.	Нафталін	1,15	5,8	345	0,15	75
6.	Фенантрен	1,03	5,8	435	0,46	10
Неорганічні сцинтилятори						
1.	ZnS (Ag)	4,1	27	450	2	1000
2.	NaJ (Tl)	3,67	50	410	2	250
3.	KJ (Tl)	3,03	49	410	0,8	1000
4.	ZrJ (Tl, Eu)	4,06	52	зелений	–	–
5.	CsJ (Tl)	4,51	54	білий	1,5	1000

Переваги запропонованого підходу дещо співпадають з перевагами описаної вище системи, яка використовує спектрометричні ДБІВ та додатково ха-

рактизуються можливістю в режимі реального часу стежити за зміною РО у дослідженому районі не тільки без постійного контролю з боку оператора але й без створення ДБІВ, та створенням, на відміну від системи з ДБІВ, безперервної (недискретної) зони контролю з високою достовірністю визначення місця розташування тією ж системою реєстрації спалахів; процесу реєстрації спалахів СС можуть перешкоджати засоби радіоелектронної боротьби противника та зброя на новітніх фізичних принципах.

Таким чином, на підставі викладеного матеріалу, для визначення РО запропоновано:

1. Систему для дистанційного визначення фактичної РО перешкодозахисених спектрометричних ДБІВ з телурид-кадмієвим детектором ІВ.
2. Метод реєстрації сцинтиляцій (люмінесценції), що дозволить отримувати дані про РЗМ у режимі реального часу з більшою ефективністю та меншою вартістю цих засобів у порівнянні зі штатними засобами РР ЗС України.

Перспективними шляхами розвитку запропонованих технологій автори вважають пошук та випробування засобів розміщення ДБІВ та СС у районі визначення РО, обґрунтування та дослідження оптимальної щільності розташування сенсорних елементів, опрацювання бази даних з методів та технічних засобів детектування сцинтиляцій і забезпечення безперешкодного зв'язку із ДБІВ.

Література: 1. Прикладная метрология ионизирующих излучений / Под ред. Ю.И. Брегадзе. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 264 с. 2. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений и их применение в полевой гамма-спектрометрии / Григорьев А.Н., Беденко Л.Б., Кареев А.Г. и др. // Вісник НТУ „ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск „Колісні та гусеничні машини спеціального призначення. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2003. – № 27. – С. 83 – 88. 3. Экспериментальная ядерная физика / Под ред. Э.Сегре. Пер. с англ. Т.3. – М.: Изд во иностр. лит., 1961. – 684 с. 4. Назаров И.М., Николаев А.Н., Фридман Ш.Д. Основы дистанционных методов мониторинга загрязнений природной среды. Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 279 с. 5. Squillante M.R., Entine G. // Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. – A 380. – 1996. – P. 160 – 164.

УДК 623.454.86

ПРО МЕТОДИ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ТОКСИЧНИХ ВИКИДІВ

Подобедов В.В., канд. техн. наук, **Сатановський Є.А.**, канд. техн. наук,

Каракуркчі Д.А., **Статінов О.В.** (м. Харків, Україна)

The organized review of the methods of the deleting the chemical contaminations to terrain and air. It is offered to realize protection by production vertical jet gas aerosol cover and (or) by irradiation source optical radiation.

Хімічне забруднення місцевості (ХЗМ) та хмара забрудненого повітря (ХЗП) утворюються під час виробничого процесу на певних виробничих ділянках підприємств хімічної, металургійної, харчової та ін. галузей, у випадку аварій (зруйнувань) потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) або внаслідок терористичних актів, суттєво впливають на працездатність персоналу та безпеку цивільного населення та потребують експресної та повної нейтралізації.

Авторами [1-4] показано результати досліджень та опрацювання способів

нейтралізації ХЗМ, принцип дії яких полягає у знешкодженні (дегазації) токсичних речовин (ТР) в об'ємі та на поверхнях різних об'єктів із застосуванням контактних, суто хімічних методів. Такі способи дегазації передбачають обробку забруднених поверхонь рецептурами, що складаються із речовин, які реагують з молекулами токсичного агента з утворенням нетоксичних продуктів. Досліджено досить великий перелік рецептур різного складу з активними речовинами окислювальної та відновлювальної дії у полярних і неполярних розчинниках з додаванням поверхнево активних речовин (ПАР) і каталізаторів міжфазного переносу (КМП), визначено комплекс властивостей, що потребують вдосконалення, й обґрунтовано шляхи розвитку такої технології.

Принцип дії найбільш ефективних методик захисту від ХЗП полягає у побудові вертикальної захисної приземної газоповітряної завіси (ГПЗ), спрямованої вгору та розташованої між джерелом хімічного забруднення та селитебною зоною (зоною, що підлягає захисту від ХЗП). Така ГПЗ у більшості випадків має форму дуги з центром напроти джерела хімічного забруднення та здійснює підйом приземної частини ХЗП, за рахунок сил в'язкого тертя, на висоту, що дорівнює висоті завіси. Після підйому завісою, ХЗП не спускається до поверхні ґрунту, а розсіюється в атмосфері. Відомі способи формування ГПЗ утворенням вільноконвективного турбулентного струменю шляхом нагрівання приземного шару повітря лінійним джерелом теплоти, розташованим на поверхні ґрунту поперек руху ХЗП.

Основними недоліками розглянутого методу є низька ефективність захисної завіси внаслідок обмеженого діапазону експлуатаційних характеристик агрегату, що не дозволяє створити ГПЗ необхідної довжини та висоти. Експериментальні дані роботи показують, що для формування плоскої газоповітряної струминної завіси висотою 50 м та довжиною 10 м при швидкості повітря 3 м/с потрібне устаткування площею 33,4 м² (ребро квадрату 5,78 м), тобто необхідні агрегати для створення завіс з меншими геометричними розмірами та енергоємністю. Слід зазначити, що молекули ТР здатні переноситись потоками повітря на значні відстані у газоподібному та аерозольному (сорбція водним паром) стані. З урахуванням зазначеного явища, високо ймовірним буде факт потрапляння ТР через певний час у приземний шар повітря внаслідок седиментації або у вигляді опадів. Такий розвиток процесу розсіювання ХЗП пояснюється тим, що в процесі постановки газоповітряної завіси молекули ТР не піддаються хімічним перетворенням.

Таким чином, на підставі розглянутих способів нейтралізації шкідливого впливу ХЗМ та ХЗП актуальною є задача розробки та опрацювання методів знешкодження ТР у ХЗП (ХЗМ), принцип дії яких полягає у хімічних перетвореннях молекул отрут, використання яких не завдає шкоди конструкційним матеріалам та є безпечним і зручним в експлуатації.

Метою статті є огляд методів та засобів нейтралізації ХЗМ та ХЗП й обґрунтування шляхів вирішення поставленої задачі розробки методів знешкодження токсичних речовин у ХЗП (ХЗМ) фотохімічним способом та постановкою газоаерозольних завіс, що містять речовини-дегазатори.

Одним зі шляхів вирішення задачі нейтралізації ХЗП може бути модер-

нізація розглянутої вище ГПЗ. На відміну від ГПЗ, яка складається з струминного потоку гарячого повітря та має на меті тільки підйом та розсіювання молекул ТР, представляється більш ефективною газоаерозольна завеса (ГАЕЗ), яка буде складатися з речовини-дегазатору у газоподібному стані або рідких чи твердих частинок дисперсної фази (хімічної сполуки чи комплексу хімічних сполук, що реагують з молекулами ТР з утворенням нетоксичних або нелетючих продуктів) та дисперсійного середовища - гарячого повітря. Тобто, запропонована ГАЕЗ крім підйому та розсіювання ХЗП виконує функцію знешкодження ТР. Можливе й спільне (комплексне) послідовне застосування газоаерозольної та газоповітряної завеси, що надасть можливість підвищити ефективність існуючого способу зупинення та розсіювання ХЗП. Для вирішення задачі створення захисних аерозольних завес доцільно дослідити такі технічні характеристики, як склад дисперсної фази та дисперсійного середовища завеси й способи (технічні засоби) її отримання. Очевидно, що така завеса повинна характеризуватися достатньою стійкістю у часі в залежності від метеорологічних умов, мати необхідну густину (концентрацію речовини-дегазатора) та ефективно знешкоджувати ТР. До складу пропонованої газоаерозольної суміші очікувано повинні входити речовини-дегазатори окислювальної (відновлювальної) дії. Відомо [2-5], що ефективним агентом знешкодження ТР є озон O_3 , а його похідні та комплекси ефективно застосовуються у вигляді розчинів та колоїдних систем. У [4] показано, що озоновані водні розчини здатні повно та ефективно знешкоджувати отрути нервово-паралітичної та шкірно-наривної дії, а, виходячи з хімічних властивостей молекули O_3 (сильний окисник, який взаємодіє із більшістю фізіологічно активних речовин), можна прогнозувати високий ступінь універсальності дії систем на його основі - будуть окислюватися не тільки всі відомі ТР, але й ті, склад яких невідомий, з утворенням неактивних окислених похідних.

Таким чином, пропонується застосовувати у якості дисперсної фази дрібнодисперсні краплі води з розчиненим озоном, ПАР типу лінолеатів лужних металів (для підвищення стійкості аерозолі) та КМП (для підвищення швидкості та повноти реакції знешкодження).

Отримати такий аерозоль можна методом диспергування за допомогою АРС-14, ТМС-65 та пожежних машин та агрегатів. У випадку отримання аерозолі засобами АРС-14 (пожежних машин) можливе розпилення озонованого розчину з вмістом ПАР та КМП шляхом використання брандспойтів з віддзеркаленням струменю від нахилених вертикальних поверхонь або за допомогою додаткового устаткування. Конструкція та методика використання зазначеного додаткового устаткування для виготовлення, зберегання та застосування озонованих розчинів для знешкодження ТР у вигляді газоводного струменю високого тиску зараз досліджується на замовлення Міністерства оборони науково-дослідними установами України. У випадку застосування ТДА (АГП), до складу яких входять цистерна, газотермічний генератор та розпилювач, для отримання аерозолів методом конденсації не потрібне встановлення додаткового устаткування. В цистерну можна завантажувати озонований розчин, що буде випаровуватися та розпилюватися у вигляді пересиченого па-

ру з подальшою конденсацією газоаерозольної суміші з заданими параметрами: величиною конденсованої частки, густиною та швидкістю утворення потоку.

Напрямами подальшого розвитку запропонованого способу постановки газоаерозольної вертикальної завіси є дослідження режимів роботи агрегатів-аерозолеутворювачів, опрацювання оптимального складу і витрати сумішей та дослідження можливостей інших речовин-дегазаторів окрім озону.

Переваги запропонованого підходу у порівнянні з дією вертикальної газоповітряної завіси полягають у тому, що крім процесу розсіювання ТР, у ХЗП відбувається хімічна реакція знешкодження ТР озоном з супутнім поглинанням аерозольними частками, а утворення та керування такими завісами можливе з застосуванням штатних технічних засобів військ РХБ захисту.

Іншим, прогнозовано не менш ефективним, варіантом вирішення поставленої задачі створення захисного шару між джерелом хімічної небезпеки та селітебним районом може бути, так званий, фотохімічний метод. Сутність даного методу полягає у розриві конкретного хімічного зв'язку під впливом світла визначеної довжини хвилі (частоти) у певних молекулах згідно з принципом еквівалентності Ейнштейна, який полягає у тому, що на один акт фотохімічного перетворення витрачається один квант світла певної енергії.

Прикладами таких реакцій може бути дисоціація молекулярного хлору $Cl_2 \rightarrow Cl\cdot + Cl\cdot$, де розрив зв'язку однієї молекули відбувається під впливом світла з величиною кванта $39,7 \cdot 10^{-20}$ Дж, з довжиною хвилі близько 500 нм, або обернений процес розпаду вуглекислого газу з утворенням чадного газу та молекулярного кисню. Характеристики джерела опромінення визначають згідно співвідношень закону Бунзена-Роско $m = kIt$, де маса речовини, що вступила у фотохімічну реакцію дорівнює $m = NM$, та є добутком кількості прореагувавших молекул на їх молекулярну масу, I – інтенсивність випромінювання, t – час опромінення, k – коефіцієнт пропорційності, що визначається родом реакції при постійному спектральному складі.

У табл. 1 наведено довжини хвиль оптичного випромінювання, що селективно спонукають фотохімічну реакцію розриву відповідного зв'язку для похідних аліфатичних вуглеводнів.

Таблиця 1

Довжини хвиль оптичного випромінювання фотохімічної самодовільної реакції розриву для похідних аліфатичних вуглеводнів, мкм

Вуглеводневий радикал	Замісник			
	-H	-Br	-I	-OH
CH ₃ -	0,28	0,4255	0,53	0,33
CH ₃ - CH ₂ -	0,292	0,44	0,548	0,328
CH ₃ - (CH ₂) ₂ -	0,3	-	0,57	0,332
CH ₂ = CH - CH ₂ -	0,37	0,57	0,79	-
C ₆ H ₅ -	0,275	0,4	0,5	-

Отже, на підставі проаналізованих літературних джерел та викладених міркувань можливе застосування для знешкодження ХЗП джерел оптичного випромінювання, що повинні характеризуватися певною довжиною хвилі та потужністю випромінювання. Вважається ефективною конструкція, що представляє собою вертикальні лампи з можливістю перебудови довжини хвилі для різних типів зв'язків для конкретної речовини. Такий метод повинен давати позитивні результати і для процесу дегазації ТР на поверхнях озброєння та військової техніки, фортифікаційних споруд та інших об'єктів. При застосуванні запропонованих опромінюючих систем передбачається знешкодження усіх відомих ТР, відсутність ушкодження конструкційних матеріалів, а також очікуються кращі експлуатаційні показники - відсутність забруднення навколишнього природного середовища та небезпеки для людини завдяки нетоксичності та пожежебезпечності оптичного випромінювання.

Таким чином, на підставі огляду існуючих способів постановки перешкод для ХЗП запропоновано наступні варіанти розробки та опрацювання методів знешкодження ТР:

1. Знешкодження ХЗП здійснювати постановкою диспергаційної або конденсаційної вертикальної струменевої газоаерозольної завіси за допомогою засобів спеціальної обробки військ РХБ захисту. Прогнозовано ефективним буде наступний склад такої системи: водні краплі з розчиненим озоном, ПАР та каталізаторами міжфазного переносу у якості дисперсної фази та гаряче повітря як дисперсійне середовище.
2. Знешкодження ХЗП та дегазацію ТР на поверхнях різних об'єктів здійснювати опроміненням джерелами оптичного випромінювання на визначеній довжині хвилі для конкретної ТР.

Запропонований метод газоаерозольної вертикальної завіси потребує досліджень за наступними, раніше не розглянутими напрямками: конструювання та випробування агрегатів - генераторів аерозолі, дослідження режимів їх роботи та опрацювання оптимального складу й витрати сумішей, придатність різних речовин-дегазаторів (присадок, депресаторів, ПАР, КМФ) для знешкодження ТР у вигляді дисперсної фази. Схожі проблеми виникають й у випадку фотохімічного зруйнування ТР – пошук прийнятних джерел оптичного випромінювання (довжина хвилі, інтенсивність випромінювання, вид джерела) та опрацювання методик детоксикації ТР різного типу.

Література: 1. Пат. № 4287135 США МКИ С 07 С 179/10 (НКИ 260/502 R) Stabilized diperoxyalkanedionic acids and aromatic peroxyarboxylic acids / Stober R., Wirthwein R., Hase C. – № 83654. – Заяв. 11.10.79; Опубл. 1.09.81. 2. Silbert L.S., Siegel E., Swern D. Peroxides. New method for the direct preparation of aromatic and alifatic peroxyacids // J. Org. Chem. – 1962. – V.27, № 4. – P.1336-1342. 3. Oslo Convention for the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, dated 29 December 1972 and amended on 12 October 1978 and 1 December 1980. Available at: http://sedac.ciesin.org/entri/texts/marine_pollution_dumping_of_wastes_1972.html. 4. A. Johnson-Winegar. The U.S. Chemical Demilitarization Program, Statement before the Senate Armed Services Committee, Sub-Committee on Emerging Threats and Capabilities, U.S. Senate, 12 July 2001. 5. Пат. США № 5430228, кл. 588/200, 210/760. Заявл. 24.02.1993, № 21699. Публ. 4.06.1995. Ozone methods for the destruction of chemical weapons. Charles L. Beard, David F. Ciambone. Available at: <http://www.patentstorm.us/patents/54302228.html>.

УДК 621.746.07

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЯХ

Малютина Э. С., Подобедов В.В., канд. техн. наук, Гета С. И.

(г. Харьков, Украина)

Use of deposits of the central clearing structures in mixes for the forms and rod mixes.

На очистных сооружениях промышленных предприятий, располагающих цехами металлургического производства, образуется значительное количество данных осадков в виде мелких частиц – шлама. Утилизация их, как правило, приводит к загрязнению окружающей среды.

Химический анализ шлама после центрифугирования показал, что в составе отобранных проб значительная часть (74%) приходится на кремнезем (SiO_2), остальное, %: 0,02Ni, 0,07Mn, 0,2Cr, 2,0Al, 3,4Fe, 0,1Cu и подтверждает, что шлам очистных сооружений близок по составу к кварцевому песку. Гранулометрический анализ также подтвердил аналогичность шлама по зерновому составу кварцевому песку в исходном состоянии. Учитывая идентичность химического и гранулометрического состава шлама центральных очистных сооружений и исходных кварцевых песков, работа была направлена в дальнейшем на разработку составов смесей.

При лабораторных испытаниях преследовалась цель отработать оптимальное содержание шлама ЦОС в стержневых и формовочных смесях, изучить влияние этого материала на физико-механические и технологические показатели, обеспечивающие получение качественных стержней, форм и отливок. Учитывая эти требования, был испытан целый ряд смесей с различным содержанием шлама: в стержневых смесях от 1% до 10%, в формовочных – от 20% до 30% и получены требуемые показатели физико-механических и технологических



а)



б)

Рис. 1. Виды стержней для отливки деталей "поршень" (а) и "звездочка ведущего колеса" (б).

свойств (прочность при растяжении – 1,5-2,5 кгс/см²; текучесть – 130-140 мм), о чем свидетельствуют данные, приведенные в таблице. Для реализации оптимальных составов (№1, №2), представленных в таблице, в производственных условиях были изготовлены формы, стержни (рис. а, б). На машинах моделей 234, 296М для отливок из чугуна типа "поршень", "картер", "коленвал", "огневая коробка", произведена их сборка. Заливка и выбивка стержней из отливок легче серийных (из-за наличия нефтепродуктов в шламе ЦОС), а отлитые вышеперечисленные заготовки отвечают техническим требованиям.

Выводы.

В результате комплекса проведенных работ установлено, что применение шлама ЦОС позволит:

- снизить расход свежих кварцевых песков на 20-30%;
- повысить физико-механические и технологические свойства смесей;
- снизить брак отливок по сорным и газовым раковинам в 1,5-2 раза;

Шлам ЦОС может найти широкое применение в технологии при изготовлении формовочных и стержневых смесей на других предприятиях машиностроения.

УДК 661.185

МОЮЩЕЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ОБЕЗЖИРИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Бабай Н.П., Любченко А.П., докт. техн. наук, Мельничук Н.С.

(г. Харьков, Украина)

New lowtemperature washing liquid is worked out.

Для очистки поверхности металла перед окраской, консервацией или сборкой широко применяются моющие и обезжиривающие препараты, в состав которых входят органические компоненты (ароматические и алифатические углеводороды, поверхностно-активные вещества (ПАВ), простые и полимерные соли фосфорной кислоты (триполифосфаты, тетрапирофосфаты), а также щелочные неорганические вещества (силикат натрия, кальцинированная сода и др.) Такие многокомпонентные смеси химических веществ, каждое из которых выполняет определенные функции в сложном механизме очистки поверхностей деталей, сборочных единиц, агрегатов и готовой продукции, широко применяются на ГП «Завод им. В.А. Малышева» в качестве технических моющих средств (ТМС). К ним относятся порошкообразные ТМС типа «Лабомид», «МС», «МЛ», «Темп» и жидкие – «Верхолин», «Омега», «Импульс» и др. Водные растворы ТМС применяют при очистке одновременно деталей из черных, цветных и легких металлов и сплавов. Они нетоксичны, негорючи, пожаробезопасны и хорошо растворимы в воде. Рабочие концентрации ТМС в зависимости от загрязненности поверхности составляют 5 – 20 г/л при температуре 70 – 85°С. При температуре ниже 70°С резко снижается способность раствора и повышается пенообразование.

Поэтому целью нашего исследования явилась разработка эффективного состава моющего средства для обезжиривания деталей и узлов при температуре

окружающей среды. В результате проведенной большой поисковой и исследовательской работы нами был разработан и внедрен в производство оптимальный состав низкотемпературного моющего раствора на основе триполифосфата натрия, кальцинированной соды и сульфатоксилата с добавкой ПАВ, обладающий высокой моющей способностью (до 90%) при температуре окружающей среды. Данный состав представляет собой пастообразную массу от белого до светло-серого цвета, хорошо растворимую в питьевой воде без подогрева. Возможно применение для очистки деталей из черных и цветных металлов от жировых загрязнений, эмульсий, остатков полировальных паст и др. в моечных машинах или ваннах для ручной мойки, одновременно состав обладает пассивирующими свойствами на срок от 8 до 10 дней, в зависимости от условий хранения деталей.

Применение разработанного низкотемпературного моющего средства позволяет экономить энергоресурсы, улучшает санитарно-гигиенические условия труда работающих.

Литература: 1. Штюпель Г. Синтетические моющие и очищающие средства. – М., ГНТИХЛ, 1960. 2. Денкер И.И., Вольберг В.В. Технология окраски изделий в машиностроении. – М. Высшая школа, 1990. 3. Авт.свид. СССР № 810795, МКИ: С11Д1/12, опубл. 1981г. 4. Авт. свид. СССР № 876711, МКИ: С 11 Д1/66, опубл. 1981г.

УДК 669.268.7

ХРОМИРОВАНИЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Цюрюпа В.Н., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

Titanium alloy preparation method for assuring of high strength adhesion between base metal and wear-resistant chromium coating is worked out.

Процесс нанесения металлических покрытий, в том числе хромовых, на титан и его сплавы затруднен наличием на его поверхности прочной оксидной пленки, легко восстанавливаемой после ее удаления в различных активизирующих средах.

Рекомендуемый в литературе [1] способ подготовки поверхности путем хроматной и ультразвуковой подготовки требует дополнительных площадей и оборудования, связан с непроизводительными расходами металлов и электроэнергии и не обеспечивает стабильного получения покрытий, обладающих прочным сцеплением с основой.

Цель данных исследований состояла в разработке способа подготовки поверхности титановых сплавов перед хромированием, который был бы надежным и целесообразным.

При выборе травителей учитывалась склонность титановых сплавов к сильному наводороживанию. Поэтому необходимо было сократить время травления. Это достигалось сочетанием механической и химической или электрохимической обработок. В качестве механической применяли интенсивную гидроресурсочистку, которая являлась необходимым условием для получения прочного сцепления хромового покрытия с основой.

Далее образцы подвергались катодной обработке в растворе обезжиривания и кратковременной сначала катодной, а затем химической активации во фторсодержащих растворах, после чего осуществлялось износостойкое хромирование.

Качество сцепления хромового покрытия с основой, полученного такой подготовкой, определяли после термообработки в течение 3 часов при 210°C шлифованием при грубых режимах.

Было сделано предположение, что при обработке титана в щелочном растворе обезжиривания может происходить не только непосредственное обезжиривание деталей, но и восстановление оксидной пленки с образованием пленки гидрида, которая будет препятствовать вторичной пассивации титана.

При таком механизме дополнительная обработка во фторсодержащих растворах должна приводить к растворению гидридной пленки и образованию комплексных фторсодержащих соединений титана, защищающих его поверхность от окисления в течение времени до нанесения покрытия.

При катодной поляризации титановых сплавов в щелочном растворе обезжиривания в интервале плотностей тока 1-10 А/дм² кривые включения свидетельствуют о пассивировании поверхности, сопровождаемая смещением потенциала в положительную сторону. Предположение об образовании гидридной пленки не подтвердилось. В меньшей степени пассивация имеет место при плотности тока 4-6 А/дм².

Кривые включения, полученные при активации во фторидных растворах, свидетельствуют, что при этом достигается удаление оксидной пленки и величина потенциала титана устанавливается постоянной. При погружении образца имеет место бурное взаимодействие с раствором, которое замедляется спустя 20-30 с, а поверхность титана покрывается белым налетом. Поэтому продолжительная фторидная активация не рекомендуется. Скорость активации также существенно зависит от концентрации активатора. Попытки замены фторидного активатора плавиковой кислотой при сохранении тех же концентраций и времени обработки, а так же при варьировании этих факторов не привели к положительным результатам.

Это дает основание заключить, что суть фторидной активации заключается не в травлении титана, а в образовании его комплексных соединений с активатором.

В результате проведенных исследований выбрана следующая подготовка титановых сплавов под покрытие: интенсивная гидropескочистка, протирка венской известью, обработка в растворе фторсодержащего активатора и износостойкое хромирование в стандартном электролите при температуре 54-56°C и $D_k=60$ А/дм².

Прочность сцепления проверялась согласно ГОСТ 9.302.88 методом нагрева и полировки. Вздутия и отслаивания покрытия отсутствуют.

Таким образом, применение фторсодержащего активатора обеспечивает прочность сцепления хромового покрытия с основой из титанового сплава.

Литература: 1. Рябой А.Я., Соловьева З.А. и др. Авт. свид. № 850754, БИОТЗ 1981, №28.

УПРОЧНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ

Лобанов В. К., докт. техн. наук, Пашкова Г. И. (г. Харьков, Украина)

Was shown, that the application of combined hardening allows to realize its advantages and to arrive of increasing of durable of details from high-strength cast iron with globe-shaped graphite under the simultaneous increasing of the fatigue characteristics.

Увеличение ресурса работы транспортных дизелей тесно связано с повышением надежности и долговечности тяжело нагруженных и ответственных деталей, в частности, коленчатых валов. При производстве таких валов широко используется высокопрочный чугун с шаровидным графитом [1]. Конструкция и технология изготовления коленчатых валов должны обеспечивать высокую износостойкость материала при достаточном уровне сопротивления усталости [2].

Использование современных технологических методов и средств позволяет сформировать поверхностный слой с определенным фазовым составом, структурой, твердостью, уровнем остаточных напряжений, микрогеометрией и т. д., отвечающий заданным требованиям. Однако возможность применения многих достаточно эффективных способов поверхностного упрочнения ограничено в силу тех или иных причин (увеличение шероховатости, снижение сопротивления усталости, высокая пористость и т. д.). В подобных случаях целесообразно использование комбинированных методов упрочнения, позволяющих достигнуть требуемого состояния поверхностного слоя и тем самым обеспечить высокий уровень эксплуатационных свойств [3]. Существует широкая возможность комбинирования различных способов, хотя не все комбинации имеют практическую ценность. Чаще всего в качестве базового метода рассматривается поверхностное пластическое деформирование (ППД) в сочетании с другими (например, нанесение покрытий, химико-термическое упрочнение, поверхностное легирование, закалка и др.).

Комбинированные методы упрочнения, включающие пластическое деформирование приповерхностных объемов металла в сочетании с поверхностным легированием, электро-эррозионной обработкой, азотированием, лазерной обработкой, детонационным напылением и т.п., достаточно хорошо разработаны и применяются в промышленности при изготовлении деталей из сталей и легких сплавов [4-6]. В значительно меньшей степени изучены комбинированные методы для упрочнения деталей из модифицированного высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния комбинированных методов упрочнения, базирующихся на использовании локальной термической обработки и последующего ППД, на износостойкость и сопротивление усталости деталей из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

В качестве материала для проведения экспериментальных исследований использовали высокопрочный чугун, модифицированный Mg, следующего химического состава, масс. %: 3,4...3,9 C; 1,9...2,5 Si; 0,8...1,25 Mn; 0,5...1,0 Ni; 0,2...0,5 Mo; 0,05...0,1 Mg; $\leq 0,1$ Cr; $\leq 0,05$ P; $\leq 0,02$ S. Основа – Fe.

Испытания образцов на износостойкость производили по схеме «ролик – колодка». Скорость скольжения составляла $1,3 \text{ мс}^{-1}$, контактное давление – 5 МПа, смазка – масло М14В₂. Время испытаний – 10 часов. Ролики перед испытаниями полировали до параметра шероховатости 0,32...0,16 мкм. Контртелом служили колодки, изготовленные из сталеалюминовой полосы (сталь 10 – алюминиево-оловянный сплав АО 20-1). Определение пределов выносливости стандартных образцов производили при испытаниях на машинах типа МУИ-6000 по схеме симметричного изгиба с вращением. База испытаний составляла 10^7 циклов нагружения.

Исследовали образцы различных вариантов. Твердость материала после ранней выбивки и отпуска составляла НВ 217...268, после нормализации – НВ 234...283.

Закалку ТВЧ образцов производили с помощью петлевого индуктора последовательным способом при скорости 3 мм/с. Температура 900°C, охлаждение воздушное. Глубина слоя составила 1,5...2 мм, твердость HRC, 40...48.

При выполнении ЭИЛ в качестве упрочняющих электродов использовали нержавеющую сталь 12X18H10T. Мощность разряда составляла 1,0 кВт. Твердость поверхности образцов НВ 480...590.

ППД осуществляли путем обкатки роликами на токарно-винторезном станке. Образцы для испытаний на износ упрочняли при помощи однороликового приспособления. Диаметр ролика – 70 мм, профильный радиус – 5 мм. Усилие обкатки составляло 5 кН, частота вращения образца – 100 мин^{-1} , подача – $0,1 \text{ мм} \cdot \text{об}^{-1}$. Усталостные образцы обкатывали с применением 3-х роликового приспособления. Диаметр роликов составлял 40 мм, профильный радиус – 5 мм. Усилие обкатки – 0,7 кН, остальные параметры процесса не изменялись.

Результаты испытаний для всех вариантов исследуемых образцов приведены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Результаты испытаний на износ по схеме «ролик – колодка» пары трения:
чугун – сплав АО20-1

Номер варианта	Способ изготовления образцов	Износ ролика, г	Износ колодки, г
1	Ранняя выбивка, отпуск при $680 \pm 20^\circ\text{C}$	0,00170	0,00310
2	Нормализация, отпуск при $625 \pm 15^\circ\text{C}$	0,00140	0,00220
3	Ранняя выбивка, отпуск, закалка ТВЧ	0,00110	0,00522
4	Ранняя выбивка, отпуск, ЭИЛ	0,00125	0,00240
5	Нормализация, отпуск, ЭИЛ	0,00118	0,00110
6	Ранняя выбивка, отпуск, ППД	0,00135	0,00720
7	Ранняя выбивка, отпуск, закалка ТВЧ, ППД	0,00105	0,00322
8	Нормализация, отпуск, ЭИЛ, ППД	0,00115	0,00093

Результаты испытаний на усталость образцов из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом

№ п/п	Способ упрочнения	Предел выносливости, МПа
1	Ранняя выбивка, отпуск при $680 \pm 20^\circ\text{C}$	90
2	Нормализация, отпуск при $625 \pm 15^\circ\text{C}$	80
3	Ранняя выбивка, отпуск, закалка ТВЧ	70
4	Нормализация, отпуск, ЭИЛ	89
5	Ранняя выбивка, отпуск, ППД	165
6	Ранняя выбивка, отпуск, закалка ТВЧ, ППД	160
7	Нормализация, отпуск, ЭИЛ, ППД	167

Как свидетельствуют данные таблиц 1 и 2, практически все исследованные методы упрочнения повышают износостойкость рабочей поверхности роликов по сравнению с вариантом 1 (без упрочнения), выбранным в качестве исходного, однако применение указанных методов приводит к снижению сопротивления усталости образцов. Сочетание термического упрочнения с последующим пластическим деформированием поверхности не только приводит к существенному увеличению (в 1,8-2,3 раза) предела ограниченной выносливости образцов из высокопрочного чугуна, но и позволяет повысить их износостойкость.

Результаты выполненных исследований показывают, что применение комбинированного упрочнения позволяет добиться повышения износостойкости деталей из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом при одновременном увеличении усталостных характеристик.

Эксплуатационные испытания коленчатых валов из высокопрочного чугуна, упрочненных комбинированными способами, на одноцилиндровых отсеках и развёрнутых изделиях подтвердили результаты лабораторных исследований.

Литература: 1. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Теория, технология производства, свойства и применение / Под ред. М.В. Волощенко. – Киев: Наукова думка, 1974. – 203 с. 2. Мишин И. А. Долговечность двигателей. – Ленинград: Машиностроение, 1976. – 288 с. 3. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами. / А. Г. Бойцов, В. Н. Машков, В. А. Смоленцев, Л. А. Хворостухин. – М.: Машиностроение, 1991. – 143 с. 4. Балтер М. А. Упрочнение деталей машин. – М.: Машиностроение, 1968. – 195 с. 5. Чепя П. А., Андрияшин В. А. Эксплуатационные свойства упрочнённых деталей. – Минск: Наука и техника, 1988. – 192 с. 6. Усов С. В., Кокоулин М. М. Комбинированные методы поверхностного упрочнения. // Трибология и надёжность машин. – М.: Наука, 1990. – С. 93-98.

УДК 539.431.3

**ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ К ХРУПКИМ РАЗРУШЕНИЯМ МАТЕРИАЛА
ДЕТАЛЕЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ
ИСПЫТАНИЙ НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ**

Подобедов В.В., канд. техн. наук, **Лобанов В.К.**, докт. техн. наук,
Гаркушенко В.А., **Кислицын В.П.** (г. Харьков, Украина)

It is shown, that static bending test is the most sensitive method for the material operational reliability estimation.

По опыту работы исследовательских лабораторий ЦЛ предприятия часто невозможно определить причину хрупких разрушений деталей или узлов с помощью традиционных методов исследований - металлографии и оценки механических характеристик материалов при растяжении.

Данная работа посвящена исследованиям, выполненным с использованием для оценки склонности к хрупкому разрушению испытаний на статический изгиб с определением полной работы разрушения (A_p) и стрелы прогиба (f).

С применением разработанного метода исследованы причины разрушения циклонов воздухоочистителей дизельных двигателей, паяных с помощью припоя 34А. Химический состав и механические свойства припоя приведены в табл. 1. Разрушение циклонов происходило преимущественно по паяным соединениям. Установить причину хрупких разрушений паяных соединений оказалось чрезвычайно трудно. Эти разрушения в один из периодов производства приобрели настолько широкий характер, что оказались необходимыми всесторонние исследования всех параметров изготовления и свойств припоя производства различных предприятий.

Таблица 1

Химический состав и механические свойства припоя 34А

Химический состав, % вес					Источ- ник	Показатели мех. свойств		Источ- ник
Основные компоненты			Примеси			σ , МПа	δ , %	
Крем- ний	Медь	Алю- миний	Железо	Σ				
5,5-6,5	27,0-29,0	основа	$\leq 0,20$	$\leq 0,8$	ТУ 1-92- 46-76	176- 235	1	Сра- вочные данные

Таблица 2

Влияние содержания железа в припое на прочность паяных соединений циклона

Содержание железа в припое, %	Усилие отрыва, Н		Снижение прочности соеди- нения, %	
	донышка	трубки	донышка	трубки
$\frac{0,13 - 0,165^*}{0,15}$	5096	$\frac{2254 - 2352}{2303}$	46,7	14
0,66	$\frac{2254 - 2940}{2715}$	$\frac{1470 - 2450}{1980}$		

* в числителе указаны пределы; в знаменателе – средние значения

Исследование припоя испытаниями на растяжение не показало какой-либо зависимости его механических свойств от химического состава (включая примесь железа) и твердости. Поэтому были реализованы трудоемкие натурные испытания циклонов, изготовленных с использованием припоя различного хи-

мического состава и, в первую очередь, количества примеси железа. Результаты этих испытаний приведены в табл. 2. Как следует из табл. 2 резкое повышение содержания в припое железа существенно понижает прочность паяных соединений циклонов особенно в районе доньшка.

Натурные испытания показали, что прочность паяного соединения зависит в первую очередь от качества припоя, поэтому дальнейшие исследования влияния количества железа на качество паяного соединения осуществлялись путем испытания припоя, но не на растяжение, а на статический изгиб [1]. Обобщенные результаты большого объема испытаний приведены в таблице 3. При этом, для удобства анализа диаграмм использовались образцы без надреза 5 x 6 x 30 мм.

Из-за высокой твердости припоя (до 170 МПа) значения стрелы прогиба образцов очень низки и не приведены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние содержания железа на полную работу разрушения образца припоя 34А

Способ выплавки припоя	Содержание железа, %	Полная работа разрушения Ап, Дж	Снижение работы разрушения, %
В лабораторной печи сопротивления	$\frac{0,22 - 0,31}{0,26}$ *	0,4	37,5
	$\frac{0,5 - 0,6}{0,55}$	0,25	
В производственной индукционной печи	$\frac{0,13 - 0,165}{0,15}$	1,2	41,6
	0,66	0,7	

* в числителе указаны пределы; в знаменателе – средние значения

Из табл. 3 видно, что уже при содержании железа 0,5% и более резко снижается сопротивляемость припоя 34А хрупким разрушениям, а значит и надежность паяных соединений. Результаты исследований позволили сделать вывод, что применение для выплавки припоя 34А вторичных шихтовых материалов недопустимо. Кроме того, в инструкции на выплавку припоя были внесены дополнения по ужесточению контроля отливаемых электродов. Этот комплекс мер полностью исключил случаи разрушения паяных соединений в циклонах воздухоочистителей.

Положительные результаты, полученные при исследовании припоя 34А использованы для определения причин склонности к хрупким разрушениям отливок водяного коллектора дизельного двигателя из сплава АК7ч (АЛ9). При металлографическом исследовании установлено, что охрупчивание структуры материала коллекторов связано с повышенным содержанием железа. В условиях нашего предприятия при соблюдении параметров плавки содержание железа в сплаве находится в среднем на уровне 0,35%. В то же время по ТУ и по ГОСТу 1583-93 допустимое содержание железа для кокильного литья составляет до 1%. По данным работы [2] резкое падение пластических характеристик алюминиевых сплавов отмечается уже при содержании железа

равном 0,8%.

Учитывая, что случаи разрушения коллекторов наблюдались, когда количество железа и твердость сплава находились в пределах требований ТУ, представляет интерес определения уровня остаточных и, особенно, действующих напряжений.

В результате проведения значительного объема работ установлено, что как в литой заготовке, так и в детали растягивающие напряжения отсутствуют. Незначительные растягивающие напряжения ($\sim 29,4$ МПа) появляются в процессе крепления коллектора к блоку. Такой уровень напряжений, даже с учетом коэффициента концентрации, не может приводить к разрушению коллекторов. Наличие других серьезных факторов, таких как присутствие в структуре малопластичной железосодержащей составляющей, могли обуславливать хрупкое разрушение деталей в процессе эксплуатации.

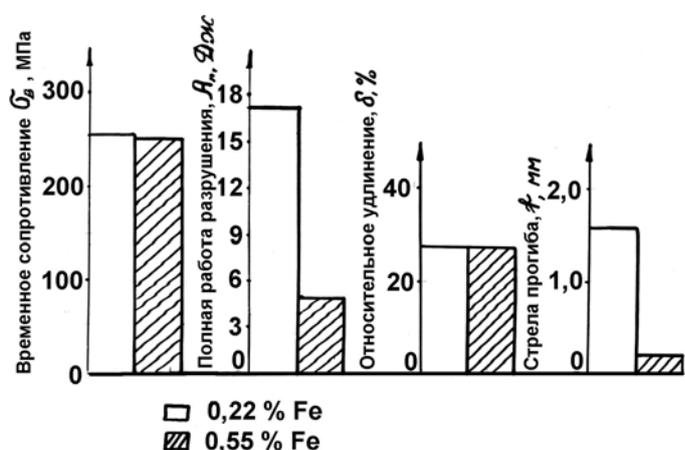


Рис.1. Сравнительные результаты испытаний на растяжение и статический изгиб сплава АК7ч (АЛ9) с разным содержанием железа.

ожидало ни предел прочности ($\sigma_{\text{в}}$), ни относительное удлинение (δ) практически не зависят от содержания железа. Испытания на статический изгиб вы-

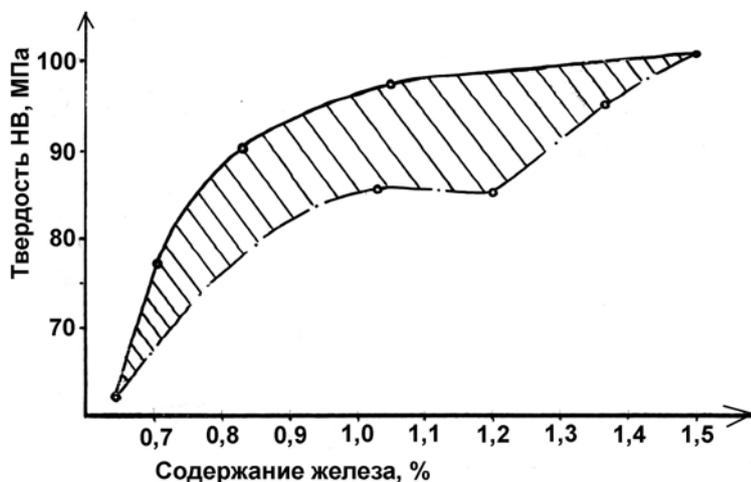


Рис.2. Зависимость твердости сплава АК7ч(АЛ9) от количества примеси железа.

Поэтому дальнейшие работы были направлены на установление практического порога отрицательного влияния железа на свойства сплава. Это потребовало проведения комплекса исследований при расширении диапазона содержания железа в сплаве.

На первом этапе выполнили испытание на растяжение сплава АК7ч с низким (0,22%) и повышенным (0,51%) содержанием железа. Как и следо-

вали зависимость работы разрушения и стрелы прогиба от содержания железа в сплаве [3]. Так при отмеченном повышении содержания Fe полная работа разрушения снизилась в 3,5 раза, а стрела прогиба – почти в 8 раз (рис.1).

Известно [2], что присутствие железа приводит к охрупчиванию алюминиевых сплавов по двум причинам: в первую очередь

вследствие образования хрупкого соединения $FeSiAl_5$, являющегося концентратором напряжений, и во-вторых – в результате существенного повышения твердости матрицы сплава.

Как видно из рис.2 с повышением содержания железа в сплаве АК7ч(АЛ9) с 0,64 до 1,5% твердость возрастает с 62 до 100 МПа.

Испытание на статический изгиб осуществлялось на образцах с содержания железа в диапазоне от 0,64 до 1,05%. При этом, удельная полная работа разрушения снижается ~ в 7 раз, а стрела прогиба – почти в 8 раз (рис.3).

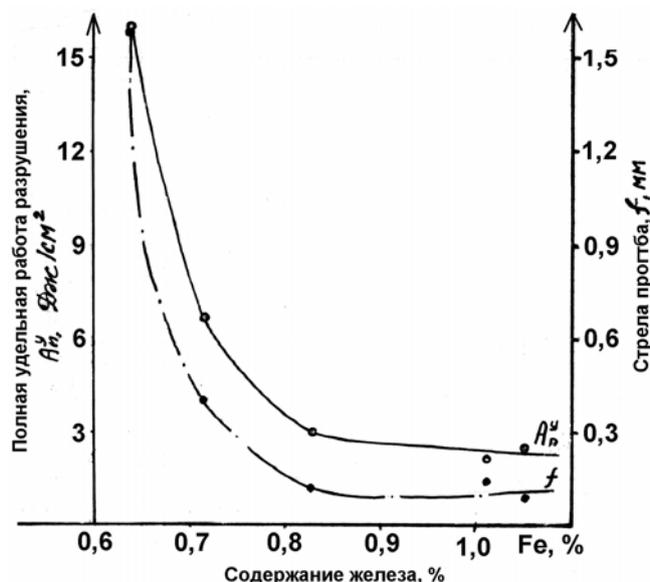


Рис.3. Зависимость удельной работы разрушения (полной) и стрелы прогиба от содержания железа в сплаве АК7ч(АЛ9).

ограничение содержания железа в сплаве ~ 0,35%; ужесточен контроль за анализом его содержания и сдачей отливок в производство.

В результате уточнения технологии по результатам выполненных исследований случаев хрупких разрушений водяных коллекторов по причине повышенного содержания железа не наблюдается.

ВЫВОДЫ.

1. Исследования, проведенные с целью оценки влияния повышенного содержания железа в алюминиевом припое 34А и литейном сплаве АК7ч (АЛ9) на снижение сопротивляемости материала хрупким разрушениям, показали, что применение для этих целей испытаний на растяжение не позволяет оценить эксплуатационную надежность материала.

2. Структурно-чувствительными параметрами являются работа разрушения (A_p) и стрела прогиба (f), определяемыми при испытании на статический изгиб. Эти параметры позволяют с высокой достоверностью оценить работоспособность деталей ответственного назначения.

Литература: 1. Дроздовский Б.А., Фридман Я.Б. Влияние трещин на механические свойства конструкционных сталей. - М.: Металлургиздат, 1960. - 260 с. 2. Мальцев М.В. Металлография цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1970. - 368 с. 3. Балтер М.А., Кислицын В.П. Вязкость разрушения как критерий конструктивной прочности материала // Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. - М., 1982. - С. 9.

УДК 621.777.2.01:669.715

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА СПЛАВА АЛ-25, ЗАКРИСТАЛЛИЗОВАННОГО ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Чуйкова Е.В., Лобанов В.К., докт. техн. наук, Аксенова С.И., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The mechanical properties and the character of destruction of alloy Al - 25 an depending on modes of molding with crystallization under pressure and subsequent thermal processing are investigated. The positive influence of molding with crystallization under pressure on fragile durability is shown.

Для повышения эксплуатационной надежности тяжело нагруженных деталей, работающих в условиях высоких температур и интенсивного трения (поршни ДВС, подшипники трения) широко применяются литейные сложнелегированные силумины [1, 2]. Использование прогрессивных методов формования заготовок, таких как литье с кристаллизацией под давлением (ЛКД), позволяет получать заготовки плотные по всему сечению, с улучшенной макро- и микроструктурой, обладающие хорошим комплексом служебных свойств. Однако, возможности ЛКД в настоящее время не реализуются в полной мере, что обусловлено весьма ограниченной информацией о влиянии давления при кристаллизации и режимов термической обработки на получаемый комплекс физико-механических характеристик материалов. В связи с этим, для наиболее полного использования эффекта воздействия внешнего давления на расплав и создания структуры, обеспечивающей оптимальные служебные свойства, в данной работе изучены механические свойства и характер разрушения сплава АЛ-25 в зависимости от режимов ЛКД и последующей термической обработки.

Заготовки – отливки диаметром $\varnothing 50$ мм из эвтектического силумина АЛ-25 получали в пресс-форме с использованием принципа прессования на прессе ПД 476 усилием 1,6 МН. Температура заливки составляла $720 \pm 10^\circ\text{C}$, формы - 200°C . Время от заливки до подачи давления ≤ 3 с, выдержка под давлением 15 с, охлаждение отливок после извлечения из рабочей полости – на воздухе. Давление при кристаллизации варьировалось в интервале 0...400 МПа. Далее отливки каждой группы с фиксированным давлением при кристаллизации (0; 50; 150; 400 МПа) термообрабатывали по режимам, приведенным в таблице 1.

Варианты термической обработки соответствуют применяемым на практике (2, 4 в табл. 1) для упрочнения отливок из эвтектических силуминов [3], а также представляют собой опытные режимы (1, 3 в табл. 1) с пониженной температурой и временем выдержки. Механические свойства определяли при испытаниях растяжением и статическим изгибом. Следует отметить, что характеристики хрупкой прочности, полученные при статическом изгибе, в существенной мере определяют конструктивную прочность материалов с относительно низкой пластичностью, характерной для литейных силуминов.

Результаты проведенных испытаний механических свойств представлены на рис. 1-3. Полученные данные свидетельствуют, что для сплава АЛ-25 в литом (кристаллизация без приложения давления) состоянии режимы термической обработки, включающие закалку (3, 4 в табл. 1), обеспечивают в сравнении с режимами термической обработки без закалки (1, 2 в табл. 1) некоторое преимущество по

прочностным характеристикам (σ_b , $\sigma_{0,2}$). Эти данные находятся в соответствии с представлениями об увеличении пересыщения α -твердого раствора легирующими элементами и создании повышенной концентрации дефектов кристаллического строения в процессе закалки [4]. При этом пластические характеристики (δ , ψ) и сопротивление хрупкому разрушению (P_{max} , A , f) для всех исследованных режимов термической обработки находятся практически на одном уровне.

Таблица 1

Варианты термической обработки отливок из сплава АЛ-25

№ п/п	Режим термической обработки
1	Старение 200°C, 8 ч.
2	Старение 220°C, 10 ч.
3	Закалка 495°C, 3 ч. → горячая вода + старение 195°C, 6 ч.
4	Закалка 510°C, 6 ч. → горячая вода + старение 250°C, 4 ч.

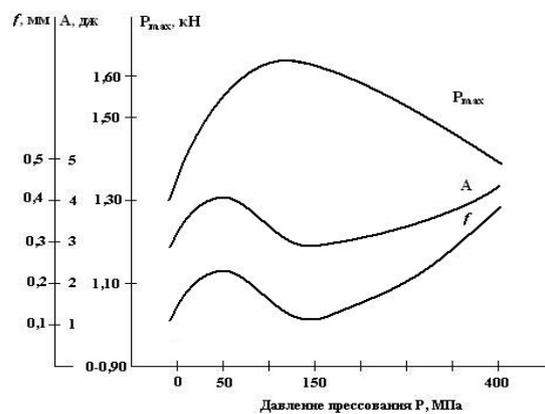
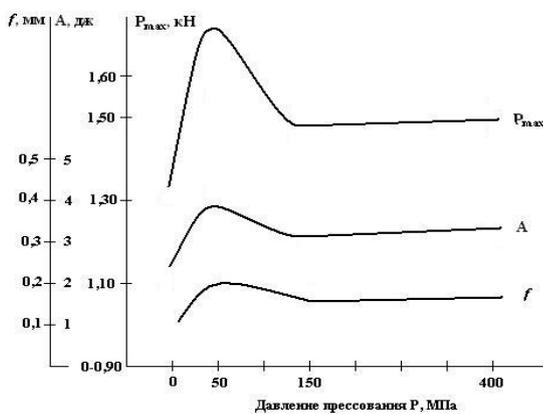
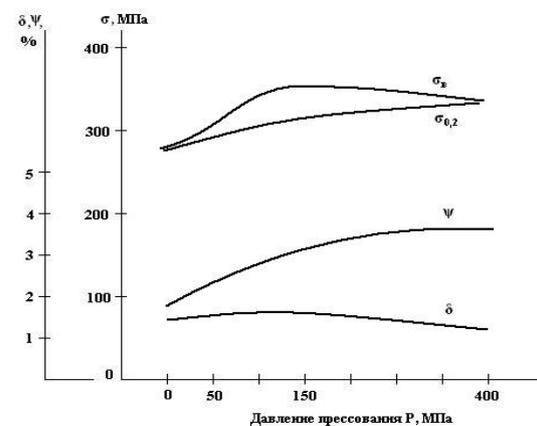
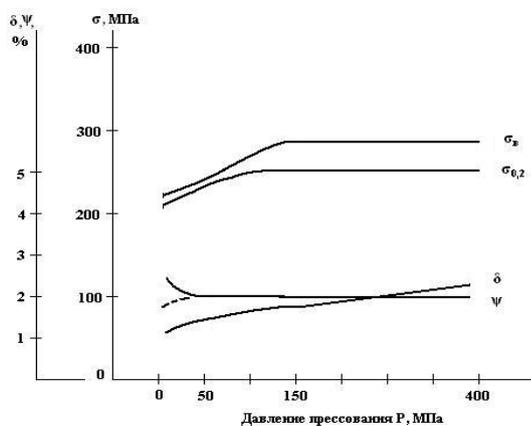


Рис. 1. Зависимость механических свойств сплава АЛ-25 при растяжении (а) и статическом изгибе (б) от величины давления при ЛКД; термическая обработка а) – старение 220°C, 10 ч. (режим 2); б) – старение 200°C, 8 ч. (режим 1).

Рис. 2. Зависимость механических свойств сплава АЛ-25 при растяжении (а) и статическом изгибе (б) от величины давления при ЛКД; термическая обработка – закалка 495°C, 3 ч. + старение 195°C, 6 ч.

Приложение давления к кристаллизующемуся расплаву приводит к повышению характеристик прочности и пластичности материала отливок. При этом в интервале давлений прессования 50...150 МПа наблюдается увеличение разности значений σ_b , $\sigma_{0,2}$, что для сплавов в высокопрочном состоянии следует

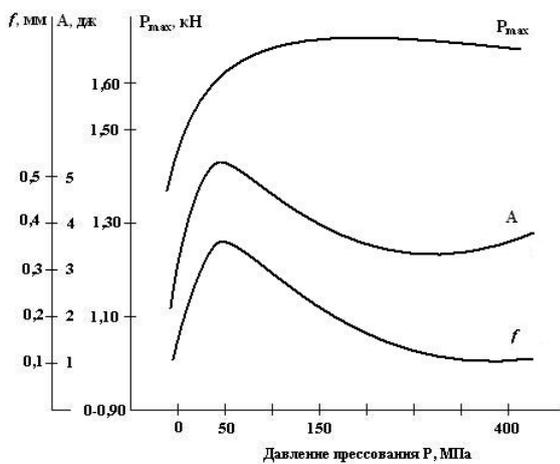
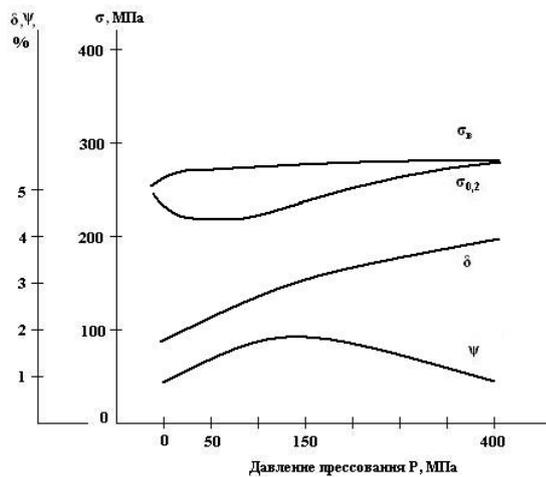


Рис. 3. Зависимость механических свойств сплава АЛ-25 при растяжении (а) и статическом изгибе (б) от величины давления при ЛКД; термическая обработка – закалка 510°С, 6 ч. + старение 250°С, 4 ч.

литом состоянии при всех режимах термической обработки имеют развитую блестящую поверхность с множеством кристаллических фasetок. ЛКД делает излом более «сухим», менее развитым, блестящие фasetки наблюдаются в виде кристаллической соски.

Прежде всего, следует отметить, что в материале, подвергнутом ЛКД, при всех исследованных значениях давления прессования и вариантах термической обработки значительно уменьшается количество и, как правило, размеры участков со специфическим геометрическим микрорельефом, идентифицируемых как поры. Это говорит о том, что ЛКД повышает плотность материала и уменьшает пористость не только в макроскопических масштабах, но и на уровне микроскопических несплошностей, выявляемых в строении изломов при электронномикроскопических увеличениях $\times 10000 \dots 30000$. Уменьшение в литом материале количества и размеров микронесплошностей, которые могут служить концентраторами напряжений и зародышами развития разрушения, должно положительно сказываться на сопротивлении материала зарождению трещин.

рассматривать как положительный факт, характеризующий снижение склонности материала к хрупкому разрушению [5]. Более существенное влияние ЛКД оказывает на характеристики хрупкой прочности сплава (рис. 1-3). Для вариантов обработки отливок, включающих старение без закалки (режимы 1, 2 в табл. 1) эти характеристики (особенно P_{max}) растут до значения давления прессования $P = 50$ МПа. При дальнейшем увеличении давления (до 400 МПа) рост параметров A и f практически прекращается, а величина P_{max} даже снижается, оставаясь, однако, выше соответствующей величины для сплава в литом состоянии. Для сплавов в закаленном и состаренном состоянии (режимы 3, 4 в табл. 1) интенсивное возрастание P_{max} преодолевается и при больших значениях давления прессования (до 150 МПа). Следует отметить, что при всех исследованных режимах термической обработки существует интервал оптимальных значений давлений при ЛКД, обеспечивающий наибольший прирост значений параметров хрупкой прочности.

Образцы, разрушенные статическим изгибом, подвергали фрактографическому анализу. Все исследованные изломы хрупкие, без следов макропластической деформации. Изломы образцов сплава в литом состоянии при всех режимах термической обработки имеют развитую блестящую поверхность с множеством кристаллических фasetок. ЛКД делает излом более «сухим», менее развитым, блестящие фasetки наблюдаются в виде кристаллической соски.

Применение ЛКД приводит к увеличению вязкости и энергоемкости микростроения изломов, что выражается в увеличении доли квазискольной и ямочной составляющих и измельчении элементов микрорельефа. Указанные эффекты наблюдаются при возрастании давления прессования до величины ~ 50 МПа для сплавов, термообработанных по режимам 1 и 2, и ~ 150 МПа для сплавов, термообработанных по режимам 3 и 4 (табл. 1). Следует отметить, что при указанных оптимальных значениях давлений максимально не только сопротивление материала распространению хрупкой трещины (о чем свидетельствует микростроение изломов), но и сопротивление зарождению трещины, что проявляется в наличии максимумов и их расположении на кривых зависимости разрушающей нагрузки P_{max} от давления прессования (рис. 1-4). Можно полагать, что в наблюдаемый рост сопротивления зарождению и развитию трещины вносит вклад упрочнение, созданное при ЛКД. Такого рода явления наблюдали экспериментально [4] для деформируемых алюминиевых сплавов.

Наиболее энергоемкий характер разрушения наблюдается в изломах образцов из сплава АЛ-25, обработанного по режиму: ЛКД с $P = 50 \dots 150$ МПа; ТО по режиму 3. В этом же интервале давлений прессования достигается максимальная для данного режима термической обработки прочность ($\sigma_b, \sigma_{0,2}$).

Анализ результатов механических испытаний и электроннофрактографического исследования изломов показывает, что существенное значение для реализации возможностей литья с кристаллизацией под давлением (ЛКД) по улучшению механических и служебных свойств получаемых заготовок имеет режим последующей термической обработки. Создаваемая в процессе ЛКД дефектная структура значительно влияет на скорость диффузионных процессов, что в свою очередь оказывает воздействие на кинетику растворения и выделения фаз при термической обработке. При этом величина давления при ЛКД должна находиться в определенном интервале, оптимальном для каждого из последующих режимов термической обработки. Можно полагать, что использование возможно минимальных (из соображений обеспечения протекания в необходимой степени процессов растворения и выделения фаз) температуры и длительности нагревов при закалке и старении позволит полнее реализовать возможности субструктурного упрочнения при ЛКД. Сокращение длительности нагревов будет полезным и с точки зрения экономичности и снижения трудоемкости процессов термической обработки. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что в пределах исследованных режимов ЛКД и последующей термической обработки наилучший комплекс физико-механических характеристик сплава АЛ-25 обеспечивается при ЛКД с давлением $50 \dots 150$ МПа и термической обработкой по режиму: закалка 495°C , 3 часа \rightarrow старение 195°C , 6 часов.

Литература: 1. Л.Я. Кашевник, Н.Н. Белоусов, О.В. Елизарова. Применение алюминиевых сплавов для поршней двигателей внутреннего сгорания. Аналитический обзор № 3625. Изд. ЦНИИинформации, 1984 г. 2. Gotoh Y., Kataoka Y., Ohfukune Y., Suzuki S. "Aluminium", 1987, v. 63, №2, p. 161-162, 164, 166-167. 3. Макогон А.Р., Платонов В.Н. и др. – „Литейное производство”, 1985, №10, с. 22-23. 4. Металловедение алюминия и его сплавов: Справ. Изд. /Беляев А.И., Бочвар О.С., Буйнов Н.Н. и др. – М.: Металлургия, 1983. 5. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей /М.А. Балтер, А.П. Любченко, С.И. Аксенова и др. – М.: Машиностроение, 1987.

УДК 669.018.45 -14:539.4.015

СВЯЗЬ МЕЖДУ СТРУКТУРНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ И ХАРАКТЕРОМ РАЗРУШЕНИЯ ОТЛИВОК ТУРБИН ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Гладкий И.П., канд. техн. наук, Мощенок В.И., канд. техн. наук,
Глушкова Д.Б., канд. техн. наук, Тарабанова В.П., канд. техн. наук,
Мищенко Л.Д., канд. техн. наук, (г. Харьков, Украина)

It is researched the changes in the structure and mechanical properties after exploration of turbine's castings. It is established the causes of the appearance of conchoidal fracture.

Состояние вопроса. Одной из важнейших задач энергомашиностроения является повышение надежности и работоспособности деталей турбин. В процессе эксплуатации отливок турбин в металле происходят структурные превращения, следствием чего является изменение уровня механических свойств. Отдельные детали турбин работают в весьма трудных условиях. Так, блок клапанов парораспределения работает в условиях сложнопластического состояния при переменном цикле нагружения, подвергаясь разнообразным видам деформации - растяжению, сжатию, сдвигу и др.

Для оценки состояния металла и прогнозирования долговечности корпусов блока клапанов парораспределения представляется целесообразным исследование структуры отливок после длительных сроков эксплуатации.

Материал, методика и результаты эксперимента. В настоящей работе материалом исследования была отливка корпуса парораспределения, выполненная из стали 15Х2М2ФБС турбины Приднепровской ГРЭС после эксплуатации 100 тыс. часов.

Для исследования состояния металла после эксплуатации был проведен металлографический и электронномикроскопический анализы. Характер разрушения изучался с помощью электроннографического исследования поверхности изломов на растровом микроскопе.

Как показали металлографические исследования, структура отливки состоит из бейнита, феррита и феррито-карбидной смеси. В процессе эксплуатации наблюдается распад бейнита на феррито-карбидную смесь и дифференциация структурных составляющих.

Изучение механических свойств металла после эксплуатации показало, что из всех свойств наиболее существенно снижается ударная вязкость. Обычно при оценке свойств жаропрочных сталей низкий уровень ударной вязкости при 20°С настораживает, поскольку предполагается, что такое «охрупчивание» снижает пластичность стали и может явиться причиной аварийного разрушения металла в эксплуатации.

Для получения полной информации о структурном состоянии металла после эксплуатации изучалось микростроение изломов. Необходимость в таком исследовании вызвана тем, что особенностью стали 15Х2М2ФБС является наличие камневидного излома. В табл. 1 приведено сопоставление величины ударной вязкости с микрофрактографическими характеристиками изломов металла.

Все возрастающие потребности своевременного машиностроения ставят остро вопрос о применении сталей, склонных к образованию камневидного излома.

Так, в работе [1] развита теория образования камневидного излома, связывающая появление этого дефекта с выделением из аустенита при медленном охлаждении после перегрева примесей неметаллического характера - сульфидов - вследствие изменения растворимости с температурой. Однако дальнейшие исследования показывают возможность образования устойчивого камневидного излома и при высоких скоростях охлаждения. Очевидно, что при очень медленном охлаждении в большей степени, чем при быстром, успевает пройти коагуляция неметаллической фазы сульфидов, ранее выделившихся по границам бывшего аустенитного зерна.

Таблица 1

Сопоставление микрофрактографических характеристик излома отливки с количеством участков камневидного излома и значениями ударной вязкости

Ударная вязкость, Дж/см ²	Процент камневидного излома	Микрофрактографические признаки проявления пластической деформации
65	80	участки излома со скоплением ямок различных размеров, главным образом мелких
55	10	скопления ямок чередуются со следами от микронадрывов, присутствуют язычки и гребни
23	30	поверхность излома состоит из фасеток квазисколов и ступенек
15	-	бороздки усталости с грубохолмистым рельефом, элементы ручьистого узора

Как видно из сопоставления результатов, приведенных в табл. 1, наличие большого процента камневидного излома не сопровождается хрупким разрушением. Так, при наличии 80% камневидного излома, на фрактограммах наблюдаются скопления мелких ямок, что является отличительным признаком вязкого разрушения.

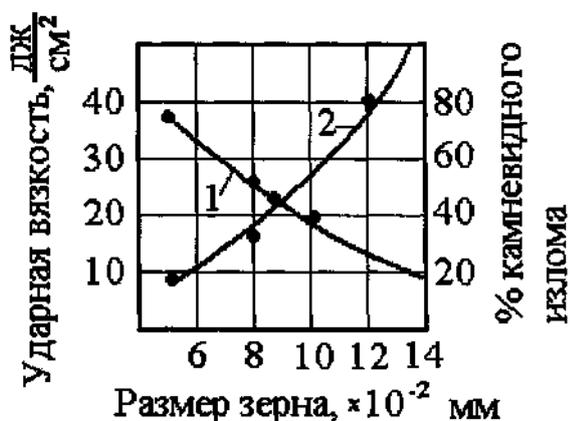


Рис.1. Зависимость между ударной вязкостью и параметрами структуры излома: кривая 1 - между ударной вязкостью и размером зерна; кривая 2 - между процентом камневидного излома и размером зерна.

При изучении изломов методом электронной фрактографии на сколах образцов с большей склонностью к образованию устойчивого камневидного излома наблюдаются частицы. Это могут быть сульфидные включения, нитридная фаза. Локальное обогащение зернограничных объемов такими включениями приводит к тому, что последующая термическая обработка не сможет «убрать» эти частицы с границ бывших аустенитных зерен, и они окажутся как бы «зафиксированными», а границы резко ослабленными. Отсюда и камневидный излом.

Следует отметить, что участки камневидного излома имеют хрупкий

и вязкий характер. На рис.2 представлена фрактограмма хрупких участков камневидного излома, а на рис.3 - вязких и полувязких участков камневидного излома.

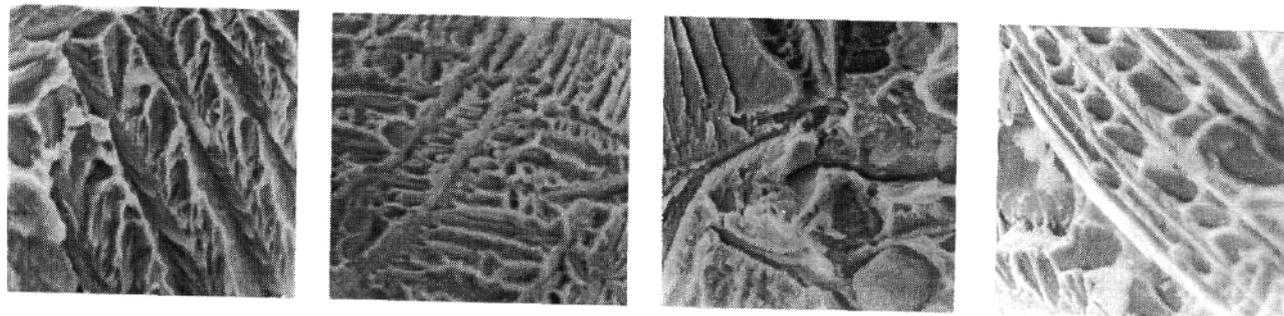


Рис.2. Фрактограмма хрупких участков камневидного излома, x1000.



Рис.3. Фрактограмма вязких и полувязких участков камневидного излома, x1000.

Обсуждение результатов. Сопоставление микроструктуры с изломами свидетельствует о том, что одной из причин камневидного излома является крупное зерно.

Другой причиной появления камневидного излома является наличие примесей в стали в виде сульфидов или нитридов, которые располагаются по границам зерен и ослабляют их.

На характер разрушения влияют ферритные прослойки вокруг бейнитных зерен, которые, участвуя в разрушении, образуют ручьистый узор.

Обобщая полученные результаты, можно сказать, что камневидный излом может быть хрупким и вязким. Считаем неправильным бытующее до сих пор мнение, что камневидный излом всегда сопровождается хрупким разрушением. Если порог хладноломкости смещен влево, то камневидный излом носит вязкий характер. Если же по каким-либо причинам, связанными то ли с исходной термической обработкой, то ли с условиями эксплуатации, порог хладноломкости смещается вправо, в этом случае камневидный излом сопровождается хрупким разрушением.

Выводы: 1. Одним из главных факторов, препятствующих образованию камневидного излома, является чистота стали и прежде всего отсутствие сульфидов и нитридов. 2. Перегрев стали при предварительной или окончательной термической обработке делает границы зерен ослабленными. Последующая эксплуатация, проходящая в условиях повышенных температур и напряжений, приводит к тому, что границы зерен являются местом, где происходит локальное обогащение включениями, что способствует образованию камневидного излома.

Литература: 1. Коломбье Я., Гофман И. Нержавеющие и жаропрочные стали. - М.: Металлургия, 2002. - 352 с.

ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ

Спольник А.И., докт. физ.-мат. наук, **Калиберда Л.М.**, **Уклеина Е.Г.**,
Чегорян М.А., канд. физ.-мат. наук (г. Харьков, Украина)

Possibility of measuring solutions concentration by means of superhigh frequency radiation has been proved.

Известны способы измерения концентрации растворов, базирующиеся на измерении величины оптической плотности по калибровочному графику или методом сравнения с оптической плотностью контрольного (стандартного) раствора. Так, например, для анализа напитков “Кофе с молоком” или “Какао с молоком” порцию напитка доводят до комнатной температуры и после тщательного перемешивания отливают пробу в центрифужную пробирку. После центрифугирования стеклянной палочкой удаляют поверхностный слой жира в пробирке и отбирают часть центрифугата над коричневым осадком, не взмучивая его. Далее центрифугат смешивают с дистиллированной водой, гексаном или петролейным эфиром и трихлоруксусной кислотой. После энергичного встряхивания смеси добиваются полноты осаждения белков. В ином случае при последующем фильтровании получают мутные фильтраты.

Нижний (водный) слой розового цвета фильтруют через двойной фильтр из медленно фильтрующей бумаги в сухую кювету ФЭКа с расстоянием между рабочими гранями 20 мм, фильтрат должен быть прозрачным. Измеряют оптическую плотность на ФЭК-М, ФЭК-56М при синем светофильтре. В кювете сравнения (20 мм) помещают дистиллированную воду.

Измерения оптической плотности проводят три раза, за окончательный результат берут среднее арифметическое.

Концентрацию порошков какао или кофе в исследуемых растворах рассчитывают, исходя из измерений оптической плотности по калибровочному графику или методом сравнения с оптической плотностью контрольного (стандартного) раствора.

Эти методики имеют общий недостаток, состоящий в том, что для построения калибровочного графика необходимо готовить, как минимум в пяти колбах, растворы с заданной концентрацией, после чего сравнивать оптические плотности исследуемого и контрольного растворов. Кроме того, погрешность в определении концентрации раствора достигает, как правило, 10%.

В настоящей работе предложена методика, которая может быть использована для контроля малых (до 5%) концентраций неполярных высокомолекулярных примесей (жиров, белков) в разбавленных водных растворах. Методика базируется на применении СВЧ-излучения, что позволяет достичь высокой точности измерений и бесконтактности контроля.

Для точного измерения концентрации растворов предлагается устройство, включающее источник СВЧ-излучения, поляризатор, измерительную ячейку, неполяризованный измеритель мощности, селективный усилитель, регистрирующий прибор, блок управления поляризатором и синхронизатор. Измерительная ячейка представляет собой волновод квадратного сечения, одной из стенок которого является слой исследуемого раствора, а две оставшиеся стенки

металлические.

Устройство для контроля концентраций растворов работает следующим образом. СВЧ-генератор возбуждает в диэлектрическом стержне волну типа H_{11} , структура которой (распределение вектора напряженности электрического поля по координатным осям) аналогично волне H_{10} в волноводе прямоугольного сечения. Возможность возбуждения волны H_{11} в диэлектрическом стержне обусловлена наличием высокопроводящих растворов в секциях вокруг диэлектрического стержня.

Камера, содержащая диэлектрический стержень, может быть разделена на четыре несообщающиеся секции, в двух из которых расположен исследуемый раствор, а в двух оставшихся – эталонный, причем камера выполняется с возможностью вращения вокруг диэлектрического стержня вдоль его оси.

Вращение камеры вокруг неподвижного диэлектрического стержня с также неизменным в нем распределением вектора \vec{E} приводит к неодинаковому взаимодействию СВЧ-поля с исследуемым и образцовым растворами, т.е. в различные моменты времени неподвижная в пространстве плоскость поляризации волны H_{11} по разному ориентирована относительно прилегающих к стержню поверхностей в растворах. Так, в тот момент, когда вектор \vec{E} ортогонален поверхности раствора в двух секциях камеры, он (вектор \vec{E}) параллелен поверхностям раствора в двух других секциях и наоборот. В связи с таким несимметричным расположением исследуемого и эталонного растворов относительно плоскости поляризации H_{11} потери СВЧ-мощности в скин-слое растворов в секциях, прилегающих к поверхности диэлектрического стержня периодически изменяются в процессе вращения камеры с частотой ω вокруг диэлектрического стержня.

Задача о распространении электромагнитной волны в волноводе со стенками конечной проводимости решается при следующих упрощающих предположениях. Можно допустить, что распределение напряженности электрического и магнитного полей в волноводе со стенками конечной проводимости не отличается существенно от того распределения поля, которое получается в предположении об идеально проводящих ограничивающих плоскостях. Не идеальная проводимость вызывает рассеяние энергии в стенках. Так как энергия течет из диэлектрика в стенки, из теоремы Пойтинга известно, что на поверхности стенок должны существовать тангенциальная составляющая напряженности электрического поля, величину которой определяют следующим образом: известны значения тангенциальных составляющих на всех четырех ограничивающих плоскостях, а также то, что эти составляющие непрерывны у граничных поверхностей. Из решения волновых уравнений для случая металлической среды бесконечной протяженности известно соотношение $E = \eta H$. Предполагается, что стенки волновода достаточно толсты и токи в них не достигают внешней поверхности. Так как η - величина малая, то составляющая электрического поля у поверхности очень мала по сравнению с остальными векторами поля и поэтому распределение поля в волноводе не нарушается. Указанных предположений достаточно для того, чтобы показать, что имеется явно выраженная асимметрия

в значениях средней мощности, теряемой в вертикальных и горизонтальных стенках волновода. Мощность, теряемая в ограничивающих волновод проводящих стенках, равна скорости убывания мощности, протекающей через диэлектрик. Эта скорость убывания должна равняться мощности, теряемой волной во всех четырех ограничивающих поверхностях.

Рассмотрим физику распространения СВЧ-волны вдоль диэлектрического стержня в два разных момента времени. В первый момент времени камера ориентирована относительно вектора \vec{E} так, что вектор \vec{E} ортогонален поверхностям растворов, а в последующий – параллелен. Если свойства исследуемого и эталонного растворов отличаются за счет различной их концентрации, то потери СВЧ-мощности в поверхностном слое растворов на единицу длины диэлектрического стержня вдоль оси X (погонное затухание α) в два указанных момента времени также будут различны, причем разница в величине, регистрируемой измерителем мощности, в первом приближении пропорциональна разности концентраций исследуемого и эталонного растворов.

Если концентрация исследуемого и образцового растворов различна, то регистрируемая измерителем СВЧ-мощность изменяется синхронно с вращением камеры вокруг диэлектрического стержня. Далее регистрируемый измерителем переменный сигнал поступает в селективный измерительный усилитель, который выделяет, усиливает и измеряет переменную составляющую регистрируемого сигнала. Для синхронизации частоты усиления селективного измерительного усилителя с частотой вращения камеры служит синхронизатор.

Точность измерений повышается также за счет автоматического усреднения показаний измерителя СВЧ-мощности в силу периодического (с частотой ω) автоматического сравнения свойств исследуемого и эталонного растворов, при этом следует стремиться к увеличению частоты ω , которую нужно выбрать в пределах 20-100 Гц.

Устройство работает следующим образом. Источник СВЧ-излучения возбуждает волну типа H_{10} на частоте 37,5 ГГц, что осуществимо в силу проводимости на этой частоте четырех стенок волноводной ячейки. При этом с помощью поляризатора и блока управления поляризатором осуществляется автоматическое, периодическое с частотой $\omega = 10$ Гц (можно с большей частотой, вплоть до звуковых частот, в зависимости от конструкции поляризатора и блока управления поляризатором) изменение ориентации плоскости поляризации волны H_{10} в ячейке на 90° относительно осей X, Y, Z . Потери СВЧ-мощности в ячейке определяются, в основном, потерями на проводимость в ее стенках, так как потери в металлических стенках можно считать пренебрежимо малыми. Если свойства излучаемых и эталонных растворов различны, то измеряемая мощность СВЧ-излучения, прошедшего через ячейку, а следовательно, сигнал, поступающий с измерителя СВЧ-мощности на селективный усилитель, оказывается переменным с частотой $\omega = 10$ Гц.

С помощью описанного устройства можно осуществить контроль концентраций растворов в потоке, а также дифференциально контролировать свойства твердых веществ, например, концентрацию примесей в полупроводниках.

УДК 621.791.052.08

ВОДОРОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ ШВОВ ОЦК СТАЛЕЙ, МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ ИТТРИЕМ.

Ефименко Н.Г., канд. техн. наук (г.Харьков, Украина)

The influence of yttrium on diffusion behaviour of hydrogen in metal of welds OЦК of steels surveyed.

Вопросу отрицательного влияния диффузионно-подвижного водорода ($[H]_{diff}$) на трещиностойкость закаливаемых сталей, в том числе и сварных соединений, посвящено значительное число работ как теоретического так и экспериментального плана [1,2,3]. Конечной задачей исследователей является установление механизмов этого влияния и на этой основе разработка рекомендаций если не по устранению процесса диффузионного насыщения зоны термического влияния (ЗТВ) водородом в процессе сварочного цикла, то хотя бы его снижения до уровня, не приводящего к охрупчиванию.

Авторы [3], исследуя модифицированный металл сварного шва высокопрочной стали выявили изменение в балансе между $[H]_{diff}$ и остаточным ($[H]_{ост}$) водородом в сторону последнего при практически неизменном общем его содержании. По предположению авторов это явилось результатом диспергирования неметаллических включений (НВ), увеличения образования многофазных рыхлых РЗМ-содержащих оксисульфидов, способных аккумулировать атомарный водород, а так же с увеличением суммарной протяженности границ зерен. При исследовании электрохимических процессов влияния РЗМ на коррозионную стойкость металла сварных швов ГЦК сталей указывается [4], что одним из возможных факторов снижения диффузионной подвижности водорода является энергетический, связанный с присутствием в металла иттрия, обеспечивающего высокую энергию электронных связей с водородом. При потенциостатических исследованиях Y-содержащего металла сварных швов ОЦК сталей нами выявлена тенденция торможения выделения водорода (неопубликованные результаты). Происходит увеличение перенапряжения его выделения, т.е затруднение протекания электрохимических реакций восстановления ионов водорода на поверхности металла.

Данная работа посвящена изучению механизма задержки диффузии водорода в металле сварных швов малоуглеродистых сталей, микролегированных иттрием.

Исследованию подвергали металл 3-х вариантов (табл.1), наплавленный в медный водоохлаждаемый кокиль послойным способом электродами основного вида, диаметром 4 мм. Технология ввода иттрия приведена в работе [5]. Для определения эффективного коэффициента диффузии (D_H) водорода из металла наплавки вырезались пластины (мембраны) толщиной 0,2- 0,3 мм. Для установления влияния качества границ на водородную проницаемость изготовление пластин осуществлялось таким образом, чтобы плоскость реза находилась вдоль (образец П) и поперек (образец В) оси сформированного кристаллита. Соответственно поток $[H]_{diff}$ в процессе эксперимента в образце П будет направлен вдоль оси кристаллита, а в образце В будет пересекать все пограничные участки. Перед вырезкой пластин усиление шва (верхний слой) с мелкими кристаллитами удалялось.

Таблица 1

Варианты	Химический состав, % масс.						Содержание водорода [H] _{ост.} , см ³ /100г.	Средний размер НВ, $\alpha_{ср}$, мкм	Степень загрязненности, $I_{общ}$ x 10 ³
	C	M _n	Si	Y	S	P			
1 (исх)	0,095	0,9	0,63	---	0,019	0,021	3,8	3,9	12,6
2 (0,3%Y)	0,1	0,9	0,6	0,0045	0,017	0,02	2,48	2,0	9,85
3(0,5%Y)	0,098	0,95	0,65	0,007	0,016	0,02	2,29	1,8	9,63

Водородопроницаемость определяли электрохимическим методом на измерительном стенде по методике в соответствии с [7]. Определение остаточного водорода в металле производили методом вакуум-плавления. Распределение неметаллических включений (НВ), их размер, форма определялись на оптическом микроскопе на нетравленных шлифах линейным методом «Л» (ГОСТ1778). Химический состав НВ определяли с помощью РЭМ «Самскан-4» с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа Link System-860. Микрохимическую неоднородность (МХН) по Y,S исследовали путем получения концентрационных карт распределения этих элементов по поверхности образца с использованием стандартной программы DIGIMAP.

Исследованиями установлено, что добавка Y в металл приводит к резкому (в 2 раза) снижению D_H (табл.2). При этом замечено изменение направления потока $[H]_{диф}$. Так D_H в образце с сечением В исходного металла больше, чем D_H в образце с сечением П. В иттрийсодержащем металле картина изменилась-превосходящим (на ~12%) становится D_H в образце с сечением П. Было также установлено, что при таком значительном снижении D_H в микролегированной стали заметно (на ~25%) повышается приповерхностная концентрация водорода (табл.2).

Таблица 2

Варианты	Сечение «П»		Сечение «Г»	
	Эффективный коэффициент диффузии водорода, $D_n, 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$	Приповерхностная концентрация водорода, см ³ /100 гр.	Эффективный коэффициент диффузии водорода, $D_n, 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$	Приповерхностная концентрация водорода, см ³ /100 г.
1	2,18	0,075	2,33	0,079
2	1,27	0,095	1,12	0,121
3	1,13	0,103	1,06	0,132

На выявленные изменения в диффузионном поведении водорода влияние могут оказывать многочисленные факторы [1,2,6], основные из которых: уве-

личение протяженности межзеренных и межфазных границ и изменение их качества; изменение размеров, количества, химического состава, места расположения НВ и степени их взаимодействия с $[H]_{diff}$; изменение энергии взаимодействия водорода с элементами, входящими в состав матрицы.

Анализируя структурные изменения установлено, что средний размер НВ уменьшился до $\sim 1,8$ мкм при снижении индекса загрязненности на $\sim 20\%$ (табл.1). Произошло существенное очищение пограничных участков зерен и кристаллитов. Границы утоняются, становятся более совершенными. Основная масса мелких НВ (вторичных) фиксируется в теле зерна. Крупные, размером 3-5 мкм, располагаются большей частью на границах зерен (рис.1). Введение иттрия привело к заметному снижению $[H]_{ocm}$. (табл.1, вар.2). При повышении содержания иттрия (табл.1, вар.3) замечена тенденция роста $[H]_{ocm}$. Заметно снижается

степень загрязненности иттрийсодержащего металла.

Снижение индекса загрязненности, качественное изменение пограничных участков естественно должно приводить к уменьшению количества водородных ловушек и, следовательно, к увеличению D_n . Вопреки этому произошло его снижение (табл.2).

Вместе с тем увеличение протяженности пограничных участков, вызванное модифицирующим действием Y, естественно приводит к задержке диффузионного потока

водорода. Однако этот вклад, судя по разнице абсолютных значений D_n в образцах с поперечным и продольным сечением кристаллита (табл.2), не является определяющим фактором на фоне значительного общего снижения D_n .

Не может оказать существенного влияния на D_n некоторое снижение $[H]_{ocm}$ в микролегированном металле (табл.1).

Анализируя химический состав НВ Y-содержащей стали наряду с силикатами, сульфидами марганца обнаружены мелкодисперсные фазы YSi_2 , YS_2 , YOS , YC_2 , Y_2O_3 . Как указывалось [8], такие НВ относятся к высокотемпературным, образуются в предкристаллизационный период и мало влияют на формирование границ, так как расположены преимущественно в матрице зерна. Включений, содержащих Y, выявленных нами при анализе (без учета НВ размером < 1 мкм), содержится около 30-40% от общего количества и зависит от содержания введенного Y. Следовательно, если Y, взаимодействующий с водородом, образуя стойкие гидриды типа YN_2 [9], находится только в составе неметаллических фаз, то его количество недостаточно для оказания существенной помехи диффузионному потоку водорода.

Известно [10], что микродобавки Y в ОЦК стали оказывают кроме модифицирующего и рафинирующего также легирующее воздействие, т.е. находятся в твердом растворе, что безусловно обеспечивает его (Y) равномерное распределение на микроуровне. Исследуя химическую неоднородность установлено

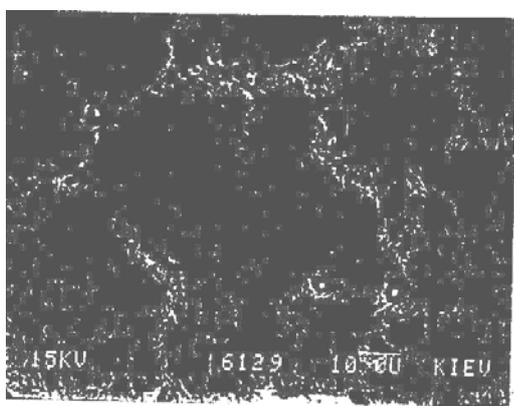


Рис. 1 Неметаллические включения на границе зерен.

(рис.2), что Y распределен в матрице равномерно. Повышение в матрице содержания Y приводит к повышению плотности распределения Y (рис.2,б). менее равномерно распределены сернистые соединения (рис.2,а).

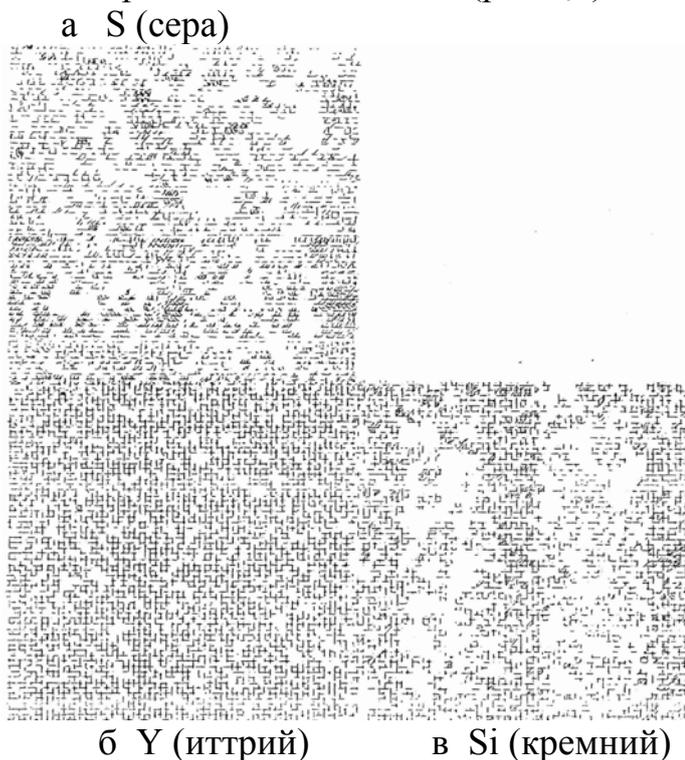


Рис.2 Концентрационная карта распределения : а - серы, б - иттрия, в – кремния в металле.

Результат представленных экспериментальных исследований позволяют сделать следующее обобщение.

Известно [6], что атомы элементов IIIA подгруппы таблицы Менделеева, обладающие большей энергией связей с атомами водорода по сравнению с атомами элементов исследуемой стали, образуют необратимые ловушки. Иттрий, присутствующий в исследуемой стали, относится к IIIA подгруппе и растворяется в железе по типу замещения. Следовательно, Y образует в стали необратимые ловушки. Не исключено, что сила захвата атомов водорода иттрием вызвана не только упругим, но и химическим взаимодействием и по данным [9] может образовывать стойкие соединения с водородом типа YN_2 [9]. В приведенном эксперименте плотность и равномерность распределения Y в матрице (рис.2) достаточно высокие, что и является основным фактором, по нашему мнению, задержки D_n .

Увеличение плотности атомов Y в матрице, т.е. увеличение остаточного содержания Y с 0,0045% до 0,007%, приводит к дальнейшему снижению D_n . Повышение кажущейся приповерхностной растворимости водорода (табл.2) объясняется повышением плотности необратимых ловушек [6]. Этот эффект усиливается с повышением содержания Y в металле.

Выводы:

1. Установлено, что границы кристаллитов, зерен исходного металла оказывают влияние на эффективный коэффициент диффузии водорода в сторону

его увеличения, и связано это с несовершенством пограничных участков.

2. Добавка Y в металл приводит к модифицированию структуры, очищению пограничных участков, существенно увеличивая протяженность границ, однако при этом D_H уменьшается примерно в 2 раза. Превалирующим является перемещение водорода вдоль осей кристаллитов.
3. Основной причиной задержки диффузионного потока водорода является наличие в металле необратимых энергетических ловушек в качестве которых выступает Y, присутствующий в металле как в твердом растворе, так и в НВ. Увеличение содержания Y приводит к дальнейшему снижению D_H .

Литература: 1. Походня И.К., Швачко В.И. Физическая природа обусловленных водородом холодных трещин в сварных соединениях конструкционных сталей. // Автоматическая сварка- 1997,- №5,- с.3-12. 2. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей.- М. Машиностроение, 1981.- 247 с. 3. Влияние модифицирования неметаллических включений редкоземельными металлами на структуру и свойства металла шва при сварке высокопрочных сталей. / В.Ф. Мусияченко, И.С. Мельник, М.Б. Мовиан, В.М. Кирьяков// Автоматическая сварка.- 1987.- №6.- с.1-6. 4. Ефименко Н.Г., Нестеренко С.В. Диффузионное поведение водорода в модифицированном РЗМ металле сварных швов аустенитных сталей.// Восточно- Европейский журнал передовых технологий.- 2005.- №4/2 (16).- с.54-57. 5. Ефименко Н.Г. Применение редкоземельных металлов в покрытиях сварочных электродов.// Сварочное производство.- 1980.- №7.- с.28-29. 6. Колачев Б.А. Водородная хрупкость металлов.- М. : Металлургия, 1985,- 217 с. 7. Желавский С.Г., Веда М.В., Сахненко Н.Д./ Фарадеевские реакции хемосорбция в стимулировании водородопроницаемости стали.// Вестник ХППУ.- Харьков. Изд. ХППУ.- 2000.- №115.- с.57-60. 8. Ефименко Н.Г. О механизме влияния РЗМ на процесс кристаллизации и формирование первичной структуры шва при сварке стали.// Сварочное производство.- 1990.- №7.- с.32-34. 9. Савицкий Е.М., Терехова В.Ф. Металловедение редкоземельных металлов.- М. : Наука, 1975.- с.272. 10. Ефименко Н.Г. Модифицирование, рафинирование и легирование иттрием применительно к сварке сталей.// Автоматическая сварка.- 2002.- №6.- с.9-14.

УДК 621.791.052.08

ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РИХТОВКИ КУЗОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Батыгин Ю.В., докт. техн. наук, **Лавинский В.И.,** докт. техн. наук,
Сериков Г.С., Чаплыгин Е.А. (г. Харьков, Украина).

The work is dedicated to some states of the body car elements dents removing external technology by the power forces of the magnetic pulse attracting or repulsing. The authors suggest changing the single intensive force action by the quite small pulses series. As it is shown, this changing allows decreasing the power source practical price more 20÷25 times in comparison with the high voltage analogue ones known.

При эксплуатации автомобилей в 70% случаев, как свидетельствует статистика [1], возникают мелкие деформации обшивки кузова, при которых не страдает лакокрасочное покрытие. Актуальность проблемы их ремонта состоит в острой необходимости высокотехнологичных устройств, позволяющих устранить повреждения кузовных элементов и сохранить неповреждённое защитно-декоративное покрытие.

Одним из направлений, которыми занимается лаборатория электромагнитных технологий Харьковского Национального Автодорожного Университета в тесном сотрудничестве с кафедрой сопротивления материалов Национального Технического Университета «Харьковский политехнический институт», является деформирование тонких листовых металлов при помощи энергии импульсных магнитных полей [2].

В частности, разрабатывается технология внешнего восстановления вмятин на кузовных элементах автомобилей без нарушения существующего лакокрасочного покрытия. Физическая сущность разработки состоит в воздействии на заданные участки листового металла мощными силами магнитно-импульсного притяжения или отталкивания [3].

Следует отметить, что электромагнитная технология устранения вмятин в корпусах самолётов уже применяется в авиации США. Разработчиками и владельцами патентов соответствующих устройств являются концерн «Боинг» [4], компании «Электроимпакт» [5] и «Флакстрик» [6]. Их системы работают, но, в целом, не получили широкого распространения в силу сложности технической реализации, достаточно высокой стоимости и ограниченности (обрабатывается только алюминий и его сплавы!).

Таким образом, является очевидным необходимость принципиально нового устройства, способного при достаточно низкой потребляемой мощности, относительно невысокой стоимости и надёжности требуемого уровня произвести обработку всей номенклатуры металлов (а не только алюминий!), применяемых для изготовления обшивки кузовов автомобилей.

Реализация современных известных магнитно-импульсных технологий предполагает однократное силовое воздействие на обрабатываемый объект с амплитудой, достаточной для его деформирования и выполнения, таким образом, заданной производственной операции.

Идея, положенная в основу магнитно-импульсной системы, предлагаемой авторами настоящей работы, состоит в замене мощного однократного силового воздействия серией довольно малых импульсов, суммарное действие которых должно быть достаточным для достижения заданного уровня деформирования объекта обработки, то есть реализации соответствующей технологической задачи.

Так же как и известные комплексные устройства для магнитно-импульсной обработки металлов однократного действия, предлагаемая система должна включать две основные функциональные составляющие, а именно, источник электромагнитной энергии и инструмент-индуктор, предназначенный для осуществления конкретной технологической операции.

Как показывают предварительные оценки, источниками энергии могут служить низковольтные электротехнические системы (до ~ 1 кВ). Соответственно, все необходимые компоненты могут быть рассчитаны на работу под низким напряжением. Вместо высоковольтных коммутаторов могут применяться обычные тиристоры. Схемы управления – это схемы из низковольтной и слаботочной электроники.

Следует отметить, что опытный образец в модельном варианте был изго-

товлен и успешно апробирован в экспериментальных исследованиях электромагнитных процессов.

Схема одного из возможных вариантов технической реализации магнитно-импульсного комплекса с многократным серийным силовым воздействием показана на рис.1.

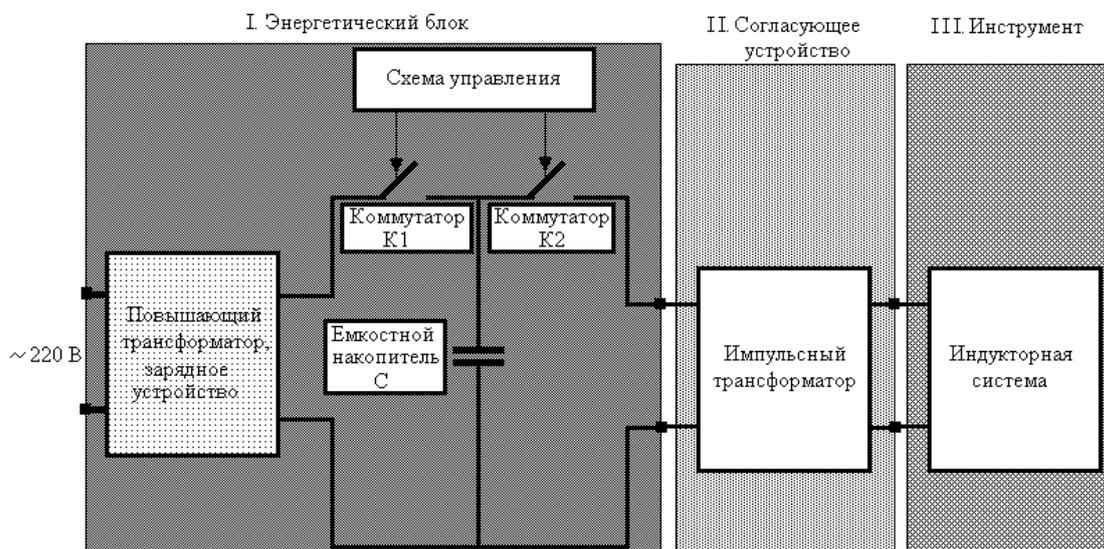


Рис.1. Схема.

Предлагаемая магнитно-импульсная система состоит из трёх укрупнённых блоков.

- I. Энергетический блок (источник энергии).
- II. Согласующее устройство, представляющее собой (по принципу действия) импульсный трансформатор.
- III. Инструмент, это индукторная система (собственно индуктор плюс обрабатываемый объект).

Работа комплекса: через коммутатор $K1$ емкостной накопитель C заряжается, затем через коммутатор $K2$ он разряжается на индуктивную нагрузку, состоящую из согласующего устройства, назначение которого состоит в увеличении амплитуды сигнала и в возможности варьирования временных параметров каждого из импульсов. К выходу согласующего устройства подключается инструмент.

Представленная система может работать в режимах отталкивания или притяжения обрабатываемого металла в зависимости от вида инструмента-индуктора. Условно её можно назвать «электромагнитным молотом».

При рихтовке вмятин на кузовных элементах автомобилей оператор задаёт необходимый набор параметров режима работы на панели управления. К ним относятся амплитуды импульсов, их количество и др. От источника электромагнитной энергии генерируемые сигналы поступают в цепь индуктора-инструмента, поле которого воздействует на обрабатываемый объект. Развиваемые силы отталкивания или притяжения устраняют вмятину в заданной области деформированного металла.

Иллюстрации, визуально поясняющие принцип действия «электромагнитно-

тного молота» в режиме рихтовки вмятин, приведены на рис.2. и рис.3.

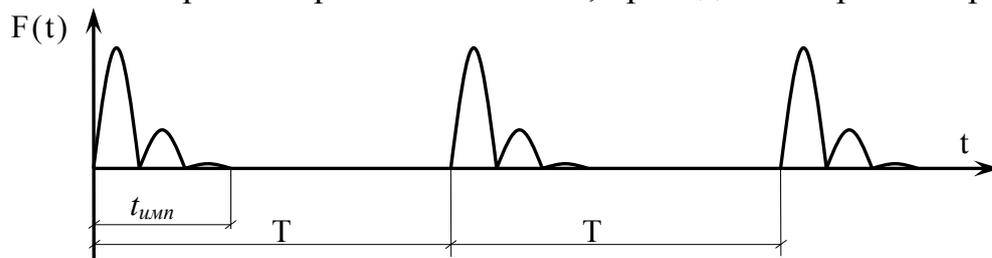


Рис.2.

Временная зависимость многократного силового воздействия на объект обработки ($t_{\text{имп}}$ – длительность одиночного импульса, T – период повторения).

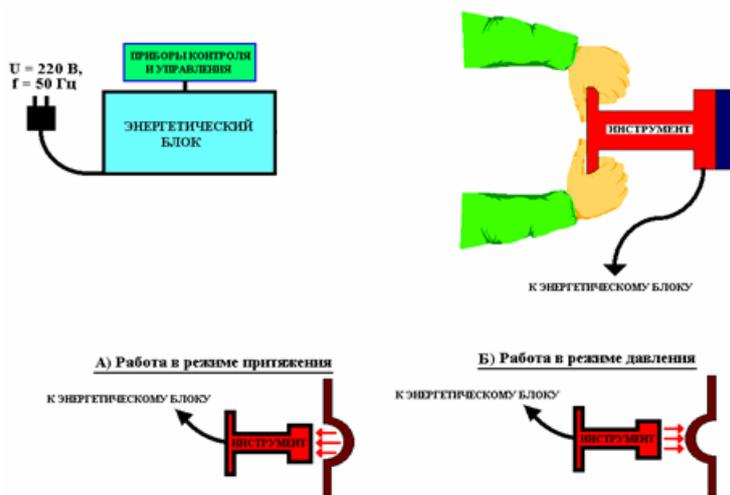


Рис.3. Структурная схема работы «электромагнитного молота».

ВЫВОДЫ.

1. Предложена схема многократного силового магнитно-импульсного воздействия на металлические обрабатываемые объекты, состоящая из двух основных составляющих, а именно. Источника энергии и инструмента-индуктора.
2. Предложенная система, условно названная «электромагнитным молотом», позволяет обработку металлов как в режиме их отталкивания, так и притяжения в зависимости от вида применяемого инструмента.
3. В режиме отталкивания «электромагнитный молот» позволяет реализовать, так называемую, внешнюю рихтовку вмятин на кузовных покрытиях автомобилей без нарушения возможного лакокрасочного покрытия.
4. Предполагаемая стоимость источника энергии для практической реализации идеи серийного силового воздействия должна снизиться по сравнению с известными высоковольтными аналогами более чем в 20÷25 раз.

Литература: 1. [http:// www.barclay.ru](http://www.barclay.ru) Герасименко О. Нестандартный подход к решению кузовных проблем. 2. Ю.В. Батыгин, В.И. Лавинский, Л.Т. Хименко, Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 1. Издание второе, переработанное и дополненное под общей ред. д.т.н., проф. Батыгина Ю.В. Харьков: изд. "МОСТ – Торнадо". 2003. – 288с. 3. Батыгин Ю.В., Лавинский В.И., Хименко Л.Т., Физические основы возможных направлений развития магнитно-импульсной обработки тонкостенных металлов.// Электротехника і електромеханіка. Харків. 2004, №2, с.80-84. 4. <http://www.boeing.com>. 5. <http://www.electroimpact.com>. 6. <http://www.fluxtronic.com>.

УДК 621 (725 – 771): 669,15.668,15.1

**ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СТАЛІ І РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ
ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ РІЗАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
СИЛОСОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ “МАРАЛ” .**

**Браташевський О.Ю., канд. техн. наук, Польотов В.А.,
Полякова А.Г., Горбачова Л.В. (г. Харків, Україна)**

It was suggested steels, progressive and economic technology heat treatment for cutting elements of silogathering combine.

Ніж силосозбирального комбайну “Марал” являє собою сталеву пластину товщиною 4-5 мм, шириною 90-95 мм і довжиною 600-610 мм. Одна із кромок вздовж цієї довжини виконана у вигляді зовнішньої дуги з радіусом 11255 мм і має скос на 30°, який робить цю кромку ріжучою. Ці ножі закріплюють за допомогою болтів та притискних пластин на барабані під певним кутом до зовнішньої поверхні барабана і різальних кромками назовні. В процесі роботи барабан обертається (декілька тисяч обертів на хвилину) і різальні кромки ножів розрізають зелену масу, яка певним чином подається до барабану, на дуже дрібні частки. Виконання різальної кромки ножа у вигляді дуги полегшує процес роздрібнювання зеленої маси завдяки тому, що змушує зелену масу пересуватися вздовж леза різальної кромки.

Матеріалом, з якого, як правило, виготовляють ножі, є сталь 65Г. Ножі піддають термічній обробці: гартування різальної кромки і низьке відпускання на твердість 52-58 HRC.

Додаткова умова – ножі в процесі роботи не повинні пластично деформуватися, аби не привести до руйнування барабана. Навіть допускається крихке руйнування ножа в процесі роботи, але не пластичне деформування його.

Таким чином, ножі силосозбирального комбайну “Марал” повинні мати високу твердість, високу границю міцності при вигинанні та низьку ударну в’язкість [1 - 3].

Мета даної роботи: оптимізувати склад сталі різальних елементів і розробити технологію їх термічної обробки для забезпечення високого рівня границі міцності при вигинанні і низьку ударну в’язкість.

Матеріалом дослідження були сталі ХВГ, 9ХС, 65Г, У8 та У10, хімічний склад яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджених сталей.

№ з/п	Марка сталі	Склад хімічних елементів, %				
		C	Mn	Si	Cr	W
1	ХВГ	0,95-1,10	0,80-1,05	0,15-0,32	0,95-1,15	1,27-1,58
2	9ХС	0,86-0,92	0,30-0,57	1,25-1,50	0,97-1,20	-
3	65Г	0,6-0,7	0,8-1,0	0,17-0,37	-	-
4	У8	0,77-0,85	0,16-0,25	0,17-0,27	0,10-0,15	-
5	У10	0,97-1,05	0,17-0,30	0,15-0,25	0,08-0,12	-

Ці сталі піддавали гартуванню: сталі 9ХС, ХВГ і 65Г від 850-870 °С, а сталі У8 і У10 від 750-800 °С. Після гартування всі сталі відпускали при 200 °С;

250 °С; 300 °С; 350 °С та 400 °С. У термооброблених таким чином сталях вимірювали твердість, границю міцності при вигинанні та ударну в'язкість при кімнатній температурі. Структуру сталей вивчали за допомогою мікроструктурного аналізу. За результатами дослідження вибирали сталі, з яких виготовляли різальні елементи (ножі) для комбайну "Марал" і піддавали їх термічній обробці за дослідженими режимами при одночасній доробці технологічних особливостей операції гартування. Врешті досліджені ножі проходили натурні випробування на комбайнах.

Результати дослідження наведено в таблицях 2 і 3.

Таблиця 2

Твердість досліджених сталей після їх гартування.

№ з/п	Марла сталі	Температура нагрівання, °С	Середовище охолодження	HRC
1	ХВГ	850-860	масло	63-65
2	9ХС	860-870	масло	62-64
3	65Г	840-850	масло	60-62
4	У8	750-770	вода + масло	62-65
5	У10	780-800	масло	61-62

Таблиця 3

Твердість (HRC), границя міцності при вигинанні (σ_b) та ударна в'язкість (ан) досліджених сталей в залежності від температури відпускання.

№ з/п	Марка сталі	Температура відпускання, °С	HRC	σ_b , МПа	ан, КДж/м ²
1	ХВГ	200	60-62	1900	200
		250	58-60	1900	180
		300	56-58	2400	200
2	9ХС	200	60-62	2250	200
		300	58-60	2400	240
		350	56-59	2300	240
3	65Г	200	56-58	1700	100
		250	54-55	1800	120
		300	52-55	2000	140
		350	50-54	1900	150
4	У8	200	58-60	2000	250
		300	53-54	1800	250
		400	50-52	1450	270
5	У10	200	58-60	2200	190
		300	54-56	2400	210
		400	50-55	1800	220

Аналіз експериментальних даних показав, що після гартування всі досліджені сталі мають твердість приблизно одного рівня – більш за 60 HRC. Після відпускання при вибраних температурах твердість знижується незначно, але

при температурах 250-350 °С майже у всіх сталях відбувається помітне зростання границі міцності при незначному рості ударної в'язкості. Це відбувається завдяки структурним перетворенням, що мають місце в сталях при даних температурах. В районі температури 300 °С залишковий аустеніт перетворюється в мартенсит відпускання, що супроводжується зростанням пружності сталі, а вуглець мартенситу ще не починає виділятися, чим зберігає високу міцність сталі і низьку пластичність.

Найбільше це проявляється в сталі 65Г, яка після відпускання при 300 °С ± 50 °С стає настільки пружною, що не піддається рихтуванню – при вигинанні сталі з'являються тріщини, а пластична деформація не відбувається. Менш за все це виражено в сталі У8, яка із збільшенням температури відпускання поступово втрачає міцність і все більше набирає пластичності.

Найбільш близькими до сталі 65Г в змінах механічних властивостей при відпусканні є сталі 9ХС та У10. При цьому, якщо сталь 9ХС зберігає високу міцність (2300 МПа) до температури відпускання 350 °С, то сталь У10 при температурі вже 400 °С суттєво втрачає в міцності (1800 МПа). В той же час сталь У10 зберігає трохи більшу долю крихкості, ніж сталь 9ХС, про що

свідчить ударна в'язкість цих сталей (відповідно 190-210 КДж/м² проти 200-240 КДж/м²).

Сталь ХВГ після відпускання при 250 °С має більшу крихкість ніж не тільки сталь 9ХС, але й сталь У10 – її ударна в'язкість після вказаної термічної обробки складає 180 КДж/м². При цьому, границя міцності цієї сталі нижча, ніж у сталей У10 і 9ХС, але майже того ж рівня, що у сталі 65Г, тобто 1900 МПа проти 2000 МПа.

Аналіз наведених результатів дозволяє виключити з групи досліджених сталей сталь У8, як таку, що має найменший рівень міцності і найбільшу ударну в'язкість після усіх режимів відпускання. Ці характеристики не дають гарантії крихкого руйнування ножа в процесі експлуатації.

Сталь 9ХС та У10, в порівнянні із сталлю 65Г, мають високу міцність, але й вищий рівень ударної в'язкості, тобто більшу долю пластичного деформування. При цьому, висока міцність сталі У10 тримається до температури відпускання 300 °С, а після відпускання при 400 °С ця міцність суттєво знижується. Ці сталі (9ХС та У10), за вказаними характеристиками, кращі за сталь У8.

Сталь ХВГ має міцність трохи більшу за міцність сталі 65Г, хоча і меншу ніж у сталей 9ХС та У10, але її ударна в'язкість майже того ж рівня, що й ударна в'язкість сталі 65Г. Найбільш ці характеристики наближені до одного рівня після відпускання сталі ХВГ при 250 °С, а сталі 65Г при 300 °С. Втім, сталь У10 після відпускання при 200 °С має ударну в'язкість таку ж саму, що і сталь ХВГ після відпускання при 250 °С, а міцність суттєво більшу (2200 МПа проти 1900 МПа).

Таким чином, можна визнати, що для ножів силосозбирального комбайну, найбільш сприятливі характеристики міцності та в'язкості мають такі сталі: ХВГ після відпускання при 250 °С (міцність – 1900 МПа, в'язкість – 180 КДж/м²), 65Г після відпускання при 250 °С та при 300 °С (міцність – відповідно 1800 МПа та 2000 МПа, а в'язкість – відповідно 120 КДж/м² та 140 КДж/м²),

У10 після відпускання при 200 °С (міцність – 2200 МПа, в'язкість – 190 КДж/м²).

На підставі цих результатів були виготовлені ножі для трьох силосозбиральних комбайнів “Морал” із сталей ХВГ, 65Г та У10, термооброблені за вказаними режимами і встановлені на комбайни в майже однаковій кількості кожної сталі на кожний комбайн для забезпечення ідентичних умов експлуатації всіх досліджених ножів.

При гартуванні різальних ножів було застосовано три способи нагрівання:

- а) камерної печі;
- б) а допомогою струмів високої частоти (СВЧ);
- в) агрівання різальної кромки ножа в соляній ванні шляхом занурювання ножа в розплав солі на глибину 30-40 мм.

Після гартування із використанням камерної печі 60-70% ножів мали короблення 10-20 мм, при допустимому рівні 5 мм. Ці короблені ножі не підлягали виправленню ані після гартування, ані після відпускання, із-за їх високої пружності, яка при рихтуванні приводила до утворювання тріщин. У зв'язку з цим, прийнято вважати цей спосіб нагрівання ножів не придатним.

Нагрівання під гартування ножів за допомогою СВЧ збільшило вартість обробки в декілька разів із-за кошовної роботи обладнання для малої партії ножів, тому цей спосіб нагрівання визначили недоцільним з економічного боку. Затрати на використання СВЧ починають дорівнювати затратам на нагрівання в соляних ваннах, якщо партія ножів досягає ≈ 1000 штук. При більших партіях нагрівання СВЧ стає економічно вигідним, ніж нагрівання в соляних ваннах.

В результаті було вибрано спосіб нагрівання під гартування ножів в соляних ваннах, як більш придатний і економічний для даного випадку.

Натурні випробування показали, що досліджені ножі мають однакову працездатність і не виявили в екстремальних умовах експлуатації (попадання в барабан металевих частин, каменів тощо) пластичного деформування і руйнування барабану. Тверді предмети, які потрапляли в працюючий барабан, приводили тільки до місцевого крихкого відколювання різальної кромки ножа, що не перешкоджало роботі комбайну. З економічної точки зору слід відмітити, що вартість сталі ХВГ в 1,5-1,7 разів перевищує вартість сталей 65Г та У10, що є перешкодою до використання сталі ХВГ для вказаних потреб.

Отже, ножі для силосозбирального комбайну “Марал” можна виготовляти із сталей ХВГ, 65Г та У10 і піддавати їх термічній обробці за вказаними вище режимами, але, при цьому, найменш витратними будуть ножі із сталей 65Г та У10.

Висновки. 1. Для виготовлення різальних елементів силосозбирального комбайну “Марал” вибрані сталі ХВГ, 65Г та У10. 2. Встановлені режими термічної обробки ножів: для сталі ХВГ – гартування від 850-860 °С в маслі і відпускання при 250 °С; для сталі 65Г – гартування від 840-850 °С в маслі і відпускання при 250-300 °С; для сталі У10 – гартування від 780-800 °С в маслі і відпускання при 200 °С. 3. Технологічними особливостями термічної обробки ножів є те, що у випадку кількості ножів менш за 1000 штук нагрівання різальної кромки ножа під гартування виконують в соляній ванні шляхом занурювання

ножа в розплав солі на глибину 30-40 мм, а у випадку кількості ножів більш 1000 штук економічно доцільним стає нагрівання ножів за допомогою струмів високої частоти. Об'ємне ж гартування є не придатним із-за одержання після цього високого рівня короблення ножа – більш за допустимий. 4. Найменші витрати на виготовлення мають ножі, які виготовленні із сталей 65Г та У10.

Література: 1. Браташевський О. Ю., Полякова А. Г., Горбачова Л. В., Польотов В. А. Прогресивна технологія термічної обробки різальних елементів сільськогосподарських машин. Труды 5-й Международной научно-технической конференции, Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002 – с. 427. 2. Браташевський А. Ю., Польотов В. А., Полякова А. Г., Горбачова Л. В., Каплуновський В. О. Дослідження критерію зносостійкості конструкційних сталей в умовах ударно – абразивного зносу. Труды 6-й Международной научно-технической конференции, - Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002 – с. 167-169. 3. Браташевський О. Ю., Полякова А. Г., Горбачова Л. В., Польотов В. А., Каплуновський В. О. Термічна обробка різальних елементів землерийних машин. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства, вип. 26, Харків: 2004 – с. 305-308.

УДК 621.316.9

ВИЗУАЛІЗАЦІЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ДЛЯ РАСЧЕТА МОЛНИЕЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ

**Истомин А.Е., Киприч С.В., Колиушко Д.Г., канд. техн. наук, Обруч И.В.,
Петков А.А., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)**

The singularities of the visualization of the program complex intended for lightning protection calculations of structures are considered.

Расчет молниезащиты необходим для обеспечения во время грозовой деятельности безопасной работы персонала и надежного функционирования электрооборудования. Актуальность этой проблемы усиливается из-за применения все более энергоемкого и дорогостоящего оборудования, нарушение нормальной работы или выход из строя которого по причине удара молнии, сопровождается значительным материальным ущербом, а также из-за повсеместного перехода на микропроцессорную базу, которая чувствительна к помехам, возникающим в момент протекания токов молнии. Одним из наиболее действенных способов защиты объектов является установка молниеотводов различных видов (стержневых, тросовых, сеточных и т.п.). Национальные и международные нормативные документы [1-3] регламентируют мероприятия по обеспечению молниезащиты, а также отражают основные требования к построению зон защиты различных типов молниеотводов.

Однако для построения зоны защиты большого количества молниеотводов, защищающих группу объектов необходима автоматизация процесса, так как в противном случае существует большая вероятность возникновения ошибок на этапе геометрических построений (для [1, 2]) и физического моделирования (для [3]), а также при интерпретации результатов, что связано с постоянным участием человека-оператора. В [4] был подробно описан интерфейс программного комплекса (ПРК), разрабатываемого в НИПКИ "Молния". Так как все графические построения используют технологии OpenGL и GDI+, поэтому программа работает в версиях операционной системы, начиная с платформы

Windows 2000.

Указанный выше ПРК и состоит из 3-х логических частей:

- 1) графического редактора, при помощи которого вводится геометрическая информация о зданиях и молниеотводах (положение и размеры);
- 2) двухмерного отчета, при помощи которого можно просмотреть результаты анализа зон молниезащиты на плоскости;
- 3) трехмерного отчета, при помощи которого можно просмотреть результаты анализа зон молниезащиты в пространстве.

Разработанный графический редактор был описан в [4], однако были выполнены некоторые доработки, благодаря которым появились следующие возможности:

- 1) масштабирование изображения;
- 2) наличие линейки для более точного позиционирования объектов;
- 3) копирование объектов с использованием буфера обмена Windows;
- 4) поддержка операций Undo и Redo;
- 5) выполнение операций с группами объектов (копирование, перемещение, Undo, Redo);
- 6) наличие файла текущих настроек редактора.

После ввода геометрии объекта производится расчет заданной конфигурации зданий и молниеотводов. Для того чтобы произвести анализ степени защищенности объектов, разработан программный математический модуль, который рассчитывает координаты поверхностей зон защит установленных молниеотводов (стержневого и тросового). Данный модуль позволяет получить массив координат поверхности защиты на указанной высоте анализа для различных стандартов и надежностей защиты. Модуль выполнен так, чтобы при появлении новых методик расчета была возможность просто дополнять его, не изменяя структуры.

В настоящей работе подробно рассмотрим вторую и третью логические части программного комплекса, т. е. создание двухмерного и трехмерного отчета полученных результатов. Для отображения объектов, молниеотводов и зон защиты были выбраны следующие способы представления:

- 1) в виде двухмерной картины;
- 2) в виде трехмерной поверхности.

Исходными данными для построения являются рассчитанные при помощи математического модуля координаты. Двухмерная визуализация выполнена для использования результатов расчета при проектировании системы молниезащиты. Возможно построение двухмерной картины зоны защиты на указанном уровне для определения защищенности тех или иных объектов. Это особенно удобно в том случае, если требуется определить защищенность большого комплекса разновысоких зданий и сооружений, расположенных на достаточно большой территории.

Несмотря на достаточную информативность двухмерной картины анализа защищенности объектов, она не дает всей полноты представления о виде поверхностей защиты, их высоте относительно зданий, взаимных перекрытий и наглядности при большом количестве молниеотводов.

В новой версии программного комплекса разработан модуль анализа в виде трехмерного представления всех рассматриваемых объектов. Данный модуль использует библиотеку трехмерной графики OpenGL.

Трехмерная визуализация (3D схема) представляет собой объемный интерактивный «мир» с расположенными на рассматриваемом участке земли зданиями, молниеотводами и поверхностями зон защиты. Также отображаются оси координат, координатная сетка по трем осям (X, Y, Z) и панель инструментов «Панель: Объекты 3D», содержащая информацию об активном объекте и основные настройки отображения 3D схемы. В 3D схеме реализована возможность выбора объекта с помощью «мыши», вращение вокруг выбранного объекта, передвижение по схеме с помощью клавиатуры вдоль главных осей координат, изменение угла обзора, а также вращение относительно любой из трех осей координат. Для зданий, молниеотводов, поверхностей защит возможно изменение контура на «каркас» или «прозрачный», что позволяет видеть находящиеся внутри объекты. При расчете зоны защиты тросового молниеотвода для получения плавной отрисовки разработан алгоритм распределения точек таким образом, чтобы большее их количество приходилось на поверхность зон стержневой и меньшее на зону троса. Разработан специальный объект «линии уровня», который позволяет оценить высоту зоны защиты в интересующем месте. Объект «линии уровня» можно передвигать в любое выбранное пользователем место, либо выполнить привязку непосредственно к выбираемым объектам. Для более качественной отрисовки поверхностей зон защит введена опция изменения качества вида объектов, которая позволяет повысить плавность линий поверхности защиты. Разработанные программные средства позволяют в 3D схеме давать более наглядное представление при анализе степени защищенности различных объектов.

Также при построении 3D схемы предусмотрена возможность отрисовки текстур, что позволяет отразить особенности грунта, на котором расположен объект (грунт, асфальт, бетон и т.д.), а также материал строительных конструкций, из которого выполнены здания (кирпич, бетон, металлические конструкции и т.д.). Такое представление позволяет более детально проанализировать существующую систему молниезащиты (например, отсутствие необходимости защиты металлических зданий) или осуществить ее синтез (например, возможность прокладки дополнительных заземлителей и установки молниеотводов на здании).

На рис. 1 приведен пример построения зоны защиты трех зданий с помощью стержневого и тросового молниеотводов по методике МЭК [3] на высоте анализа 7 м. На экране красным цветом выделяется незащищенная часть здания. На рис. 2 приведена та же расчетная схема, но выполненная в трехмерном виде.

Основываясь на анализе расчетных программ, проведенном в [5], можно отметить, что графической визуализацией обладают только 5 (в том числе и представленная авторами) из 8 программ, из которых двухмерной и трехмерной визуализацией обладают две. Причем, вторая программа [6] использует стандартный модуль типа TChart, что в свою очередь накладывает некоторые ограничения как по функциональности, так и по использованию программы (необходимо приобретать отдельно лицензию на использование модуля TChart).

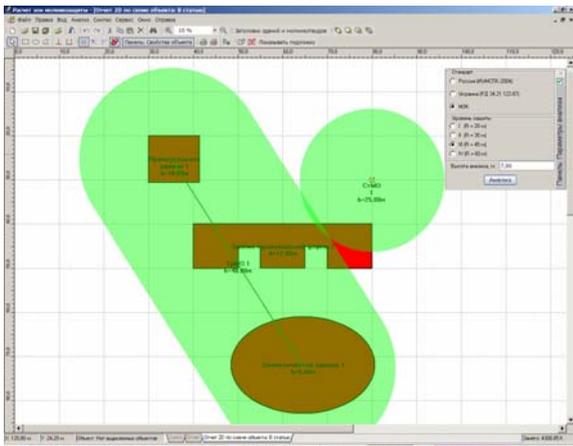


Рис. 1. Двухмерная картина зоны защиты группы зданий на высоте анализа 7 м.

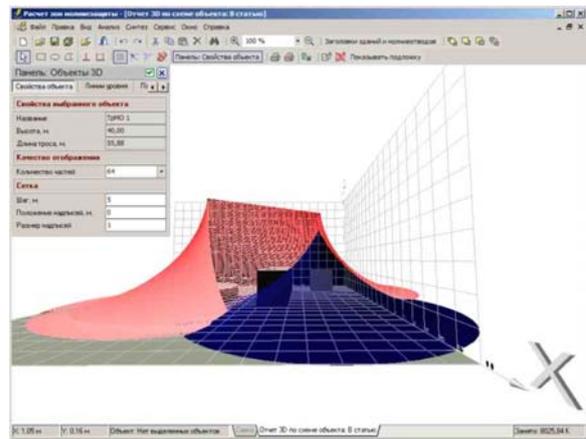


Рис. 2. Вид поверхности зоны защиты группы зданий.

Таким образом, необходимо отметить, что разработанный программный комплекс является целостным, взаимосвязанным и завершенным, с помощью которого можно решать следующие задачи:

- 1) ввод сколь угодно большого количества зданий, сооружений и молниеотводов произвольной формы в реальном масштабе с помощью графического интерфейса (определяется возможностями ЭВМ);
- 2) анализ зон защиты по методикам [1-3] для стержневых и равновысоких тросовых молниеотводов без учета их взаимовлияния;
- 3) синтез одиночного стержневого молниеотвода;
- 4) отображение зон защиты в двухмерном и трехмерном виде.

Разработанный программный комплекс планируется дополнить возможностью решения других задач, реализация которых будет выполнена в следующих версиях (например, учет различных крыш зданий, расчет сетчатых молниеотводов, синтез тросового и многократного стержневого молниеотвода, учет взаимовлияний молниеотводов и т.д.).

Выводы. 1. Приведено описание программного комплекса с выполненными доработками. 2. Проведено обоснование выбора представления результатов расчета и описана часть визуализации, а так же на примере показано удобство и информативность двухмерной и трехмерной картин анализа результатов расчета. 3. Определены возможности разработанного программного комплекса и намечены задачи для дальнейшего его усовершенствования.

Литература: 1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений (РД 34.21.122-87). М.: Энергоатомиздат, 1989. – 56 с. 2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 57 с. 3. IEC standard 62305-3. Ed. 1/CDV. Protection against lightning. Part 3: Physical damage to structures and life hazard. 4. Колиушко Д.Г., Обруч И.В., Петков А.А. Программный комплекс для расчетов молниезащиты зданий и сооружений // Физические и компьютерные технологии // Труды 11-й Международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2005. – С. 344-347. 5. Киприч С.В., Петков А.А., Колиушко Д.Г. К вопросу об автоматизации расчетов молниезащиты // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2006. – №37. – С. 66-73. 6. Борисов Р.К., Петров С.Р. Компьютерные программы для анализа и проектирования устройств зазем-

ления и молниезащиты // Первая Российская конференция по заземляющим устройствам: Сборник докладов / Под ред. Ю.В. Целебровского. – Новосибирск: Сибирская энергетическая академия, – 2002. – С. 41-43.

УДК 621.316.9

ОСОБЕННОСТИ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ДЛЯ РАСЧЕТОВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Киприч С.В., Колиушко Д.Г., канд. техн. наук, Петков А.А., канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

In work the review of existing materials for lightning protection calculation is presented, and also the primary problems which decision will allow to analyze lightning protection an any complex of objects any combination of lightning rods are determined.

Защита зданий и сооружений от прямого поражения молнией направлена на обеспечение нормального функционирования электротехнического оборудования и безопасной работы обслуживающего персонала, что обуславливает актуальность задач расчета и проектирования систем молниезащиты.

Анализ национальных и международных нормативных документов в области молниезащиты [1-3] позволяет выделить следующее:

1. Отсутствуют единые подходы к методике построения зон молниезащиты. В [1, 2] регламентируется построение конических зон защиты, а в [3] – рекомендуется метод защитного угла, метод обкатки сферой и метод сеток.
2. Невозможно сопоставить зоны защиты однотипных молниеотводов, рассчитанных с использованием различных методов.
3. Нет четких рекомендаций по применению тех или иных методик. Из-за этого на практике молниезащищенность обеспечивают по методикам различных нормативных документов, и выбирается вариант по принципу "наихудшего случая", что может приводить к существенному увеличению затрат на молниезащиту.
4. Предлагаемые методы в аспекте их реализации на основе описания в нормативных документах можно разделить на:
 - – графические построения на основе габаритных размеров зоны защиты молниеотводов простейших типов [1, 2];
 - – графическую или модельную реализацию (метод обкатки сферой заданного радиуса [3]).

Указанные особенности нормативной базы:

- а) ориентируют на графические методы построения зоны защиты, что вызывает сложности при большом количестве объектов и молниеотводов и влечет за собой вероятность возникновения ошибок при геометрических построениях и моделировании, а также интерпретации результатов из-за наличия человеческого фактора. Поэтому в этом случае целесообразно применять вычислительную технику. Однако ее использование невозможно без подробного математического описания, которым не обладает нормативная база, существующая в настоящее время;

б) практически не позволяют проводить синтез и оптимизацию системы молниезащиты.

В связи с причинами, приведенными выше, можно выделить ряд основных задач, которые необходимо решить для проектирования и анализа молниезащищенности произвольной конфигурации молниеотводов и зданий:

- 1) вывод и систематизация математического описания зон защиты для всех возможных форм и видов молниеприемников (стержневых и тросовых, одиночных и многократных), описанных в нормативной литературе;
- 2) разработка методик для оценки молниезащищенности различных зданий и сооружений комплексом различных молниеотводов (любые комбинации молниеотводов и типов зданий без ограничения их количества);
- 3) разработка методик определения оптимальной системы молниезащиты комплекса зданий и сооружений с использованием различных типов молниеотводов;
- 4) создание программных продуктов для расчетов (проектирования и анализа) системы молниезащиты.

В настоящее время в НИПКИ "Молния" ведутся активные работы в этих направлениях.

В [4, 5] подробно рассмотрен выбор оптимальных параметров одиночного стержневого и одиночного тросового молниеотводов, а также приведены аналитические соотношения для расчета зон защиты этими молниеотводами. Используя материалы [4, 5], можно определить высоту зоны защиты одиночными молниеотводами в конкретной точке при заданных координатах молниеотводов, а также определить месторасположение и высоту оптимального одиночного молниеотвода, защищающего систему объектов. Причем расчеты можно производить согласно любого из нормативных документов [1-3].

При определении оптимальных параметров молниеотвода (высоты и места размещения) предлагается (с экономической точки зрения) для снижения высоты располагать молниеотвод на крышах зданий и сооружений, допускающих такую установку.

Предложенная методика для расчетов зон защиты одиночных молниеотводов может служить основой при выводе и систематизации математического описания зон защиты для других форм и видов молниеприемников (двойных, многократных стержневых и тросовых молниеотводов), описанных в нормативных документах.

Вышеизложенные материалы были использованы в работе [6], в которой предложена методика определения защищенности системы объектов группой одиночных стержневых молниеотводов с использованием аппарата булевой алгебры и разработана ее программная реализация. В статье описана программа в среде электронных таблиц по определению минимальной высоты одиночного стержневого молниеотвода, защищающего систему объектов.

Для компьютерной реализации построения зон защиты, изложенного в рекомендациях МЭК [3] был предложен метод падающих оболочек [7]. Этот метод основан на методе обкатки сферой, однако он не зависит от формы оболочек, не имеет ограничений по количеству, форме и размеру объектов, а также

позволяет рассмотреть зоны защиты любых комбинаций молниеотводов с учетом их взаимовлияния.

Известен ряд программных продуктов [8] для расчетов молниезащиты, однако каждый из них не решает совокупности всех задач. У каждого из них есть свои достоинства, поэтому целесообразным является создание программного комплекса, позволяющего производить с помощью всех известных методик анализ молниезащищенности зданий и сооружений, а также синтез оптимальной системы молниезащиты произвольных объектов.

НИПКИ "Молния" разработал программный комплекс [9]. В настоящее время имеется возможность производить с его помощью расчеты молниезащиты зданий и сооружений произвольной формы одиночными молниеотводами. Программный комплекс обладает модульной структурой, что позволяет дополнять его новыми разрабатываемыми процедурами для расчетов молниезащиты других видов и типов молниеотводов.

В НИПКИ "Молния" также проводятся исследования по имитационному моделированию, которое направлено на обеспечение оценки вероятности поражения молнией каждой из составляющих системы сооружений и молниеотводов.

Выводы: 1. На основе результатов анализа нормативной базы выделены основные задачи, решение которых необходимо для проектирования и расчета системы молниезащиты комплекса зданий любой конфигурацией молниеотводов. 2. Приведен краткий анализ известных работ в области расчетов молниезащиты.

Литература: 1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений (РД 34.21.122-87). М.: Энергоатомиздат, 1989. – 56 с. 2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 57 с. 3. IEC standard 62305-3. Ed. I/CDV. Protection against lightning. Part 3: Physical damage to structures and life hazard. 4. Петков А.А., Колиушко Д.Г., Колиушко Г.М. Выбор оптимальных параметров одиночного стержневого молниеотвода // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2004. – №35. – С. 64-71. 5. Киприч С.В., Петков А.А., Колиушко Д.Г. Выбор оптимальных параметров одиночного тросового молниеотвода // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. – №49. – С. 36-45. 6. Киприч С.В., Петков А.А., Колиушко Д.Г. Определение защищенности системы объектов группой одиночных стержневых молниеотводов в среде электронных таблиц // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – №17. – С. 46-55. 7. Kravchenko V.I., Petkov A.A., Koliushko D.G., Koliushko G.M. Modeling Lightning Protection of a System of Objects Using the Method of Falling Shells // International Conference on Grounding and Earthing & International Conference on Lightning Physics and Effects (GROUND'2006 & 2nd LPE), November 26-29, 2006 - Maceió - Brazil, <http://www.groundconferences.com/> 8. Киприч С.В., Петков А.А., Колиушко Д.Г. К вопросу об автоматизации расчетов молниезащиты // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – №37. – С. 66-73. 9. Колиушко Д.Г., Обруч И.В., Петков А.А. Программный комплекс для расчетов молниезащиты зданий и сооружений // Физические и компьютерные технологии // Труды 11-й Международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2005. – С. 344-347.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПО ГЛУБИНЕ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ВНЕСЕНИИ

Муштай В.С. (г. Луганск, Украина)

In persisting article, is stated material of the correlation amount active air-dry mass cortex at the depth залегания main processing of ground and amount of the mineral fertilizers on this depth. For estimation quality local contributing the mineral fertilizers with distribution them on depth multifunction worker by organ, are organized field test. The Presented graphs correlations of the fertilizers and root system of the plants.

Используя данные ранее проведенных исследований, опубликованные в работах [1,2], были определены основные зависимости, конструктивные и технологические параметры и рациональные режимы работы распределяющего устройства для локального внесения минеральных удобрений с распределением их по глубине пропорционально развитию корневой системы сельскохозяйственных культур. Результаты исследований послужили основой для изготовления опытного образца рыхлителя РН-1,75 для обработки почвы и внесения минеральных удобрений. Для проверки качества работы этого рыхлителя были проведены полевые испытания. Оценку качества распределения удобрений проводили по соответствию насыщения минеральных удобрений и корневой системы растений [3].

Для проведения полевых опытов подготавливали поле, разделив его на одинаковые участки. В соответствии с севооборотом данного поля и высеваемой или высаживаемой культуры определяли соотношение корневой системы

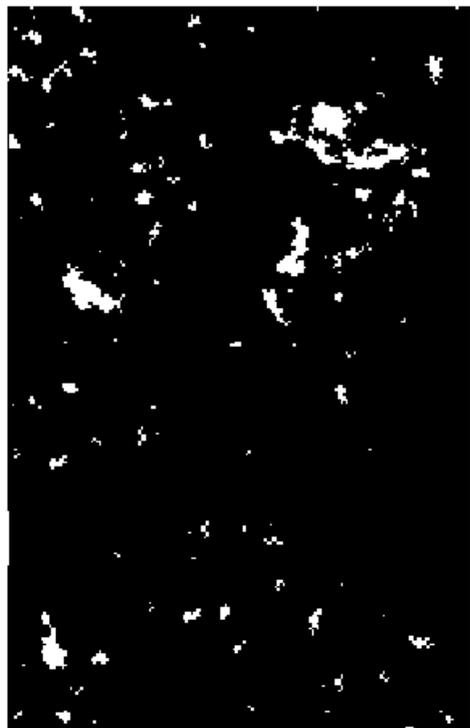


Рис. 1. Размещение удобрений по результатам рентгеновского фотоснимка.

по уровням залегания в почве. Предварительно подготовленные удобрения засыпали в бункер и производили настройку дозирующей системы на заданную норму внесения. В зависимости от развития корневой системы будущей культуры устанавливали необходимый угол наклона туконаправителя.

После проведения опыта с помощью пробоотборников брали почву и проводили рентгеновский фотоснимок (рис.1).

По соотношению участков расположения минеральных удобрений на фотоснимке определяли степень их расположения по глубине и сравнивали с соотношением расположения активной воздушно-сухой массой корней представленные в таблице 1.

Степень соотношения расположения активной воздушно-сухой массой корней и минеральных удобрений для основных типов корневой системы растений представлены на

рисунках 2 - 4.

Контрольные участки для сравнительной оценки урожайности обрабатывали культиватором КПГ-2,2 с соблюдением той же глубины обработки и такой же нормой внесения минеральных удобрений.

Таблица 1

Соотношение расположения активной воздушно-сухой массы корней в зависимости от типа корневой системы, %

Глубина расположения, м.	Тип корневой системы		
	Мочковатая	Смешанная	Стержневая
0-0,05	7,6	4,5	1,8
0,05-0,1	32,6	8	5,2
0,1-0,15	19,4	22,7	9,1
0,15-0,2	17	20,8	16,3
0,2-0,25	15,6	18,1	19,7
0,25-0,30	6,4	15,7	21,8
0,3-0,35	1,4	10,2	26,1

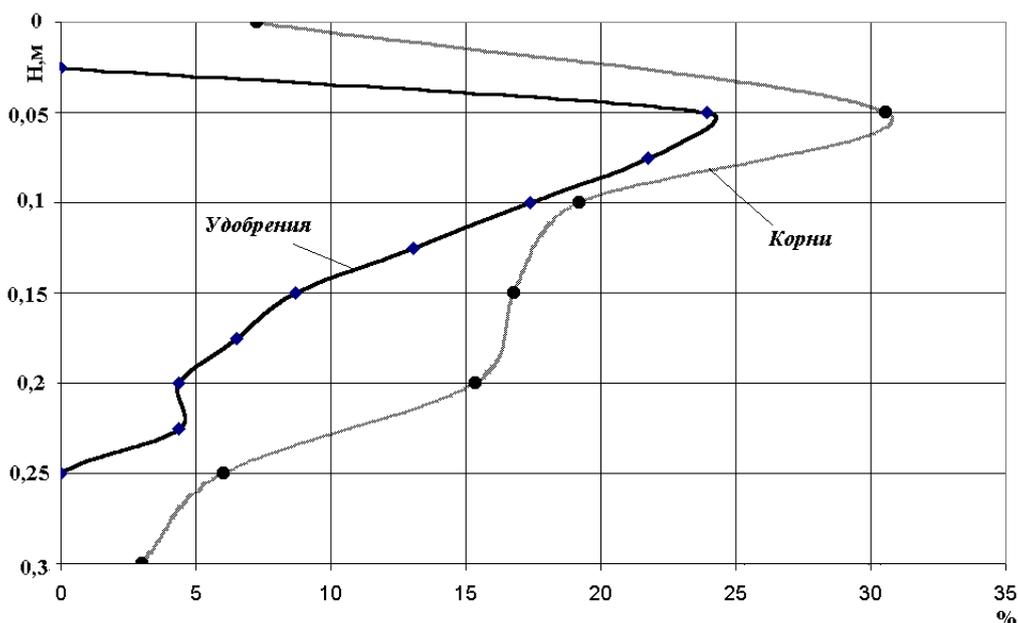


Рис. 2. График соотношения степени расположения активной воздушно-сухой массы мочковатой корневой системы и минеральных удобрений.

После подготовки поля проводили высеv или высаживание сельскохозяйственной культуры. Эффективность применения предлагаемого способа внесения минеральных удобрений оценивали по урожайности сельскохозяйственной культуры.

При сравнении полученных данных расположения корневой системы растений и распределения минеральных удобрений по глубине пропорционально насыщению их почвы воздушно-сухой массой погрешность или расхождение среднего показателя степени соответствия составила:

- для мочковатой корневой системы 3,7%;
- для среднеразвитой корневой системы 4,5%;
- для стержневой корневой системы 5,6%.

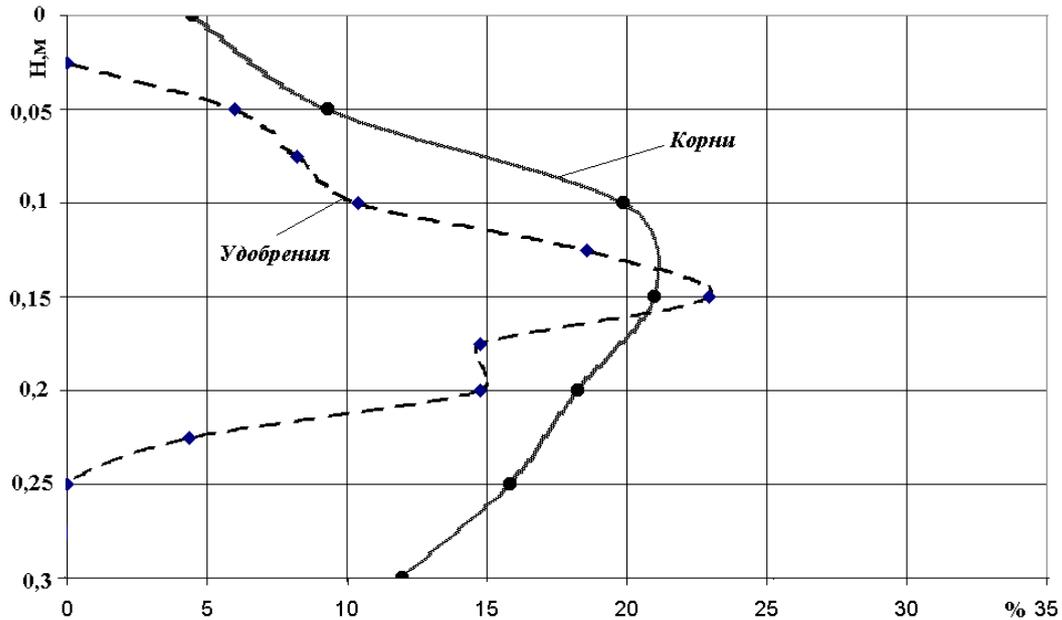


Рис. 3. График соотношения степени расположения активной воздушно-сухой массы среднеразвитой корневой системы и минеральных удобрений.

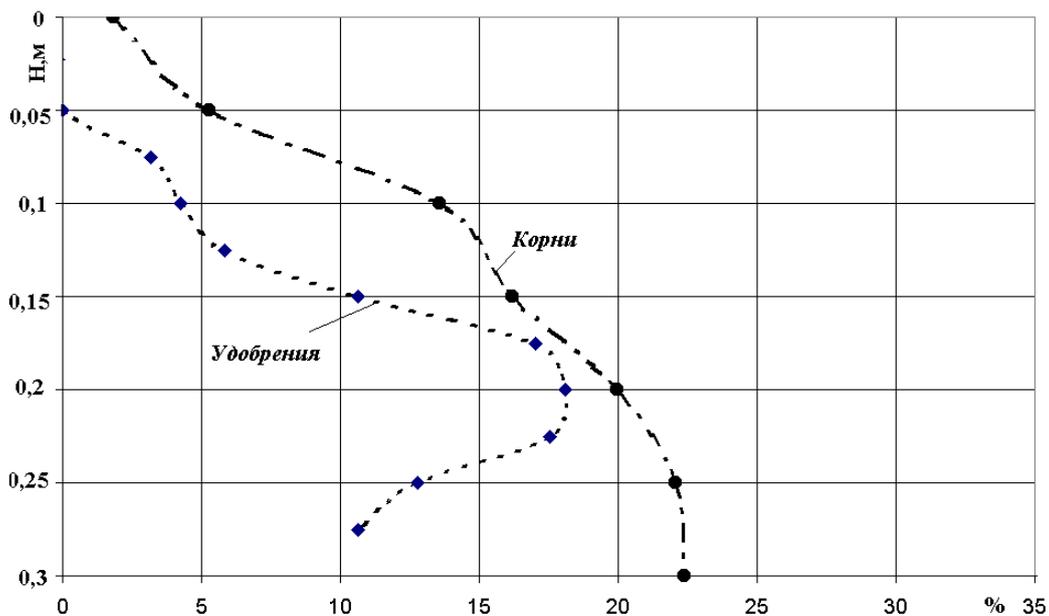


Рис. 4. График соотношения степени расположения активной воздушно-сухой массы стержневой корневой системы и минеральных удобрений.

Литература: 1. Муштай В.С. Определение качества внесения минеральных удобрений распределяюще - заделывающими устройствами. Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. - Луганськ: ЛДАУ, 2001.- №10(22).- 232с. (с137...140). 2. Муштай В.С. Обоснование агробиологических требований и технологических параметров распределяющих устройств при локальном внесении минеральных удобрений. Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. - Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2005.-№49(72).- 291с. (с175...179). 3. Кириченко В.Е., Муштай В.С. Оценка качества локального внесения минеральных удобрений с распределением их по глубине комбинированным рабочим органом. Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. - Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006.-№65(88).- 219с. (с101...105).

**ЦИВІЛІЗАЦІЯ БЕЗ НАФТИ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ
ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСТОСУВАННЯ В УКРАЇНІ ЕКОЛОГІЧНО
ЧИСТОГО БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА**

Семенов В.Г., канд. техн. наук (м. Харків, Україна)

As known, approximately 80% mechanical energy which is used by humanity in the activity, is produced by the engines of internal combustion, which are the basic users of oil-fuels of oil origin, in connection with the limited resources of oil and gas in Ukraine, large actuality is had by scientific researches and practical actions, which direction on the search, development and application of alternative fuels from renewable sources. All chain of production of biodiesel fuel is considered from a ripacovoi olive, naveden analysis of indexes physical and chemical to the biodiesel their influence on operating descriptions of work of diesel engines.

Україна належить до енергодефіцитних країн, тому що покриває свої потреби в паливно-енергетичних ресурсах лише на 53% (імпортує 75% необхідного обсягу природного газу і 85% сирової нафти і нафто продуктів) [1]. Залежність від імпорту нафти розглядається більшістю розвинутих країн як питання національної й енергетичної безпеки, а використання нафтопродуктів як джерел енергії становить значну екологічну небезпеку [2].

Таким чином, залежність від імпорту нафтопродуктів, ціни на які невблаганно підвищуються, а також значне погіршення екологічної ситуації стимулюють інтенсивний пошук альтернативних джерел енергії. Сьогодні для України настав час розвивати власні потужності для виробництва біодизельного палива з поновлюваних сировинних ресурсів [3, 4, 5].

БІОДИЗЕЛЬНЕ паливо (біодизель, МЕРО, РМЕ, RME, РАМЕ, ЕМАГ, біонафта й ін.) - це екологічно чистий вид біопалива, який одержують із жирів рослинного і тваринного походження і використовують для заміни нафтового дизельного палива (ДП). З хімічної точки зору біодизельне паливо є сумішшю метилових ефірів насичених і ненасичених жирних кислот. У процесі реакції переестерифікації олії жири вступають у реакцію з метиловим спиртом за наявності каталізатора (лугу), внаслідок чого утворюються складні ефіри, а також гліцеролова фаза. Матеріальний баланс реакції одержання біодизельного палива [6]: для одержання 1000 кг (1136 л) біодизельного палива необхідно 50 кВт теплової енергії і 25 кВт електроенергії, 1040 кг (1143 л) ріпакової олії, 144 кг (182 л) 99,8% метанолу, 19 кг гідроксиду калію (88% КОН). Після очищення біодизельне паливо може використовуватися в будь-яких дизельних двигунах (вихорокамерних і передкамерних, а також із безпосереднім упорскуванням) як самостійно (в адаптованих двигунах), так і в суміші з дизельним паливом, без змін у конструкції двигуна.

Розгляньмо складові сировинної бази для виробництва біодизельного палива в Україні, до яких можна віднести олії, одержувані з насіння олієвмісних рослин, «мультисировини» м'ясокомбінатів (жири тварин), фритюрний жир та ін.

Беручи до уваги досвід європейських держав, виробництво біодизельного палива в Україні можна організувати на таких типах установок і заводів [7]:

дрібнотоннажні установки 300-3000 т/рік (для фермерів), регіональні (обласні) заводи 10000-30000 т/рік, промислові заводи державного значення 50000-100000 т/рік.

Відповідно до «Програми розвитку виробництва біодизельного палива на період до 2010 року» Україна має виробляти і споживати в 2010 році понад 520 тис. тонн біодизельного палива, що потребуватиме забезпечення валового збору насіння ріпаку близько 1,7 - 1.8 млн тонн. При врожайності ріпаку в середньому 20 ц/га необхідно засіяти 0.85-0,9 млн га ріллі, що становить близько 3% від загальної площі (33,8 млн га) орних земель України. Заміна частини дизельного палива (1870 тис. т/рік), що зараз споживає АПК України, на біодизельне дозволить забезпечити сільськогосподарську техніку бінарним біопаливом раціонального складу: 30% біодизельного +70% ДП [8].

Вимоги до вихідного насіння ріпаку і ріпакової олії, дотримання яких дозволить одержати біодизельне паливо, що відповідає європейському стандарту EN 14214:2003. такі: очищене насіння рапсу - маслянистість 40-44%; вологість близько 6-7%; вміст ffa (вільних жирних кислот) < 3 % (6 мг КОН/г); температура насіння 20-30⁰С; забруднення близько 0,5%. Олія ріпакова холодного пресування, фільтрована: йодне число 110-115; вологість максимум 0,05%; вміст ffa максимум 0,65% (1,3 мг КОН/г); пероксидне число 1-2 (max 3); забруднення немає; число омилення 187-191; фосфатиди як фосфор максимум 20 мг/кг. Зразок ріпакової олії, що надходить в установку для одержання біодизельного палива (жирнокислотний склад): С14:0 - 0,1%; С16:0 - 5,0%; С16:1 - 0,7%; С17:0 - 0,1%; С17: 1 - 0,2%; С18:0 - 1,8%; С18:1 - 57,9%; С18:2 - 21,0%; С18:3 - 10,3%; С20:0 - 0,6%; С20:1 - 1,4%; С22:0 - 0,3%; С22:1 - 0,6% [6].

У яких областях України кращі умови для вирощування ріпаку[1]: озимого — Львівська, Івано-Франківська, Тернопільська¹, Хмельницька, Вінницька, Київська, Рівненська і Волинська області. Ярого — Кіровоградська, Київська, Черкаська, Одеська, Херсонська, Полтавська, Чернігівська, Сумська, Харківська області й Крим.

Про вартість біодизельного палива. У країнах Євросоюзу виробництво біодизельного палива має істотну державну підтримку. У Німеччині біопаливо не обкладається нафтовим й екологічним податками, існує система дотування вирощування ріпаку, у Франції податкова знижка становить 0,35 євро на літр біодизельного палива, в Іспанії автомобілістам, що використовують біопаливо, дозволено безкоштовне внутріміське паркування. В цілому у Європі 1 літр біодизельного палива на 0,10-0,15 євро дешевше, ніж дизельного. В Україні за різними даними собівартість 1 літра біодизельного палива становить від 2,2 до 3,6 грн. Вартість його залежить від ряду чинників [1]: врожайності ріпаку, ефективності використання соломи і шроту, вартості хімічних інгредієнтів (метанолу і луку), глибини переробки гліцеринової води, якості технологічного процесу одержання біодизелю.

При відповідному державному регулюванні необхідність виробництва біодизельного палива в Україні очевидна. Розгляньмо його фізико-хімічні показники і еколого-експлуатаційні характеристики дизелів при їхній роботі на біо-

паливі. У ряді зарубіжних публікацій [9] міститься інформація про те, що при проведенні порівняльних випробувань дизелів на дизельному і біодизельному паливі не відзначено жодних істотних відмінностей у поведженні двигуна при зміні виду палива, що можна пояснити високою якістю випробовуваного біопалива, яка забезпечується жорсткими вимогами до його хімотологічних показників, закладених у національних стандартах на біодизельне паливо. Тому, як відзначалося вище, для успішного просування біодизелю в АПК України необхідно розробити і затвердити державні стандарти на біодизель і його бінарні суміші з дизельним паливом. Перші кроки в цьому напрямку зроблені в НТУ «ХП» (м. Харків) [10].

У таблиці наведені європейський стандарт 14214:2003 на біодизель і ДСТУ 3868-99 на дизельне паливо, з якого виходить, що 12 показників EN 14214:2003 можна (на першому, етапі розроблення державної нормативної документації на біодизельне паливо) визначати методами випробувань, наведеними в ДСТУ 3868-99. Для визначення інших показників використовуються стандарти EN і ISO, апаратне забезпечення і методологічний зміст яких необхідно адаптувати до приладів і методик, використовуваних у науково-дослідних установах України.

Розглянемо вплив деяких фізико-хімічних показників біодизельного палива, обумовлених стандартом EN 14214:2003, на параметри дизеля і його еколого-експлуатаційні характеристики. Підвищення, порівняно з дизельним паливом, густини на 10% і кінематичної в'язкості в 1,5 рази сприяє певному збільшенню (на 14%) далекобійності паливного факела і діаметра краплі розпорошеного палива, що може спричинити збільшене потрапляння біодизельного палива на стінки камери згоряння і гільзи циліндра. Менші значення коефіцієнта стисливості біодизельного палива приводять до збільшення справжнього кута випередження упорскування палива і максимального тиску у форсунці. Високе цетанове число біодизельного палива 51 і більше сприяє скороченню періоду затримки запалення і менш «жорсткій» роботі дизеля. Підвищена, майже в 3 рази, температура спалаху біодизельного палива в закритому тиглі 120(С і більше забезпечує високу пожежонебезпечність. Кисень (-10%) у молекулі метилового ефіру діє за такими напрямками. Наявність окислювача безпосередньо у складі біодизельного палива дозволяє інтенсифікувати процес згоряння і забезпечити більш високу температуру в циліндрі дизеля, що, з одного боку, сприяє підвищенню індикаторного й ефективного ККД двигуна, а з іншого - призводить до певного збільшення оксиду азоту NO_x у відпрацьованих газах. Менша частка вуглецю (~77%) у складі біодизельного палива спричиняє зменшенню його нижчої теплоти згоряння на 11-13% і збільшенню часової і питомої ефективної витрати палива. Для збереження номінальних параметрів двигунадіри переведенні на біодизельне паливо потрібне перерегулювання паливної апаратури (упор рейки паливної помпи високого тиску переустановлюють на збільшення циклової подачі палива). Застосування біодизельного палива дозволяє забезпечити зниження викидів шкідливих речовин із відпрацьованими газами. Для дизельних двигунів із вихровою камерою (передкамерою) і безпосереднім упорскуванням зниження відповідно становить: CO - 12(10) %, CnHm - 35(10) %, PM

Фізико-хімічні показники біодизельного і дизельного палив

Показники	Європейський стандарт на біодизель EN14214:2003			Стандарт України на паливо дизельне ДСТУ 3868-99		
	Розмірність	межі		Розмірність	Значення для марок	
		min	max		Л	З
Вміст ефірів	% (м/м)	96,5			-	-
Густина при температурі 15°C	кг/м ³	860	900	при температурі 20°C, кг/м ³	860	840
Кінематична в'язкість при температурі 40°C	мм ² /с	3,50	5,0	при температурі 20°C, мм ² /с	3,0-6,0	1,8-6,0
Температура спалаху	°C	120	-	°C	40-62	35-40
Вміст сірки	мг/кг	-	10,0	%	0,05-0,20	0,05-0,20
Коксівність 10% залишку	% (м/м)	-	0,30	%	0,30	0,30
Цетанове число		51,0			45	45
Зольність	% (м/м)	-	0,02	%	0,01	0,01
Вміст води	мг/кг	-	500		відсутність	відсутність
Вміст механічних домішок	мг/кг	-	24		відсутність	відсутність
Випробування на мідній пластинці (3 години при 50°C)	оцінка	клас 1			витримує	витримує
Окисна стабільність, 110°C	годин	6,0	-		-	-
Кислотне число	мг КОН/г		0,50	мг КОН на 100 см ³ палива, не більше	5	5
Йодне число	г J ₂ /100г		120	г йоду на 100 г палива, не більше	6	6
Метиллові ефіри ліноленової кислоти	% (м/м)		12,0		-	-
Поліненасичені (>=4 подвійні зв'язки) метиллові ефіри	% (м/м)		1	Показники, розмірність	-	-
Вміст метанолу	% (м/м)		0,20	Фракційний склад:		
Вміст моногліцеридів	% (м/м)		0,80	50 % переганяється при температурі, °C, не вище	280	280
Вміст дігліцеридів	% (м/м)		0,20	96 % переганяється при температурі, °C, не вище	370	370
Вміст тригліцеридів	% (м/м)		0,20	Температура застигання, °C, не вище	-10	-25
Вільний гліцерин	% (м/м)		0,02	Коефіцієнт фільтрованості, не більше	3	3
Спільний гліцерин	% (м/м)		0,25	Гранична температура фільтрованості, °C, не вище	-5	-15
1-а група металів (Na+K)	мг/кг		5,0	Масова частина меркаптанової сірки, %, не більше	0,01	0,01
2-а група металів (Ca+Mg)	мг/кг		5,0			
Вміст фосфору	мг/кг		10,0	Вміст сірководню	відсутність	відсутність
				Концентрація фактичних смол, мг на 100 см ³ палива	40	30

(тверді частинки) - 36 (24)%, сажа - 50 (52)% [11]. Певне збільшення викидів NOx можна компенсувати рядом заходів: зменшенням справжнього кута випередження упорскування палива, рециркуляцією відпрацьованих газів, подачею води на впуску.

При експлуатації дизельних двигунів на біодизельному паливі необхідно звернути увагу на таке. Перед початком експлуатації двигуна на біодизельному паливі необхідно промити фільтри грубого і тонкого очищення палива. Через підвищену агресивність такого палива потрібна зміна паливних шлангів і прокладок на виготовлені зі стійкого до біопалива матеріалу, а також ретельне видалення біодизельного палива, що потрапило на лакофарбові покриття. У деяких випадках потрібна більш часта заміна моторної оливи через можливе розрідження біодизельним паливом, що до неї потрапляє. Можливе деяке збільшення рівня шуму і димності при холодному пуску, при знижених температурах потрібне застосування депресорних присадок. Необхідно здійснювати контроль вмісту води у біодизельному паливі (через його більшу гігроскопічність), щоб уникнути небезпеки розвитку мікроорганізмів, утворення перекисів і корозійного впливу води, у тому числі й на елементи паливної апаратури.

Таким чином, виробництво і застосування біодизельного палива в Україні дозволить у значній мірі вирішити еколого-енергетичні проблеми економіки нашої держави.

Література: 1. Кобец Н. Перспективи производства й переработки семян рапса в Украине. Сборник докладов IV Международной конференции «Масложировая промышленность - 2005», 15-16 ноября 2005 г., г.Киев. - с. 46 - 52. 2. Ковальський В., Голодніков О., Григорак М., Косарев О., Кузьменко В. - Про підвищення рівня еколого-енергетичної безпеки України. // Економіка України. - 2000. - № 10. - с. 34 - 41. 3. Винтоняк В. Українська рапсодія // Агрперспектива. - 2000. - № 1. - с. 10 - 14. 4. Graboski M.S., and Mc Cormick R/L/ Cjmbustijn of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engine.Prog. Energi Combust. Ski. Vol. 24. pp125-164, 1998г. 5. Фукс И.Г., Евдокимов А.Ю., Джамалов А.А., Лукса А. Экологические аспекты использования топлив й смазочных материалов растительного й животного происхождения // Химия й технология топлив й масел. - 1992. № 6. - с. 36 - 40. 6. Инструкция по получению биодизеля. - Фирма Симбрия СКЕТ, Германия / Масложировая промышленность. - Научно-технический производственный журнал. - М: Пищевая промышленность, № 5, 2005. - с. 17-18. 7. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло, О. Шептицький, А. Рожковський, З. Пасторек, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В.В. Криворучко - К.: ЦТІ „Енергетика і електрофікація”, 2004. - 256 с. 8. Семенов В.Г., Марченко А.П., Семенова Д.У., Ліньков О.Ю. Дослідження фізико-хімічних показників альтернативного біопалива на основі ріпакової олії. - Машинобудування: Вісник Харківського державного політехнічного університету. Збірка наук, праць. Випуск 101. - Харків: ХДПУ, 2000.-с. 159-163. 9. Семенов В.Г. Анализ показателей работы дизелей на нефтяных й альтернативных топливах растительного происхождения. - Вісник Національного технічного університету „ХПІ”: Збірка наукових праць. Харків: НТУ „ХПІ”. - 2002. № 3. - с. 177 - 197. 10. Семенов В.Г. Гармонізація національного стандарту на біодизельне паливо до європейського та американського стандартів. - Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції „Проблеми хіммотології”. 15-19 травня 2006 р. - К.: Книжкове вид-во НАУ, 2006. - с. 119-121. 11. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: Монографія / О. Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлів - Івано-Франківськ: ІМЕ. - 2001. - 432 с.

УДК 539.61

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ МЕДНОЙ КАТАНКИ

Колесникова К.В., канд. техн. наук, Коць Н.А.,

Прокопович И.В., канд. техн. наук, Прокопович О.И. (г. Одесса, Украина)

Management of technological parameters of continuous moulding of copper preparation.

Установка для литья медной катанки состоит из плавильной индукционной печи соединенной переливным желобом с раздаточной печью. В раздаточной печи постоянно поддерживается заданный уровень расплава и температура. Расплав изолирован от атмосферы защитным слоем покрывного флюса графита. В ванну печи погружены блоки “кристаллизатор-охладитель”, которые составляют две параллельные технологические оси литейной машины. Каждая технологическая ось позволяет получить по 8 стренг катанки.

Классность качества катанки, регламентируется ТУ и оценивается по ее физико-механическим свойствам: удельным объемным электрическим сопротивлением, временным сопротивлением разрыву, абсолютным и относительным удлинением после разрыва, количеством выдержанных скручиваний с последующим раскручиванием и скручиваний в одну сторону без разрушения.

В процессе литья катанки варьировали технологические параметры температуру охлаждающей воды - $T_{охл}=24...28$ °С и скорость литья на осях - $V_x=3,2...3,4$ и $V_y=3,2...3,4$ м/мин. Полученную катанку испытывали на растяжение согласно ГОСТ 1497-87 с определением относительного удлинения после разрыва, т.к. от этого показателя зависит количество обрывов при последующем волочении. Результаты испытаний катанки, производимой в разных стренгах, показали, что относительное удлинение катанки получаемой в различных стренгах различно.

Выполненные экспериментальные исследования показали, что эффективное управление процессом возможно при управлении тепловым режимом охлаждения для каждой стренги индивидуально. Также выявили, что о качестве катанки можно судить по косвенному параметру - температуре поверхности стренг на выходе из литейной машины, которая изменяется в интервале 50...100 °С. Экспериментами установлено, что зона оптимальных температур поверхности стренг для получения катанки 1 и 2 класса качества отвечает интервалу 55...75 °С.

Температуру поверхности стренг на выходе из литейной машины предлагается контролировать при помощи роликовых термопар ХК или ИК-пирометром, который имеет выходной сигнал, соответствующий характеристике стандартной термопары J-типа (железо-константан) в диапазоне температур – 18...1200 °С.

Температуру поверхности катанки находящейся в охладителях снимают при помощи платино-платинородиевых (Pt-Pt/Ro) термопар, которые зачеканены в стенки охладителей. Температуру расплава постоянно измеряют такой же термопарой. Температуру охлаждающей жидкости на входе измеряют при помощи биметаллических термометров. Расход воды контролируются при помощи по-

плавковых расходомеров. Скорость литья по технологическим осям изменяется в зависимости от параметров процесса путем регулировки вращения серводвигателей.

Снимаемые данные по температуре передаются на считывающее устройство МикРА 600 с которого выводятся на дисплей для визуального контроля температуры на всех стренгах и на управляющий модуль (контроллер), который после обработки данных дает команды электромагнитным задвижкам каждого блока “кристаллизатор-охладитель” в системе охлаждения об увеличении или уменьшении расхода охлаждающей жидкости и серво-приводам каждой технологической оси об изменении скорости литья.

Предлагаемая система управления входными параметрами для каждой стренги, позволит поднять качество катанки и тем самым увеличить выход годового литья и повысит эффективность работы литейной машины.

УДК 539.61

АДГЕЗИОННАЯ И КОГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ МНОГОСЛОЙНЫХ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

**Вакуленко К.В., Казак И.Б., канд. техн. наук, Кунченко Ю.В.,
Мацевитый В.М., докт. техн. наук (г. Харьков, Украина)**

The adhesive and cohesive strength of multilayer vacuum-plasma coatings with three different compositions was studied. The technique used was that of analysing indentations obtained with the Rockwell tester.

К технологическим процессам, в которых определяющую роль играет адгезия, можно отнести обработку материалов резанием и давлением, пайку, производство биметаллических материалов, нанесение защитных покрытий и многие другие [1-3]. Так, при нанесении защитных покрытий, хорошая адгезионная и когезионная прочность материала покрытия является обязательным условием его эффективности, поскольку может обеспечить целостность покрытия и, следовательно, нормальную работу изделий в условиях влияния различных негативных факторов рабочей среды. Это особенно касается многослойных покрытий, в которых хорошее сцепление между отдельными слоями служит залогом работоспособности всего покрытия.

Для оценки адгезии в настоящее время существуют различные прямые и косвенные методы. В работе [4] дана сравнительная характеристика существующих методов определения адгезионной прочности покрытий. В работе [5] описан метод оценки качества адгезии покрытия к подложке, основанный на внедрении в поверхность образца с покрытием алмазного конусного индентора на твердомере Роквелла и определении площади скола покрытия вокруг отпечатка. В настоящей работе этот метод дополнен микроскопическим исследованием состояния покрытия как в окрестностях отпечатка, так и на его поверхности.

В данной работе исследовались многослойные покрытия, нанесенные вакуумно-плазменным методом на специальные образцы из термообработанной стали 20Х13. Покрытия имели различный состав и «конструкцию», их характеристики приведены в таблице.

Краткая характеристика покрытий

№ покрытия	Толщина покрытия, мкм	Характеристика многослойности ¹	Микротвердость, МПа ²
1	8–10	$\frac{(\text{Cr}+\text{CrN})\times 10}{(0,2+1,0)\times 10}$	$\frac{12870}{21430}$
2	10–12	$\frac{(\alpha\text{-Ti}+\text{TiN})\times 10}{(0,2+1,0)\times 10}$	$\frac{11140}{14260}$
3	4–5	$\frac{\{\text{Cr}+(\text{TiCr})\text{N}\}\times 10}{(0,1+0,5)\times 10}$	$\frac{5020}{12870}$

На поверхностях исследуемых образцов с покрытиями на твердомере Роквелла при нагрузке 150 кг были сделаны уколы алмазным конусным индентором. Затем полученные отпечатки и их окрестности были тщательно рассмотрены при разных увеличениях на микроскопе МБС-9, на приборе ПМТ-3, а также на сканирующем электронном микроскопе JSM-840.

Анализ приведенных на рисунках изображений конусной поверхности отпечатка и его окрестностей (рис. 1а, 1б) на покрытии №1 позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, наблюдаются участки разрушения покрытия, сосредоточенные, в основном, на периферии отпечатка (в области перехода от конусной поверхности углубления к зоне плоского шлифа). При этом площадь разрушений больше на конусной поверхности углубления.

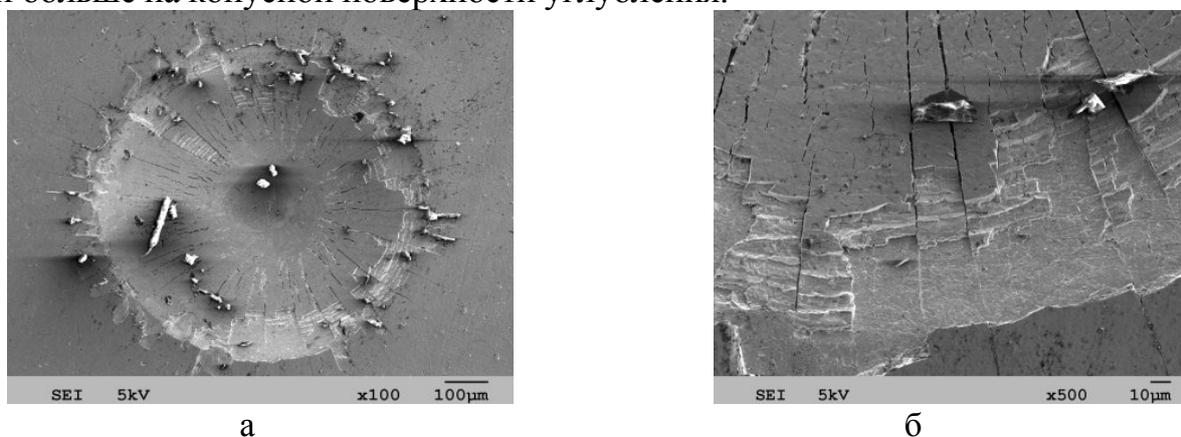


Рис. 1. Изображение отпечатка на поверхности образца с покрытием №1.

Во-вторых, на конусной поверхности наблюдаются радиальные трещины, которые расходятся от центра отпечатка по радиусам в разные стороны равномерно, причем в некоторых местах эти трещины имеют продолжение в покрытии уже за пределами отпечатка, то есть на горизонтальном участке поверхности. Эти трещины, в основном, прямолинейные, хотя в некоторых случаях наблюдается небольшая извилистость. Кроме трещин, наблюдаются сколы покрытия, как правило, ограниченные двумя большими соседними трещинами. Покрытие скалывается чешуйками, причем граница скалывания хотя и неров-

¹ В числителе показана «конструкция» многослойного покрытия, а в знаменателе – задаваемая толщина отдельных слоев в мкм.

² В числителе – минимальные значения, а в знаменателе – максимальные значения микротвердости.

ная, но ориентирована приблизительно перпендикулярно трещинам, которые ограничивают сектор. Степень разрушения уменьшается от края отпечатка к его центру. На поверхности скола в некоторых секторах просматривается ребристость. Можно предположить, что поверхность скола пересекает под малым углом покрытие и, как на косом шлифе, проявляет картину многослойности. Полный скол покрытия, очевидно, происходит только в отдельных участках периферийной области отпечатка. В-третьих, больших полных сколов покрытия в окрестностях отпечатка не наблюдается, что свидетельствует об удовлетворительной адгезии покрытия.

На рис.2 показаны изображения отпечатка и его окрестностей, а также конусной поверхности на образце с покрытием №2.

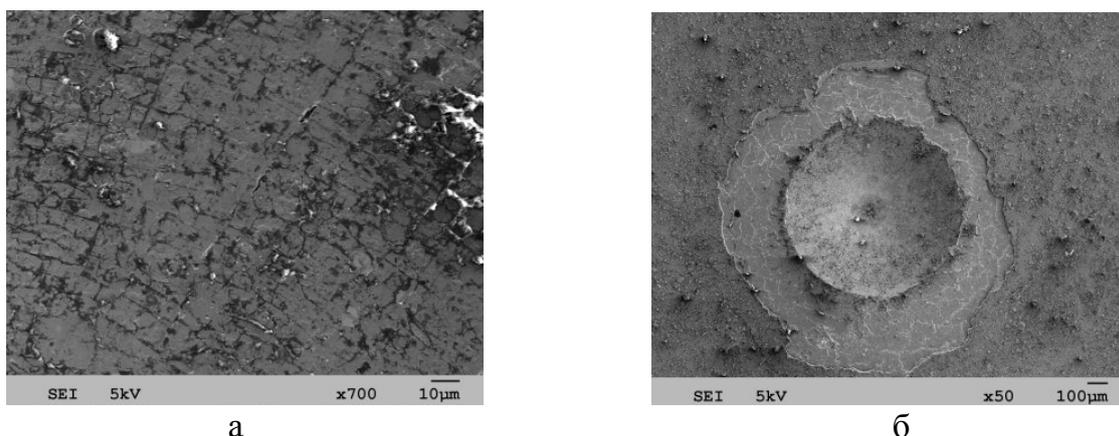


Рис. 2. Изображение отпечатка и его конусной поверхности на образце с покрытием №2.

Четко виден скол покрытия вокруг отпечатка, однако он не достигает подложки, что установлено путем измерения микротвердости на поверхности скола, а также оптическим способом измерения высоты ступеньки скола. Кроме того, на поверхности скола наблюдаются светлые границы (см. рис.2а), что представляют собой границы скола отдельных слоев покрытия. Вокруг отпечатка на конусной поверхности при большом увеличении видна сетка микротрещин (рис. 2б), которые в сравнении с трещинами на покрытии №1 выглядят более узкими и короткими. Кроме того, они имеют не только радиальную ориентацию, но и концентрическую относительно окружности отпечатка. При этом не наблюдаются сколы покрытия внутри отпечатка.

Обращает на себя внимание тот факт, что послойное скалывание покрытия приводит к своеобразному очищению поверхности от капельной фазы. На месте капель, которые сорвались, возникают небольшие по размерам углубления в поверхности покрытия. В целом, оценивая покрытие №2, можно сказать, что оно является менее хрупким в сравнении с покрытием №1, имеет удовлетворительную адгезию к подложке, но низкую прочность сцепления между отдельными слоями, что, возможно, связано с низкой когезионной прочностью титановых прослоек.

На рис.3а представлено изображение отпечатка и его границ на образце с покрытием №3 при малом увеличении. Видно, что несмотря на отсутствие

больших сколов, на значительной площади вокруг отпечатка имеет место растрескивание покрытия, причем это растрескивание имеет ориентированный характер (оно происходит приблизительно концентрично окружности отпечатка) и в значительной мере приглушается за счет образования субмикроскопических, возможно, послойных разрушений в некоторой области, которая прилегает к трещине, что очень хорошо заметно при большом увеличении. Эти элементы разрушения выглядят светлыми паутинообразными областями малой ширины (приблизительно 10 мкм).

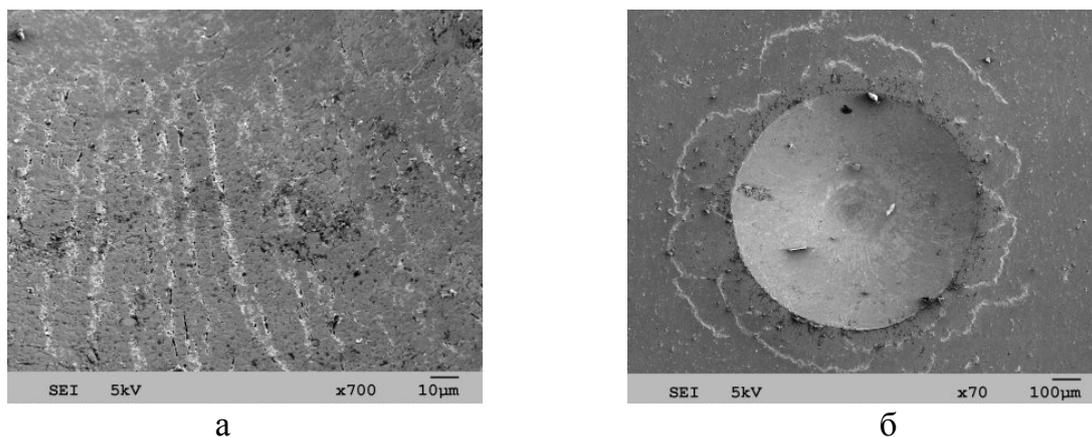


Рис. 3. Изображение отпечатка и конусной поверхности на образце с покрытием №3.

Подобные элементы разрушения наблюдаются также внутри отпечатка на конусной поверхности (рис.3б). В этом случае они имеют радиальную ориентацию. В окрестностях отпечатка непосредственно возле его края в некоторых местах наблюдаются сколы покрытия небольшой длины (до 30 мкм), которые свидетельствуют о послойном разрушении покрытия и выглядят также, как скол внутри отпечатка на покрытии №1 (см. рис.1).

Судя по интенсивности и характеру разрушений, покрытие №3 занимает промежуточное положение между покрытием №1 и покрытием №2. То есть, оно менее хрупкое, чем покрытие №1, но более хрупкое, чем покрытие №2. Что касается адгезии, то она является удовлетворительной для всех рассмотренных покрытий.

Таким образом, детальное исследование отпечатков, полученных на образцах с многослойными вакуумно-плазменными покрытиями, дало возможность получить довольно разнообразную информацию относительно адгезионной и когезионной прочности этих покрытий и их способности к пластическому деформированию в условиях сложного напряженного состояния.

Литература: 1. Мацевитый В.М. Покрытия для режущих инструментов. – Х.: Вища школа, 1987. – 128 с. 2. Семенов А.П. Схватывание металлов. – М.: Машгиз, 1958. – 280 с. 3. Найдич Ю.В. Контактные явления в металлических расплавах. – К.: Наук. думка, 1972. – 196 с. 4. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. – М.: Химия, 1977. – 352 с. 5. Мацевитый В.М. Способ контроля качества адгезии износостойких покрытий / Мацевитый В.М., Романова Л.М., Береснев В.М. // Тезисы докладов I научно-технической конференции «Применение прогрессивных инструментальных материалов и методов повышения стойкости режущих инструментов». – Краснодар. – 1983. – С.93-94.

УДК 621.91.01

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДВУХСЛОЙНЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ С РАБОЧИМ СЛОЕМ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА

Можарова Н.М., канд.техн.наук (г. Харьков, Украина)

The research of chemical composition and mechanical properties and others of working rolling rolls for working layer two layer rolling rolls. The receive high chromium cast irons had high mechanical properties. In this articles construction of mathematics models by exploiter firmness for two layers rolling rolls.

Введение. Производство прокатных валков развивается по двум направлениям: с помощью применения специального способа литья – центробежного, которое позволяет использовать износостойкие, но не технологичные в литье и эксплуатации материалы; использование ЭШЛ (электрошлакового литья).

Для производства прокатных валков широкополосных станов наиболее эффективным является применение центробежного способа литья с рабочим слоем из высокохромистого чугуна.

Анализ последних достижений и исследований. Высокохромистые чугуны, в качестве материала для двухслойных прокатных валков, используются сравнительно недавно. Анализ литературных источников показал [1], что упругая предельная деформация сжатия в рабочем слое бочки валка из высокохромистого чугуна при температуре 500⁰С значительно выше, чем в рабочем слое бочки аналогичного хромоникелевого валка. Двухслойные валки с рабочим слоем из высокохромистого чугуна в результате формирования дисперсной структуры отличаются меньшей склонностью к выкрашиванию [2]. Такие валки хорошо противостоят налипанию окалины, и образованию полосчатости. Все преимущества валков из высокохромистого чугуна обусловлены формированием эвтектики на основе специальных карбидов хрома (Cr,Fe)₇C₃ и (Cr,Fe)₂₃C₆.

Целью работы является выявления закономерностей получения необходимых механических свойств и построения математических моделей для прогнозирования эксплуатационной стойкости центробежнолитых прокатных валков с рабочим слоем из высокохромистого чугуна.

Основная часть. В данной работе исследовали хромистые чугуны следующего химического состава (масс.%): С 2,4 – 3,08; Si 0,42 – 0,95; Mn 0,57 – 1,3; Cr 3,0 – 26,8; Ni 0,15 – 1,0; Cu 1,34 – 5,6; В 0,05 – 0,37; V 0,029 – 0,44; Мо 0,31 – 9,95 Ti 0,05 – 0,19; Mg 0,03 – 0,04; Al 0,03 – 0,08; Со 0,03. Исследования проводили как на опытных образцах, так и на прокатных валках. Размеры исследуемых прокатных валков следующие: 850 x 2000мм; 820 x 2300 мм; 820 x 2000мм и 900 x 2000мм.

Химический состав и механические свойства опытных образцов из хромистых чугунов после отжига при 450 - 550⁰С приведены в табл. 1. Как видно из таблицы наилучшим комплексом свойств обладают чугуны, содержащие (масс.%): С 2,6 – 2,8; Cr 12 – 20; Ni 1,0. Эти чугуны имели твердость 65 – 74 HSD, прочность при изгибе 920 – 1020 МПа, при сжатии 771 – 2400 МПа. Были построены математические модели. Большая часть значений удовлетворяет логарифмически – нормальному закону распределения. В функциональном масштабе такого распределения происходит выравнивание интегральных функций.

Таблица 1

Химический состав и механические свойства хромистых чугунов после отжига

№ п/п	Химический состав, %										Твердость, HSD	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	B	V			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2,8	0,85	1,03	0,037	0,034	5,84	0,89	2,41	-	-	62	880	1790
2	2,8	0,81	0,98	0,038	0,039	3,02	0,84	2,80	-	-	60	820	1590
3	2,67	0,8	0,97	0,037	0,037	3,0	0,85	3,38	-	-	59	903	1600
4	2,65	0,81	0,96	0,038	0,039	2,92	0,84	3,75	-	-	58	856	1601
5	2,86	0,9	0,99	0,037	0,038	5,74	0,88	4,34	-	-	64	820	1800
6	2,77	0,93	0,94	0,036	0,029	2,90	0,87	5,31	-	-	58	780	1650
7	2,77	0,85	0,98	0,037	0,034	5,70	0,88	4,69	-	-	60	900	1890
8	2,82	0,75	0,87	0,009	0,034	12,70	1,0	2,01	-	-	65	930	2005
9	2,82	0,73	0,88	0,01	0,036	13,0	0,99	2,24	-	-	66	960	2010
10	2,81	0,74	0,88	0,01	0,040	12,5	1,0	2,65	-	-	64	950	2061
11	2,79	0,72	0,86	0,008	0,042	12,75	0,98	3,42	-	-	67	962	2150
12	2,73	0,68	0,75	0,01	0,036	20,95	0,97	2,03	-	-	71	920	2300
13	2,73	0,67	0,75	0,009	0,034	20,70	0,96	2,77	-	-	70	1021	2400
14	2,74	0,62	0,74	0,008	0,040	21,10	0,96	3,17	-	-	72	930	2430
15	2,73	0,62	0,73	0,01	0,041	21,25	0,92	3,68	-	-	74	1025	2500
16	2,43	0,75	0,89	0,098	0,27	10,95	0,98	5,61	0,048	-	73	885	2090
17	2,38	0,91	0,90	0,96	0,030	10,80	0,95	5,59	0,072	-	74	830	2001
18	2,38	0,7	0,88	0,094	0,032	11,30	0,97	5,56	0,079	-	71	900	1985
19	2,74	0,78	0,74	-	-	17,6	0,15	1,42	Mo 0,31	Ti 0,19	50	638	1790,5
20	2,43	0,79	0,74	-	-	20,1	0,15	1,34	0,30	0,17	55	533	2293,5
21	2,78	0,63	0,71	-	-	12,2	0,15	1,66	0,37	V 0,029	75	480	1900
22	2,92	0,78	0,74	0,03	0,051	11,0	0,13	1,69	0,37	0,38	66	412	1890
23	2,58	0,73	0,57	0,041	0,052	11,6	0,11	1,69	0,37	Ti 0,05	45	684	1896
24	2,6	0,95	1,36	0,03	0,033	17,0	0,14	2,07	0,33	0,21	46	644	1889
25	2,83	0,77	1,45	-	-	18,6	0,19	2,14	Mo 0,35	Ti 0,30	46	771,7	1994
26	2,67	0,73	0,63	0,03	0,033	25,17	0,20	1,84	-	V - 0,43	73	766	2350

Решение системы линейных алгебраических уравнений показало, что на твердость оказывает влияние углерод, марганец, хром и медь, а на прочность при изгибе и сжатии влияют углерод, хром и медь.

Из высокохромистого чугуна с содержанием 12 – 18% хрома, 1,5 – 2,06% никеля с добавками молибдена, магния и др. были отлиты центробежнолитые прокатные валки. На основе данных эксплуатационных испытаний 55 валков, были построены временные ряды содержания основных легирующих компонентов в прокатных валках с рабочим слоем из высокохромистого чугуна (рис.1).

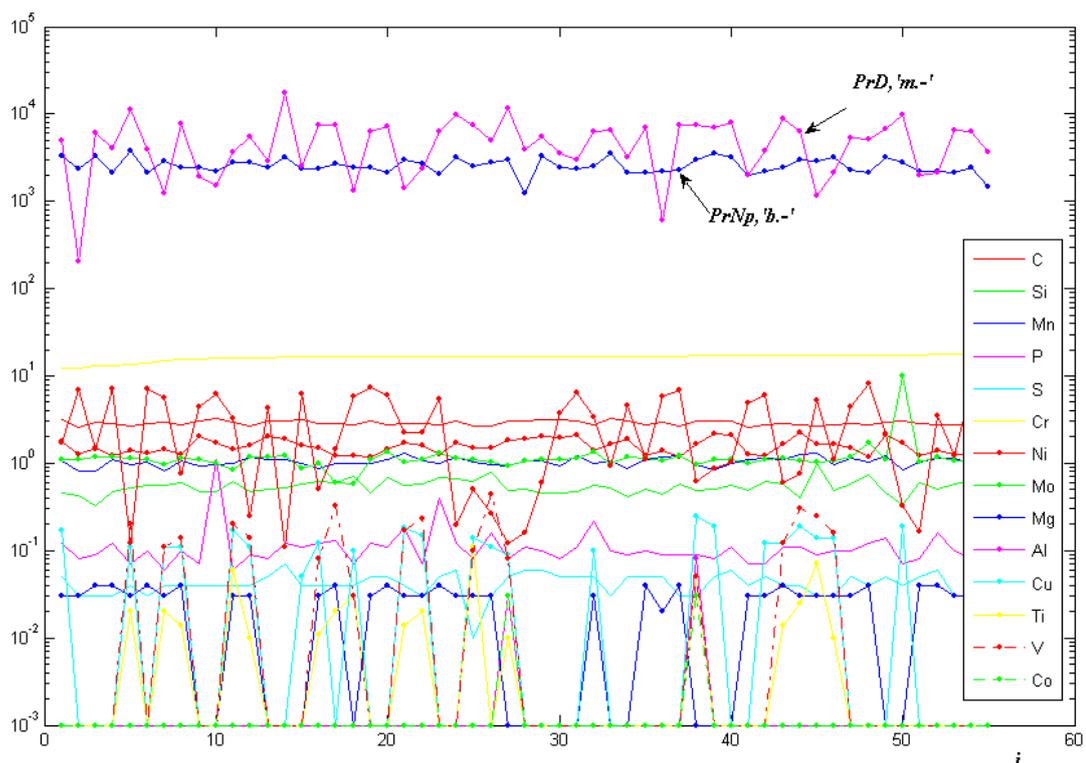


Рис.1. Временные ряды содержания основных легирующих компонентов в прокатных валках с рабочим слоем из высокохромистого чугуна. В верхней части рисунка – вариации проката на миллиметр износа валков и проката за одну перевалку. Обозначения: N_p – число перевалок валков, P_r – количество прокатанного металла, т.

Затем была построена корреляционная зависимость между числом перевалок (N_p) и прокатом (P_r) (рис.2). Из-за сильной корреляционной связи между параметрами N_p и P_r в дальнейшем можно рассматривать только один из них. На рис. 2 показана корреляционная зависимость между относительным износом диаметров валков (DD,%) и прокатом (P_r , т) – линия 1. Линия 2 – темп износа валков при линейной связи между DD и P_r . Из рис. 2 видно, что износ валков растет не пропорционально прокату (линия 2), а быстрее (область с центром по линии 1). Это свидетельствует о накоплении остаточных напряжений в прокатных валках. В процессе эксплуатации прочностные характеристики уменьшаются вследствие накопления микротрещин.

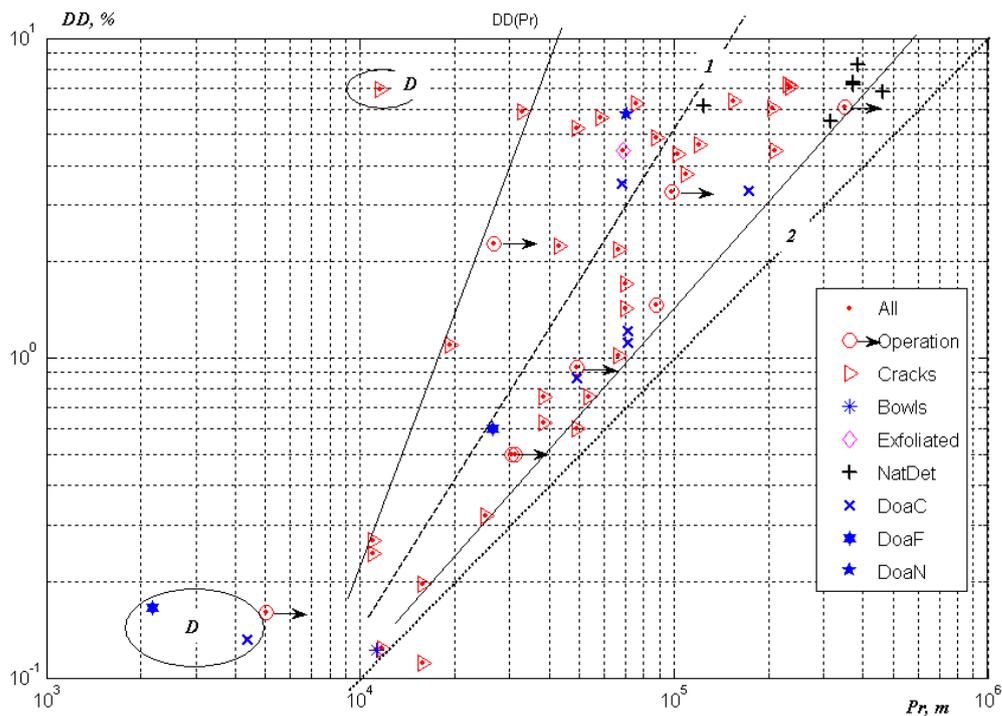


Рис. 2. Корреляционная зависимость между числом перевалок (N_p) и прокатом (P_r). Обозначения: All – все данные о валках безотносительно к причине отказа; Operation – валки, ресурс которых не исчерпан (продолжают находиться в эксплуатации). Валки, выведенные из эксплуатации по причине появления: трещин (Cracks), раковин (Bowls), отслоений (Exfoliated). Валки, выведенные из эксплуатации по причинам естественного износа (NatDet - Natural deterioration), из-за поломок по трещу (DoaC - Demolition on a Club), по бочке (DoaF - Demolition on a Flank), по шейке (DoaN - Demolition on a Neck).

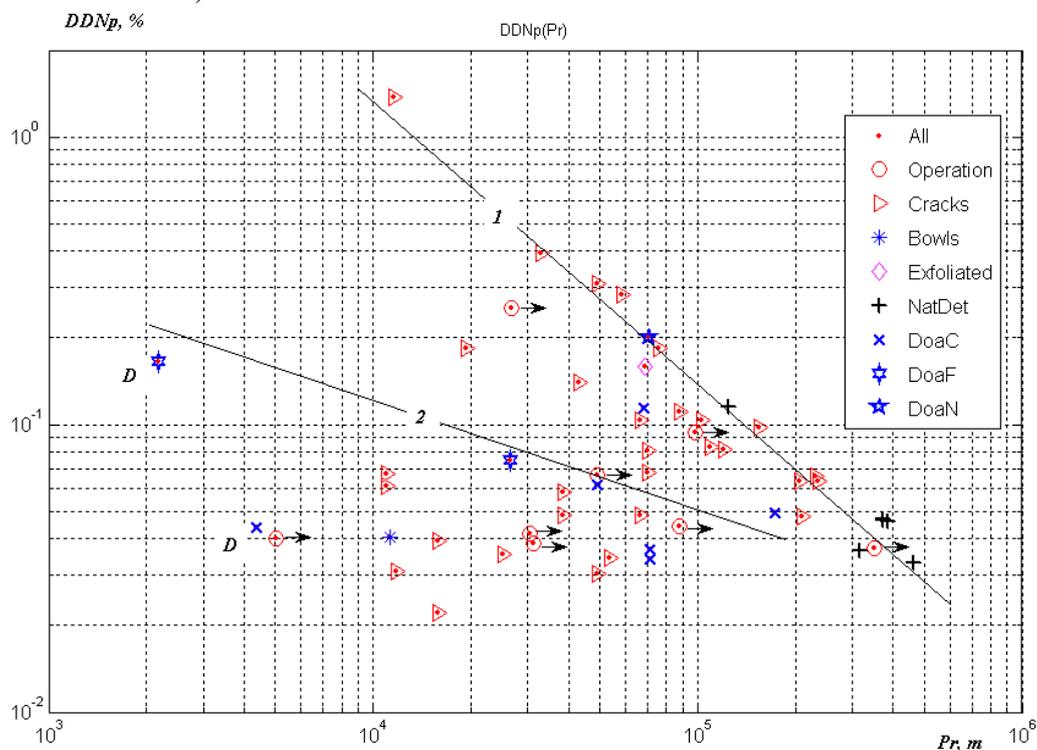


Рис.3. Удельный относительный износ диаметров валков (за одну перевалку) в зависимости от проката: 1 – верхняя граница износа, обусловленного трещинообразованием; 2 – область валков, доведенных до излома.

Была построена также зависимость между удельным относительным износом прокатных валков, за одну перевалку и количеством прокатанного этими валками металла (рис.3). На рис.3 наблюдается довольно большая область, соответствующая валкам, которые в процессе эксплуатации приобретали трещины.

Доверительные интервалы для коэффициентов линейной математической модели, связывающей состав и относительную степень износа за одну перевалку валков, имели значимые коэффициенты модели только для хрома и магния.

Выводы. Проведенные исследования показали, что исследуемые чугуны обладают достаточно высоким комплексом механических свойств: твердость 65 – 74 HSD, прочность при изгибе 920 – 1020 МПа, при сжатии 771 – 2400 МПа.

Построенные математические модели показали, что на твердость оказывает влияние углерод, марганец, хром и медь, а на прочность при изгибе и сжатии влияют углерод, хром и медь.

Построенная корреляционная зависимость между относительным износом диаметров валков и прокатом, свидетельствует о накоплении остаточных напряжений в прокатных валках. В процессе эксплуатации прочностные характеристики уменьшаются вследствие накопления микротрещин.

Доверительные интервалы для коэффициентов линейной математической модели, связывающей состав и относительную степень износа за одну перевалку валков, имели значимые коэффициенты модели только для хрома и магния.

Литература: 1. Высокохромистые прокатные валки: Просп./ Нейшнл Роль. США: 1989 – 24 с. 2. Будагьянц Н.А., Скобло Т.С., Жижкина Н.А., Полишук И.В. Опыт производства и применение валков из высокохромистого чугуна // Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. Сборник научных трудов. – Х.: ХГТУСХ, 1999. – С.135 – 141.

УДК 620.79.14

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТАЛИ 45 В СОСТОЯНИИ ПОСТАВКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Власовец В.М. (г. Харьков, Украина)

The level of koercitiv force, proper to the satisfactory microstructure of steel 45 in a state of delivery $7,4 \pm 0,7$ A/sm, is set, reasons of rejections – presence of the promoted maintenance of ferrita in steel and unsatisfactory microstructure.

Углеродистые стали в термически улучшенном состоянии являются самым распространенным материалом для изделий сельскохозяйственного машиностроения. Ввиду своей относительно низкой себестоимости и достаточному уровню механических свойств широкое применение получила сталь 45, из которой изготавливаются различные шлицевые и коленчатые (после закалки с нагревом ТВЧ) валы, шпонки, втулки и т.д. Как известно, одним из наиболее существенных факторов, влияющих на уровень свойств стали после улучшения является исходная структура. Поэтому практический интерес представляет контроль исходной структуры данной стали.

Традиционно для входного контроля качества металла используется метод измерения твердости по Бринелю. Однако данный метод достаточно трудо-

емок. Использование в качестве альтернативного метода оценки свойств по коэрцитивной силе находит все большее распространение на машиностроительных предприятиях.

Целью работы явилось исследование влияния отклонений макро- и микроструктуры, химического состава и механических свойств стали 45 на уровень коэрцитивной силы, измеренной на приборе КРМЦ.

При входном контроле стали 45 по коэрцитивной силе (прибор КРМ-Ц) наблюдается снижение значений от допустимого интервала в результатах измерения до 3,7-4,5 А/см. Для выяснения причин отклонений были проведены исследования стали 45 Ø125 мм (плавка 1) и Ø90 двух плавок (индексы 2 и 3).

Сравнительными критериями исследуемых сталей являются требования ГОСТ 1050, предусмотренные для стали 45, и технологический процесс детали.

Механические свойства определялись после нормализации в соответствии с требованиями ГОСТ 1050. Исследования произведены при равных условиях.

Контрольный анализ состава стали определяли химическим и спектральными методами. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали

№ обр.	Размер	Содержание элементов, %						Твердость, НВ
		С	Mn	Cr	Si	S	P	
1	Ø125	0,48	0,79	0,12	0,33	0,035	0,023	197-205
2	Ø90	0,48	0,54	0,20	0,20	0,039	0,012	199-207
3	-"	0,47	0,75	0,23	0,35	0,032	0,025	195-203

Примечание. Требования ГОСТ 1050 для стали марки 45, %: 0,42-0,50 С, 0,50-0,80 Mn, 0,17-0,37 Si, не более 0,035 Р, не более 0,04 S, до 0,25 Cr, не более 0,30 Ni, не более 0,30 Cu.

Химический состав исследуемых плавок показывает, что содержание всех элементов металла находится в пределах требований ГОСТ 1050.

Величину зерна выявили методом окисления по ГОСТ 5689.

По результатам исследования величина зерна образца 1 составила балл 7-б, а образцов 2, 3 – балл 7, т.е. данные изделия относятся к мелкозернистым.

Таблица 2

Макроструктура исследованных плавок

№ образца	Макроструктура стали, балл			
	Точечная неоднородность	Ликвационный квадрат	Подусадочная ликвация	Другие дефекты
1	III*	-	-	-
2	-	-	I	-
3	-	I		Краевой дефект в виде светлой полосы. На расстоянии 500 мм дефект повторился

Поперечные макротемплеты металла в состоянии поставки с предварительно

подготовленной поверхностью были протравлены в подогретом водном растворе соляной кислоты с концентрацией 1:1.

Оценку макроструктуры темплетов производили в соответствии с ГОСТ 10243. Результаты сведены в табл. 2.

Примечание: Баллы по макроструктуре в соответствии с ГОСТ 1050.

Выявленные дефекты макроструктуры (точечная неоднородность, ликвационный квадрат, подусадочная ликвация) являются допустимыми. Выявлен дефект на образце 3 на котором значение коэрцитивной силы понижено и составляет 4-4,5 А/см.

Для выявления неоднородности по сере и фосфору были исследованы серные отпечатки по Бауману. Значительная неравномерность распределения серы и фосфора не выявлена. Краевая зона в виде светлой полосы выявленные в плавке 3 она остается светлой с минимальным количеством примесей. Это подтверждается химическим и металлографическим исследованиями. Количество серы находится на уровне плавочных данных. Оценка микроструктуры этой зоны показала обеднение по содержанию углерода (рис.1) в сравнении с основным металлом (рис.2). Она представляет собой в светлой полосе перлит в феррите, зерно мелкое; в основном металле – мелкие, средние и крупные зерна перлита и феррит в виде сетки и отдельных включений.

Возникновение краевого дефекта плавки 3 в виде светлой полосы на микротемплете возможно при нарушении режима заливки. На повторно отобранных образцах плавки 3 дефектов такого вида не обнаружено.

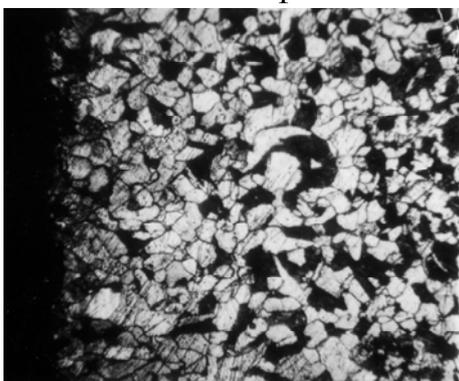


Рис.1. Микроструктура светлой полосы на глубине 1,0 мм от поверхности, $\times 100$.

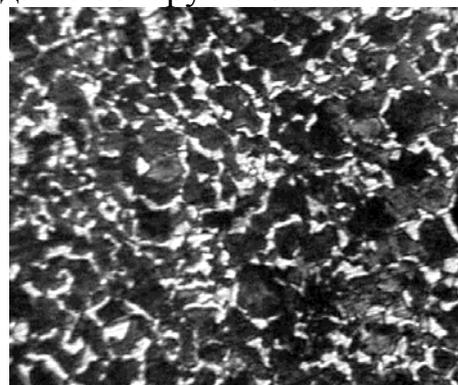
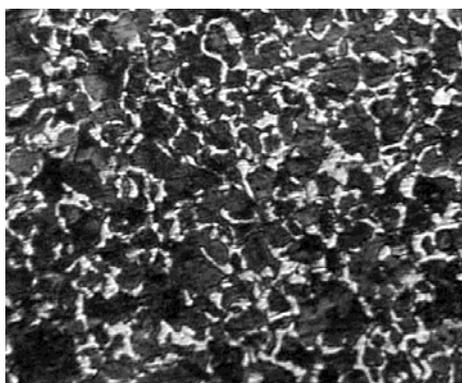
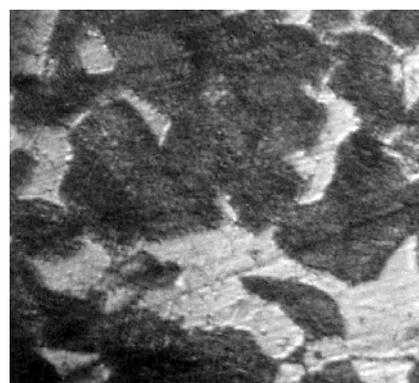


Рис.2. Микроструктура основного металла участка без светлой полосы на глубине 1,0 мм от поверхности, $\times 100$.



а



б

Рис. 3 Микроструктура стали в состоянии поставки: а – $\times 100$, б – $\times 500$

Микроструктура металла стали 45 в состоянии поставки представляет собой перлит и феррит в виде сетки, ориентированной по границе крупных, средних, изредка мелких зерен (рис.3). Такая структура является удовлетворительной и ей соответствует уровень коэрцитивной силы $7,4 \pm 0,7$ А/см. Выход за пределы связан с неудовлетворительной микроструктурой (рис.4).

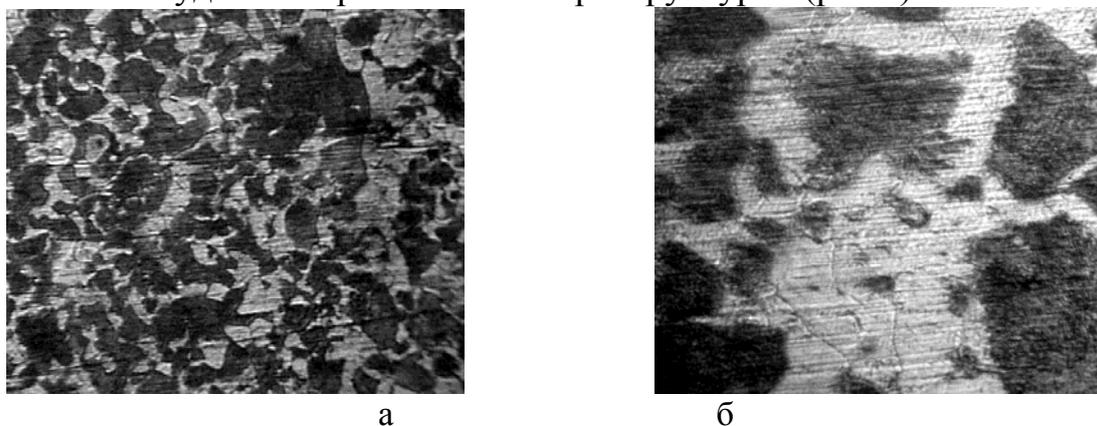


Рис. 4 Неудовлетворительная микроструктура стали в состоянии поставки:
а – $\times 200$, б – $\times 500$.

Для определения механических свойств в соответствии с ГОСТ 1050 заготовки металла исследуемых плавков сталей, входящие в контрольные границы по коэрцитивной силе, подвергали нормализации при температуре 860°C . Микроструктура металла в нормализованном состоянии представляет собой мелкие зерна перлита и феррит в виде разорванной сетки и включений.

Испытания на растяжение по ГОСТ 1497 проводили на образцах пятикратной длины диаметром 5 мм, на ударную вязкость по ГОСТ 9454 – на образцах тип 1. Направление оси вырезанных образцов соответствовало вдоль направления прокатки.

Усредненные значения результатов испытаний по 5-ти образцам приведены в табл. 3.

Таким образом, на основании проведенных комплексных исследований установлено: уровень коэрцитивной силы, соответствующий удовлетворительной микроструктуре стали 45 соответствует $7,4 \pm 0,7$ А/см, причины отклонений – до $6,7$ А/см, наличие повышенного содержания феррита в стали и неудовлетворительной микроструктуры по неметаллическим включениям, свыше $8,1$ А/см – превышение твердости.

Таблица 3

Результаты механических испытаний

№ плавки	Механические свойства					
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	КС, кДж/м ²	Твердость, НВ
1	470	750	21	51	75	205
2	390	690	23	44	60	187
3	420	680	23	45	83	197
ГОСТ 1050 сталь 45	не менее					
	360	61	16	40	50	

Выполненные комплексные исследования дополняют имеющиеся литературные данные по связи материала с коэрцитивной силой по стали 45 [1,2]. Известные публикации анализируют такую связь для закаленного и отпущенного состояния. При этом анализируемый уровень коэрцитивной силы выше, чем в состоянии поставки, что связано, вероятно, с более высоким уровнем напряженного состояния материала.

Литературы: 1. Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей. Справочник под ред. В.Д.Кельнера. – М.: Машиностроение, 1984. 384 с. 2. Щербинин В.Е., Горкунов Э.С. Магнитный контроль качества металлов. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 263 с.

УДК 669.131.7:621.694 31/33

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЧУГУНОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА

Бондаренко С.И., канд. техн. наук, **Гладкий И.П.**, канд. техн. наук
(г.Харьков, Украина)

Results of investigating structure, hardness, tensile strength and abrasive wear resistance of cast irons with different graphite forms alloyed with Cu, Cr, Ni and Mo are presented. These properties have been shown to be much higher for alloyed cast irons in comparison with unalloyed gray cast iron. Tensile strength due alloying has been increased depending on graphite form (lamellar, vermicular, nodular) in 1,75; 2,2; 2,3-3,3 accordingly.

Состояние вопроса. Проточные части насосов оросительных систем испытывают в процессе работы коррозионный, гидроабразивный и кавитационно-абразивный износ. При наличии в воде твердых включений до 0,2-0,3% это приводит к усиленному износу колес, корпусов, уплотнительных колец и других деталей.

Гидроабразивная износостойкость в первом приближении определяется такими характеристиками, как твердость и прочность и в меньшей мере пластичностью и вязкостью.

Низкая стойкость деталей насосов из чугуна СЧ20, применяющегося в настоящее время, очевидно, объясняется неблагоприятной формой графита и наличием феррита в структуре матрицы, что вызывает повышенную коррозию, а также интенсивный кавитационно-эрозионный и гидроабразивный износ, обусловленный низкими показателями прочности и вязкости.

В связи с этим возникает необходимость замены чугуна СЧ20 более износостойким материалом.

В настоящее время в качестве износостойких материалов широко используются чугуны с вермикулярной и шаровидной формой графита и перлитной основой, полученной легированием Cu, Cr, Mn, Ni, Mo, Sn и другими элементами [1-3]. Такие чугуны используют для изготовления дробеметных лопаток, тормозных барабанов, поршневых колец, втулок и других деталей, работающих в условиях трения-скольжения, абразивного износа и т.п.

Материал, методика и результаты эксперимента. Представляло инте-

рес изучить возможность применения таких чугунов, а также легированного серого чугуна с перлитной матрицей в качестве материала для деталей насосов оросительных систем.

Исследовались чугуны с разной структурой матрицы и разной формой графита, легированные Cr, Cu, Ni, Mo.

Чугуны выплавлялись в индукционной высокочастотной печи ИСТ-0,16 на литейном (Л-3, Л-4) и передельном (ПЛ-1) чугунах с добавлением стального скрапа. Для модифицирования использовали железо-кремний-магниевую лигатуру (6% Mg), мишметалл на основе РЗМ и 75%-ный ферросилиций.

Обработку лигатурой производили в открытом 40-килограммовом ковше сэндвич-процессом.

Для легирования вводили ферроникель, феррохром, ферромolibден, ферромарганец и медь.

Заготовки образцов (клин и два цилиндра диаметром 65 и 35 мм) получали заливкой в песчано-глинистые формы.

Металлографическое исследование чугунов осуществлялось с помощью микроскопа МИМ-8 при увеличениях 100 и 500.

Оценка структуры составляющих производилась по ГОСТ 3443-87.

Были выполнены испытания стандартных образцов на растяжение. Предел прочности определяли как среднее значение трех измерений. Твердость измерялась на твердомере Роквелла. За число твердости принимали среднее 6-7 измерений.

Химический состав и механические свойства чугунов разных сплавов приведены в табл. 1.

Металлографические исследования показали, что в структуре всех легированных чугунов имеет место до 6-30% цементита (ледебурита). В процессе термической обработки в чугунах большинства плавков количество цементита существенно уменьшается и он частично приобретает раздробленное зернистое строение, что положительно сказывается на свойствах.

Структура металлической основы нелегированных чугунов с пластинчатым (плавка 0) и шаровидным графитом (плавка 7) перлитно-ферритная (55 и 40% феррита соответственно). Металлическая основа всех легированных чугунов помимо цементита (ледебурита) состоит в основном из дисперсного перлита (тростита) и иногда 10-15% бейнита (плавки 4 и 5).

Следует отметить, что в результате легирования прочность ЧПГ повысилась в 1,6-1,75 раза. При этом строение графитной фазы практически не изменилась, а повышение σ_b обусловлено, очевидно, отсутствием феррита и увеличением степени дисперсности перлита.

Чугун плавки 2 имеет графит правильной шаровидной формы с равномерным распределением. Предел прочности при этом у него значительно выше, чем у легированного ЧПГ. Термическая обработка приводит к дальнейшему повышению предела прочности на 26%.

В чугуне плавки 3 очень мало графита и много ледебурита, поэтому механические испытания чугуна этой плавки не проводились.

Чугуны плавков 4 и 6 содержат шаровидный графит правильной, непра-

вильной и компактной формы, при этом в чугуне плавки 6 содержится существенно больше графита правильной формы и размеры графитных включений меньше. Этим, скорее всего, и объясняются большие значения σ_b в чугуне плавки 6 (660 МПа по сравнению с 593 МПа). Чугун плавки 6 содержит меньшее количество цементита, что наряду с более равномерным распределением графита также способствует повышению его прочности.

Таблица 1

Химический состав и свойства исследованных чугунов

№ Плавки	Тип чугуна	Содержание элементов, %										Твердость, HRC	Предел прочности σ_b , МПа
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Mg		
0	ЧПГ нелегир. (СЧ20)	3,4	2,4	0,6	0,08	0,12	-	-	-	-	-	80HRB	200
1	ЧПГ легир.	2,63	1,93	0,67	0,076	0,024	0,40	0,47	-	1,17	-	24	350
2	ЧШГ легир.	2,5	2,76	0,67	0,063	0,014	0,40	0,47	-	0,93	0,044	46	453 571*
3	ЧШГ легир.	2,63	2,13	0,67	0,066	0,024	0,40	0,47	-	0,81	0,023	-	-
4	ЧШГ легир.	3,53	2,04	0,60	0,093	0,015	0,63	1,08	0,21	0,95	0,02	57	593*
5	ЧВГ легир.	3,5	1,69	0,67	0,103	0,039	0,67	1,1	0,3	0,9	-	54	510*
6	ЧШГ легир.	3,38	1,84	0,56	0,071	0,013	0,65	1,18	0,24	0,98	0,03	49	660
7	ЧШГ нелегир.	3,6	2,0	0,4	0,05	0,008	0,2	0,1	-	-	0,04	36	450

Примечание * После отжига.

Стабильно вермикулярная форма графита была получена только при модифицировании мишметаллом на основе РЗМ (плавка 5). Вермикулярный графит в чугуне этой плавки имеет утолщенную форму и неравномерное распределение.

Наблюдается также небольшое (до 15%) количество шаровидного графита неправильной и компактной формы. Охлаждение с печью при отжиге привело к появлению участков феррита (до 15%) около больших графитных включений.

Следует отметить, что чугуны плавки 4 и 6, содержащие большее количество углерода, никеля и хрома, и дополнительно легированные молибденом, имеют более высокую прочность и твердость в сравнении с менее легированным чугуном плавки 2, несмотря на худшую форму графита.

Обращает на себя внимание также то, что чугун с вермикулярным графитом после термообработки имеет больший предел прочности, чем чугун плавки 2 с правильной шаровидной формой графита в литом состоянии (510 и 453 МПа соответственно). Очевидно, это объясняется преимущественным влиянием дополнительного легирования на упрочнение матрицы (наличием бейнита, троостита и более дисперсного перлита) в сравнении с влиянием формы графита.

Были проведены сравнительные испытания абразивной износостойкости в суспензии (речной песок в воде) образцов серийного чугуна СЧ20 и чугуна плавки 2.

Испытания проводились на машине СМЦ-2 по схеме ролик-колодочка. Частота вращения рабочего вала машины составляла $500 \text{ }^{\circ}/_{\text{мин}}$, скорость скольжения $1,3 \text{ м/с}$. Диаметр ролика $D=50\text{мм}$.

Величина износа определялась весовым методом с помощью аналитических весов ВЛО1 через каждый час испытания.

По результатам взвешивания строились графики интегрального и приведенного износа, а графическим дифференцированием последнего – скорости изнашивания.

Ролики из чугуна СЧ20 работали в паре с колодочками из этого же материала. Аналогично ролики из высокопрочного чугуна – с колодочками из этого же чугуна.

Образцы из чугуна плавки 2 обнаружили намного большую износостойкость, чем образцы из СЧ20. Интегральный износ ролика из ЧШГ за время испытания был в 2,5 раза меньше, чем у ролика из серого чугуна. Суммарный износ колодочек из ЧШГ в 6 раз меньше, чем у колодочек из СЧ.

Скорость износа образцов из чугуна с шаровидным графитом значительно меньше, чем для образцов из чугуна с пластинчатым графитом (для роликов в 2,7 раза, для колодочек в 19,5 раза).

На основании выполненных исследований можно сделать такие выводы.

Выводы. 1. Прочность и твердость чугунов, легированных хромом, никелем, медью и молибденом, для всех форм графита (пластинчатой, вермикулярной и шаровидной) намного выше, чем у чугуна СЧ20 (σ_b больше в 1,75; 2,5 и 2,3-3,3 раза соответственно); 2. В исследованных чугунах при достижении определенной степени компактности графита преимущественное влияние на прочность оказывает структура металлической основы; 3. Термическая обработка легированных чугунов (отжиг) может существенно повысить предел прочности за счет уменьшения количества карбидной фазы и ее дробления; 4. Абразивная износостойкость в суспензии (песок в воде) легированного ЧШГ намного выше, чем у СЧ20 (скорость износа роликов меньше в 2,7 раза, а колодочек в 19,5 раза).

Литература: 1. Ахунов Т.А., Алов В.А. и др. Новые износостойкие чугуны для деталей дробебетных камер. //Соврем. литейн. матер. и технол. получ. отливок: матер. науч.-техн. конф./о-во «Знание» РСФСР Ленингр. дом науч.-техн. проп., - Л.1991-с.26-27. 2. А.С. 1073317 СССР МКИ С22С37/06 Чугун/ Шестов Е.И., Леках С.Н. и др., 355212/22-02. Заявлено 07.02.83, опублик. 1984. Бюл. №6. 3. Мирошниченко И.Н. Коррозионно-абразивная стойкость марганцевого чугуна, легированного медью и алюминием //Лит. пр-во.-1984, №8, с.8-9.

ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЗАГОТОВКИ НА МАКСИМАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ ОБЖИМЕ

Борисевич В.К., докт. техн. наук, Бахмет А.Г.,

Третьяк В.В., канд. техн. наук, (г.Харьков, Украина)

The problem of definition of the maximal pressure in the breaking-down technological operation is considered. In calculation strengthening and thickness of the blank are used.

Задача влияния упрочнения и изменения толщины заготовки в процессе деформации на величину максимального напряжения действующего в стенках заготовки при обжиге матрицей с конусной образующей, исследована в работе

[1]. Расчетные выражения для матрицы с криволинейной образующей для этого случая отсутствуют. Вместе с этим широкое использование заготовок с криволинейными образующими ($R_\rho = const$) требует построения основных зависимостей для оценок возможности использования относительно их обжима.

Исследуемая геометрия представлена на рис.1.

Так как частицы металлического тела переходят из упругого состояния в пластическое, когда интенсивность напряжения достигает величины, равной напряжению текучести, при линейном пластически напряженном состоянии, то:

$$\sigma_\theta = -\sigma_s$$

Коэффициент трения металла заготовки о металл матрицы: μ ;

При $\rho = r_0 \Rightarrow \sigma_\rho = 0$, или $\sigma_\rho(\alpha_0) = 0$.

Для системы имеет место уравнение равновесия элемента заготовки:

$$\rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta - \frac{\mu \cdot \rho}{\sin \alpha} \cdot \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} \right) = 0,$$

где: σ_ρ - меридиональное напряжение; σ_θ - широтное напряжение; R_ρ - радиус кривизны в меридиональном сечении; R_θ - радиус кривизны в широтном сечении.

Считают, σ_ρ , σ_θ равномерно распределенными по толщине заготовки и являются главными нормальными напряжениями.

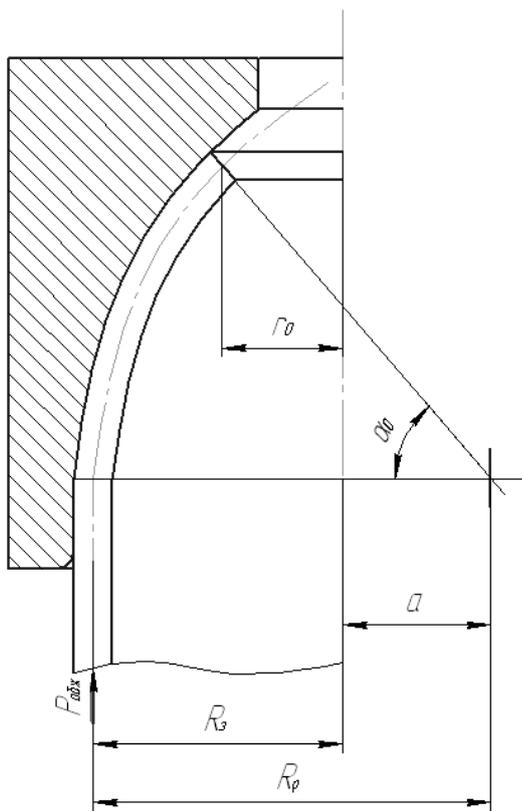


Рис. 1. Исследуемая геометрия: R_ρ - радиус кривизны в меридиональном сечении; R_C - радиус заготовки; α_0 - конечного радиуса; r_0 - конечный радиус; a - расстояние от оси до центра заготовки.

Влияние упрочнения на величину напряжения текучести можно записать в виде [1]: $\sigma_S = \sigma_{\dot{\gamma}} + \dot{I} \cdot \left(1 - \frac{\rho}{R_C}\right)$; $\sigma_{\dot{\gamma}}$ - экстраполяционный предел текучести; \dot{I} - модуль упрочнения.

При этом имеет место $\rho = R_\rho \cdot \cos \alpha - a$; $R_\theta = R_\rho - \frac{a}{\cos \alpha}$. Тогда $d\rho = -R_\rho \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha$ и следовательно:

$$\left(R_\rho \cdot \cos \alpha - a\right) \cdot \frac{1}{-R_\rho \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\alpha} + \sigma_\rho + \sigma_S - \frac{\mu \cdot (R_\rho \cdot \cos \alpha - a)}{\sin \alpha} \cdot \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} - \frac{\sigma_S}{R_\rho - \frac{a}{\cos \alpha}}\right) = 0.$$

Это уравнение преобразуется в линейное неоднородное дифференциальное уравнение 1-го порядка вида:

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\alpha} - \sigma_\rho \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha - b} - \mu\right) = \sigma_S \cdot \frac{\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha - b}.$$

Подставляя σ_S , ρ , получим:

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\alpha} - \sigma_\rho \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha - b} - \mu\right) = \left(\sigma_{\dot{\gamma}} + \dot{I} \cdot \left(1 - \frac{R_\rho \cdot \cos \alpha - a}{R_C}\right)\right) \cdot \frac{\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha - b}$$

Решаем его методом вариации произвольной постоянной.

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\alpha} - \sigma_\rho \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha - b} - \mu\right) = 0; \Rightarrow \sigma_\rho = e^{-\mu \cdot \varepsilon} \cdot \frac{C}{|\cos \alpha - b|};$$

Считая, что $C = C(\alpha)$, получим: $\sigma_\rho = e^{-\mu \cdot \varepsilon} \cdot \frac{C(\alpha)}{|\cos \alpha - b|}$. Продифференци-

руем это выражение:

$$\frac{d\sigma_\rho}{d\alpha} = e^{-\mu \cdot \varepsilon} \left(-\frac{\mu \cdot C(\alpha)}{\cos \alpha - b} + \frac{dC}{d\alpha} \cdot \frac{1}{\cos \alpha - b} + \frac{C(\alpha) \cdot \sin \alpha}{(\cos \alpha - b)^2} \right).$$

Подставляя полученные выражения σ_ρ , и $\frac{d\sigma_\rho}{d\alpha}$ в дифференциальное неоднородное уравнение, получим:

$$e^{-\mu \cdot \varepsilon} \left(-\frac{\mu \cdot C(\alpha)}{\cos \alpha - b} + \frac{dC}{d\alpha} \cdot \frac{1}{\cos \alpha - b} + \frac{C(\alpha) \cdot \sin \alpha}{(\cos \alpha - b)^2} \right) - e^{-\mu \cdot \varepsilon} \cdot C(\alpha) \cdot \frac{1}{|\cos \alpha - b|} \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha - b} - \mu \right) =$$

$$\left(\sigma_{\dot{\alpha}} + \ddot{I} \cdot \left(1 - \frac{R_{\rho} \cdot \cos \alpha - a}{R_{\zeta}} \right) \right) \cdot \frac{\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha - b};$$

Откуда:

$$\begin{aligned} dC &= \frac{\ddot{I} \cdot (\sigma_{\dot{\alpha}} + \ddot{I}) \cdot a}{R_{\zeta}} \cdot e^{\mu \cdot \varepsilon} \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha + \frac{\ddot{I} \cdot (\sigma_{\dot{\alpha}} + \ddot{I}) \cdot a \cdot \mu}{R_{\zeta}} \cdot e^{\mu \cdot \varepsilon} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha - \\ &- \frac{\ddot{I} \cdot R_{\rho}}{2 \cdot R_{\zeta}} \cdot e^{\mu \cdot \varepsilon} \cdot \sin 2\alpha \cdot d\alpha + \frac{\ddot{I} \cdot R_{\rho} \cdot \mu}{2 \cdot R_{\zeta}} \cdot e^{\mu \cdot \varepsilon} \cdot d\alpha + \frac{\ddot{I} \cdot R_{\rho} \cdot \mu}{2 \cdot R_{\zeta}} \cdot e^{\mu \cdot \varepsilon} \cdot \cos 2\alpha \cdot d\alpha \\ C &= e^{\mu \cdot \varepsilon} \frac{\ddot{I}}{R_{\zeta}} \cdot \left(\frac{R_{\rho}}{2} + \frac{a \cdot (\sigma_{\dot{\alpha}} + \ddot{I})}{\mu^2 + 1} \cdot (2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha + (\mu^2 - 1) \cdot \cos \alpha) + \right. \\ &\left. + \frac{R_{\rho}}{2 \cdot (\mu^2 + 4)} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + (\mu^2 + 2) \cdot \cos \alpha) \right) + \bar{C} \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho} &= \frac{\ddot{I}}{|\cos \alpha - b| \cdot R_{\zeta}} \cdot \left(\frac{R_{\rho}}{2} + \frac{a \cdot (\sigma_{\dot{\alpha}} + \ddot{I})}{\mu^2 + 1} \cdot (2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha + (\mu^2 - 1) \cdot \cos \alpha) + \right. \\ &\left. + \frac{R_{\rho}}{2 \cdot (\mu^2 + 4)} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + (\mu^2 + 2) \cdot \cos \alpha) \right) + \bar{C} \cdot \frac{e^{-\mu \cdot \varepsilon}}{|\cos \alpha - b|} \end{aligned}$$

Из граничных условий $\sigma_{\rho}(\alpha_0) = 0$, получим:

$$\begin{aligned} \bar{C} &= \frac{\ddot{I} \cdot e^{\mu \cdot \varepsilon}}{R_{\zeta}} \cdot \left(\frac{R_{\rho}}{2} + \frac{a \cdot (\sigma_{\dot{\alpha}} + \ddot{I})}{\mu^2 + 1} \cdot (2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha_0 + (\mu^2 - 1) \cdot \cos \alpha_0) + \right. \\ &\left. + \frac{R_{\rho}}{2 \cdot (\mu^2 + 4)} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha_0 + (\mu^2 + 2) \cdot \cos \alpha_0) \right) \text{ и следовательно:} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho} &= \frac{\ddot{I}}{|\cos \alpha - b| \cdot R_{\zeta}} \cdot \left(\left(a \cdot (\sigma_{\dot{\alpha}} + \ddot{I}) \cdot \frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 1} + \frac{R_{\rho} \cdot (\mu^2 + 2)}{2 \cdot (\mu^2 + 4)} \right) \cdot (\cos \alpha + \cos \alpha_0) \right. \\ &\left. + \left(\frac{2 \cdot \mu \cdot a \cdot (\sigma_{\dot{\alpha}} + \ddot{I})}{\mu^2 + 1} + \frac{\mu \cdot R_{\rho}}{2 \cdot (\mu^2 + 4)} \right) \cdot (\sin \alpha + \sin \alpha_0) + R_{\rho} \right), \end{aligned}$$

где $b = \frac{a}{R_{\rho}}$, $\cos \alpha_0 = \frac{r_0 + a}{R_{\zeta} + a}$ и $0 \leq \alpha \leq \alpha_0$.

Полученная зависимость позволяет устанавливать распределение напряжения $\sigma_{\rho} = f(\alpha)$ в области деформации при обжиге в матрице с криволинейной поверхностью образуемой $R_{\zeta} = const$ с учетом упрочнения. σ_{ρ} - достигает

наибольшего значения при $\alpha_0 = 0$. В этом случае:

$$\sigma_{\rho \max} = \frac{\dot{I}}{|1-b| \cdot R_{\zeta}} \cdot \left(\left(a \cdot (\sigma_{\dot{O}} + \dot{I}) \cdot \frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 1} + \frac{R_{\rho} \cdot (\mu^2 + 2)}{2 \cdot (\mu^2 + 4)} \right) \cdot (1 + \cos \alpha_0) \right. \\ \left. + \left(\frac{2 \cdot \mu \cdot a \cdot (\sigma_{\dot{O}} + \dot{I})}{\mu^2 + 1} + \frac{\mu \cdot R_{\rho}}{2 \cdot (\mu^2 + 4)} \right) \cdot \sin \alpha_0 + R_{\rho} \right) \quad (1)$$

Для оценки влияния изменения толщины заготовки в процессе деформации на величину σ_{ρ} , действующего в стенах заготовки при обжиге запишем уравнение связи напряжения и деформации в виде:

$$\frac{\sigma_{\rho} - \sigma_{\theta}}{\sigma_{\theta} - \sigma_n} = \frac{\varepsilon_{\rho} - \varepsilon_{\theta}}{\varepsilon_{\theta} - \varepsilon_n},$$

где ε - относительное удлинение образца.

Из условия постоянства объема: $\varepsilon_{\rho} + \varepsilon_{\theta} + \varepsilon_n = 0 \Rightarrow \varepsilon_{\rho} = -\varepsilon_{\theta} - \varepsilon_n$.

Так как для плосконапряженного состояния: $\sigma_n = 0$, и по условию пластичности: $\sigma_{\theta} = -\sigma_S$, то получим: $\varepsilon_n = -\frac{\sigma_S - \sigma_{\rho}}{2\sigma_S + \sigma_{\rho}} \cdot \varepsilon_{\theta}$, где: ε_{θ} - деформация сжатия; ε_n - деформация растяжения (т.е. при обжиге толщина заготовки увеличивается)

Так как деформация значительная, то более правильное значение получим, при использовании логарифмической степени деформации:

$$\varepsilon_n \approx \delta_n = \ln \frac{S}{S_j}; \quad \varepsilon_{\theta} \approx \delta_{\theta} = \ln \frac{\rho}{R_{\zeta}}$$

$$\ln \frac{S}{S_j} = -\frac{\sigma_S - \sigma_{\rho}}{2\sigma_S + \sigma_{\rho}} \cdot \ln \frac{\rho}{R_{\zeta}} \Rightarrow \ln \frac{S}{S_j} = \ln \left(\frac{\rho}{R_{\zeta}} \right)^{-\frac{\sigma_S - \sigma_{\rho}}{2\sigma_S + \sigma_{\rho}}} \Rightarrow$$

$$S = S_j \cdot \left(\frac{\rho}{R_{\zeta}} \right)^{\frac{\sigma_S - \sigma_{\rho}}{2\sigma_S + \sigma_{\rho}}}. \quad (2)$$

Это значение конечной толщины в любой точке обжатой части заготовки, отстоящей на расстоянии ρ от оси симметрии.

В работе получены зависимости максимального напряжения в заготовке с криволинейной образующей (1) и изменение толщины заготовки (2) при обжиге.

Литература: 1.Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. Изд. 3-е, переработ. И доп. М., «машиностроение.», 1971, 424 стр.

К ВОПРОСУ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ШТАМПОВКИ ЛИСТОВЫХ КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С НАГРЕВОМ

Жовноватюк Я.С. (г. Харьков, Украина)

There are executed theoretical analysis and experimental testing of deep drawing possibility of conical parts with flange differentiated heating and with joined weight.

В аэрокосмическом двигателестроении и агрегатостроении существует довольно широкая номенклатура глубоких листовых деталей с криволинейной образующей конической поверхности (рис. 1). Изготовление деталей данной группы традиционными методами на прессах требует применения нескольких комплектов инструментальных штампов. Однако в условиях мелкосерийного и единичного производства такая технология изготовления деталей приводит к большой их стоимости.

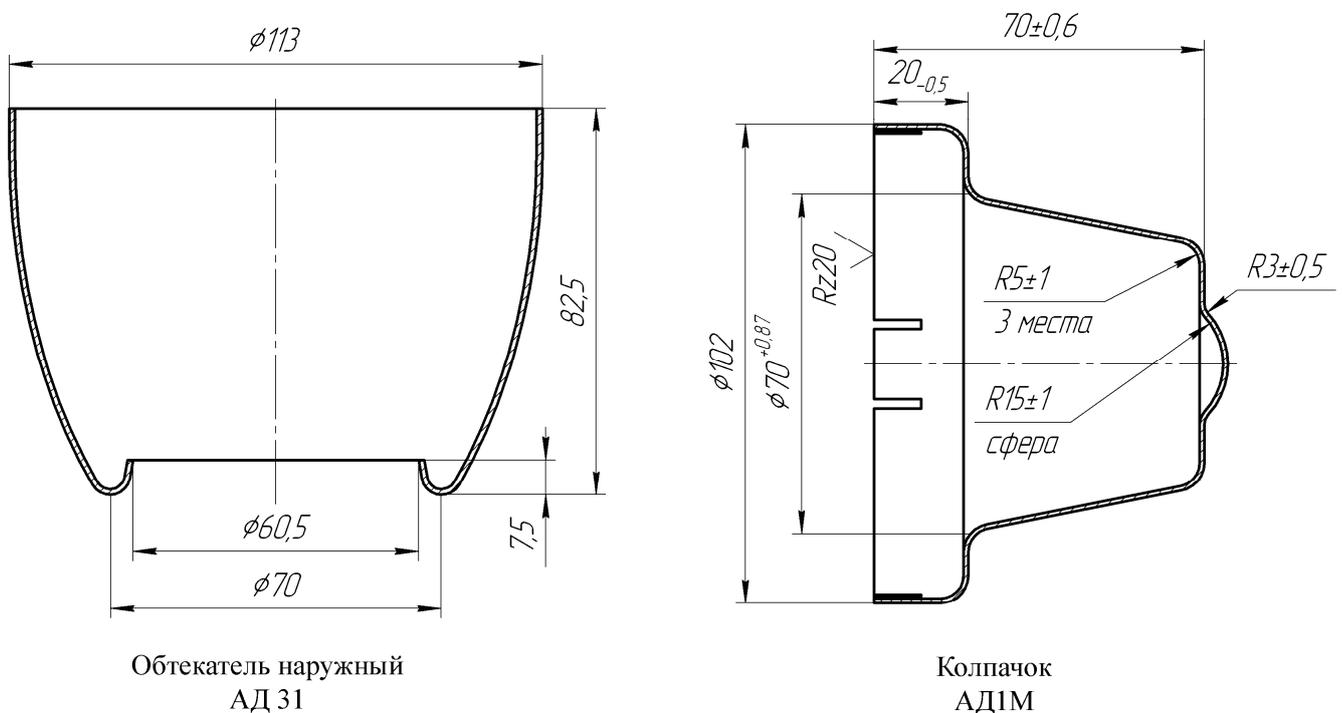


Рис. 1 Типовые представители группы конических деталей.

Так, традиционная технология получения детали «Колпачок» (рис.1), предусматривает 11 операций, на семи из которых применяются инструментальные штампы. Также для снятия остаточных напряжений в технологический процесс изготовления введены операции промежуточной термообработки. При этом стоимость изготовления каждого комплекта штамповой оснастки для данной детали колеблется от трех до пяти тысяч гривен. Т.е. в условиях мелкосерийного производства с целью обеспечения рентабельности цена на готовое изделие значительно возрастает.

Одним из методов снижения стоимости изготовления деталей данной группы является использование метода электрогидравлической штамповки (ЭГШ). Основными преимуществами данного метода являются возможность использования только одной матрицы для выполнения нескольких переходов

штамповки и более низкая стоимость изготовления самой матрицы, поскольку возможно применение, вместо специальных инструментальных, сталей обычного качества.

Однако по результатам предыдущих исследований для алюминиевых сплавов максимально допустимая относительная глубина вытяжки $h/d = 0,5$, где h – максимальная глубина вытяжки, d – диаметр проема матрицы. При более высоких значениях h/d необходимо производить промежуточную термообработку заготовки. Однако существуют различные методы интенсификации вытяжки деталей. Одним из таких методов является вытяжка деталей с нагревом.

В работах [1, 2] определено, что для увеличения относительной глубины вытяжки необходим нагрев только фланца, а не полностью всей заготовки. По результатам предыдущей теоретической работы известно, что для получения функциональной зависимости температуры нагрева фланца от радиуса $t = f(r)$ необходимо:

1. Задать необходимый закон изменения предела текучести по радиусу $\sigma_s = f(r)$;
2. Построить график функции $\sigma_s = f(r)$ таким образом, чтобы его ось ординат была общей с осью исходного графика $\sigma_s = f(t)$;
3. Определяем график функции $t = f(r)$ как третью проекцию пространственной кривой по двум известным.

При этом принимается, что зависимость предела текучести от координаты определяется выражением:

$$\sigma_s = \sigma_{s.k} \cdot \left(\frac{r_0}{r} \right)^3,$$

где $\sigma_{s.k}$ – значение предела текучести возле перетяжного ребра матрицы; r_0 – расстояние между осью симметрии и перетяжным ребром; r – текущее значение радиуса.

Исходя из проведенного исследования видно, что необходимо организовать дифференцированный нагрев фланца матрицы.

В лаборатории ЭГШ ХАИ были проведены эксперименты по опытной штамповке детали «Обтекатель» (рис.1). Как видно по эскизу, отношение h/d для данной детали равно 0,73, т.е. деталь необходимо изготавливать с нагревом фланца.

При этом использовалась специальная оснастка (рис. 2). Заготовка 9 устанавливалась на протяжное кольцо 6, прижим осуществлялся прижимным кольцом 4. Для облегчения скольжения заготовки предусмотрены резьбовые отверстия для винтов, от длины ввинчивания которых зависел зазор между прижимным и протяжным кольцами. Нагрев фланца осуществлялся за счет пяти кольцевых витков из нихромовой проволоки в протяжном кольце были проволоки сечением 1,5 мм. Температура нагрева каждого витка регулировалась при помощи изменения его сопротивления. Таким образом создавалось необходимое температурное поле по фланцу. На первом переходе штамповка производилась с присоединенной массой 10, которая за счет повышения инерционно-

сти заготовки позволяет достичь более полной вытяжки фланца, а также предотвращает чрезмерное утонение центральной части заготовки.

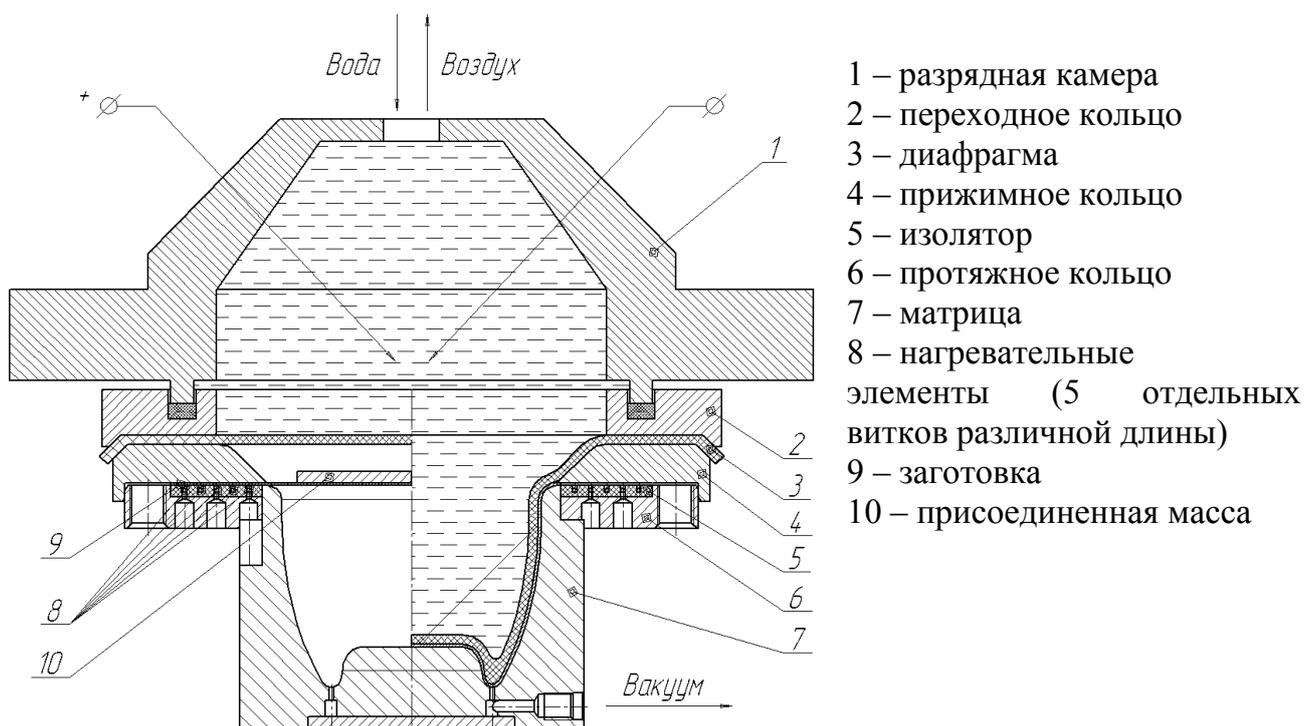


Рис. 2 Экспериментальная оснастка.

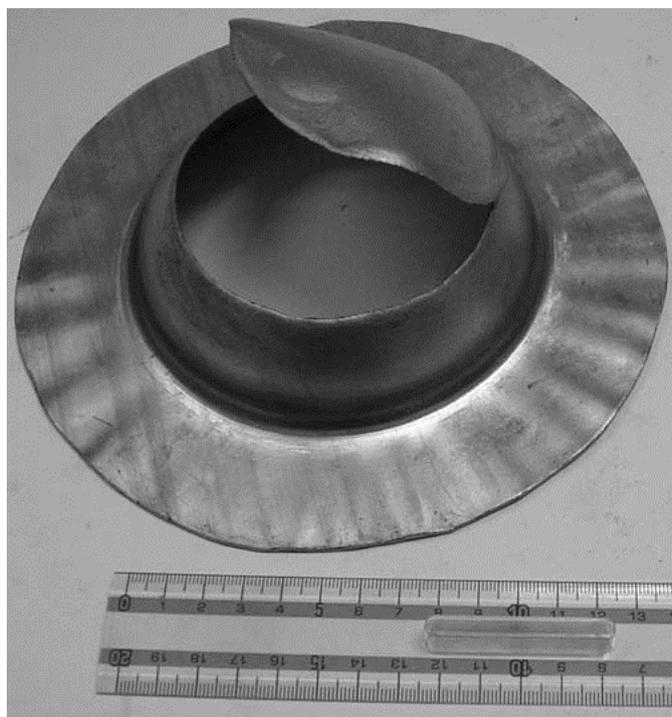


Рис. 3 Типовая деталь, полученная при штамповке заготовки диаметром 200 мм.

оптимальных параметров зарядного напряжения и количества разрядов, необходимых для получения качественной детали.

Таким образом, окончательный технологический процесс изготовления детали предполагает 2 перехода.

Теоретический диаметр заготовки для вытяжки данной детали составляет 200 мм. Опытная штамповка заготовок данного диаметра производилась за 2 разряда при зарядном напряжении $U_{зар1} = 15$ кВ и $U_{зар2} = 20$ кВ, емкость контура $C = 36$ мкФ. Перед каждым разрядом производился нагрев заготовки. Однако проведенные эксперименты показали, что диаметр фланца заготовки $D_{фл}$ после разрыва составляет 175 мм, т.е. вытяжка фланца практически не наблюдается (рис. 3).

Серия экспериментов с заготовками различного диаметра показала, что оптимальным является диаметр, равный 185 мм.

Следующая серия опытов выполнялась с целью выбора опти-

Первый переход (образование генеральной формы детали) (рис. 4) выполнялся за 4 разряда с зарядным напряжением от 15 кВ до 22 кВ, емкость зарядного контура составляла 36 мкФ, в качестве присоединенной массы использовалась свинцовая пластина диаметром 100 мм и толщиной 5 мм. При этом донная часть заготовки ложилась на центральную выпуклость матрицы, т.е. глубина вытяжки равнялась 63 мм. Средний диаметр фланца составлял (135..140) мм.



Рис.4 Форма детали после выполнения 1-го перехода штамповки.

Второй переход (окончательное формообразование детали) (рис. 5) выполнялся без присоединенной массы и без нагрева фланца. Предварительно в центральной части детали вырубалось отверстие диаметром 35 мм для предотвращения разрыва детали по донной части. Производилось 4 разряда с заряд-

ным напряжением от 20 кВ до 25 кВ, емкость зарядного контура составляла 36 мкФ. При этом выполнялось полное формообразование донной впадины, максимальные утонения по самой глубокой части составляли 25..30%.

После штамповки выполнялась обрезка заготовки по фланцу. Окончательная деталь показана на рис. 6.



Рис. 5 Форма детали после 2-го перехода штамповки.



Рис. 6 Готовая деталь «Обтекатель наружный».

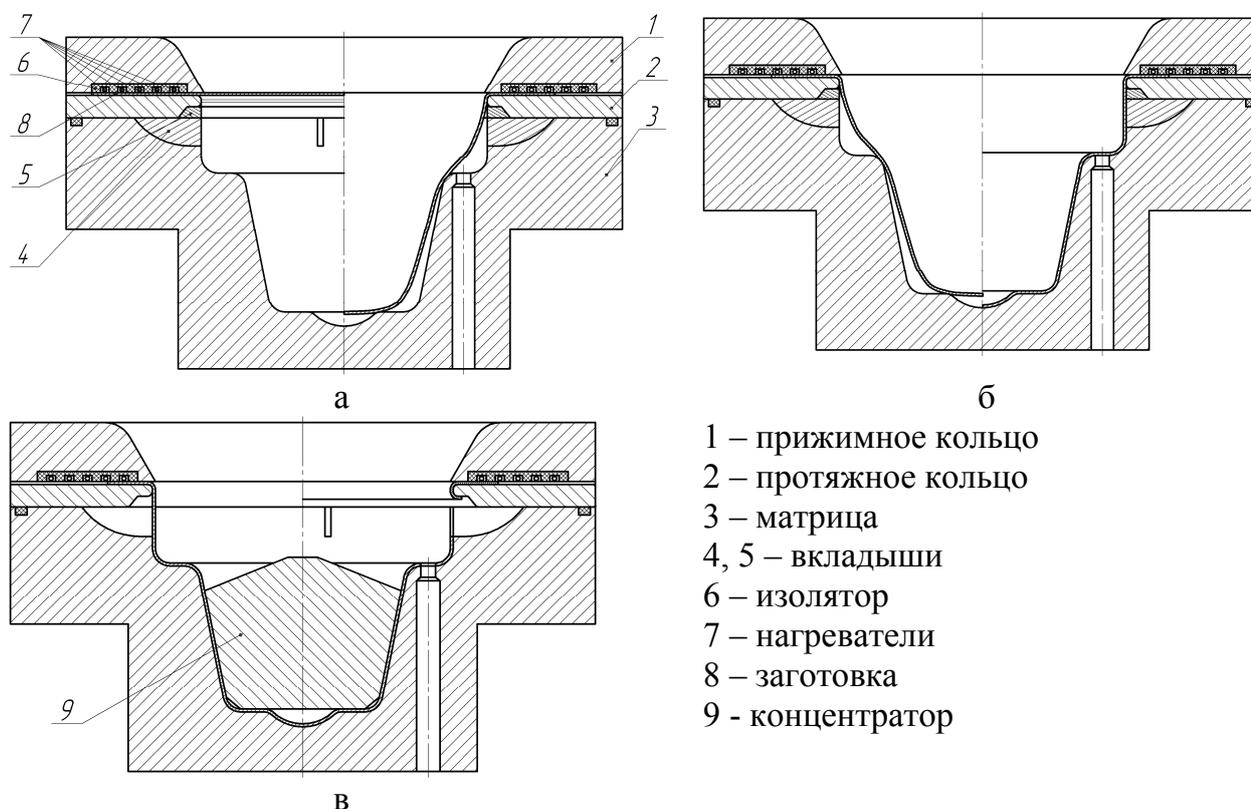
Аналогичный подход можно применить и к изготовлению детали «Колпачок», упоминаемой ранее.

Предполагаемый технологический процесс изготовления состоит из 3-х этапов:

1. Вытяжка с нагревом фланца и присоединенной массой генеральной формы детали (рис. 7, а)
2. Калибровка цилиндрической части и донных углов (рис. 7, б)
3. Обрезка детали совместно с вырубкой отверстий и просечкой пазов (рис. 7, в)

Как видно из рис. 7, штамповку можно выполнять в одну (хоть и более сложную) матрицу (по сравнению с семью парами «пуансон-матрица», применяющимися при традиционной штамповке). При этом применяются специальные технологические вкладыши 4 и 5, препятствующие вырубке пазов и отверстий на первом и втором переходах. Также на третьем переходе в матрицу устанавливается конический концентратор 9 для более эффективного использования энергии ударных волн (поскольку вырубка является малоинерционным процессом, то основное влияние на ее течение при ЭГШ оказывают ударные волны). Таким образом, использование метода ЭГШ позволит сократить затраты на подготовку производства, что, в свою очередь, в условиях мелкосерийного производства положительно скажется на цене готовой детали.

С целью увеличения производительности также возможно изготовление трех матриц для каждого перехода штамповки, при этом нет необходимости изготавливать вкладыши и периодического их монтажа-демонтажа для выполнения 3-го перехода.



- 1 – прижимное кольцо
- 2 – протяжное кольцо
- 3 – матрица
- 4, 5 – вкладыши
- 6 – изолятор
- 7 – нагреватели
- 8 – заготовка
- 9 – концентратор

Рис. 7 Схемы штамповки и оснастка, предполагаемые для изготовления детали «Колпачок»: а – вытяжка генеральной формы детали, б – калибровка детали, в – обрезка детали.

Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Дифференцированный нагрев фланца при штамповке листовых деталей позволяет достичь относительных глубин вытяжки больших, чем в холодном состоянии (для алюминия до 50%)
2. Штамповка деталей методом ЭГШ с нагревом фланца может осуществляться за меньшее число переходов, чем при традиционных методах штамповки.
3. Использование метода ЭГШ в условиях мелкосерийного производства позволяет уменьшить стоимость детали за счет уменьшения стоимости оснастки, а также сократить период подготовки производства.

Литература: 1. Стеблюк В.И., Мунтян В.П., Олешко И.А., Малеваный А.И. Вытяжка деталей с нагревом заготовок. «Кузнечно-штамповочное производство», 1982., №1. - с.23-24.
2. Попов Е.О. Анализ процесса вытяжки с подогревом фланца. «Кузнечно-штамповочное производство», 1963, №8 - с.12-16.

УДК 621.7.044

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЪЕКТНОГО ПОДХОДА В ЗАГОТОВИТЕЛЬНО-ШТАМПОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ НА БАЗЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Третьяк В.В., канд. техн. наук, Серикова Е.И., Бахмет А.Г.

(г. Харьков, Украина)

Mathematical model of difficult sheet detail and technological process of impulsive technologies are examine in the object-oriented presentation for the intellectual designing systems. The model adapted for synthesis is in knowledge bases with the use of algorithms of patterns recognition is offered.

В современных экономических условиях в Украине особенно актуальны требования ресурсосбережения и технологической гибкости производства высококачественных изделий, отвечающих запросам современного технического уровня производства.

Одно из магистральных направлений развития машиностроения, комплексно удовлетворяющее этому требованию – использование преимуществ ресурсосберегающих технологий, в том числе импульсных.

Детали, изготовленные импульсными методами, обладают высокой прочностью, жесткостью и хорошими технологическими показателями, а их изготовление имеет минимальную металлоемкость и стоимость, особенно при малых сериях выпуска. Однако сложность физики процесса для сложных деталей требуют отработки таких процессов сначала в НИИ, а затем в производстве.

Для эффективного использования этих процессов в производстве их проектирование необходимо проводить с использованием возможностей современной вычислительной техники и реализовать имеющуюся научную базу и опыт проектирования [1].

В современных системах автоматизированного проектирования для описания технологических знаний используются принципы объектного представления знаний, в которых реализованы положения, известные в методах совре-

менного программирования (полиморфизм, наследование и инкапсуляция).

Используя аппарат искусственного интеллекта, работая с компьютером на естественном языке, реализуя возможности современных САПР, сегодня можно решать достаточно сложные задачи, которые под силу только высококвалифицированному технологу.

Для решения прямой задачи (построение технологического процесса) чертеж детали представляется в виде математической модели, в которую заложены конструкторско-технологические признаки, присущие и отвечающие физике импульсной технологии. Они обладают иерархической структурой, состоящей из нескольких уровней декомпозиции. Используются возможности наследования свойств от старшего объекта к младшему. Данная концепция реализована в пакете прикладных программ.

Проектирование ТП на уровнях формирования последовательности этапов, операций и переходов складывается из двух фаз: структурного и параметрического синтеза. При разработке наиболее сложного с точки зрения процесса проектирования структурного синтеза используются методы распознавания образов [1, 2].

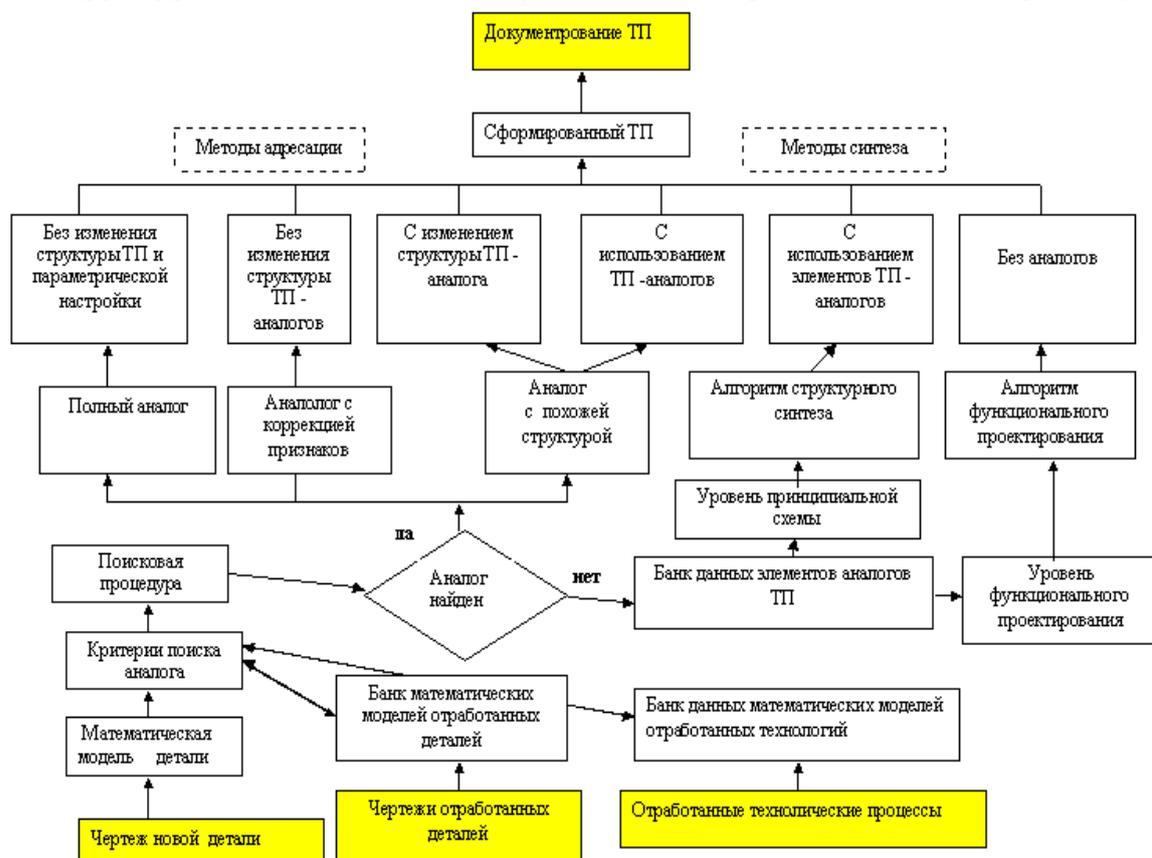


Рис. 1. Блок-схема формирования технологического процесса изготовления деталей, изготовленных импульсными источниками энергии.

В качестве объектов выступают детали и их составляющие, элементы технологических процессов, а также сами маршрутные и операционные технологические процессы, штампы и их элементы, оборудование и т.д.

На основе этой информации формируются программные средства базы знаний, которые затем используются при проектировании ТП. В зависимости от типа детали, наполняемости базы данных и знаний используется несколько ме-

тодов проектирования (рис. 1).

Состояние объектов характеризуется перечнем их свойств и текущим значениями каждого из этих свойств, а поведение объекта определяется набором правил, описываемых с помощью модулей инженерных знаний, объединенных в методы (рис. 2).

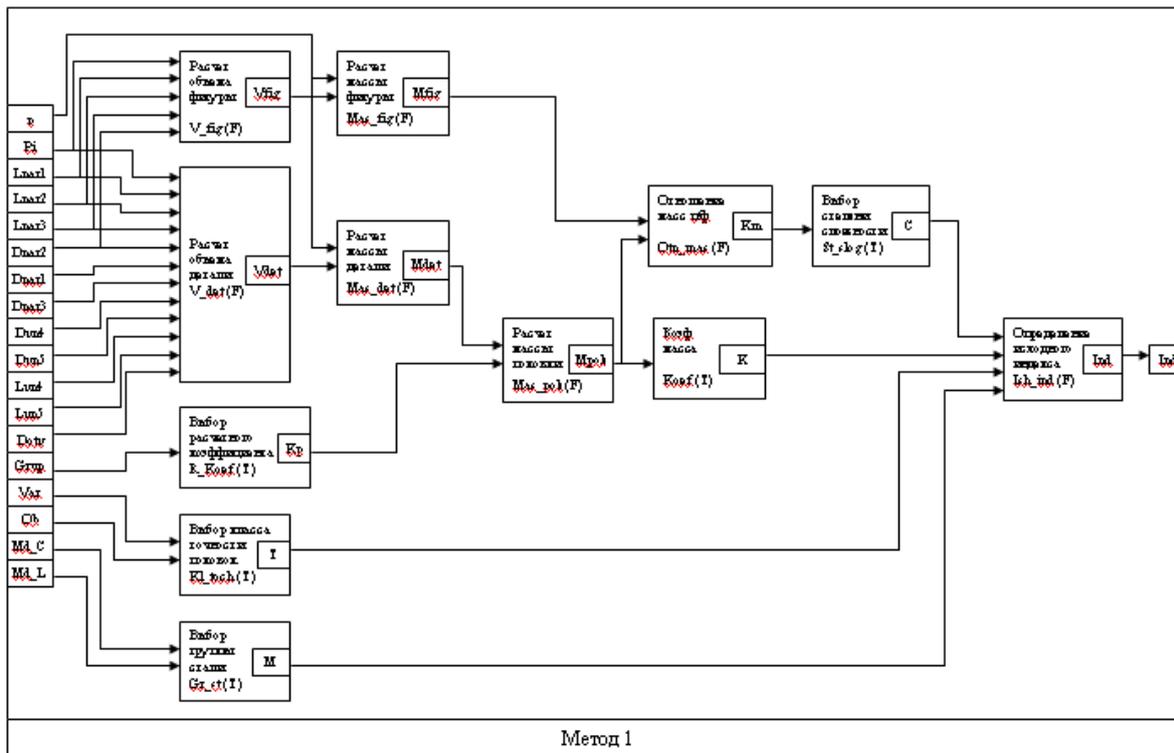


Рис. 2. Блок-схема метода определения припусков на обработку объемной детали с использованием многовходовых таблиц.

Такой способ представления знаний является наиболее перспективным, так как для его реализации используются продукционные системы искусственного интеллекта. Структурная модель процесса представляется блоками ориентированных графов, представляющих собой последовательность технологических операций.

Решение прямой задачи (моделирование) представлено процессом математического моделированием процесса импульсного деформирования для проверки адекватности разработанной модели процесса при решении обратной задачи и проверки учета технических требований [3].

Литература: 1. Сироджа И.Б. Теоретические основы синтеза структурно-аналитических моделей и алгоритмов распознавания образов для автоматизированной классификационной обработки. Сб. Математические методы анализа динамических систем. Вып. 1. – Харьков. 1977. – С. 28-39. 2. Информационная технология классификационной обработки данных в проектировании техпроцессов листовой штамповки взрывом. В.Я.Зорик, Л.А. Филипповская, В.В.Третьяк // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії. Тематичний збірник наукових праць. Донбаська державна машинобудівна академія.г.Краматорськ, 2001 р., стр. 286-289. 3. Математическое моделирование ресурсосберегающих технологий. В.К. Борисевич, В.В.Третьяк, И.В. Клыгина. Харьков, "ХАИ", // Науково-методична конференція «Впровадження нових інформаційних технологій навчання», 2004р., стр.227-232.

3. ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МАШИН, ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

УДК 539.3

НОВЫЕ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ ПОЛЗУЧЕСТИ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

Морачковский О.К., докт. техн. наук, **Ромашов Ю.В.**, канд. техн. наук
(г. Харьков, Украина)

The formulations and approximation solutions of the creep problems for turbo-machines blades shank representing are considered in this paper using Galerkin method. Both presence of the differentials and integral operators in considering problems mathematical formulating equations it is shown as characteristic feature of the corresponding problems. The creep computational analyses technologies problems of the shank representing turbo-machines blades are discussed thereupon.

Актуальность проблемы. Прогнозирование прочности лопаток турбомашин – это одна из наиболее важных задач, рассматриваемых на этапе проектирования лопаток [1]. Сложности исследования прочности определяются сложной формой рабочих лопаток, комплексным характером нагружения лопаток: растяжение, изгиб и кручение, а также, для лопаток ступеней высокого давления, высокими температурами, вызывающими ползучесть, что весьма неприятно из-за большого расчетного времени эксплуатации паровых турбин электростанций, составляющего около 100000 час. [1]. Указанные обстоятельства делают актуальными различные методы анализа ползучести рабочих лопаток паровых турбин, адекватно отражающие влияние на рассматриваемые процессы разнообразных конструктивных и эксплуатационных факторов.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время при исследовании прочности для расчета напряжений в рабочих лопатках паровых турбин используют большей частью стержневые модели рабочих лопаток, что позволяет учесть достаточно большое число геометрических факторов: изменение параметров сечений вдоль оси, начальную закрутку и начальную изогнутость оси лопатки [1]. Растяжение центробежными силами вращения, изгиб и кручение давлением паркам рассматривают преимущественно отдельно, учитывая взаимное влияние растяжения и изгиба только лишь в задаче проектирования безмоментной лопатки; ползучесть рассматривают как установившийся во времени процесс [1].

Большинство методов расчета лопаток основано на аналитических решениях, что существенно ограничивает их использование соответствующими случаями. Учет большого числа конструктивных и эксплуатационных факторов: начальные изогнутость оси и закрутка сечений, ползучесть, взаимное влияние растяжения и изгиба приводит к математическим постановкам, для которых отсутствуют практические возможности получения аналитических решений. Это делает актуальными разнообразные приближенные методы расчета лопаток, особенно начально-краевых задач ползучести, которые позволяют прогноиро-

вать изменение состояния рабочих лопаток с течением времени. Эффективность приближенных методов определяется возможностями их реализации с использованием информационных технологий. Теоретически наиболее общим приближенным методом решения начально-краевых задач теории ползучести является метод Бубнова-Галеркина [2], который имеет большие перспективы именно в связи с возможностями информационных технологий.

Цель и постановка задачи. Целью данного исследования является рассмотрение на основе метода Бубнова-Галеркина наиболее общих свойств математических постановок и приближенных решений задач ползучести лопаток турбомашин в рамках стержневой модели лопаток для выявления круга проблем, связанных с разработкой информационных технологий анализа ползучести лопаток. Выбор стержневой модели обусловлен ее широким распространением в расчетах прочности и жесткости рабочих лопаток турбомашин.

1. Метод Бубнова-Галеркина в задачах ползучести. Стремление прогнозировать при ползучести системы изменение ее состояния с течением времени в каждой ее точке приводит к начально-краевым задачам, в которых искомые неизвестные являются функциями времени и пространственных координат точек системы. В самом общем виде начально-краевая задача теории ползучести записывается следующим образом:

$$D\dot{v} + Lv = f_{\Gamma}, \forall x \in \Gamma, \quad (1)$$

$$Bv = f_{\partial\Gamma}, \forall x \in \partial\Gamma, \quad (2)$$

$$v(0, x) = v_0(x), \quad (3)$$

где $v = v(t, x)$ - вектор, составленный из неизвестных начально-краевой задачи ползучести; t - время, x - вектор, составленный из пространственных координат точки тела; D, L - матрицы и f_{Γ} - вектор, составленные по операторам и функциям уравнений задачи; $B, f_{\partial\Gamma}, v_0(x)$ - матрица и векторы, составленные по операторам и правым частям краевых и начальных условий.

Для решения задачи (1)-(3) представим искомое решение в виде аппроксимаций:

$$\tilde{v}(t, x) = v_0(x) + \Phi(x) \cdot a(t), a(0) = 0, \quad (4)$$

где Φ - матрица со столбцами из пробных функций, выбранных вместе с вектором v_0 так, чтобы краевые условия точно удовлетворялись при любом векторе $a^T = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ коэффициентов аппроксимации.

Следуя методу Бубнова-Галеркина [2, 3], рассмотрим условие ортогональности невязки дифференциальных уравнений внутри исследуемой области:

$$\int_{\Gamma} \Phi^T (D\dot{\tilde{v}} + L\tilde{v} - f_{\Gamma}) d\Gamma = 0 \quad (5)$$

Принимая L линейным оператором, без ограничения общности при помощи условия (5) получим задачу Коши:

$$\dot{a} = M^{-1}(t) \cdot b(t, a), a(0) = 0; \quad (6)$$

где $M(t) = \int_{\Gamma} \Phi^T D \Phi d\Gamma$, $b(t, a) = \int_{\Gamma} \Phi^T (f_{\Gamma}(t, x, a) - Lv_0) d\Gamma - \left(\int_{\Gamma} \Phi^T L \Phi d\Gamma \right) a$,
 $f_{\Gamma}(t, x, a) = f_{\Gamma}(t, x, \tilde{v}(a))$.

Примечательно, что широкий класс задач ползучести отвечает частному виду операторов (1)-(3):

$$v = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix}, D = \begin{pmatrix} D_{11} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ L_{21} & L_{22} \end{pmatrix}, f_{\Gamma} = \begin{pmatrix} f_{\Gamma 1} \\ f_{\Gamma 2} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & B_{22} \end{pmatrix}, f_{\partial\Gamma} = \begin{pmatrix} 0 \\ f_{\partial\Gamma 2} \end{pmatrix}, v_0(x) = \begin{pmatrix} v_{01}(x) \\ v_{02}(x) \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Задача ползучести (1)-(3) с операторами вида (7) также сводится к решению задачи Коши [2].

Рассмотрение ползучести часто требует решения вспомогательных краевых задач, неизвестные которых сами не зависят от ползучести, но оказывают на нее влияние. Классическим, хотя и не единственным, примером таких вспомогательных задач могут служить задачи теплопроводности. Действительно при известных допущениях распределение температуры можно рассматривать независимо от деформирования, но величина температуры оказывает влияние на деформирование. Рассматривая компьютерные технологии решения задач ползучести, следует предусмотреть возможности решения таких вспомогательных краевых задач. При рассмотрении решения основной задачи – начально-краевой задачи ползучести методом Бубнова-Галеркина естественно решение вспомогательных краевых задач также осуществлять этим методом. В этой связи рассмотрим решение краевой задачи для уравнения:

$$Lv = f_{\Gamma}, \forall x \in \Gamma, \quad (8)$$

где $v = v(x)$ - вектор, составленный из неизвестных вспомогательной краевой задачи; x - вектор, составленный из пространственных координат; L - матрица и f_{Γ} - вектор, составленные по операторам и функциям уравнений задачи.

Искомое решение задачи (8) представим в виде аппроксимации

$$\tilde{v}(x) = v_0(x) + \Phi(x) \cdot a, \quad (9)$$

где Φ - матрица со столбцами из принятых пробных функций, выбранных вместе с вектором v_0 так, чтобы краевые условия задачи, которые здесь детально не рассматриваются, точно удовлетворялись при любом векторе $a^T = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ коэффициентов аппроксимации.

Следуя методу Бубнова-Галеркина [3], рассмотрим условие ортогональности невязки дифференциальных уравнений внутри исследуемой области:

$$\int_{\Gamma} \Phi^T (L\tilde{v} - f_{\Gamma}) d\Gamma = 0. \quad (10)$$

Считая L линейным оператором, при помощи условия (10) получим систему линейных алгебраических уравнений, решение которой:

$$a = A^{-1} \cdot b, \quad (11)$$

где $A = \int_{\Gamma} \Phi^T L \Phi d\Gamma$, $b = \int_{\Gamma} \Phi^T (f_{\Gamma} - Lv_0) d\Gamma$.

Ограничиваясь операторными представлениями (1)-(11) можно сказать лишь, что компьютерные технологии решения задач ползучести включают необходимыми элементами: построение координатных последовательностей, выполнение матричных операций, вычисление определенных интегралов внутри исследуемой области, решение систем линейных алгебраических уравнений, численное интегрирование систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Операторных представлений (1)-(11), очевидно, недостаточно для установления индивидуальных свойств частных задач ползучести. Для установления таких свойств необходимо конкретизировать вид операторов. Далее рассмотрим реализацию приведенного здесь подхода в задачах ползучести турбинных лопаток.

2. Определение продольной силы. Представим турбинную лопатку в виде прямолинейного консольного переменного сечения стержня длиной l , испытывающего плоский изгиб давлением пара и растяжение центробежными силами вращения (рис. 1). Область Γ в рассматриваемом случае сводится к отрезку, ограниченному длиной l рабочей лопатки. Известная нагрузка на незакрепленном крае лопатки делает статически определимой задачу определения продольной силы, на которую в данном случае, очевидно, не будут оказывать влияние ни изгиб, ни ползучесть. Продольная сила $N_3 = N_3(x_3)$ в случае ненагруженного незакрепленного края стержня определяется решением краевой задачи:

$$\frac{dN_3}{dx_3} + q_3 = 0; N_3(l) = 0, \quad (12)$$

где $q_3 = q_3(x_3)$ - центробежная сила инерции вращения, приведенная к оси лопатки.

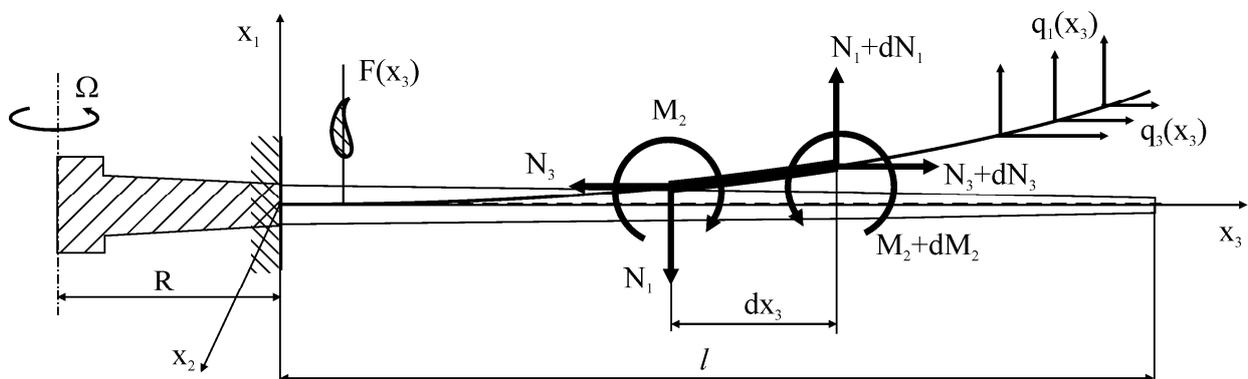


Рис. 1. Расчетная схема рабочей лопатки паровой турбины.

Операторные представления (8), (9) задачи (12) и ее приближенного решения имеют вид:

$$v = N_3; L = -\frac{d}{dx_3}; f_{\Gamma} = -q_3; \tilde{v} = \Phi a; \Phi = \left(1 - \frac{x_3}{l}\right) \Psi, \quad (13)$$

где $\Psi = \Psi(x_3)$ - строка, составленная из линейно независимых координатных функций.

Коэффициенты аппроксимации из (9) будут определяться из системы уравнений (11), в которой:

$$A = \int_0^l \Phi^T \frac{d\Phi}{dx_3} dx_3; b = \int_0^l \Phi^T q_3 dx_3. \quad (14)$$

Традиционно задача (12) рассматривается на основе аналитических решений, которые возможно получить, задаваясь функциональными зависимостями площади сечения лопатки от координаты. Однако приближенное решение имеет определенное практическое значение, особенно если площадь сечений задана в отдельных точках. С точки зрения информационных технологий, по задаче (12)-(14) к сказанному выше добавить нечего, за исключением того, что сказанное выше в рассматриваемом случае имеет наиболее простую реализацию.

3. Изгиб и растяжение лопатки при ползучести. В качестве неизвестных начально-краевой задачи ползучести рассмотрим деформацию ползучести $c_{33} = c_{33}(t, x_3)$, повреждаемость $\omega = \omega(t, x_3)$, поперечную силу $N_1 = N_1(x_3)$, изгибающий момент $M_2 = M_2(t, x_3)$, прогиб $u_1 = u_1(t, x_3)$ и продольное перемещение $u_3 = u_3(t, x_3)$, считая продольную силу $N_3 = N_3(x_3)$ известной из решения задачи (12) (см. рис. 1). Дифференциальные уравнения начально-краевой задачи ползучести с учетом малости прогибов стержня и влияния продольной силы на изгибающий момент имеют вид:

$$\dot{c}_{33} = \frac{B}{(1-\omega)^n} \left(\frac{N_3 + E \iint c_{33} dF}{F} - \frac{M_2 - E \iint c_{33} x_1 dF}{J_2} x_1 + E c_{33} \right)^n;$$

$$\dot{\omega} = \frac{A}{(1-\omega)^k} \left(\frac{N_3 + E \iint c_{33} dF}{F} - \frac{M_2 - E \iint c_{33} x_1 dF}{J_2} x_1 + E c_{33} \right)^k; \quad (15)$$

$$-\frac{1}{F} \iint c_{33} dF + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} = \frac{N_3}{EF}; \frac{1}{J_2} \iint c_{33} x_1 dF - \frac{M_2}{EJ_2} + \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_3^2} = 0; \frac{\partial^2 M_2}{\partial x_3^2} - N_3 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_3^2} + q_3 \frac{\partial u_1}{\partial x_3} = q_1;$$

$$c_{33}(0, x_3) = 0; \omega(0, x_3) = 0; c_{33}(0, x_3) = 0;$$

где B, n, A, k - постоянные ползучести, E - модуль упругости материала; $F = F(x_3)$ - площадь поперечного сечения лопатки; $J_2 = J_2(x_3)$ - момент инерции поперечного сечения лопатки относительно оси x_2 ; $q_1 = q_1(x_3)$ - сила давления пара, приведенная к оси инерции вращения, приведенная к оси лопатки

(рис. 1).

Операторные представления уравнений задачи (15) имеют вид:

$$v_1 = \begin{pmatrix} c_{33} \\ \omega \end{pmatrix}; D_{11} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; f_{\Gamma 1} = \left(\begin{array}{c} \frac{B}{(1-\omega)^n} \left(\frac{N_3 + E \iint c_{33} dF}{F} - \frac{M_2 - E \iint c_{33} x_1 dF}{J_2} x_1 + E c_{33} \right)^n \\ \frac{A}{(1-\omega)^k} \left(\frac{N_3 + E \iint c_{33} dF}{F} - \frac{M_2 - E \iint c_{33} x_1 dF}{J_2} x_1 + E c_{33} \right)^k \end{array} \right);$$

$$v_2 = \begin{pmatrix} M_2 \\ u_1 \\ u_3 \end{pmatrix}; L_{21} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{F} \iint (\bullet) dF & 0 \\ \frac{1}{J_2} \iint (\bullet) x_1 dF & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; L_{22} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial x_3} \\ -\frac{1}{EJ_2} & \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} & 0 \\ -\frac{\partial^2}{\partial x_3^2} & N_3 \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} & -q_3 \frac{\partial}{\partial x_3} \end{pmatrix}; f_{\Gamma 2} = \begin{pmatrix} \frac{N_3}{EF} \\ 0 \\ -q_1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

С точки зрения информационных технологий задача ползучести, отвечающая операторам вида (11), имеет принципиальную трудность, связанную с наличием операторов интегрирования, точное применение которых к пробным функциям, очевидно, практически возможно только для частных случаев. В общем же такие операторы приходится применять приближенно, заменяя их соответствующими квадратурами. Трудности применения квадратур, легко разрешаемые для лопаток постоянного, хотя бы и сложной формы, сечения, приводят к неприятным осложнениям для лопаток переменного сечения, когда область интегрирования зависит от координаты.

Выводы. Показано, что проблемы компьютерного анализа ползучести лопаток турбомашин в рамках стержневой модели включают построение координатных последовательностей, выполнение матричных операций, вычисление определенных интегралов внутри исследуемой области, решение систем линейных алгебраических уравнений, численное интегрирование систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Приведение нагрузок к оси лопатки в задачах ползучести не освобождает от необходимости учитывать форму лопатки как трехмерного тела.

Литература: 1. Прочность элементов паровых турбин / Шубенко-Шубин Л.А., Гернер Д.М., Зельдес Н.Я. и др. – М.-К.: Машгиз, 1962. – 568 с. 2. Морачковский О.К. Ромашов Ю.В. Решение начально-краевых задач теории ползучести повреждающихся тел методом Бубнова-Галеркина // Теоретическая и прикладная механика. – Вып. 42, 2006. – С. 23-28. 3. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 352 с.

ТЕРМОУСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ**Бондарь С.В., Лавинский В.Н** (г. Харьков, Украина)

The research results of maximum fortunes and steadiness loss of rectilinear bar form and flat form of round plate with calculation of temperature elements materials resiliency module dependence are represented.

Для стержневых и пластинчатых элементов конструкции важное практическое значение имеют расчеты на термоустойчивость. Решения задач в условиях неравномерного нагрева с учетом изменяющихся механических характеристик материала является сложно, так как связано с решением систем и линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. Если задачу определения критических температур, при которых элемент теряет устойчивость, возможно решить в линейном приближении, задачу, связанную с определением характеристик процессов и поведения конструкции после потери устойчивости, необходимо решать только в нелинейной постановке. Отметим еще один важный практический аспект использования указанных предельных характеристик, заключающийся в прогнозе огнестойкости элементов конструкций условиях огневого воздействия при пожаре. За предел огнестойкости элементов строительных конструкций принимается время, отвечающее интервалу от начала огневого воздействия до появления одного из предельных состояний [1,2] скорректированная зависимость на восходящей ветви распределения "температура-время" [2]: $T_p = 345\psi\ell g(8\tau + 1)$. Здесь T_p - температура реального пожара, °С; τ - время развития начала пожара, мин.; ψ - коэффициент коррекции.

Достаточно широко в современной периодике представлены методы определения огнестойкости по исчерпанию несущей способности в элементах строительных конструкций [1,2]. В настоящее время практически отсутствуют работы, в которых изучены вопросы исследования огнестойкости, связанные с потерей устойчивости. Последнее замечание определяет актуальность темы исследования.

Если выполнить моделирование условий пожара для решения задач по определению характеристик распределений тепловых источников и тепловых потоков, действующих на элемент конструкции, то далее задачу можно свести к расчету стержней и пластинок при неравномерном нагреве. После потери термоустойчивости элементы конструкций не выходят из строя, если их деформации, возникшие от выпучивания, в условиях продолжающегося пожара по эксплуатационным требованиям допустимы при достаточном запасе прочности и выполняют функциональное назначение. Решение такой задачи позволит прогнозировать продолжительность остаточного ресурса конструкции при развивающемся пожаре. Поэтому при решении первой задачи достаточно определить критическую температуру T_{kp} , отвечающую потере термоустойчивости элемента, а далее из уравнения (1) вычислить время τ_{kp} достижения этой температуры. Полученное значение времени τ_{kp} и представляет собой оценку предела огне-

стойкости элемента конструкции в условиях реального пожара. В реальных условиях истинное значение предела огнестойкости, как правило, по сравнению со значением, определенным из теоретического анализа термоустойчивости. Это связано с рядом факторов, которые условно можно разделить на две группы. К первой группе отнесем факторы случайной природы: случайный характер тепловых процессов при пожаре, неконтролируемые отклонения в геометрических размерах конструкций (незначительные отклонения оси несущих стоек строительных конструкций от прямолинейной формы, отклонения в толщине днища резервуара и пр.), случайный разброс теплофизических и механических характеристик материала. Вторая группа факторов носит детерминированный характер. К таким факторам можно отнести, например, температурную зависимость теплофизических и механических характеристик материала. Многообразная зависимость механических свойств материалов от воздействия тепла делает расчет стержневых и пластинчатых элементов достаточно сложным. Учесть влияние всех факторов, воздействующих на механические свойства материалов, при расчетах термопрочности и термоустойчивости в носящий момент невозможно.

Весьма характерна для механических параметров материалов зависимости их от высоких температур. Для конструкционных сталей в интервале температур до 500°C зависимость модуля упругости и коэффициент линейного расширения достаточно корректно описывается линейной зависимостью [3,4].

Для конструкционных сталей в интервале температур до 500°C зависимость модуля упругости достаточно корректно описывается линейной зависимостью $E = E_0 - \beta_{T1}T$, где E_0 - модуль упругости материала при комнатной температуре; β_{T1} - коэффициент, зависящий от материала, для малоуглеродистой стали $\beta_{T1} \approx 10^8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$. Коэффициент линейного расширения α для

большинства металлов и сплавов с повышением температуры возрастает. С достаточной для практических расчетов степенью точности такую зависимость можно аппроксимировать в виде линейной функции $\alpha = \alpha_0 + k_{\alpha}T$, где α_0 - коэффициент линейного расширения при комнатной температуре; для сталей $k_{\alpha} = 0,6 \cdot 10^{-8} \frac{1}{\text{град}^2}$.

Примем, что круглая стальная пластинка радиуса R и постоянной толщины h имеет шарнирно закрепленный наружный контур. Начало отклонения срединной плоскости, отвечает потере устойчивости, вызванной действием осесимметричных источников. Для определенности температуры по поверхности пластины:

$$T = T_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right), \quad (1)$$

где T_0 - температура в центре пластинки.

Для линейной постановки задачи прогибы $w = f(r)$ пластинки при осеси-

метричном изгибе получаются из условия ненулевого решения уравнения [3,4]:

$$D_T \nabla^2 \nabla^2 w + \nabla^2 M_T + 2 \frac{dD_T}{dr} \cdot \frac{d^3 w}{dr^3} + \left(\nabla^2 D_T + \frac{1 + \mu}{r} \cdot \frac{dD_T}{dr} \right) \cdot \frac{d^2 w}{dr^2} + \left(\frac{\mu}{r} \cdot \frac{d^2 D_T}{dr^2} - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{dD_T}{dr} \right) \cdot \frac{dw}{dr} = 0. \quad (2)$$

Здесь $D_T = \frac{1}{1 - \mu^2} \int_{-h/2}^{h/2} E(r, z) z^2 dz$ - циклическая жесткость пластинки при

переменном модуле упругости за счет температурной зависимости; μ - коэф-

фициент Пуассона материала; $M_T = \frac{1}{1 - \mu} \int_{-h/2}^{h/2} E(r, z) \alpha(r, z) T(r, z) z dz$ - изгибающий

момент, вызванный температурным воздействием.

Для определения критических параметров, в частности, критической температуры - T_{kp} , необходимо проанализировать условия существования ненулевого решения уравнения в прогибах [4] при граничных условиях, отвечающих шарнирному опиранию контура пластинки. Для решения сформулированной задачи устойчивости при температурном воздействии применим метод Бубнова-Галеркина [3]. В случае шарнирного опирания контура решение уравнения (2) представим в виде произвольного степенного ряда:

$$v(r) = \left[(2 + \mu) \rho - (1 + \mu) \rho^2 \right] v_R + \rho(\rho - 1)^2 \sum_{j=1}^n A_j \rho^{j-1}, \quad (3)$$

где $v = \frac{dw}{dr}$; $\rho = \frac{r}{R}$; v_R - значение угла поворота на контуре пластинки.

Найдем величину критической температуры T_{kp} , при достижении которой пластина теряет устойчивость. Примем линейный закон температурной зависимости модуля упругости и следующие параметры для расчета: $\mu = 0,3$; $\alpha = 0,12 \cdot 10^{-4} \frac{1}{^\circ\text{C}}$; $E_0 = 2 \cdot 10^{11}$ Па; $\frac{h}{R} = 0,02$. Далее применяя схему Бубнова-Галеркина и ограничиваясь в разложении (3) двумя слагаемыми, получаем алгебраическое уравнение. Приближенное решение его приводит к критическому значению температуры $T_{kp} = 351^\circ\text{C}$. При постоянном модуле упругости критическое значение температуры равняется 493°C .

С учетом температурной зависимости модуля упругости материала критическая температура снижается на 28,2%. Аналогичная тенденция наблюдается в расчетах термоустойчивости стержней.

Литература: 1. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 224с. 2. Фомін С.Л. Григор'ян Б.Б. Розрахунок вогнестійкості будівельних конструкцій за реальним режимом пожежі //Бюлетень пожежної безпеки. -№2. – 2002. С. 9-10. 3. Подстригач Я.С. , Коляно Ю.М. неустановившиеся температурные поля и напряжения в тонких пластинках. –К.: Наук. думка , 1972. – 302с. 4. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. – М.: Наука, 1967. – 984с.

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА КРУПНОГАБАРИТНОГО ДВС

Автономова Л.В., Анацкий Ю.П., Лавинский В.И. (г. Харьков, Украина)

The method of prognostication of dynamic durability of corps of engine on the basis of successive modal analysis of forms of vibrations for the calculation charts of a different discrete level of solid body's model is described in work.

В настоящее время совершенствование и модернизация двигателя внутреннего сгорания осуществляется на базе комплексного анализа большого количества процессов различной направленности. Одна из основных проблем заключается в использовании современных материалов, обладающих улучшенными характеристиками виброизоляции и шумопоглощения взамен существующих для снижения уровней шума и вибрации.

При этом показатели прочностной надежности конструкции ДВС должны быть достаточно высокими. Для достижения этой цели, необходимо, чтобы уже на стадии предварительного проектирования конструктивного решения, определённый расчётный анализ подтвердил корректность использования разработчиков новых концепций, подходов и решений, позволяющих выбрать вариант проекта с оптимальными технико-экономическими показателями.

Однако, во многих случаях затруднительно получить с необходимой степени точности абсолютные показатели надёжности, прочности и трещиностойкости корпусных элементов ДВС из-за значительного числа влияющих факторов, таких как сложный характер нагружения со случайными отклонениями, остаточные напряжения (монтажные), дефектность материалов и другое. До получения достоверных результатов требуется применение все более сложных методов и алгоритмов моделирования.

Современное программное обеспечение на базе МКЭ, реализующее технологию проектирования, даёт возможность прогнозировать с определённой точностью поведение ДВС как сложной технической системы с характерными протекающими в ней процессами, и провести предварительный прочностной и динамический анализ для всей конструкции разнообразных ДВС, в том числе и для составляющих отдельных элементов двигателя [1].

Однако, существует ряд ограничений, которые не позволяют в полной мере достаточно быстро и эффективно достичь соответствия модели реальным условиям, ввиду сложности геометрии и модели деформирования, например, учет предварительного напряженно-деформированного состояния. Так при расчетном анализе характеристик шума и вибрации двигателя необходимо иметь достоверную информацию о динамических свойствах, как отдельных элементов, так и общие динамические характеристики конструкции при взаимодействии составляющих узлов.

Поэтому на предварительной фазе проектирования в качестве первоначальной оценки динамического поведения конструкции и отдельных элементов двигателя можно применить модальный анализ, реализованный в специализированном программно-ориентированном пакете. Возможность применения такого подхода объясняется тем, что в программном пакете модальный анализ можно выполнять как для ненагруженной, так и для нагруженной конструкции.

Модальные формы двигателя характеризуются влиянием отдельных компонентов на каждом частном диапазоне, что позволяет отделить глобальные диапазоны частот колебаний корпуса от автономных, соответствующих навесным агрегатам.

Так, вибрации корпуса в составе с двигателем в частотном диапазоне вынужденных колебаний всего двигателя представляют особый интерес в связи с возможным появлением опасных форм напряжений, приводящих к трещинообразованию в опасных зонах самого корпуса. Выявление таких опасных зон возможного разрушения является задачей, которую необходимо решать на предварительном этапе конструкторской разработки.

На основании вышесказанного была обоснована и разработана методика оценки динамического поведения корпуса транспортного дизеля с использованием модального анализа.

Созданная методика численного динамического анализа состоит из четырех основных этапов, реализованных в виде отдельных программно-ориентированных расчетных модулей:

- программное обеспечение для создания твердой модели;
- программное обеспечение для разбиения твердой модели на КЭ и выполнение модального анализа;
- программное обеспечение для расчета частотно-амплитудных характеристик колебаний;
- программное обеспечение для расчета на динамическую прочность.

Важным этапом выполнения анализа несущей способности конструкции является составление расчетной схемы. Как правило, на первом этапе вводится расчетная схема для укрупненного анализа и оценки со стояния конструкции в общем. Далее на основе полученных данных осуществляется детальное моделирование прогнозируемых опасных зон по критериям прочности и трещиностойкости.

На стадии подготовки расчётной твердотельной модели проводилась работа с геометрической моделью курсора крупногабаритного ДВС, созданной конструкторами в одной из CAD-систем. Такая модель строилась в одном для получения детальной чертежной информации, что обусловило наличие в ней множества мелких конструктивных элементов.

Отдельные фрагменты модели характеризовались наличием в них «щелей», со сложной структурой пересечения поверхностей или с наличием малых поверхностей, образующихся при наложении различных операций при моделировании. В препроцессоре программного комплекса такие геометрические особенности вызывают проблемы при генерации конечно-элементной сетки. Помимо «загруления» модели с удалением несущественных конструктивных элементов, важной задачей подготовительного этапа являлось формирование поверхностей для последующего задания граничных условий. В данном исследовании, учитывая геометрическую сложность и крупные габариты (рис.1) корпуса, была создана твердая модель, приближено отвечающая натурному объекту, однако вписывающая в стратегию прочностного анализа и позволяющая прогнозировать опасные зоны, в частности по критерию трещиностойкости.

На следующем этапе анализа каждой из набора связанных объемов раз-

бывался генератором сетки на элементы гексаэдрической формы. После серии расчетных экспериментов в качестве основной была выбрана конечно-элементарная сетка с параметрами, позволяющими проводить дальнейший анализ на персональном компьютере средней производительности: количество элементов-189381; количество узлов-373532. Фрагменты разбивки показан на рисунке.2 и рис.3.

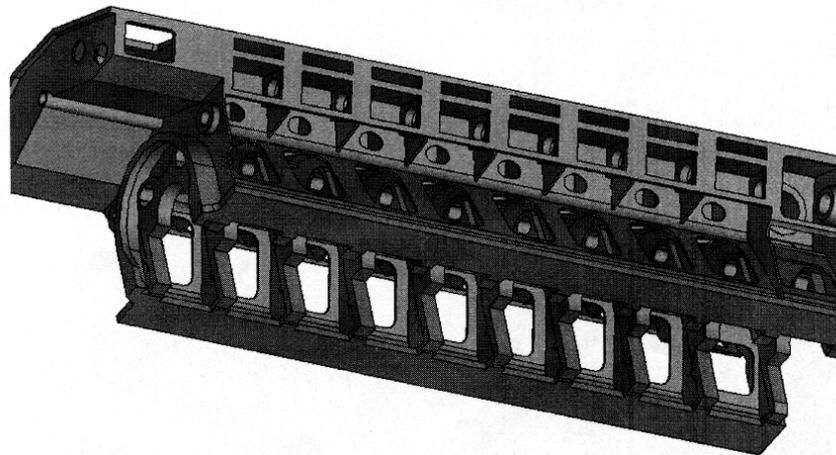


Рис.1 Общий вид картера.

В качестве оценочных параметров динамической поведения конструкции были выбраны частота колебания, модальная форма и величина максимальных относительных отклонений. Рассматривались различные варианты конструкции подкрепляющих силовых элементов на корпусе с целью перераспределения зон распространения колебаний на другие участки корпуса.

На рис.2, рис.3 показаны первая и шестая формы колебаний корпуса со стороны наиболее опасного участка (области развития трещин отмечены стрелкой). В данных областях были детально проанализированы вибрационные процессы с использованием локального сгущения конечно-элементарной сетки.

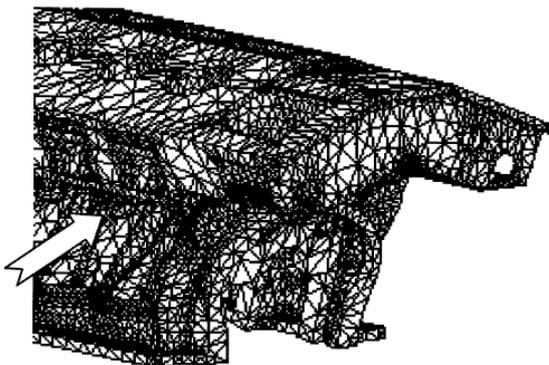


Рис.2. Первая форма колебаний.

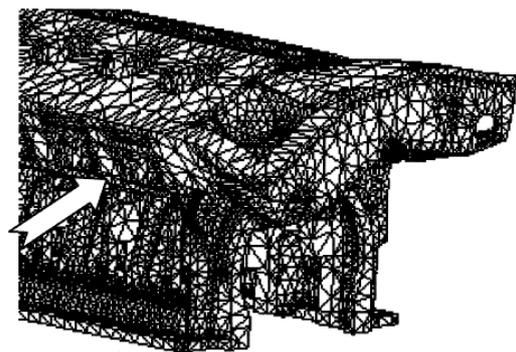


Рис.3. Шестая форма колебаний.

Результаты исследования форм колебаний, отвечающих нижней части спектра собственных частот корпуса двигателя, позволило установить совпадение зон повышенного излучения вибраций на корпусе для шестой формы колебаний (собственная частота 278 Гц) с выраженной областью трещинообразования в корпусе эксплуатируемого двигателя, что позволяет сделать вывод о наибольшей опасности именно данной частоты.

Литература: 1. Пильов В.О., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників Т.4. Основи САПР ДВЗ. За ред.. А.П Марченка, А.Ф Шеховцова. – Харків.Прапор.2004.-336с.

УДК 621.9

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИЙ КОРПУСА ОДНОКАСКАДНОГО ЗОЛОТНИКОВОГО ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

Степанов М.С., докт. техн. наук., Степунин В.И.,

Назаренко С.А., канд. техн. наук., Белозеров А.В.

(г. Харьков, Украина)

Analysis deformations of the case one-cascade the hydroallocator the settlement researches Executed to work and the received values intense the deformed condition for all points of model is carried out testifies that the maximal equivalent pressure do not exceed allowable values.

Для современного уровня проектирования конструкций изделий машиностроения характерно расширение интеграции и взаимодействия математических моделей высокого уровня, обеспечивающих инновационные решения широкого спектра междисциплинарных проблем жизненного цикла изделий. Современный этап развития информационных технологий в промышленности определяется CALS-технологиями (Continuous Acquisition and Life-cycle Support т.е. непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия или продукта, с использованием технологий создания, поддержки и применения единого информационного пространства на всех этапах жизненного цикла продукции - от ее проектирования до эксплуатации и утилизации). По своей сути сегодня CALS является глобальной стратегией повышения эффективности бизнес-процессов, выполняемых в ходе жизненного цикла продукта за счет информационной интеграции и преемственности информации, порождаемой на всех этапах жизненного цикла.

С повышением точности изготовления герметизирующих поверхностей и их взаимного расположения качество герметичных соединений должно повышаться, поскольку это дает возможность более строго выдерживать заданную посадку и при подвижных соединениях обеспечить возможность взаимного перемещения сопряженных поверхностей при меньших зазорах, а следовательно, при меньших утечках в соединении.

Интенсификация рабочих процессов гидрофицированных машин, усложнение конструктивных форм корпусных деталей гидроагрегатов, применение новых конструкционных материалов и технологий производства обуславливают необходимость проведения уже на ранних этапах проектирования гидромашин подробных исследований прочностных и деформационных характеристик комплектующих гидроаппарат элементов с целью предотвращения возможных чрезмерных деформаций и появления микротрещин.

При проектировании однокаскадного золотникового гидрораспределителя с учетом реальной технологии изготовления, учитывая сложность конструкции, функциональную важность и высокую нагруженность, необходима разработка достоверных математических моделей, новых специальных методов и прикладных программ анализа.

Однокаскадный золотниковый гидрораспределитель (рис.1) представляет собой электрогидравлический усилитель, преобразующий входной электрический сигнал в изменение расхода рабочей жидкости через дросселирующее ок-

но золотника. Для распределителей с пропорциональным управлением, например типа РП-6, сохраняется однозначная аналоговая зависимость между электрическим входным сигналом и расходом через золотник, для обычных однокаскадных гидрораспределителей, например типа ВЕ-6, зависимость имеет релейный характер, т.е. изменяется скачком при достижении входным электрическим сигналом определенного значения.

Электромагниты с пропорциональным управлением 1 и 2 обеспечивают определенное положение золотника 4 относительно кромок во втулке, образованных проточками в корпусе 3 гидрораспределителя в соответствии с законом изменения тока в обмотках. Золотник центрируется пружинами 6 упирающимися в шайбы 5.

Несмотря на то, что производство гидрораспределителей является специфическим и весьма важным, отсутствие достаточных экспериментальных данных не позволило в полной мере разработать руководящих технических требований и установить рациональную технологию обработки, в том числе герметизирующих поверхностей деталей гидрораспределителей. Это обстоятельство вызвало необходимость провести дополнительную работу в направлении исследования деформации их корпуса.

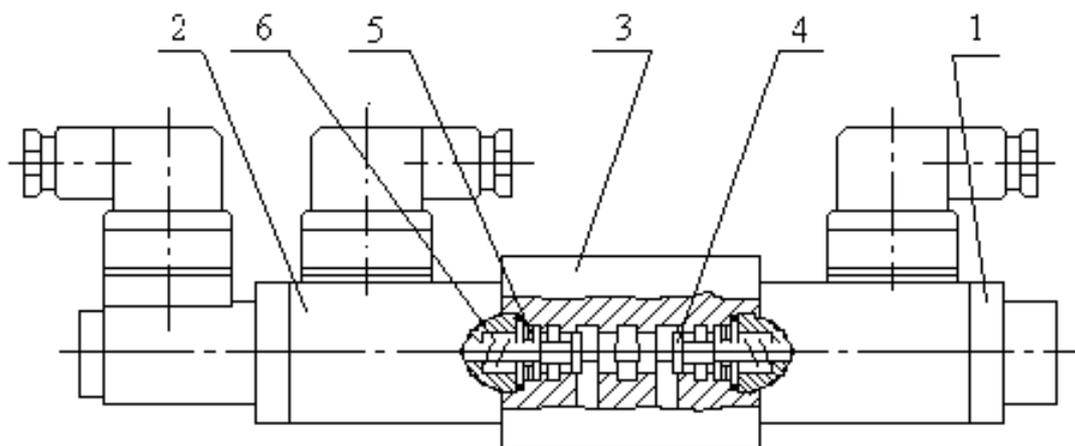


Рис. 1. Конструктивная схема гидрораспределителя.

Горизонтальное отверстие в корпусе гидрораспределителя образует втулку цилиндрического золотника. Во втулку открываются каналы, подводящие жидкость из гидросистемы и отводящие ее к полостям исполнительного гидромотора. В связи с этим втулка подвержена действию давления жидкости разных величин и направлений, что приводит к ее несимметричной деформации и способствует возникновению перекосов, приводящих к заклиниванию золотника. Исключить это можно оптимальным выбором зазора в золотнике, основанным на достоверном расчете деформационной картины втулки и корпуса гидрораспределителя в целом.

Для решения этой задачи разработана математическая модель с высокой степенью адекватности реальному объекту. Для построения математической модели разрабатываемой конструкции использована САД-система компьютер-

ного моделирования среднего уровня SolidWorks. На рисунке 2 изображена полная 3-х мерная твердотельная CAD-модель однокаскадного гидрораспределителя.

Характер воздействия высокого давления на остаточные свойства металлов и сплавов пока полностью не раскрыт, однако на основе уже проведенных исследований можно выделить две основные физические причины, способствующие получению после гидравлического воздействия материалов с высоким уровнем механических свойств: предотвращение образования и «залечивание» микро - и макродефектов в деформируемом материале. Механизм «залечивания» дефектов при деформации в условиях высоких гидростатических напряжений можно представить в следующем виде: гидростатическое давление нейтрализует силы, стремящиеся раскрыть трещину, не дает ей возможности расти.

С другой стороны высокий уровень давлений в корпусе может привести к деформациям выше критических, что повлечет за собой изменение размеров проходных щелей, а следовательно, и расхода жидкости.

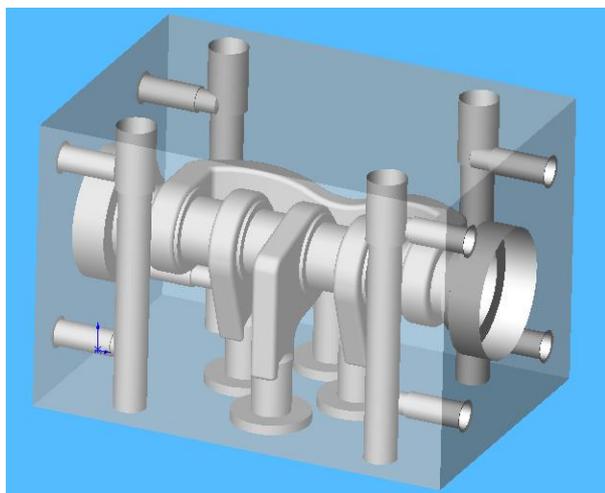


Рис. 2. Твердотельная модель корпуса гидрораспределителя.

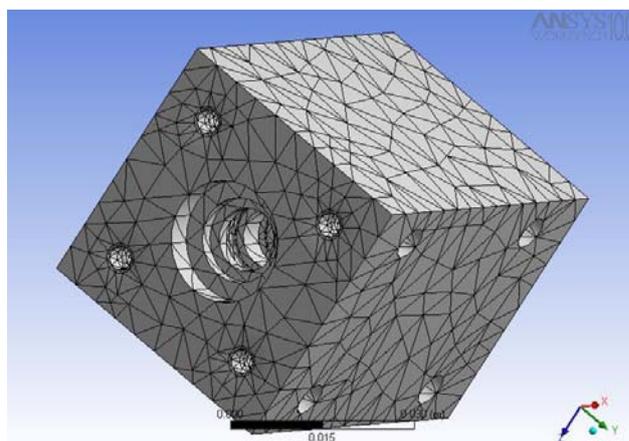


Рис. 3. Конечноэлементная модель корпуса гидрораспределителя.

Целью проведенных исследований был прочностной анализ корпуса гидрораспределителя методом конечных элементов (МКЭ), являющегося наиболее мощным, универсальным и распространенным методом моделирования сложных конструкций. Можно выделить основные этапы решения задач МКЭ:

- построение вариационного функционала;
- расчленение системы на конечные элементы (КЭ) и выбор координатных функций (рис. 3.);
- построение матриц жесткости и приведение местной нагрузки к узловой для каждого КЭ;
- построение канонических уравнений вида

$$Z(\vec{u}, \vec{y}) = K(\vec{u})\vec{y} - \vec{F}(\vec{u}) = \vec{0},$$

где \vec{y}, \vec{F} – векторы узловых перемещений (для метода перемещений) и нагрузок; $K(\vec{u})$ – матрица жесткости системы; \vec{u} – вектор варьируемых конструктивных параметров системы;

- решение канонических уравнений (определение степеней свободы системы);
- определение компонентов напряженно-деформированного состояния (перемещений, напряжений) по области КЭ, т.е. в произвольных заранее заданных местах.

Описание математической модели в наиболее общем и универсальном виде может быть сформулировано в виде вариационных принципов. Преимущество их использования заключается в том, что при интегральной формулировке порядок дифференциальных выражений оказывается в два раза ниже, что является весьма важным преимуществом при использовании приближенных методов.

Полный функционал является наиболее общей энергетической характеристикой произвольной механической системы, выраженной через все компоненты выбранного пространства состояний. Общность состоит в том, что из полного функционала могут быть получены все возможные частные функционалы в данном пространстве, а также определены все компоненты полей.

Расчет по алгоритму метода конечных элементов начинается с дискретизации расчетной схемы. Каждый КЭ сохраняет все физические и геометрические свойства исходной среды. На границе области задаются граничные условия, т.е. компоненты сил или перемещений.

Важным шагом, во многом определяющим эффективность расчета является выбор типа конечного элемента. Использование пространственных конечно-элементных моделей, ориентированных на задачи оптимального проектирования, позволяет более адекватно моделировать современные сложные конструкции.

Разбивка конструкции деталей на конечные элементы производится в соответствии со следующими принципами:

- число конечных элементов должно обеспечить хорошую передачу основных геометрических форм;
- кромки конструктивных элементов непременно совпадают с границами КЭ;
- число конечных элементов должно быть как можно меньшим для сокращения необходимых ресурсов компьютера для расчетов.

Для моделирования конструкции используются два семейства конечных элементов: тетраэдры и шестигранные призмы с плоскими или с криволинейными гранями.

Используемые пространственные модели МКЭ позволяют:

- учесть сложные формы поверхности и граничного контура, условия за-

крепления, законы распределения нагрузки и неоднородных физико - механических свойств материала;

- независимо уточнить переменные состояния (перемещения, напряжения и т.д.) и проектирования (распределение толщин, радиусов кривизн и т.д.) в различных зонах и направлениях;
- задать необходимые граничные условия и приложить нагрузки.

Результаты представлены на рис. 4 и рис. 5.

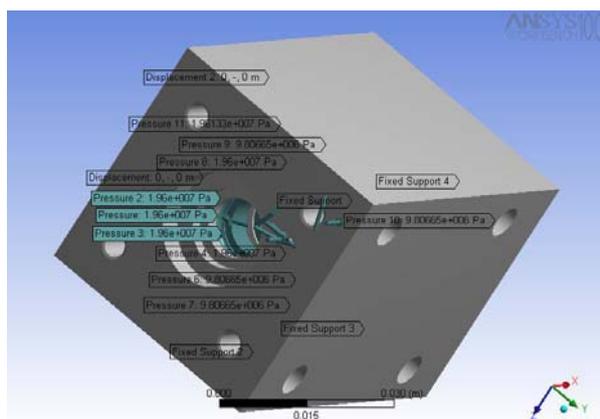


Рис. 4. Распределение нагрузок.

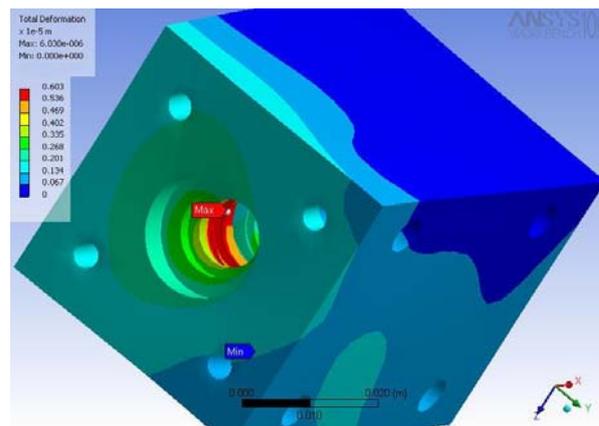


Рис. 5. Распределение перемещений.

Деформации втулки гидрораспределителя, вызванные радиальным давлением жидкости приводят к перекосу разделяющих перегородок втулки отделяющих полости, с разным давлением, увеличивая перетечки жидкости между полостями и способствуют возникновению жесткого контакта поверхностей втулки и золотника, приводя его к заклиниванию. Выполненные в работе расчетные исследования и полученные значения напряженно - деформированного состояния для всех точек модели (рис. 5) свидетельствует о том, что максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу не превышает допустимых значений.

Литература: 1. Piegl L.A. Ten challenges in computer-aided design// Computer-aided design. 2005. №37. p. 461-470. 2. Гриценко Г.Д, Малакей А.Н., Миргородский Ю.Я., Ткачук А.В., Ткачук Н.А. Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем// Механіка та машинобудування. 2002. №1.-С. 6-13. 3. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике/М.:Мир, 1978. - 519 с. 4. Лукьяненко В.М. Динамическая прочность, надежность и оптимизация роторных машин нефтегазохимической промышленности. Сумы: Контраст, 1999. – 232 с. 5. Жеков К.С. Современные аналитические возможности ANSYS. // САПР и графика. 1998. №9. С. 50–52. 6. <http://www.ansys.com/services/documentation/manuals70.htm> – Welcome to ANSYS 7.0 Documentation. 7. Богомоллов С.И., Назаренко С.А., Симсон Э.А. Расчет и оптимизация оболочек общей формы на базе смешанного подхода МКЭ // Динамика и прочность тяжелых машин.– 1986.– С.– 91-97.

ОСОБЕННОСТИ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ ДИСК-ЛОПАТКИ-ПОЛКИ

Воробьев Ю.С., докт. техн. наук, **Гошкодеря В.П.**, канд. техн. наук,
Цыба А.Н. (г. Харьков, Украина)

The influence of rigidity change of contact surfaces links from a shelf on frequencies of natural vibrations of a blade ring is considered. The numerical analysis of vibrations the rod model of a blade is used. Results of researches can be used at projection of blades of turbomachines and at tune-out their frequencies from a resonance.

Введение. В турбостроении нашли широкое применение лопатки, выполненные заодно с полками различной конструкции. Полки, соединенные с предварительным натягом, объединяют лопатки в пакеты конечной длины или бесконечной длины. В работах [1, 2] рассмотрены вопросы, связанные с поведением системы с двумя «парными» лопатками, объединенными жестким полочным бандажом, и показано влияние жесткости контакта соседних участков связей на спектр собственных частот.

Для случая объединения лопаток в пакеты бесконечной длины за счет натяга между полками возникает проблема поведения колебательной системы при уменьшении жесткости контакта соседних полок. В конечном счете, такая система превращается в колебательную систему со свободными лопатками. По мере изменения условий контакта соседних участков связей, изменяются ее вибрационные характеристики.

Постановка задачи. В данной работе ставится цель исследовать характер изменения спектра собственных частот замкнутого на круг облопачивания при изменении жесткости контакта полочных связей и влияние этих изменений на вибрационную отстройку. Для исследования используется методика,

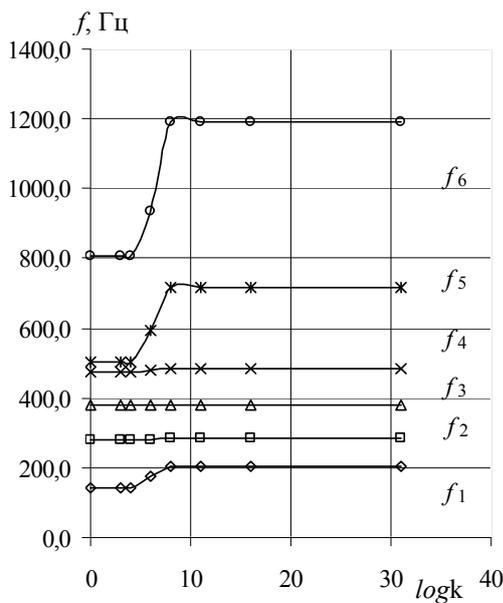


Рис. 1. Зависимость частот свободных колебаний лопатки от жесткости контакта полок, $k_d=0$.

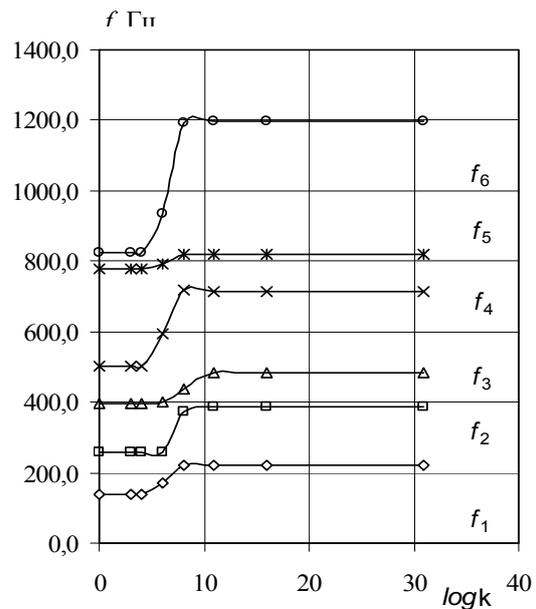


Рис. 2. Зависимость частот свободных колебаний лопатки от жесткости контакта полок, $k_d=2$.

изложенная в работах [3, 4].

Облопачивание со сплошной связью рассчитывается как циклически симметричная система, замкнутая на круг. В месте соединения участков связи, относящихся к соседним лопаткам, возникают сосредоточенные усилия и моменты, пропорциональные абсолютной разности смещений и углов поворота $\vec{Q} = K\vec{\Delta}$, где \vec{Q} – вектор усилий и моментов, $\vec{\Delta}$ – вектор абсолютных разностей смещений и углов поворота в месте соединения соседних участков связи, K – диагональная матрица коэффициентов жесткости контакта.

Снижение величины жесткости контакта в месте стыковки полок будем учитывать за счет изменения диагональных элементов этой матрицы k_{ji} , где i, j определяет направление координатной оси, вдоль которой действуют соответствующие проекция векторов сосредоточенных усилий и моментов. В качестве примера рассматривался диск $r=59,75$ см с лопатками длиной $L=50$ см, вращающийся с угловой скоростью $N=3000$ об/мин. Полки расположены на высоте $z_c=30,7$ см от корня лопатки.

Результаты исследований. При проведении численных исследований учитываются различные условия контакта полок от жесткого соединения до появления зазора между полками.

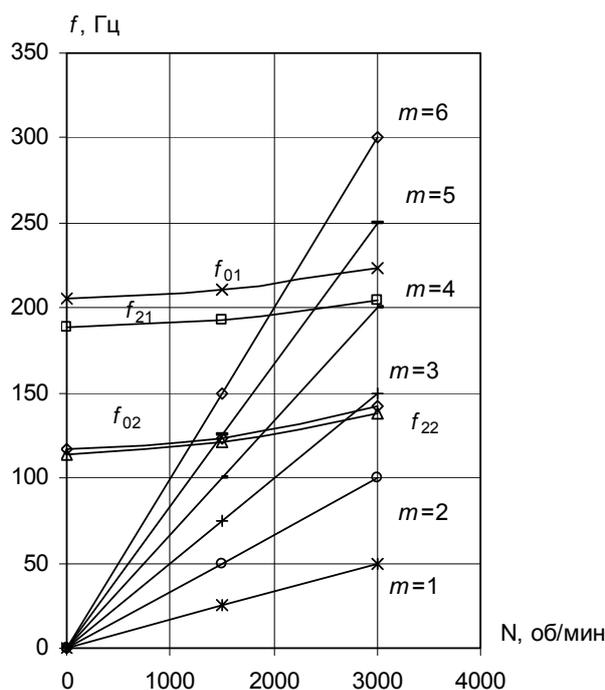


Рис. 3. Диаграмма частот f_1 для лопатки с переменной жесткостью контакта по полкам, m - номер возмущающей гармоники.

С этой целью коэффициентам k_{ji} задавались значения от 0 до 10^{31} . На рис. 1 и рис. 2 показано изменение частоты для шести форм собственных колебаний. Из рис. 1 видно, что при колебаниях без узловых диаметров, так называемые «зонтичные колебания», чувствительность к величине жесткости контакта, коэффициенту k_{ji} , возрастает при изменении его от 10^5 до 10^{10} . При этом частоты не всех форм колебаний убывают при уменьшении жесткости контакта полок. На рис. 2 показаны аналогичные результаты при колебаниях с узловыми диаметрами. Колебания с двумя узловыми диаметрами $k_d=2$ отличаются от «зонтичных колебаний» $k_d=0$ тем, что практически все частоты имеют тенденцию снижаться при уменьшении

жесткости контакта полок. Из полученных результатов видно, что по значительному количеству форм колебаний, их частоты при нарушении жесткости контакта полок значительно изменяются. На рис. 3 показана частотная диаграмма для первых собственных частот «зонтичных» колебаний и колебаний с

двумя узловыми диаметрами. Угловая скорость вращения ротора N изменяется от 0 до 3000 об/мин. Для «зонтичных» колебаний частота первой формы f_1 изменяет свое значение от f_{01} до f_{02} . Для колебаний с двумя узловыми диаметрами – от f_{21} до f_{22} , где первый индекс указывает на число узловых диаметров ($j=0$ и $j=2$), а второй на жесткий контакт полка ($i=1$) и отсутствие контакта ($i=2$). Из рис. 3 следует, что в процессе работы, частоты собственных форм колебаний могут изменять свои значения в достаточно широком диапазоне. Не исключена возможность попадания в резонансную область с m -й гармоникой возмущающей силы. Это может повлиять на параметры отстройки лопаточного венца и на его напряженное состояние.

Заключение. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- а) снижение величины коэффициента жесткости в месте стыковки участков полка существенно влияет на спектр собственных частот лопаточного венца;
- б) результаты исследований могут быть использованы при экспресс-анализе в задачах проектирования лопаточных венцов турбомашин и при отстройке их частот от резонанса.

Литература: 1. Воробьев Ю.С. Колебания лопаточного аппарата турбомашин. Киев: Наук. думка, 1988. – 224 с. 2. Воробьев Ю.С., Корсунский М.Л. Исследование колебаний систем парных лопаток с технологическими отклонениями // Научные основы и методы повышения надежности и долговечности газотурбинных двигателей. – Киев: Наук. думка, 1979. – С. 86-94. 3. Воробьев Ю. С. Исследование колебаний рабочих колес паровых турбин на основе стержневой модели лопатки / Ю.С. Воробьев, В.П. Гошкодеря, А.Н. Цыба // Физические и компьютерные технологии: 8-я Международная научно-техническая конференция (9-10 декабря 2003 г.). – Харьков, 2003. – С. 216-218. 4. Воробьев Ю. С. Выбор конструктивных параметров межлопаточных связей / Ю. С. Воробьев, В. П. Гошкодеря, А.Н. Цыба // Проблемы машиностроения, 2006, Т. 9, №3. – С. 45-49.

УДК 621.833.7

КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧНОСТИ СИЛОВЫХ ВОЛНОВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Воробьев Ю.С., докт. техн. наук, Приймаков Г.А. (г.Харьков, Украина)

Conducted the research on computer of the stress-strain state of flexible sprockets depending on values of constructive parameters and rotation rate of the generator.

Изменение напряженного состояния оценивается по коэффициенту динамичности ($K_{дин}$) в гибком зубчатом колесе силовой волновой передачи, определяемого как отношение величины максимальных сжимающих и растягивающих напряжений, полученных при определенной скорости вращения генератора к величине напряжений, когда его скорость равна нулю.

Теоретическое определение коэффициента динамичности для силовых волновых зубчатых передач выполнялось на основании результатов работ [1-3]. Экспериментальные исследования, проведенные в работе [4] позволили также оценить коэффициенты динамичности. Сравнение изменения теоретических и

экспериментальных значений коэффициентов динамичности для силовых волновых зубчатых передач в зависимости от числа оборотов генератора волн приведены на рис. 1

Экспериментальные исследования динамики гибкого колеса силовой волновой передачи проводились на стенде, состоящем из волнового редуктора, порошкового электромагнитного тормоза и электродвигателя. При экспериментах частота вращения менялась от 2 до 9000 об/мин. Нагрузка на выходном валу во время эксперимента оставалась постоянной, а ее величина могла устанавливаться в пределах от 0 до 30 Нм. Компоненты относительных деформаций гибкого колеса силовой волновой передачи замерялись методом тензометрирования. На основании полученных осциллограмм построены графики изменения амплитудных значений относительных деформаций и напряжений в зависимости от скорости вращения генератора и момента на выходном валу редуктора. Исследования показали, что изгибные напряжения практически не зависели от нагрузки на выходном валу редуктора, а определялись скоростью вращения генератора и конструктивными параметрами гибких колес.

Теоретические исследования показали, что деформированное и напряженное состояние гибких элементов волновых передач существенно зависят от скорости вращения генератора и это выражается в изменении формы упругой линии гибкого колеса. Выяснено, что наибольший рост деформаций и напряжений наблюдается в зоне малой оси генератора, где имеется свобода изменения упругой линии.

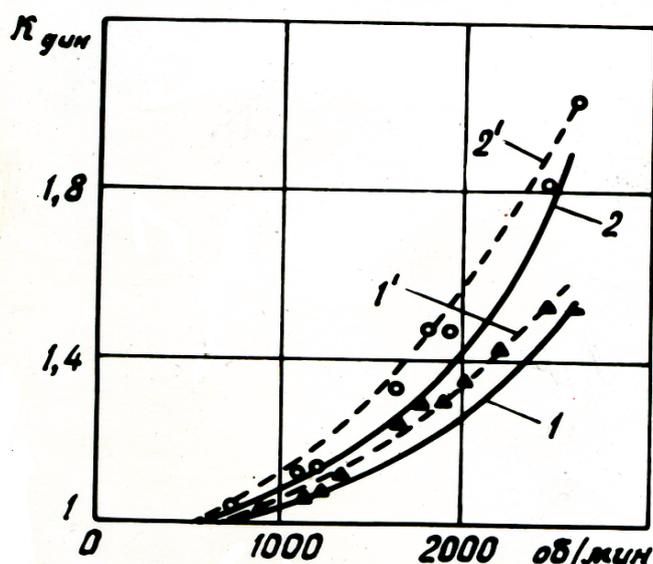


Рис.1. График изменения $K_{дин}$.

Изгибные колебания гибких элементов при скорости вращения генератора ниже критической носят вынужденный характер. При скоростях, близких к критическим, наступает резонанс. Для исключения резонанса изгибных колебаний необходимо, чтобы скорость вращения генератора составляла $w \leq 0,8w_{кр}$.

На основании теоретических исследований предлагается для уменьшения роста деформаций и напряжений в гибких элементах, деформируемых генераторами свободной и полупринудительной деформации, ограничивать возможность изменения формы упругой линии в зонах малой оси путем введения в генератор деформации дополнительных дисков, контактирующих с гибким колесом в зоне малой оси.

На рис. 1 в качестве примера приведены графики изменения $K_{дин}$ для колеса с параметрами: $R=5$ см; $b=2,4$ см; $h_k=0,05$ см. На рис.1.: 1 - теоретическое значение $K_{дин}$ для $\varphi=0$, 1' - экспериментальное значение $K_{дин}$ для $\varphi=0$; 2 - теоретическое значение $K_{дин}$ для $\varphi = \pi/2$, 2' - экспериментальное значение

$K_{дин}$ для $\bar{\varphi} = \pi/2$.

Литература: 1. Приймаков О.Г., Приймаков Г.О. Розрахунок на міцність трихвильових зубчастих передач //Збірник наукових праць XI ВПС. – 2002.- вип.1(8). – с.97-105. 2. Приймаков О.Г., Приймаков Г.О. Вплив жорсткості зубчастого вінця на міцність гнучкого колеса трихвильової зубчастої передачі //Збірник наукових праць XI ВПС. – 2002.- вип.1(8). – с.106-113 3. Воробьев Ю.С., Приймаков Г.А. Критериальная оценка вибростойкости силовых волновых зубчатых передач// Материалы 12-й Международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии».- Харьков, 2006.- с.159-161. 4. Приймаков Г.А. Експериментальне дослідження динаміки силових хвильових зубчастих передач // Материалы международной конференции молодых ученых и специалистов « Сучасні проблеми машинобудування ».- с. 16-17. 5. Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем.- М.: Машиностроение, 1970. – 734 с. 6. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластин и оболочек. – М.: Наука, 1972. – 432 с. 7. Лазаренко М.В. Реакция цилиндрической оболочки на действие локальной импульсной нагрузки. // Изв. РАН. Мех тверд. тела. – 1992. - №2. – с. 95-100.

УДК 539.3

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Воробьев Ю.С., докт. техн. наук, **Чернобрывко М.В.,** канд. техн. наук,
Ярышко А.В., Степанченко Д.И. (г, Харьков, Украина)

The technique of results of experimental research on shock loading a steel cylindrical environment is stated. The program is created for optimization of the experimental data processing. The numeral method of calculation of measuring of speed of deformation is developed in the process of experiment. The use of this program allows to shorten time on the data processing and represent the features of dynamic properties of materials.

Деформации в кратковременных, быстропротекающих процессах, как и соответствующие им напряжения представляют большой интерес для аналитического и экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния материала [1], служащего моделью ряда конструктивных элементов в зависимости от силовых, скоростных, деформационных, контактных условий деформирования.

Разработана программа обработки экспериментальных данных, которая позволила автоматизировать представление, преобразование и сохранение полученных результатов, использовать функцию шумоподавления, сократить время обработки данных, а также упростить визуализацию результатов экспериментов.

В результате обработки данных экспериментального исследования деформирования цилиндрической оболочки при локальном ударе, описанного в источнике [2], с помощью данной программы получены:

- графики изменения величин деформации и скорости деформации во времени, отображающие влияние варьируемых факторов, осуществлен переход от машинных величин измерения мили вольтов к исследуемым значениям деформации;

- данные и графики, не содержащие помех и шумов, путем усреднения полученных значений;
- результирующие значения по данным аналогичных замеров;
- графики изменения скорости деформации в процессе эксперимента;
- проведен и визуализирован анализ повторяемости экспериментальных данных и степени их расхождения;
- осуществлен оптимальный выбор численного метода, а также учтены особенности динамических свойств материала.

В качестве примера приведены усредненные графики изменения во времени деформаций серии экспериментов, (рис. 1) и график изменения скорости деформации для той же серии экспериментов (рис. 2).

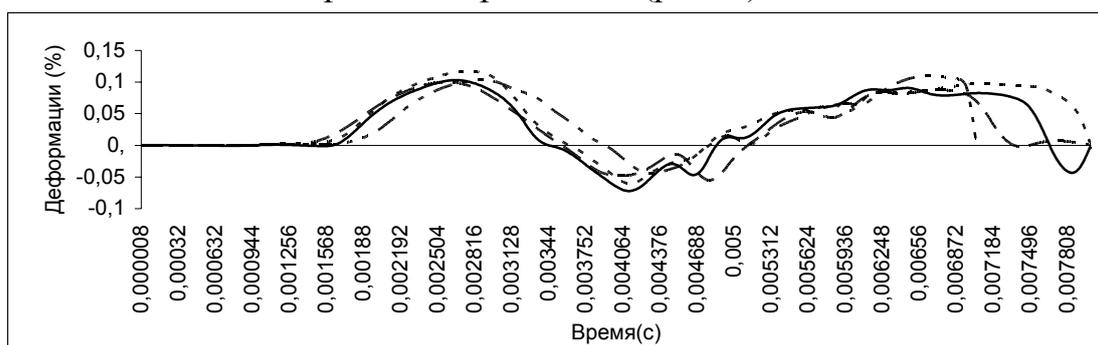


Рис. 1. Усредненные графики изменения деформации во времени.

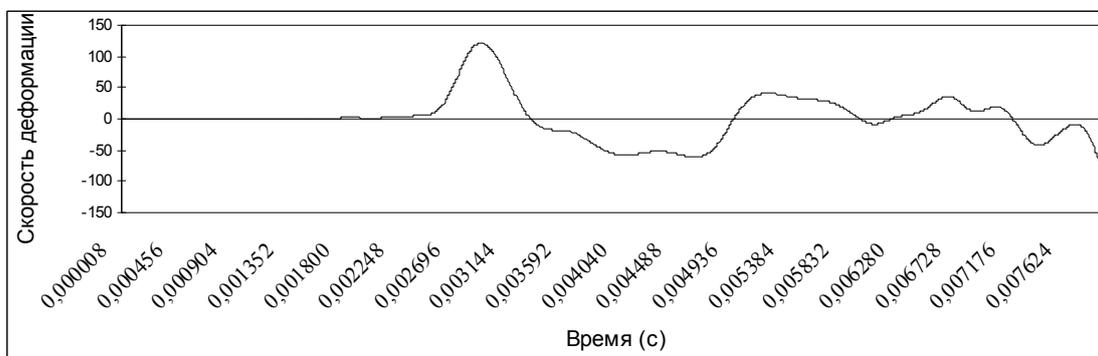


Рис. 2. График изменения скорости деформации во времени серии экспериментов.

Сглаживание графиков делает возможным усреднять значения по аналогичным экспериментам, применить разработанный численный метод расчета измерения скорости деформации в процессе эксперимента. Дальнейшие исследования протекающего процесса деформирования проводятся с учетом динамических свойств материалов[3]:

$$\sigma = \sigma_{\dot{\epsilon}}^{\tilde{n}} \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{D} \right)^{\frac{1}{n}} \right] + \sigma_{\dot{\epsilon}}^{\tilde{n}} \left\{ \frac{\epsilon}{\epsilon_{\dot{\epsilon}}^{\tilde{n}}} - \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{D} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \right\}^m, \quad (1)$$

где σ_T и ε_T - напряжение и деформация статического предела текучести соответственно; D , n , m – параметры динамических свойств материала, определяемые экспериментально.

В результате экспериментальных исследований получены диаграммы продольных и радиальных деформаций $\varepsilon_z(t)$ и $\varepsilon_r(t)$ при определенном импульсе удара, на различном удалении от места нагружения. Результаты эксперимента обладают хорошей повторяемостью, сопротивление исследуемого материала в упругой области при различной величине импульсного нагружения неоднородно. Процесс деформирования является локальным и быстро затухающим, как во времени, так и в пространственных координатах. Скорость деформации изменяется в процессе деформирования. Определена интенсивность деформаций $\varepsilon_i(t)$. Получены графики и построена эмпирическая закономерность максимальных значений интенсивности деформаций от импульса mV . Проведен анализ влияния величин деформации на общий прогиб оболочки в зависимости от расстояния от места удара.

Литература: 1. Воробьев Ю.С., Колодяжный А.В., Севрюков В.И., Янютин Е.Г. Скоростное деформирование элементов конструкций. – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с. 2. Воробьев Ю.С., Чернобрышко М.В., Ярышко А.В., Степанченко Д.И. Экспериментально-теоретическое исследование деформирования цилиндрической оболочки при локальном ударе // Физические и компьютерные технологии. Труды 12-й Международной научно-технической конференции. Харьков, 2006.- С.137 – 139. 3. Воробьев Ю.С., Чернобрышко М.В. Об особенностях моделирования ударно-импульсного нагружения оболочек и пластин. Механіка та машинобудування. – 2006.- № 1 - С. 39 - 45.

УДК 539.4:621.165

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПАКЕТОВ ЛОПАТОК НА ЛОКАЛИЗАЦИЮ ВИБРАЦИОННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Воробьев Ю.С., докт. техн. наук, **Стороженко М.А.**

(г. Харьков, Украина)

The paper analyses vibrations and investigates the pattern of localization of stresses in blade packs with damages. Three-dimensional finite-element models of blade packs are used for numerical analysis of localization of stresses during vibration. The influence of sizes and location of damage on the displacement field, and the intensity of vibration stresses in actual blade packs are investigated.

Введение. В связи со сложившейся экономической ситуацией на Украине весьма актуальной становится проблема обоснования возможности продления надежной эксплуатации турбомашин, исчерпывающих свой заданный ресурс. Наиболее нагруженным и ответственным элементом турбоагрегатов является лопаточный аппарат, для которого основную опасность представляют вибрационные нагрузки. Наибольшее число отказов турбин в течение всего срока эксплуатации связано с возникновением усталостных трещин в элементах лопаточного аппарата турбомашин, поэтому они и были выбраны в качестве объекта исследования.

Современные методы исследований, используемые при проектировании лопаточных аппаратов, позволяют надежно оценить средний уровень вибраци-

онных напряжений. Однако возможные технологические отклонения размеров лопаток и эксплуатационные факторы (коррозия, эрозия, высокие термические напряжения, механические повреждения лопаток и др.) приводят к возникновению зон опасных вибрационных напряжений в лопаточном аппарате. Исследование и анализ этих негативных факторов позволяет выработать меры по уменьшению зон и снижению уровня локализации напряжений и повышению вибрационной надежности.

Расчет частот и форм колебаний сложных систем, таких как рабочая лопатка с повреждением, представляет значительные трудности. Используемые ранее одномерные модели не удовлетворяют требованиям большой точности расчетов. Поэтому целесообразно применение трехмерных моделей в связи с возможностью описания сложной геометрии конструкций и высокой точностью расчетов. Трехмерный подход в сочетании с методом конечных элементов позволяет получить полную картину распределения напряжений и выявить зоны локализации опасных напряжений [1, 2]. Для моделирования сингулярного поля напряжений в вершине трещины использовались изопараметрические квадратичные конечные элементы с двадцатью узлами, функции формы которых позволяют описать изменения напряжений внутри элемента с большими градиентами.

Постановка задачи. Большинство исследований посвящено колебаниям отдельных объектов с трещиной. Поэтому представляет интерес задача о колебаниях системы лопаток, объединенных в пакет, с повреждением одной из них. Исследования колебаний пакетов лопаток показало, что при объединении лопаток посредством связей в системе происходит существенное перераспределение и изменение вибрационных напряжений. Следует ожидать, что повреждение одной из лопаток системы вызовет дополнительную неравномерность распределения напряжений между лопатками. Поэтому мы исследовали влияние повреждения одной из лопаток пакета на формы полей перемещений и напряжений системы.

Численный анализ. Был проведен анализ свободных колебаний пакета парных лопаток газовой турбины турбокомпрессора ТК 3527. Парные лопатки соединены в сектор, имеющий общий замок и бандажную полку. При анализе колебаний пакетов закрепление осуществляется по верхней части зубьев замка. Каждый пакет представляет собой единую систему, состоящую из двух закрученных лопаток несимметричного сечения, основания с елочным замком и полки с элементами лабиринтного уплотнения. Собственные частоты и формы напряжений пакета лопаток без повреждения и с различным расположением повреждений представлены на рис. 1.

Результаты исследования. Проведенные исследования показали, что несмотря на наблюдаемую сходную картину для обеих лопаток на ряде форм перемещений, возникающие в них напряжения различаются. Видно отличие форм напряжений соседних лопаток, что объясняется их закруткой и несимметричностью. Из-за наличия полки максимальные напряжения даже для низших форм колебаний перемещаются от корневой зоны в среднюю и периферийную части лопаток. Появление трещины по-разному влияет на формы напряжений в зави-

симости от их расположения на входной или выходной кромке. Наблюдается существенная локализация напряжений вблизи устья трещины. Наибольшее влияние оказывает повреждение на входной кромке. Наибольшее влияние оказывает трещина на преимущественно крутильные формы колебаний (9 и 10 формы). Использование трехмерных конечноэлементных моделей обеспечило возможность детального анализа вибрационной прочности пакета парных лопаток газовой турбины с повреждениями. Упрощение модели снижает точность определения зон локализации напряжений.

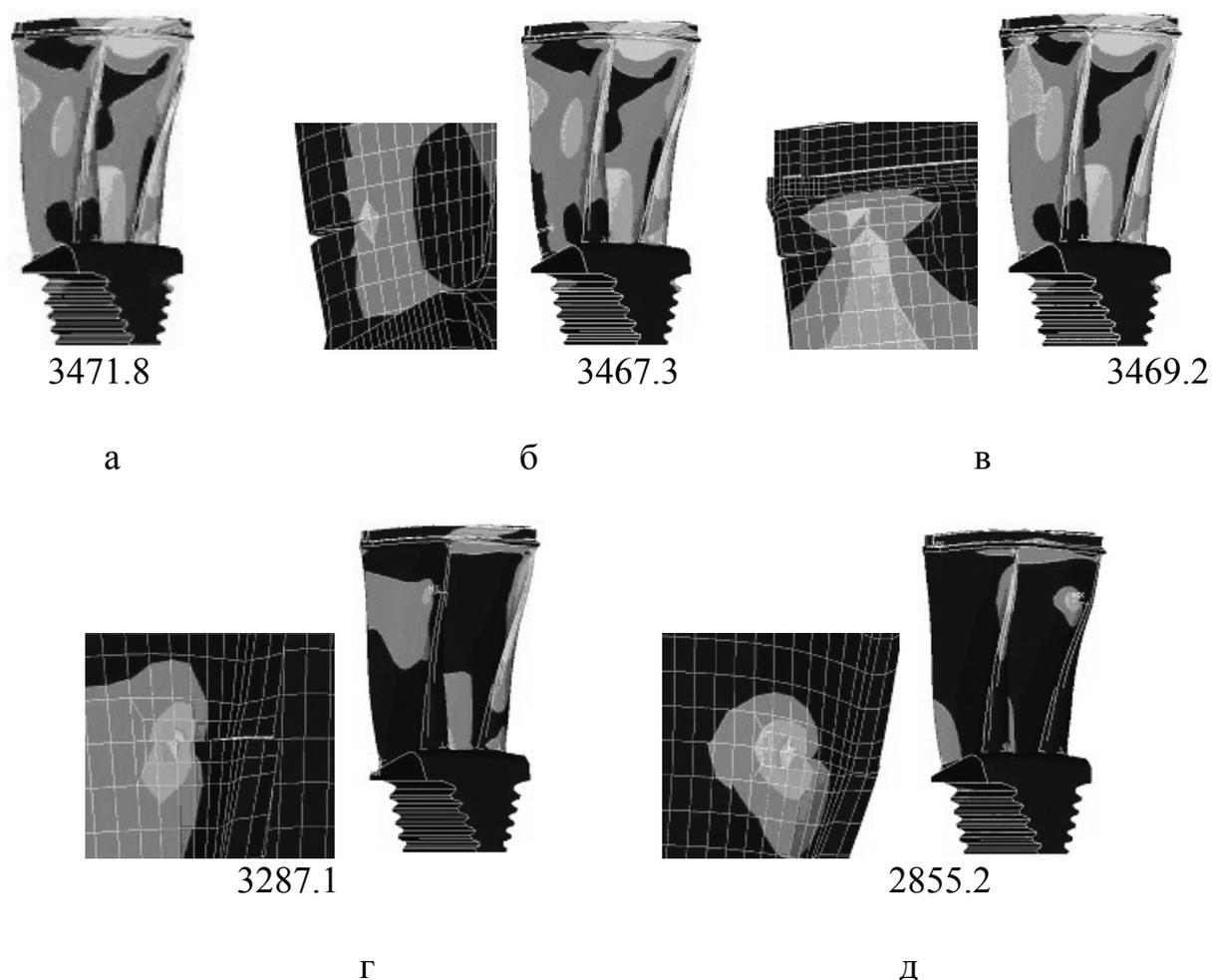


Рис. 1. Поля интенсивностей напряжений и частоты (в Гц) при колебаниях пакета лопаток по 3-й форме без повреждений (а) и с различным расположением трещины на левой (б,в,г) и правой (д) лопатках.

Результаты данной работы могут использоваться для диагностики. Например, сравнивая формы колебаний эталонной лопатки без повреждений и экспериментальной, можно судить о наличии или отсутствии дефектов в ней. Эта методика применима как для единичных проектируемых лопаток, так и для лопаток рабочего колеса.

Литература: 1. Воробьев Ю.С., Романенко В.Н., Стороженко М.А. Колебания пакета лопаток с повреждениями // Вестник двигателестроения. – 2005. - №2. – С. 118-120. 2. Ю. Воробьев, В. Романенко, М. Стороженко, Е. Тишковец Проблемы численного анализа лопаточного аппарата турбомашин // IX Konferencja Naukowo-Techniczna “Programy MES w komputerowym wspomaganiu analizy, projektowania i wytwarzania” (Gizycko, 19-22 pazdziernika 2005) – P. 121-128.

ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИОННОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН НА УСТАЛОСТНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Милешкин М.Б., канд. техн. наук, Библик И.В., Алексеева А.М.
(г. Харьков, Украина)

Results of application of computer modelling for an estimation of influence corrosion damaging of steam turbine blade surface on strength reliability and residual life are considered.

Опыт эксплуатации лопаток ЦНД паровых турбин показывает, что их поломкам предшествует накопление определенной степени коррозионной поврежденности поверхности [1]. Причем для разных типов конструкций лопаток это предельное состояние разное. Одним из возможных способов предотвращения поломок лопаток ЦНД является установление критериев их надежности (определение допустимой степени коррозионной поврежденности) и своевременная замена поврежденных лопаток.

Определение этого предельного состояния может быть проведено либо расчетным путем напряженного состояния лопаток с учетом снижения их конструктивного предела выносливости из-за коррозионного повреждения поверхности, либо из анализа статистики повреждений лопаток данной конструкции. Необходимым условием для реализации этих подходов является систематизация данных при описании состояния лопаток, выработка общего подхода к оценке коррозионной поврежденности их поверхности.

Решение этой задачи путем испытания лопаток с реальными эксплуатационными дефектами на сегодняшний день не представляется возможным, так как невозможно подобрать достаточное количество серий лопаток с необходимым распределением коррозионных язв по плотности и размерам [2].

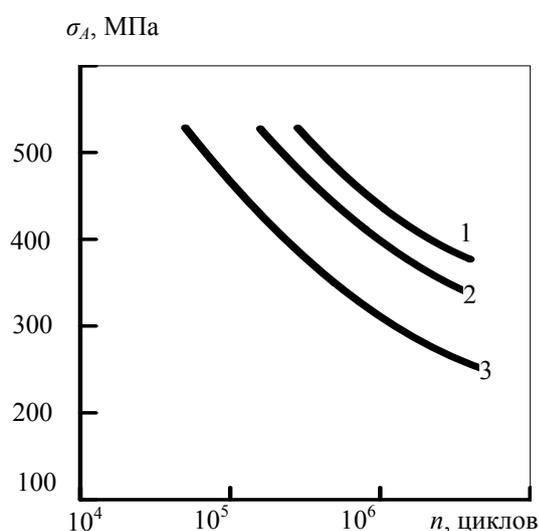
В настоящей работе для решения этой задачи был применен специальный расчетно-экспериментальный метод (РЭМ) [3]. Рассматривалась поверхность «образцов лопаток», на которую наносились искусственные повреждения заданного размера и плотности, имитирующие эксплуатационные коррозионные повреждения. В качестве материала образцов была выбрана лопаточная сталь 20X13.

Результаты «усталостных испытаний» гладких образцов и образцов с искусственными коррозионными повреждениями приведены на рис. 1. Кривая 1 соответствует гладкому образцу, кривая 2 – образцу с плотностью коррозионных язв 0,1 и относительной глубиной язв 0,05, кривая 3 – образцу с плотностью коррозионных язв 0,2 и относительной глубиной язв 0,05.

Здесь следует заметить, что кривые усталости построены для образцов стали 20X13 без учета особенностей распределения напряжений по сечению лопаток. Хорошо известно, что это распределение носит достаточно сложный характер и зависит от целого ряда факторов [4]. В этой связи оценку ресурса реальных лопаток следует проводить по различным сечениям.

На рис. 2 приведены зависимости предела выносливости (σ_{-1}) исследованных образцов от относительной глубины коррозионных язв ($d_{\text{омн}}$) для двух

значений относительной плотности язв ($1 - r_{омн} = 0,1$; $2 - r_{омн} = 0,2$). Видно, что зависимости достаточно хорошо аппроксимируются прямыми, при этом более глубокие коррозионные язвы приводят к более значительному уменьшению предела выносливости.



σ_A – амплитуда цикла.

Рис. 1.

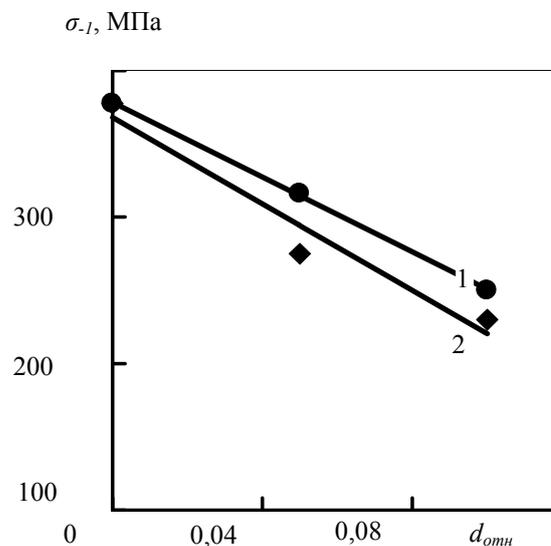


Рис. 2.

Можно определить отношение предела выносливости для гладких образцов и образцов с коррозионными язвами как коэффициент влияния коррозионной поврежденности поверхности K_σ [1]. Так, на рис. 3 приведена зависимость K_σ от относительной плотности коррозионных язв ($r_{омн}$) для двух значений относительной глубины язв ($1 - d_{омн} = 0,1$; $2 - d_{омн} = 0,05$).

Видно, что при одной и той же плотности (например, $r_{омн} = 0,2$) коррозионные язвы с относительным размером 0,05 снижают сопротивление усталости образцов в 1,48 раза, а язвы с относительным размером 0,10 – в 1,64 раза. При этом расстояние между язвами практически не сказывается на пределе выносливости образцов.

Таким образом, из приведенных результатов моделирования коррозионных дефектов в лопатках паровых турбин

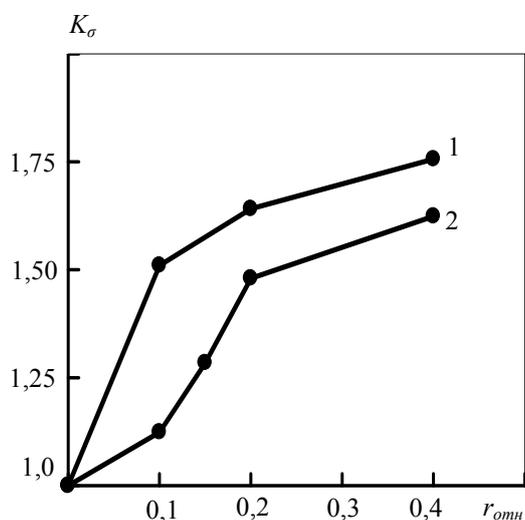


Рис. 3.

следует, что оценку надежности лопаток целесообразно проводить по размеру наибольших коррозионных язв на их поверхности.

Кроме того, полученные результаты позволяют определять предел выносливости материалов лопаток с коррозионными повреждениями по кривым усталости, полученным с помощью РЭМ.

Значения коэффициента влияния коррозии K_σ могут быть

использованы при расчете долговечности лопаток как из стали 20Х13, так и других хромистых сталей мартенситного класса с

пределом прочности 700-800 МПа [1].

Следует иметь в виду, что в рассмотренном случае не учитывается дополнительное снижение сопротивления усталости лопаток из-за других, отличных от коррозии, факторов, например, из-за эрозионного износа, чрезмерного утонения кромок и т.д. При наличии подобных повреждений в лопатках необходим комплексный подход, учитывающий влияние всех возможных повреждающих факторов.

Литература: 1. Критерии эксплуатационной надежности коррозионно-поврежденных лопаток ЦНД паровых турбин / В.Ф. Резинских, А.И. Лебедева, А.Ф. Богачев // Электрические станции. – 1991. – № 7. – С. 32-35. 2. Прочность и долговечность элементов энергетического оборудования / Поспишил Б., Квитка А.Л., Третьяченко Г.Н. и др. – Киев: Наук. думка, 1987. – 216 с. 3. Милешкин М.Б., Библик И.В. Основы применения специального расчетно-экспериментального метода для оценки несущей способности элементов конструкций и исследования особенностей их разрушения // Вісник Інженерної Академії України. – Київ, 2001. – №3. – С. 126-129. 4. Воробьев Ю.С. Колебания лопаточного аппарата турбомашин. – Киев: Наук. думка, 1988. – 224 с.

УДК 66.045.1

ПРИНЦИП КОМБИНИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПЛАСТИН В ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ

Бабак Т.Г., Хавин Г.Л., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

The theoretical basics and algorithms of plate heat exchangers selection with combined different plate are considered. The plate heat exchanger calculation for cooling concentrated phosphoric acid is presented. These computations are display advantages use of mixed grouping channels, because heat transfer area is minimized.

Большинство типов пластинчатых теплообменников выпускаются, по крайней мере, с двумя вариантами пластин, которые отличаются углом раскрытия гофры, рис.1. Пластины с большим углом раскрытия гофры характеризуются более высокой эффективностью теплопереноса, но при этом обладают большим гидравлическим сопротивлением.[1]. Соответственно, пластины с меньшим углом дают меньшую теплоотдачу при меньшем значении гидравлического сопротивления. Однако, кроме компоновки теплообменников при одинаковой неизменной форме каналов, зачастую очень эффективным является совместное применение пластин с различным углом гофрировки для образования канала. Например, по стороне горячего теплоносителя межпластинный канал образован совмещением пластины с углом гофрировки 60° и 30°. Следовательно, со стороны нагреваемого теплоносителя межпластинный канал образуется пластинами с гофрировкой 30° и 60°. Последнее обстоятельство позволяет проектировать пластинчатые теплообменные аппараты со смешанными каналами, обладающими свойствами по теплопередаче и потерям давления средними между образованными пластинами одинаковой гофрировки.

Рассмотрим одноходовой пластинчатый теплообменник, имеющий две группы каналов различной геометрической формы (гофрировки) - «х» и «у» каналы. В каждой группе каналы одной геометрической формы включены, как обычно, параллельно и условия функционирования для всех каналов одинако-

вы. Заметим, что это утверждение справедливо для всех каналов, кроме двух крайних (по одному каналу в каждой группе), расположенных на границе групп. Температурные условия в этих крайних каналах групп теплообменника отличаются от остальных. Для уменьшения потерь тепла в окружающую среду крайние каналы обычно работают на нагрев холодного теплоносителя. Однако влияние этих факторов незначительно, что позволяет принять допущение о равных условиях работы всех каналов.

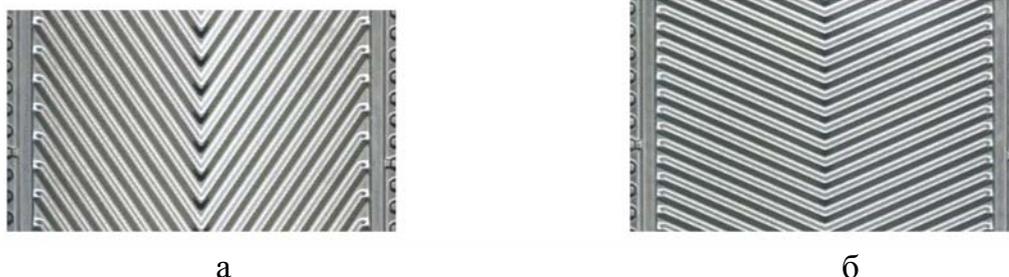


Рис. 1. Гофрировка пластин разборного теплообменного аппарата: а - угол наклона гофры 30° к оси пластины; б - угол наклона гофры 60° к оси пластины.

Рассмотрим канал пластинчатого теплообменного аппарата с площадью поперечного сечения f , который образован двумя пластинами заданного типа гофрировки с площадью поверхности теплообмена f_{pl} каждая. В канале горячего теплоносителя типа j движется жидкость с массовым расходом в канале g_{1j} , кг/с, изменение ее температуры Δt_{1j} . Второй теплоноситель движется противотоком в двух смежных каналах. Уравнение баланса тепла при движении в нем теплоносителя имеет вид

$$g_{1j}c_1\Delta t_{1j} = 2f_{pl} \cdot K \cdot \Delta t_{lnj}, \quad (1)$$

где $\Delta t_{1j} = t_{11} - t_{12j}$ - разность температур на входе и выходе из канала, например, по греющему теплоносителю. Число единиц теплопереноса NTU_{1j} в канале типа j

$$NTU_{1j} = \frac{\Delta t_{1j}}{\Delta t_{lnj}} = \frac{2f_{pl} \cdot K}{c_1g_{1j}}. \quad (2)$$

Обозначим массовый расход теплоносителя в смежном канале по холодной стороне g_{2j} . Отношение водяных эквивалентов

$$R_j = \frac{g_{1j} \cdot c_1}{g_{2j} \cdot c_2}, \quad (3)$$

и разность температур на входе и выходе по стороне холодного теплоносителя $\Delta t_{2j} = t_{22} - t_{21j}$. Тогда, используя уравнение баланса $g_{1j}c_1\Delta t_{1j} = g_{2j}c_2\Delta t_{2j}$ и (3), можно получить соотношение $\Delta t_{2j} = R_j \cdot \Delta t_{1j}$.

Будем считать, что $W_h = W_{\min}$, тогда выражение для эффективности передачи тепла в теплообменнике можно представить в виде

$$\varepsilon_j = \frac{t_{11} - t_{12j}}{t_{11} - t_{21j}} = \frac{1 - e^{-(1-R_j) \cdot NTU_j}}{1 - R_j \cdot e^{-(1-R_j) \cdot NTU_j}} = \frac{1 - e^{(1-R_j) \cdot NTU_j}}{R - e^{(1-R_j) \cdot NTU_j}} \quad (4)$$

или, обозначив $t_{11} - t_{21} = \Delta t_{inl}$ (входная разность температур),

$$\Delta t_{1j} = \varepsilon_j \cdot \Delta t_{inl}. \quad (5)$$

Общий тепловой поток в теплообменном аппарате будем определять из баланса по греющему теплоносителю в предположении, что выходящие из различных каналов с разной температурой и расходами потоки полностью однородно перемешиваются в коллекторе

$$Q = G_1 c_1 \Delta t_1 = g_{1x} \cdot \Delta t_{1x} \cdot n_x \cdot c_{1x} + g_{1y} \cdot \Delta t_{1y} \cdot n_y \cdot c_{1y}, \quad (6)$$

где n_x, n_y - число каналов «х» и «у» в теплообменном аппарате; $g_{1x}, g_{1y}, c_{1x}, c_{1y}, \Delta t_{1x}, \Delta t_{1y}$ - значения массового расхода, удельной теплоемкости и изменение температуры для потоков в «х» и «у» каналах, соответственно.

Подставим в (6) соотношение (5) для соответствующих каналов «х» и «у» и получим

$$G_1 c_1 \Delta t_1 = g_{1x} \cdot \Delta t_{inl} \cdot n_x \cdot \varepsilon_x \cdot c_{1x} + g_{1y} \cdot \Delta t_{inl} \cdot n_y \cdot \varepsilon_y \cdot c_{1y}$$

или, пренебрегая различием теплоемкостей для теплоносителей в каналах разной формы, т.е. положив $c_1 = c_{1x} = c_{1y}$

$$G_1 \Delta t_1 = g_{1x} \cdot \Delta t_{inl} \cdot n_x \cdot \varepsilon_x + g_{1y} \cdot \Delta t_{inl} \cdot n_y \cdot \varepsilon_y. \quad (7)$$

Массовый расход греющего теплоносителя в аппарате равен

$$G_1 = g_{1x} \cdot n_x + g_{1y} \cdot n_y. \quad (8)$$

Решая совместно уравнения (7) и (8) относительно n_x, n_y - числа каналов различной формы, имеем

$$n_x = \frac{G_1 (\Delta t_1 / \Delta t_{inl} - \varepsilon_y)}{g_{1x} (\varepsilon_x - \varepsilon_y)}, \quad (9)$$

$$n_y = (G_1 - n_x \cdot g_{1x}) / g_{1y}. \quad (10)$$

Общее количество пластин теплообменного аппарата

$$n_{he} = 2(n_x + n_y) + 2, \quad (11)$$

и общая площадь теплопередающей поверхности равна

$$F_a = 2(n_x + n_y) f_{pl}. \quad (12)$$

Здесь ε_x и ε_y определяются соотношением (4) при значениях

$$NTU_x = \frac{2 f_{pl} \cdot K_x}{c_1 g_{1x}}, \quad (13)$$

$$NTU_y = \frac{2 f_{pl} \cdot K_y}{c_1 g_{1y}}. \quad (14)$$

Если определять значения расходов $g_{1x} = g_{1x}^0$ и $g_{1y} = g_{1y}^0$ из соотношения

$$\Delta p_1 = \zeta_1 \frac{L_{pr}}{d_{eq}} \cdot \frac{\rho_1 w_1^2}{2} \cdot X_1, \text{ (с учетом формул } Re = \frac{w \cdot d_{eq}}{\nu} \text{ и } \zeta = B Re^m \text{), приравнивая}$$

падения давления допустимому значению Δp_1^0 , то полученные по формулам (9) - (12) значения будут определять аппарат, в котором точно удовлетворяются заданные условия падения давления по греющему теплоносителю. Аналогичным образом рассчитываем $g_{2x} = g_{2x}^0$ и $g_{2y} = g_{2y}^0$ из соотношения

$$\Delta p_2 = \zeta_2 \frac{L_{pr}}{d_{eq}} \cdot \frac{\rho_2 w_2^2}{2} \cdot X_2.$$

Для греющего теплоносителя в каналах пластинчатого теплообменника должно выполняться соотношение (8), а для нагреваемого

$$G_2 = g_{2x} \cdot n_x + g_{2y} \cdot (n_y + 1). \quad (15)$$

Очевидно, что в общем случае при всех $g_{1j} = g_{1j}^0$ и $g_{2j} = g_{2j}^0$ эти соотношения одновременно не могут быть удовлетворены и, соответственно, точно выполнить условия по гидравлическому сопротивлению можно только по одному теплоносителю. Методика корректировки g_{1j} и g_{2j} подробно изложена ниже.

Зная расходы теплоносителей в каналах, по соотношениям для коэффициента теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \left(\frac{\delta_w}{\lambda_w}\right) + R_f},$$

$Nu = f(Re, Pr) = A Re^n Pr^k (Pr / Pr_w)^{k_1}$ и $Nu = \frac{\alpha \cdot d_{eq}}{\lambda}$ можно определить коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{1x}, \alpha_{1y}, \alpha_{2x}, \alpha_{2y}$ и коэффициенты теплопередачи K_x и K_y для каждой группы каналов.

Организация различных групп каналов возможна только при использовании хотя бы двух типов пластин для теплообменника заданной марки. При наличии двух типов пластин могут быть получены три типа каналов: малого, среднего и высокого гидравлического сопротивления. Каналы малого гидравлического сопротивления образуют пластины с малым углом наклона гофры к вертикальной оси пластины, например, это L-пластины с углом 30° по терминологии фирмы «Альфа Лаваль» [1], высокого - Н-пластины с углом 60° и среднего - МН-пластины или МЛ-пластины, образованные совмещением L и Н пластин (рис.2). Заметим, что в одном теплообменном аппарате целесообразно использовать сочетание двух типов каналов, малого и среднего или среднего и высокого. Компоновку таких аппаратов (греющий теплоноситель / нагреваемый теплоноситель) для пластинчатых теплообменных аппаратов фирмы «Альфа Лаваль» можно представить в виде: $(n_x L + n_y МН) / (n_x L + n_y МЛ)$,

$(n_x L + n_y ML) / (n_x L + n_y MH)$ для L - каналов или
 $(n_x H + n_y MH) / (n_x H + n_y ML)$, $(n_x H + n_y ML) / (n_x H + n_y MH)$ - для H - каналов.

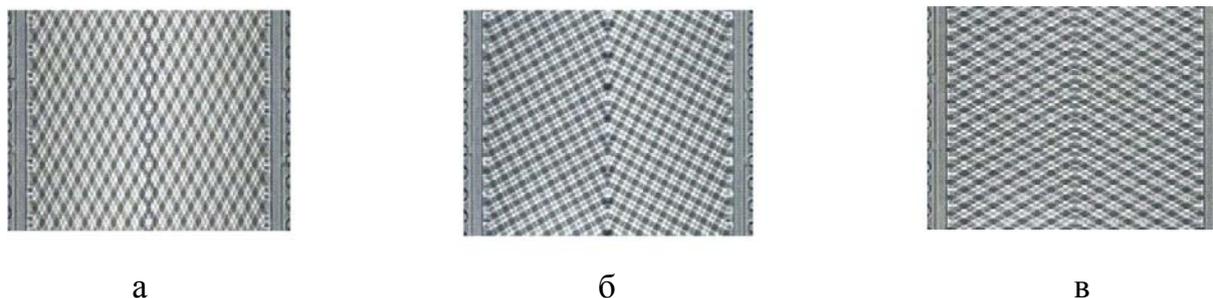


Рис. 2. Каналы, образуемые пластинами с различным углом наклона гофры: а - пластины с углом наклона гофры 30°; б - пластины с углом наклона гофры 30° и 60°; в - пластины с углом наклона гофры 60°.

В качестве примера расчета теплообменников, использующего данную методику, рассмотрим процесс охлаждения концентрированной фосфорной кислоты (54% концентрации) фосфорной кислотой 30% концентрации [2]. Физические свойства взаимодействующих сред (фосфорной кислоты) для концентрации 54% и 30% представлены в табл. 1. Охлаждение концентрированной кислоты происходит с температуры 85°С до 55°С, при этом разбавленная кислота с концентрацией 30% нагревается с температуры 20°С до 40°С. Данные для расчета первой ступени представлены в табл.3.

Таблица 1

Физические свойства фосфорной кислоты

Среда 1 (охлаждаемая): физические свойства для трех температур - фосфорная кислота с концентрацией 54% P ₂ O ₅			
Температура, °С	T ₁ = 85	T ₂ = 70	T ₃ = 55
Плотность, кг/м ³	1335	1346	1357
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°К)	2,659	2,639	2,612
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,546	0,535	0,520
Динамическая вязкость, сР	1,122	1,506	2,753
Среда 2 (нагреваемая): физические свойства для трех температур - фосфорная кислота с концентрацией 30% P ₂ O ₅			
Температура, °С	T ₁ = 20	T ₂ = 30	T ₃ = 40
Плотность, кг/м ³	1181	1176	1171
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°К)	3,237	3,262	3,284
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,533	0,547	0,560
Динамическая вязкость, сР	2,996	2,310	1,738

В качестве материала пластин для таких коррозионно-активных сред как фосфорная кислота принят сплав Hastelloy G30. Минимальная толщина пластин из этого материала составляет 0,6 мм. В качестве материала прокладок для пластинчатых аппаратов на фосфорную кислоту следует применять синтетическую резину EPDMCT. Способ крепления - CLIP-ON (безклеевой). Направление

движения теплоносителей - противоточное. Расчеты проводились с учетом запаса по коэффициенту теплопередачи 10%. В результате для обеих ступеней к установке можно принять разборные пластинчатые аппараты марки M10-BFM с диаметром коллекторов - 100 мм. Результаты расчетов с различной компоновкой пластин в аппарате представлены в табл.3.

Таблица 2

Данные для расчета теплообменника

Тепловая нагрузка	$Q = 866,8$ кВт	
Поток	Охлаждаемый	Нагреваемый
Среда	Фосфорная кислота (54% P_2O_5)	Фосфорная кислота (30% P_2O_5)
Рабочее давление, МПа	$P_1 = 0,5$	$P_2 = 0,5$
Расход, кг/ч	$G_1 = 40\ 000$	$G_2 = 30\ 000 - 50\ 000$
Входная температура, °С	$T_1 = 85$	$T_3 = 20$
Выходная температура, °С	$T_2 = 55$	$T_4 \leq 40$
Падение давления, МПа	$\Delta P_1 \leq 0,05$	$\Delta P_2 \leq 0,05$

Как видно из результатов расчета в табл.3, использование комбинации различных типов пластин в аппарате позволяет уменьшить площадь теплопередающей поверхности по сравнению с применением в теплообменнике пластин одного типа. Поэтому к установке на позицию охлаждения концентрированной фосфорной кислоты разбавленной на первой ступени можно рекомендовать одноходовой аппарат с площадью теплопередающей поверхности $8,4$ м² (37 пластин) и компоновкой пластин $1 \times (5 * MH + 13 * L) / 1 \times (15 * ML + 13 * L)$.

Таблица 3

Результаты расчета теплообменников различных компоновок

Сочетание пластин	Компоновка	Число пластин	Поверхность, м ²	Падение давления (горячая сторона), кПа	Падение давления (холодная сторона), кПа
MH/L-ML/L	$1 \times (5MH + 13L) / 1 \times (15ML + 13L)$	37	8,4	29,3	45,8
MH - ML	$1 \times 20MH / 1 \times 21ML$	42	9,6	36,0	48,0
L - L	$1 \times 21L / 1 \times 21L$	43	9,8	19,5	31,2

Анализ данных приведенных в таблицах показывает, что применение в одном аппарате смешанной компоновки каналов (типа Н/МН - Н/МЛ и МН/Л-МЛ/Л) позволяет наиболее полно удовлетворить заданным требованиям к теплообмену. При этом число пластин (площадь теплопередачи) минимально и полностью удовлетворяется условие потерь напора по греющему и нагреваемому теплоносителям.

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского сообщества в рамках проекта ЕСОРНОS, контракт № INCO-СТ-2005-013359.

Литература: 1. Пластинчатые теплообменники в промышленности /Л. Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. - Харьков: НТУ „ХПИ”, 2004.- 232 с 2. Копылев Б.А. Технология экстракционной фосфорной кислоты.- Л.: Химия, 1972.- 311 с.

СПОСОБ ОТОБРАЖЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПЛОСКОСТЬ

Невзорова М.В., Малыхин В.В., канд. техн. наук,
Новиков С.Г., канд. техн. наук (г. Курск, Россия)

A way to represent multi-dimentional objects on a plane.

Обработка, распознавание и классификация разнородных многомерных данных являются основными задачами разработки компьютерных систем поддержки принятия решений.

В настоящее время существуют различные подходы [1] к решению поставленной задачи, большинство из которых или основываются на априорной и достаточной информации о предполагаемых свойствах исходных данных, или характеризуются высокой вычислительной сложностью.

Подход, основанный на использовании нелинейного R -отображения многомерных объектов на плоскость с целью рационального распределения функций между человеком и машиной, был впервые описан в [2] и получил дальнейшее развитие в [3 - 4].

Сформулируем сущность способа построения нелинейного отображения, называемого R -отображением.

R -отображение [2] точек многомерного пространства на двумерную плоскость осуществляется в два этапа.

На первом шаге производится построение линейного отображения точки n -мерного пространства на плоскость, проходящую через начало координат (L -отображения) - выполняется нормализация значений по разнородным координатным осям многомерного пространства признаков.

На втором шаге строится нелинейное S -отображение точки n -мерного пространства, инвариантное к расстоянию от начала координат n -мерного пространства до всех точек этого пространства.

Координаты $a_L(x, y)$ линейного отображения n -мерной точки $a(a_1, a_2, \dots, a_n)$ определяются по формуле:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \sin \frac{\pi}{n} & \dots & \sin \frac{i\pi}{n} & \dots & \sin \frac{(n-1)\pi}{n} \\ 1 & \cos \frac{\pi}{n} & \dots & \cos \frac{i\pi}{n} & \dots & \cos \frac{(n-1)\pi}{n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix}, \quad i = 0..n-1. \quad (1)$$

При проектировании средств, реализующих L -отображение по формуле (1) возникает проблема, заключающаяся в высокой вычислительной сложности определения значений тригонометрических функций.

Решение поставленной задачи, состоящее в выборе соответствующих коэффициентов матрицы линейного преобразования, рассмотрено в данной работе.

Рассмотрим способ построения линейного отображения.

Линейное преобразование имеет вид:

$$x' = Ax, \quad (2)$$

где A — матрица линейного преобразования [5, 6].

Частным случаем линейного преобразования является преобразование $R^n \rightarrow R^2$, при котором n -мерный вектор $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ переходит в точку на плоскости с координатами $(x'; y')$:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & \dots & a_i & \dots & a_{n-1} \\ b_0 & b_1 & \dots & b_i & \dots & b_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}. \quad (3)$$

В (1) коэффициенты a_i, b_i вычисляются как:

$$a_i = \sin \frac{i\pi}{n}, \quad b_i = \cos \frac{i\pi}{n}, \quad \text{где } i = 0..n-1. \quad (4)$$

Исследуем свойства указанных функций (4).

1) Функция $f_a(i) = \sin \frac{i\pi}{n}$ имеет следующие свойства:

- область определения: $0 \leq i \leq n-1$;
- функция возрастает на промежутке $\left[0; \frac{n}{2}\right]$ и убывает на промежутке $\left[\frac{n}{2}; n-1\right]$;
- $\max_{0 \leq i \leq n-1} f_a(i) = f_a\left(\frac{n}{2}\right) = 1$.

Указанным свойствам удовлетворяет функция

$$a_i = g_a(i) = -\left|\frac{2i}{n} - 1\right| + 1, \quad \text{где } i = 0..n-1. \quad (5)$$

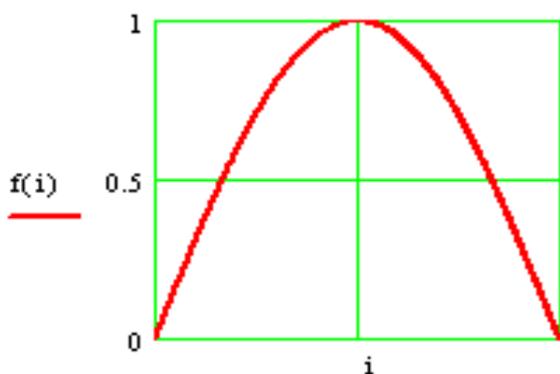


Рис. 1. График функции $f_a(i) = \sin \frac{i\pi}{n}$.

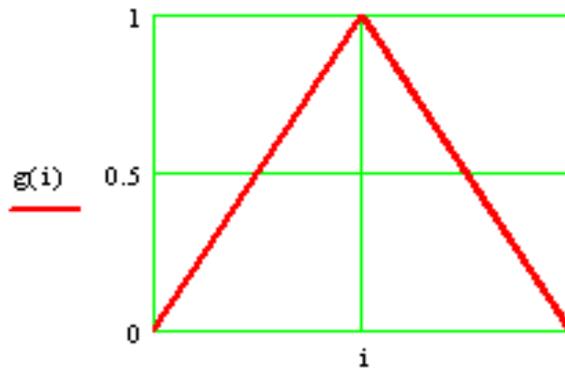


Рис. 2. График функции

$$g_a(i) = -\left|\frac{2i}{n} - 1\right| + 1.$$

2) Функция $f_b(i) = \cos \frac{i\pi}{n}$ имеет следующие свойства:

- область определения: $0 \leq i \leq n-1$;
- область значений : $[1; -1]$;
- убывает на промежутке $[1; n]$;
- $f_b(i) = 0$ при $i = \frac{n}{2}$.

Указанным свойствам удовлетворяет функция

$$b_i = g_b(i) = 1 - \frac{2i}{n}. \quad (6)$$

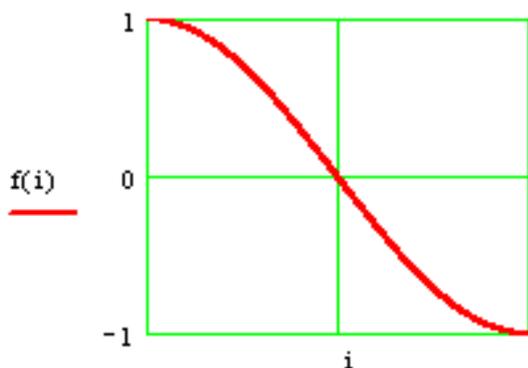


Рис. 3. График функции $f_b(i) = \cos \frac{i\pi}{n}$.

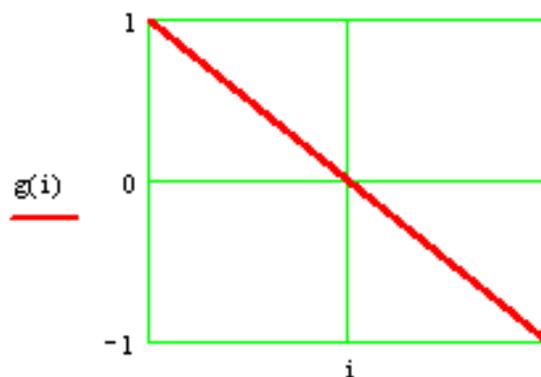


Рис. 4. График функции $g_b(i) = 1 - \frac{2i}{n}$.

Из рисунков 1 — 4 видно, что функции (5), (6) получены линейной аппроксимацией функций (4).

Резюме

На основе результатов исследования создан программный продукт «Навигатор», предоставляющий пользователю возможность работать с R-отображениями многомерных объектов.

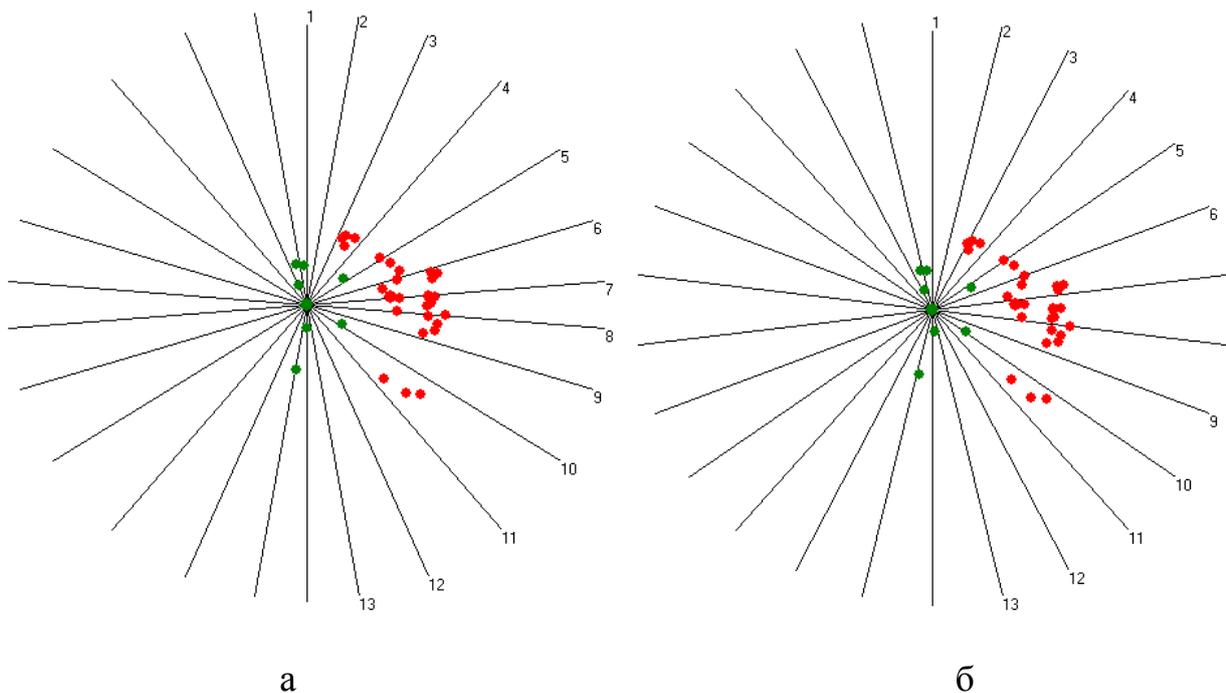


Рис. 5. R-отображения многомерных объектов.

На рисунке 5 представлены R -отображения двух непересекающихся совокупностей 13-мерных объектов, построенные с использованием коэффициентов линейного отображения, вычисляемых по формуле (4) (рис. 5б) и по формулам (5)-(6) (рис. 5а).

Таким образом, предложенный в данной работе способ выбора коэффициентов матрицы линейного преобразования, входящего в состав нелинейного R -отображения, позволяет снизить вычислительную сложность построения R -отображения многомерных объектов и является альтернативой результатам, представленным в работах [2-3].

Литература: 1. Романов В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике. М.: Экзамен, 2003. - 496 с. 2. Альшакова Е. Л. Процессоры визуализации объектов n -мерного пространства. [Текст] / Е.Л. Альшакова //Автореф. канд. дис. Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 1997. 20с. 3. Чаплыгин А.А. Метод и устройство визуализации пространственно распределенных образов со сложными топологическими портретами. [Текст] / А.А. Чаплыгин //Автореф. канд. дис. Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2005. 19с. 4. Невзорова М.В. Старков Ф.А. Разрешение одной из коллизий при нелинейном отображении объектов многомерного пространства на плоскость. [Текст] / М.В. Невзорова, Ф.А. Старков //Известия Курского государственного технического университета. 2006. №1(16) с.127-128. 5. Гельфанд И.М. Лекции по линейной алгебре. М., 1966г., 280 с. 6. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. - 4-е изд., переработ. - М: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. - 336с.

УДК 681.3

КОНВЕЙЕРИЗАЦИЯ МАРКОВСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСТЕРИЗАЦИИ

Марковчин В.Л., Малыхин В.В., канд. техн. наук,
Лунева Т.Н., канд. техн. наук, **Гордиенко В.В.,** канд. техн. наук
(г. Курск, Россия)

Acceleration methods of produce algorithms work are based on the transformation presentation forms of this work. They are given in this work. Our methods provide conveyor processing of graphic construction objects.

Процессы лингвистического, алгоритмического и программного обеспечения обработки растровых изображений является сложной научно-технической задачей, связанной с существенными ресурсными затратами. Традиционно, проблема обработки объектов растровой графики решается путем использования компьютеров с неймановской архитектурой, которые имеют неприемлемо низкую производительность при решении специфических задач в этой прикладной области. Основная проблемная ситуация заключается в том, что для обработки изображений растровой графики отсутствуют производственные алгоритмические схемы, которые при соответствующей аппаратной поддержке в виде архитектур символьных спецпроцессоров, позволяют достигнуть требуемых в современных условиях скоростных показателей.

Цель данной работы заключается в изложении результатов разработки структурно-лингвистических средств акселерации работы алгоритмических производственных схем путем использования операции транспозиции продукции

для получения конвейерных форм реализации алгоритмов.

В рамках данной работы созданная ранее концепция быстрых символьных вычислений [1, 2] расширяется эквивалентными преобразованиями их форм представления, обеспечивающими конвейеризацию вычислительного процесса.

Для логической определенности дальнейших построений условимся использовать понятие производной алгоритмической схемы, основываясь на положениях канонической теории нормальных (марковских) алгоритмов [3].

Как известно, в теории марковских алгоритмов определено строгое правило передачи управления на множестве производных, которое задает режим рекурсивного вызова производной алгоритма после каждого однократного срабатывания любой проточной производной. Рекурсивный вызов, т.е. возвратный переход в пространстве алгоритма на первую производную в алгоритме, необходимо выполнять на основе следующего обстоятельства. После срабатывания любой проточной производной после модификации обрабатываемого слова в его структуре может быть сформирована позиция вхождения образца любой предшествующей производной, включая первую. С другой стороны, рекурсивная работа является основным источником неоправданных затрат времени.

Руководствуясь правилами работы производной и дисциплиной переходов в алгоритмических производных схемах (АПС) [3], сформулируем задачу снижения вычислительной сложности, сущность которой заключается в целенаправленном изменении структуры и числа возвратных переходов на множестве проточных производных для повышения скорости символьных вычислений.

Введем конструктивную дизъюнкцию, которая своим истинным значением определяет пересечение слов в виде образцов и модификаторов i -той и j -той производной соответственно

$$(\alpha_i^o = \omega_j^n) \vee (\alpha_i^n = \omega_j^o) \vee (\alpha_i = Q \omega_j W), \quad (1)$$

где i, j – номера производных в алгоритмической схеме при $i < j$; Q, W – любые, но не одновременно пустые слова в рабочем алфавите; α и ω – образцы и модификаторы производных, являющиеся любыми непустыми словами в этом же алфавите; \vee – обозначение конструктивной дизъюнкции; $=$ – обозначение графического равенства; верхние индексы « o » и « n » – обозначают собственные окончания и начала слов соответственно.

При верной дизъюнкции (1) j -тая проточная производная подстановкой модификатора имеет потенциальное свойство создавать позиции вхождения образца i -той производной после своего однократного срабатывания [1].

Оптимальной конвейерной формой представления производной алгоритма является такая конфигурация переходов, при которой входные и выходные метки каждой из проточных производных совпадают, что соответствует аннуляции всех возвратных переходов в схеме алгоритма и получения композиции однопроизводных алгоритмов.

Введем операцию транспозиции производных и проведем структурно-лингвистический анализ ее корректной реализации.

Пусть имеется алгоритмическая схема, состоящая из двух продукций, и верным является первый член дизъюнкции (1), т.е. $(\alpha_i^o = \omega_j^h) = 1$, тогда при взаимном изменении местоположения (транспозиции) i -той и j -той продукций не нарушается эквивалентность работы продукционного алгоритма [4]. Например, легко установить, что при заданных двух алгоритмических схемах

$$\begin{aligned} sf &\rightarrow pq; \\ mn &\rightarrow fk \end{aligned} \quad (2)$$

и

$$\begin{aligned} 1: {}^1mn &\rightarrow {}^1fk : 1; \\ 2: {}^1sf &\rightarrow {}^1pq : 2, \end{aligned} \quad (3)$$

где цифры 1 и 2, отделенные от тела продукции двоеточиями являются метками передачи управления, «!» - метасимвол-указатель позиции чтения в пространстве обрабатываемого слова при очередной активации продукции. Использование маркера-указателя допустимо только тогда, когда образец и модификатор каждой продукции не пересекаются.

При обрабатываемом слове $R = smn$ будем иметь графически равные результаты $R' = pqk$. При любых других обрабатываемых словах позиции вхождения образца первой продукции из (2) не могут быть получены после однократного срабатывания второй продукции из (2). Процессы обработки слова R при работе алгоритмических схем (2) и (3) существенно различаются по времени обработки, поскольку при работе конвейера в алгоритмической схеме (3) аннулируются возвратные переходы, что приводит к существенному скоростному выигрышу.

Таким образом, транспозиция продукций во многих практически важных случаях позволяет достигнуть скачкообразного скоростного преимущества, но сохранить строгую эквивалентность конвейерной и исходной алгоритмических схем. Установлено, что вычислительная сложность работы продукционной схемы (2) пропорциональна произведению длины обрабатываемого слова на число позиций вхождения образцов всех продукций, входящих в схему, а вычислительная сложность схемы (3), представляющая собой композицию двух однопродукционных алгоритмов, пропорциональна длине обрабатываемого слова.

Между тем для применения операции транспозиции продукций имеются существенные ограничения. Основное ограничение ее применения связано с тем, что при истинности дизъюнкции (1) для образца первой и модификатора второй продукций и образца второй и модификатора первой продукций одновременно, транспозиция лишена конструктивного смысла. В этом случае применение транспозиции не аннулирует возвратного перехода в пространстве алгоритма. Для такой ситуации необходимо выполнять синтез вставочной продукции [2].

В качестве второго ограничения выступает пересечение образцов двух смежных продукций. Образцы пересекаются всякий раз, когда верной является конструктивная дизъюнкция вида:

$$(\alpha_i^o = \alpha_j^h) \vee (\alpha_i^h = \alpha_j^o) \vee (\alpha_i = Q\alpha_j W), \quad (4)$$

где Q и W – любые, но не одновременно пустые слова.

Выполним структурно-лингвистический анализ конструктивной дизъюнкции (4) при условии, что дизъюнкция (1) является верной. Пусть

верным является первый член из (4), тогда единственный конфликтный фрагмент в обрабатываемом слове, приводящий к нарушению эквивалентности при транспозиции, будет иметь вид:

$$S \alpha_i^o T = S \alpha_j^h T, \quad (5)$$

где $S = \alpha_i^h$, $T = \alpha_j^o$.

Для устранения данного фрагмента синтезируем корректирующую продукцию вида:

$$S \alpha_i^o T \rightarrow \omega_i T, \quad (6)$$

которую запишем в схему композиции в качестве предшествующей схеме исходного продукционного алгоритма. После предварительной обработки входного слова продукцией (5) все конфликтные фрагменты будут замещены на фрагмент $\omega_i T$, необходимый для сохранения эквивалентности преобразований. Действительно, синтез корректирующей продукции проведен с учетом того, как будет работать пара анализируемых продукций до выполнения операции транспозиции.

После изменения структуры продукционного алгоритма путем введения корректирующей продукции снимается ограничение на выполнение операции транспозиции для анализируемых пар продукций.

Пусть верным является второй член из (4), тогда единственный конфликтный фрагмент, приводящий к нарушению эквивалентности, будет иметь вид:

$$P \alpha_i^h Q = P \alpha_j^o Q, \quad (7)$$

где $P = \alpha_j^h$, $Q = \alpha_j^o$.

Синтезируем корректирующую продукцию:

$$P \alpha_i^h Q \rightarrow Q \omega_i. \quad (8)$$

Полученную продукцию (8) запишем в позицию первого члена композиции, а исходный продукционный алгоритм в позицию ее завершения. Как и в предшествующем случае, продукция (8) устранил конфликтный фрагмент (7) путем его замены на модификатор $Q \omega_i$, который обеспечит такое предварительное преобразование, после которого также снимается ограничение на выполнение транспозиции исследуемых смежных продукций.

Пусть верным является третий член конструктивной дизъюнкции (4). Рассмотрим примеры. Допустим, что имеется два образца двух смежных продукций, удовлетворяющих графическому равенству

$$\alpha_j = Q \alpha_i W. \quad (9)$$

Тогда после транспозиции j -тая продукция сработает первой и аннулирует все образцы α_i подстановкой в обрабатываемое слово собственного модификатора при $\omega_j \neq \alpha_j$, в противном случае j -тая продукция не завершает свою работу за конечное число шагов, и, кроме того, в силу тождественности преобразования, она лишена конструктивного смысла. Отсюда следует, что транспозиция продукций приведет к нарушению эквивалентности, и на этом основании ее нельзя выполнять.

При организации композиции, состоящей из двух однопродукционных алгоритмов, условие (9) не является ограничительным.

Например, при задании двух продукций

$$\begin{aligned} abc &\rightarrow dg, \\ b &\rightarrow cnh, \end{aligned} \quad (10)$$

преобразование к виду композиции

$$\begin{aligned} 1: &{}^1abc \rightarrow dg^1 :1; \\ 2: &{}^1b \rightarrow cnh^1 :2, \end{aligned} \quad (11)$$

эквивалентность не нарушается, поскольку подстановка модификатора cnh второй продукции не приводит к формированию позиции образца abc первой продукции. Действительно, позиция образца abc может быть синтезирована на фрагменте обрабатываемого слова $\dots abb\dots$, но на этом фрагменте первая продукция не срабатывает, вторая срабатывает дважды и формирует фрагмент $\dots acnhcnh\dots$, на котором первая продукция также не работает. Между тем при верном втором члене конструктивной дизъюнкции (1), а также при верном третьем ее члене при условии, что

$$((\alpha^i = A\omega^j) \&) \vee (\alpha^i = A\omega_j) \& (\alpha^i \neq A\alpha_j B), \quad (12)$$

где A и B - любые слова, порождается проблемная ситуация. Для ее разрешения необходимо определить конфликтный фрагмент, который приводит к нарушению эквивалентности исходной и конвейеризированной алгоритмических схем. Синтезируем конфликтный фрагмент по известным правилам [2], которые заключаются в аннуляции совпадающей части модификатора второй и образца первой продукции и ее замещении образцом второй продукции.

Например, пусть задан алгоритм, состоящий из двух продукции,

$$abc \rightarrow hr; \quad bc \rightarrow da. \quad (13)$$

Образец первой и модификатор второй продукции пересекаются по букве «а», поэтому она аннулируется, а ее позиция замещается в образце первой продукции образцом второй продукции, что дает конфликтный образец в виде слова:

$$bcbc. \quad (14)$$

С целью построения корректирующей продукции выполним замещение буквы «а» модификатора второй продукции модификатором первой продукции. В результате получим корректирующую продукцию в следующем виде:

$$bcbc \rightarrow dhr, \quad (15)$$

которую запишем в схему алгоритма между двумя исходными продуктами. Тогда получим композицию

$$\begin{aligned} 1: &{}^1abc \rightarrow hr^1 :1; \\ 2: &{}^1bcbc \rightarrow dhr^1 :2; \\ 3: &{}^1bc \rightarrow da^1 :3. \end{aligned} \quad (16)$$

Полученная продукционная алгоритмическая схема не имеет отступов в пространстве алгоритма.

Таким образом, созданы инструментальные средства преобразования исходных алгоритмических схем к высокоскоростным конвейерным формам обработки символьной информации, включая графические конструктивные объекты.

Литература: 1. Довгаль, В.М. Методы модификации формальных систем обработки символьной информации [Текст] / В.М. Довгаль. Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 1996. 115 с. 2. Довгаль, В.М. Проблема построения символьных бриджеров для сопряжения разнородных компьютерных сетей (Часть 1) [Текст] / В.М. Довгаль, В.Е. Сорокин, А.В. Шанцев // Телекоммуникации. № 3. 2004. С. 16-22. 3. Марков, А.А. Теория алгоритмов [Текст] / А.А. Марков, А.Н. Нагорный / М.: Наука, 1984. 432 с.

О ПОВЕДЕНИИ ПОДМАГНИЧЕННОГО ВОЛЧКА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Соколов В.С., канд. физ.-мат. наук, **Малыхин В.В.**, канд. техн. наук,
Новиков С.Г., канд. техн. наук, **Соколова О.В.** (г. Курск Россия)

About behaviour of the magnetized top in a magnetic field.

Вращательное движение в природе и технике является наиболее распространенным. Им обладают объекты всех уровней материи мира. Это электроны, атомы, молекулы, многочисленные маховики и роторы, турбины и пропеллеры, вихри атмосферы и океана, планеты и звезды, галактики. Вращается и вся Вселенная, делая один полный оборот за $\sim 6,3 \cdot 10^{13}$ лет.

Вращательное движение материальных систем сопровождается замечательными эффектами, получившими название **гироскопические**. Первое знакомство с ними происходит у многих (обычно в детстве) при наблюдении движения быстровращающейся юлы (волчка). Она участвует сразу в трех движениях (рис. 1): собственном, вращаясь вокруг оси z , прецессионном и нутационном, при которых ось z описывает коническую поверхность, совершая относительно этой поверхности малые колебания.

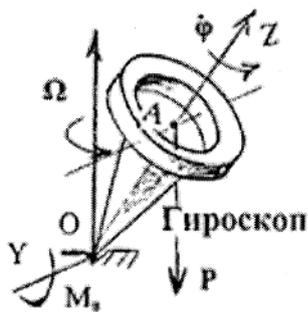


Рис.1. Прецессия волчка а поле силы тяжести.

Из курса теоретической механики [1, с. 338] известно, что вектор гироскопического момента $M_{\dot{\alpha}}$ направлен так (согласно правилу Жуковского Н.Е.), что стремится совместить вектор скорости $\dot{\phi}'$ собственного вращения гироскопа с вектором скорости Ω его вынужденной прецессии по кратчайшему угловому пути. Аналогично этому в магнитном поле с индукцией B на контур с магнитным моментом δ действует механический момент M_B , стремящейся по кратчайшему угловому пути совместить вектор магнитного момента p рамки с током I с вектором B

индукции внешнего магнитного поля. В частности из этой аналогии следуют два возможных положения равновесия контура с током в магнитном поле, когда векторы p и B параллельны ($\uparrow\uparrow$) и антипараллельны ($\uparrow\downarrow$), при этом второе из них неустойчиво.

В поле тяжести волчок прецессирует со скоростью

$$\Omega = M_B / H = Pl(J\dot{\phi}'), \quad (1)$$

где $M_B = Pl$ – момент силы тяжести P волчка; $l = OA$ – расстояние от опоры O до центра A его масс; $H = J\dot{\phi}'$ – кинетический момент волчка (J и $\dot{\phi}'$ – момент инерции и скорость собственного вращения волчка вокруг его динамической оси z).

Пусть обычный волчок имеет в качестве диска кольцевой магнит, несущий магнитный момент $P_{\dot{\alpha}}$, направленный вдоль динамической оси юлы. Приведем волчок в быстрое вращение на горизонтальной плоскости. Под действием аэродинамического сопротивления и трения верчения в опоре O вращение

волчка замедляется, и он начинает прецессировать с некоторой скоростью. Поднесем к волчку сверху постоянный магнит с моментом P_B (рис. 2,а) таким, что $P_B = P_a$ (магниты направлены друг к другу разными полюсами). Взаимодействие силовых полей магнитов приводит к уменьшению опрокидывающего момента силы P тяжести волчка. Следствием этого, согласно формуле (1), будет уменьшение скорости прецессии волчка, что в свою очередь приводит к падению гироскопа.

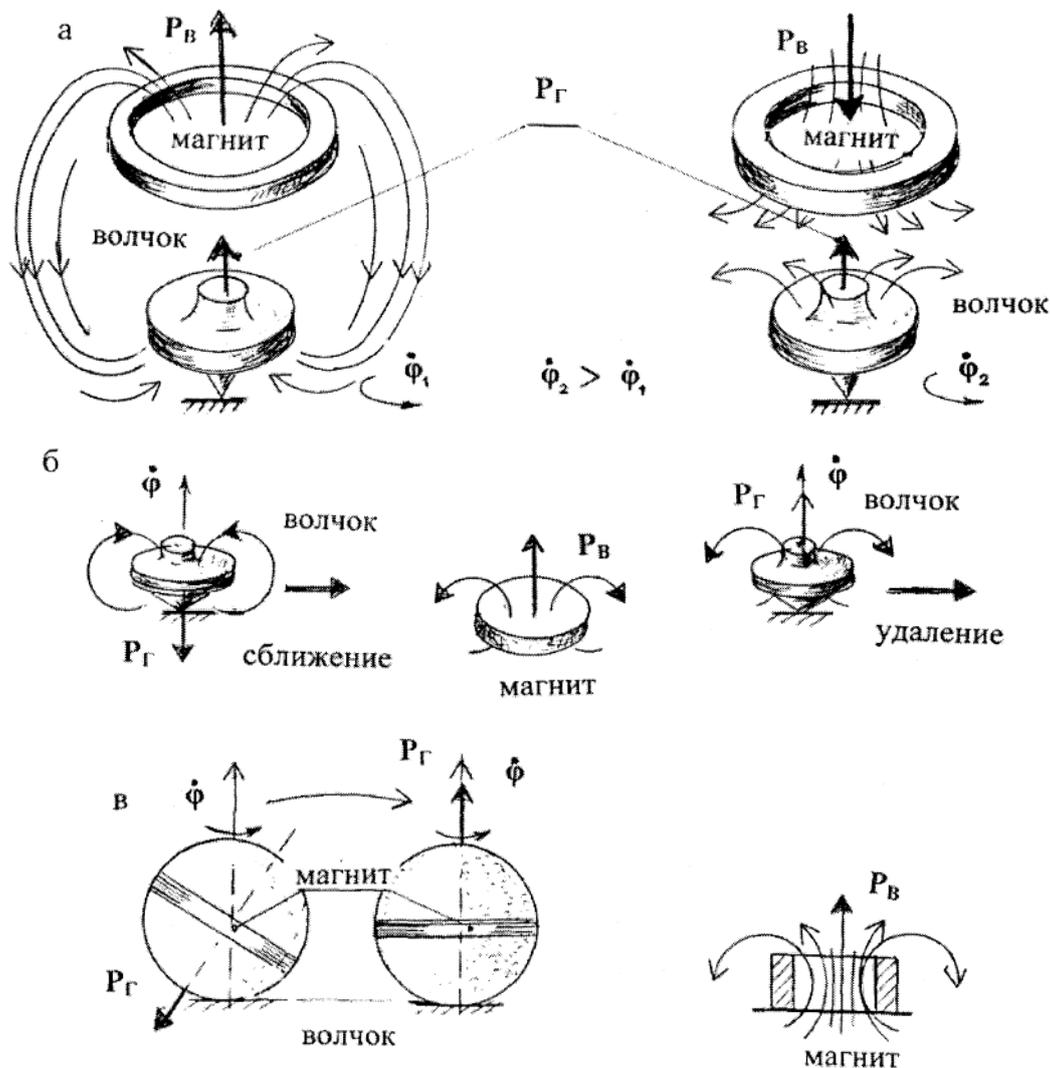


Рис. 2. Подмагниченный волчок в магнитном поле.

Совсем другой эффект получается, если внешний магнит поднесен к юле так, чтобы магнитные моменты их были противоположны друг другу (рис. 2,а, справа). Теперь, в силу той же формулы (1), опрокидывающий момент M силы тяжести P увеличивается за счет взаимодействия (отталкивания) силовых полей магнитов. Результатом этого станет то, что прецессия волчка возрастет, что способствует увеличению длительности устойчивого вращения волчка на опорной плоскости.

Если внешний магнит и магнитный диск гироскопа находятся на одном уровне и их магнитные моменты P_B и P_a равны по модулю (что не обязательно!) и антипараллельны, то, как показывает опыт, волчок будет приближаться к

магниту, если последний неподвижен (рис. 2,б, слева). При проведении подобного опыта с двумя подмагниченными волчками можно видеть, что они удаляются друг от друга (рис. 2,б, справа). Волчки будут сближаться, если магнитные моменты параллельны и направлены в одну сторону (рис. 2, справа).

Описанный эффект можно объяснить, используя гипотезу “упругих силовых линий”, частотой которых характеризуют гравитационные, электрические и магнитные силовые поля.

Так на рис.2,а (слева) действие силового поля тяжести ослаблено магнитным полем, следовательно, уменьшаются опрокидывающий момент силы P и, соответственно, скорость прецессии, а значит и длительность вращения волчка.

На рис. 2,б, слева, силовые линии между внешним магнитом и волчком разряжены ($P_B = -P_{\hat{a}}$), поэтому упругие силовые линии внешнего суммарного магнитного поля, разряжаясь, сближают внешний магнит (или несущее его тело) и волчок. На правой части рисунка, где густота силовых линий между магнитами за счет их взаимодействия ($P_B = P_{\hat{a}}$) больше, чем в остальном пространстве, показано, что волчок, вращаясь, “уходит” от внешнего магнита.

Случай, представленный на рис. 2,в, отражает поведение шарового подмагниченного волчка (он может быть и вращающимся) во внешнем магнитном поле: он начинает перекачиваться на опорной плоскости до тех пор, пока его магнитный момент $D_{\hat{A}}$ не достигнет, поворачиваясь по кратчайшему угловому пути, одноименного параллелизма с вектором магнитной индукции \hat{A} внешнего поля. Такое движение волчка можно доказать, используя представление магнитных полей силовыми линиями. Пусть, например, магнитные моменты D_1 и D_2 двух шаровых гироскопов (волчков) не параллельны. Выделим пару пересекающихся силовых линий (по одной для каждого из магнитных полей). В точках пересечения, применяя принцип суперпозиции, по правилу параллелограмма найдем результирующие величины магнитных индукций \hat{A}_1 и \hat{A}_2 (они являются силовыми характеристиками магнитных полей), которые (в рамках гипотезы упругости магнитных силовых линий) можно рассматривать как упругие силы. Такие силы возникают в точках пересечения всех силовых линий обоих магнитных полей. Их совокупное действие приводит к формированию упругого момента, который направлен так, что поворачивает шаровые гироскопы до тех пор, пока векторы их магнитных моментов D_1 и D_2 не станут сопараллельны друг другу.

Рассмотренный опыт с шаровыми волчками, обладающими магнитными моментами, показывает, что под действием внешнего магнитного поля может происходить переворот волчка – инверсия его полюсов – из положения, когда $D_1 = -D_2$ (магнитные моменты антипараллельны).

Из сказанного можно сделать вывод о том, что космическое магнитное поле может оказывать дестабилизирующее влияние на Землю – гигантский волчок, взаимодействуя с ее магнитным полем, усугубляет этим действие моментов гравитационных сил, возникающих при изменениях положения центра масс и моментов инерции Земли.

Литература: 1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высш. шк., 1986. – 416 с.

ПРОДУКЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ РАСТЕРИЗАЦИИ ОТРЕЗКОВ ПРЯМЫХ И ОКРУЖНОСТЕЙ

Марковчин В.Л. (г. Курск, Россия)

Lines and circles production-based rasterization algorithm.

Одной из важных проблем в компьютерных сетях является организация обмена сообщениями, значительную часть которых составляют файлы изображений. Для передачи изображений требуется передавать файл, содержащий весь растр и имеющий размеры до нескольких мегабайт. Концепция заключается в разработке методов и алгоритмов растеризации графических конструктивов (отрезков прямых и окружностей) с тем, чтобы передавать не весь файл растра, а только последовательность номеров продукции, составляющих алгоритм растеризации, который предварительно размещается на серверах или на рабочих станциях субъектов телекоммуникации. Такой подход позволяет достигнуть высокого уровня сжатия передаваемых сообщений.

Для конкретизации предлагаемого подхода необходимо решить задачу растеризации двух основных растровых графических конструктивов: отрезков прямых и окружностей.

Проблема растеризации графических конструктивов относится к разновидности аппроксимации на правильной решетке, в узлах которой расположены пиксели. Сущность задачи растеризации заключается в том, что по вычисленным значениям координат определяющих точек конструктива выбирается ближайший аппроксимирующий узел (аппроксимирующая точка) решетки в виде пар его координат на экране. Например, при растеризации отрезка прямой ситуация иллюстрируется рис. 1.

Иллюстрации растеризации отрезка

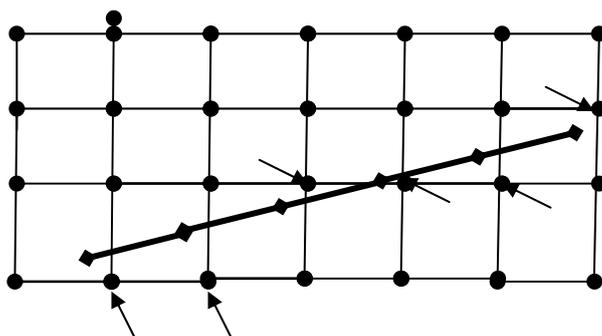


Рис 1.

- обозначение положения определяющей точки;
 стрелками показаны аппроксимирующие точки решетки.

Известные алгоритмы растеризации, которые широко используются на практике, сводятся к вычислению четырех расстояний от точки, заданной парой вычисленных координат, до точек, которые задаются парой координат для каждого узла. Затем из четырех полученных расстояний выбирается меньшее, что определяет в пространстве экрана позицию аппроксимирующего узла [1, 2,

3]. Также известен производственный алгоритм растеризации, основанный на использовании штрих-клеток и предназначенный для организации функционирования массива клеточных автоматов [4, 5, 6]. В способе аналоге [4] при аппроксимации формируются штрих-клетки) на вертикальных прямых пиксельной решетки, которые получаются путем вычисления координат точки пересечения отрезка или окружности с каждой i -той вертикалью, где i перечисляет вертикали решетки в соответствии с числом пикселей в строчной развертке. Вместе с тем формируются штрих-клетки пересечения отрезка или окружности с горизонталями решетки X_{on}^j, Y_{on}^j , где j перечисляет горизонтали по числу строк в развертке. С помощью вычисленных координат штрих-клеток в работах [4-6] определяются координаты ближайших, т.е. аппроксимирующих узловых точек решетки $X_{\bar{o}}$ и $Y_{\bar{o}}$.

Недостатком этого класса алгоритмов является то, что для каждого типа конструктива необходимо создавать свой специфический производственный алгоритм. В отличие от этого в рамках предлагаемой концепции предлагается унифицированный производственный алгоритм, пригодный для всего многообразия графических конструктивов.

В отличие от способа-аналога [4] в предлагаемом способе будем использовать **определяющие точки** X_{on} и Y_{on} , координаты которых вычисляются с шагом A и которые принадлежат некоторому элементарному окну решетки, которому соответствует четверка **смежных ближайших узлов** по вертикали и горизонтали соответственно.

Основной константой пиксельной решетки является расстояние между вертикальными и горизонтальными узлами, которое обозначим A . Будем полагать, что все координаты узлов $X_{\bar{o}}$ и $Y_{\bar{o}}$ пиксельной решетки заранее вычислены и хранятся отдельно в упорядоченных по возрастанию массивах M_x и M_y для горизонтальных и вертикальных координат узлов соответственно.

Приведем соглашение общего порядка, которое, будем применять при растеризации графических конструктивов. При разработке производственных алгоритмов растеризации в качестве обрабатываемого слова принимаются последовательности X_{on} и Y_{on} , а образцами и модификаторами производств - координаты узлов (базовых точек) $X_{\bar{o}}$ и $Y_{\bar{o}}$.

Определим форматы задания символов для записи обрабатываемых слов и образцов производств.

Формат для задания символов обрабатываемых слов имеет два типа, следующего вида:

– для горизонтальных координат

α	Целая часть X_{on}^i	R_x
----------	------------------------	-------

– для вертикальных координат

β	Целая часть Y_{on}^i	R_y
---------	------------------------	-------

В приведенных форматах R_x и R_y конкретные значения старшего разряда дробной части значений координат определяющих точек.

Формат для задания символов образцов имеет два типа следующего вида:

– для первого типа образцов в двух вариантах

α	целая часть X^n_{δ}	0
----------	----------------------------	---

α	целая часть X^n_{δ}	1
----------	----------------------------	---

– для второго типа образцов в двух вариантах

β	целая часть Y^n_{δ}	0
---------	----------------------------	---

β	целая часть Y^n_{δ}	1
---------	----------------------------	---

В первой позиции всех приведенных форматов образцов расположен логический признак α , задающий горизонтальные координаты, или β , задающий вертикальную координату. В последних позициях форматов образцов записываются потенциально возможные бинарные значения двух логических переменных R_x и R_y , соответствующих старшему разряду дробной части координат. В форматах X_{on} и Y_{on} для обрабатываемых слов - конкретные значения указанных логических переменных.

Обрабатываемое слово формируется, например, с помощью конкатенации вертикальных и горизонтальных координат точек, каждая из которых представлена своей целой частью и значением одного старшего разряда дробной части как для горизонтальной, так и для вертикальной координаты в соответствующей позиции формата. В последней позиции в каждом формате элемента обрабатываемого слова записывается значение старшего разряда дробной части вычисленных значений координат R_x и R_y соответственно.

Символами рабочего алфавита A являются значения координат во всем их разнообразии и заданных в двоичном коде со строго определенной разрядностью и строго заданными форматами, приведенными выше. Кроме того, введем расширение рабочего алфавита $C = A \cup B$, где B - вспомогательный алфавит семантических значений конструктивных высказываний: или α , или β , а U - символ объединения алфавитов. Алфавиты A и B не пересекаются.

1. Синтез продукционного алгоритма растеризации.

Пусть очередной элемент обрабатываемого слова $X^n_{on} < A/2$, тогда $R_x^n = 0$, а также пусть $Y^n_{on} < A/2$, тогда $R_y^n = 0$, в результате получим две продукции вида:

$$\begin{aligned} X^n_{\delta}(0) &\rightarrow X^n_{\delta}; \\ Y^n_{\delta}(0) &\rightarrow Y^n_{\delta}. \end{aligned} \quad (1)$$

Пусть очередной элемент обрабатываемого слова $X^n_{on} > A/2$, тогда $R_x^n = 1$, а также пусть $Y^n_{on} < A/2$, тогда $R_y^n = 0$, в результате получим две продукции вида:

$$\begin{aligned} X^n_{\delta}(1) &\rightarrow X^{n+1}_{\delta}; \\ Y^n_{\delta}(0) &\rightarrow Y^n_{\delta}. \end{aligned} \quad (2)$$

Пусть очередной элемент обрабатываемого слова $X^n_{on} < A/2$, тогда $R_x^n = 0$, а также пусть $Y^n_{on} > A/2$, тогда $R_y^n = 1$, в результате получим две продукции вида:

$$\begin{aligned} X^n_{\delta}(0) &\rightarrow X^n_{\delta}; \\ Y^n_{\delta}(1) &\rightarrow Y^{n+1}_{\delta}. \end{aligned} \quad (3)$$

Пусть очередной элемент обрабатываемого слова $X^n_{on} > A/2$, тогда $R_x^n = 1$, а также пусть $Y^n_{on} > A/2$, тогда $R_y^n = 1$, в результате получим две продукции вида:

$$\begin{aligned} X_{\beta}^n(1) &\rightarrow X_{\beta}^{n+1}; \\ Y_{\beta}^m(1) &\rightarrow Y_{\beta}^{m+1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Сформируем обобщенную форму записи продукционного алгоритма в соответствии с введенными форматами для растеризации

$$\begin{aligned} (0) X_{\beta}^n(0) &\rightarrow X_{\beta}^n; & (a) \\ (0) X_{\beta}^n(1) &\rightarrow X_{\beta}^{n+1}; & (b) \\ (1) Y_{\beta}^m(0) &\rightarrow Y_{\beta}^m; & (c) \\ (1) Y_{\beta}^m(1) &\rightarrow Y_{\beta}^{m+1}. & (d), \end{aligned} \quad (5)$$

где α замещено на значение 0 для обозначения горизонтальной координаты, а β - на значение 1 для обозначения вертикальной координаты.

В продукционном алгоритме (5) значения координат X_{β}^n , X_{β}^{n+1} , Y_{β}^m и Y_{β}^{m+1} имеют смысл алфавитных переменных, область значений которых определяется упорядоченными последовательностями координат вертикалей и горизонталей аппроксимирующей решетки, а их декартово произведение задает все множество узлов решетки.

2. Анализ продукционного алгоритма растеризации.

Рассмотрим продукции (a) и (b) из (25). Для этой пары продукций алфавитные переменные X_{β}^n и X_{β}^{n+1} могут конкретизироваться значениями, которые имеют непустое пересечение. Поэтому имеет место запрет на применение коммутативной операции с целью конвейерной реализации на двух исполнительных устройствах. На том же основании не используется синтез вставочной продукции [7], поскольку она будет иметь образец не соответствующий форматам представления символов в обрабатываемом слове, что приведет к запрету на ее срабатывания.

На том же основании лишено смысла преобразование продукций к акселерационным формам, имеющих итерационные скобки [7]. В этом случае в продукциях появляются фрагменты образца в итерационных скобках, которые на заданных форматах слов не могут повторяться. Действительно, рассматривая, например, продукцию (a) из (5), получим ее акселерационную форму с использованием итерационных скобок в виде:

$$\{(0)\}_q X_{\beta}^n \{(0)\}_r \rightarrow X_{\beta}^n, \quad (6)$$

где q и r - счетчики позиций итераций в обрабатываемом слове. При заданных форматах представления символов обрабатываемых слов и разной семантике нулевых и единичных значений полученная продукция логически состоятельна только тогда, когда q и r принимают значение единицы, следовательно продукция совпадает с исходной формой.

Между тем для анализируемых пар продукций из (5) выполняется условие их параллельной реализации, на основании того, что образцы продукций не пересекаются [7]. Тогда результирующий продукционный алгоритм будет представлять собой параллельный блок следующего вида:

$$\begin{aligned}
\# (0) X_{\delta}^n(0) &\rightarrow X_{\delta}^n; \\
\# (0) X_{\delta}^n(1) &\rightarrow X_{\delta}^{n+1}; \\
\# (1) Y_{\delta}^m(0) &\rightarrow Y_{\delta}^m; \\
\# (1) Y_{\delta}^m(1) &\rightarrow Y_{\delta}^{m+1},
\end{aligned} \tag{7}$$

где # - обозначение продукций, входящих в параллельный блок.

В результате того, что значения координат в продукциях из (7) являются алфавитными переменными, число пар продукций алгоритма в его полной форме представления будет равно сумме горизонталей и вертикалей решетки. Конкретное число продукций однозначно определяется по формату монитора, т.е. его разрешающей способностью, или размером рабочего фрагмента пиксельной решетки.

В общем случае решение задачи растеризации сводится к двум этапам. Первый этап связан с вычислением координат определяющих точек, что позволяет условно «забросить» опорную точку в один из элементов решетки, т.е. в квадрат, ограниченный четверкой смежных базовых точек, а определение аппроксимирующего узла на втором этапе однозначно осуществляется унифицированной формой продукционного алгоритма (7).

Важно отметить, что процесс растеризации распараллеливается на любое число блоков, каждый из которых осуществляет растеризацию своего фрагмента обрабатываемого слова. При этом все фрагменты обрабатываемого слова не должны пересекаться по своей длине. Для параллелизма целесообразно выполнять тиражирование ассоциативных процессоров по числу фрагментов обрабатываемого слова. Фрагменты обрабатываемого слова можно формировать в виде дискретных наборов. Первый ассоциативный процессор, например, из четырех, введенных в мультипроцессор растеризации, обрабатывает 1, 5, 9, ..., второй - 2, 6, 10, ..., третий - 3, 7, 11, ..., а четвертый - 4, 8, 12, ... наборы. Тогда за один такт будет получено одновременно четыре аппроксимирующих базовых точки.

Для реализации разработанных продукционных алгоритмов растеризации создан программный продукт Magor-3, моделирующий работу алгоритмов при использовании языка Snobol-4⁺, а также при использовании параллельного спецпроцессора, построенного на основе двух ассоциативных запоминающих устройствах. Показано, что разработанный способ и программа имеет двукратное скоростное преимущество по отношению к программам, реализованным на основе способов-аналогов [2, 3, 4], при таких же параметрах точности аппроксимации на решетке.

Резюме

Таким образом, создан продукционный алгоритм растеризации, применимый не только для отрезков прямых и окружностей, но также не имеет функциональных ограничений для растеризации любых других точечных конструктивных объектов, заданных предварительно полученными координатами опорных точек. Важным свойством продукционного алгоритма является его параллелизм, что открывает пути эффективного использования одного или множе-

ства ассоциативных процессоров или множества простых устройств сопоставления и модификации.

Продукционный алгоритм растеризации создает основу для организации обмена растровыми изображениями, передавая по сети принимающей стороне не растровое изображение, а строго упорядоченную последовательность номеров активации продуктов. При этом адресат должен иметь собственный экземпляр продукционного алгоритма (7) при конкретизации алфавитных переменных, использование которого по полученной последовательности номеров активации с необходимостью воспроизведет соответствующий графический конструктив или их ансамбль, составляющий растровое изображение.

Литература: 1. Зяблов В.В. Кодирование и обработка изображений [Текст]/ В.В.Зяблов, Д.С.Лебедев. М.: Наука, 1988. 184 с. 2. Семенов, О.И., Абламейко С.В., Берейшик В.И., Старовойтов В.В. Обработка и отображение информации в растровых графических системах [Текст]/ О.И. Семенов и др. М.: Наука и техника, 1989. 181 с. 3. Роджерс, Д. Алгоритмические основы машинной графики [Текст]/ Д.Роджерс / Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 512 с., ил. 4. Веретенников, А.А. Алгоритм растеризации отрезка методом анализа положения пикселей растровой продукционной системы [Текст]/ А.А.Веретенников// Материалы 3-й Межд. науч.-техн. конф. "Медико-экологические информационные технологии - 1998". Курск, 1998. С. 137-139. 5. Веретенников, А.А. Принципы организации моделей растеризации с помощью продукционных систем [Текст]/ А.А. Веретенников и др. Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1998. 20с. (Библиогр.: 7 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ 02.07.98, № 2047-B98). 6. Титов, В.С. Разложение в растр окружности с помощью системы продукционных правил [Текст]/ В.С. Титов и др.//Информационные технологии моделирования и управления: Межвузовский сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 1998. С.133-136. 7. Довгаль, В.М. Методы модификации формальных систем обработки символьной информации [Текст]/ В.М.Довгаль. Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 1996. 115 с.

УДК 681.3

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ХАОТИЧЕСКИХ АВТОМАТОВ

Ильин С.И., Довгаль В.М., докт. техн. наук,

Малыхин В.В., канд. техн. наук (г. Курск, Россия)

Chaotic Automaton design conception.

В последнее время внимание специалистов в разных областях науки и техники привлекают системы со случайно-подобным поведением, которые чаще принято называть хаотическими. Хаотические процессы преобладают в медико-биологических системах и компьютерных сетях, широко встречаются во многих областях науки и техники. Из этого следует вывод об актуальности и перспективности создания алгоритмических и программных средств обработки случайно-подобных процессов в виде числовых хаотических рядов с целью извлечения необходимых, достаточных и устойчивых признаков для организации эффективных процедур принятия решений и прогнозирования.

Рассмотрим одномерный хаотический числовой ряд A заданной длины N , полученный в результате натуральных измерений или работы хаотического синтезатора. К сегодняшнему дню в теории хаотических систем разработаны алгоритмические и программные средства восстановления многомерного хаотического процесса по заданной одномерной развертке во времени значений всего

одной его координаты [1]. Таким образом, открывается возможность определять в пространстве существования целостный многомерный образ хаотического процесса по результатам измерений развертки во времени одной единственной измеренной координаты фазового пространства.

Сущность предлагаемой концепции заключается в следующем. Построение топологического портрета начинается с расчета траекторной плотности. Траекторная плотность отображает перманентную закономерность многомерных хаотических процессов, которая заключается в неравномерности следования или местоположения точек на топологическом портрете, определяющегося как множество значений векторов координат пространства его вложения.

Для расчета траекторной плотности необходимо определить мерность пространства вложения по следующему алгоритму:

Для всего числового ряда рассчитывается накопленное отклонение от среднего значения по формуле:

$$R = \sum_{i=1}^N |M - a_i|, \quad (1)$$

где M - математическое ожидание элементов ряда A , a_i - i -й элемент ряда.

Тогда фрактальная размерность будет определяться по формуле:

$$P_{\delta} = \frac{\ln R}{\ln S}, \quad (2)$$

где S - среднее квадратическое отклонение элементов ряда.

Искомая размерность пространства вложения рассчитывается по формуле:

$$K = 2P_{\delta} + 1. \quad (3)$$

По алгоритму Чжуа-Паркера [1], из исходного одномерного ряда A восстанавливается многомерный ряд B , с рассчитанной по формуле (3) размерностью пространства вложения K . Неравномерность следования или местоположения значений векторов координат, составляющих многомерный хаотический процесс, будем интерпретировать как пространственное разрежение или сгущение точек, определяемое по изменению расстояний между ними.

Многомерный ряд B , разбивается на блоки заданной длины m . Длина блока - это количество точек K -мерного пространства. Для каждого блока рассчитывается среднее расстояние между точками по формуле:

$$L_k = \frac{\sum_{j=1}^{m-1} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^K (x_i^j - x_i^{j+1})^2} \right)}{m-1}, \quad (4)$$

где x_i^j - i -я координата j -ой точки блока. Полученная величина есть траекторная разреженность. Итоговое значение траекторной плотности вычисляется как величина, обратная траекторной разреженности т.е.

$$D_k = \frac{1}{L_k}. \quad (5)$$

Неравномерность заполнения пространства вложения определяется разграниченными таксонами, назовем их областями притяжения субаттракторов, т.е. множеством точек, для которых расстояние от точки с координатами «центра тяжести» множества до любой точки не превышает фиксированной длины некоторого радиуса, исходящего из центра. Свойство неравномерности заполнения пространства существования устойчиво регистрировалось на всем многообразии исследованных нами хаотических процессов, порождаемых синтезаторами различной природы.

Отличием предлагаемой концепции является то, что расчет областей притяжения субаттракторов ведется по восстановленному многомерному числовому ряду B и рассчитанному по формуле (5) массиву траекторной плотности D . Отметим, что каждой точке в массиве D однозначно соответствует точка ряда B . Находим локальные максимумы траекторной плотности. Определяем, в каких точках K -мерного пространства достигаются данные максимумы. Полученные точки являются центрами областей притяжения субаттракторов.

На следующем этапе рассчитывается радиус для каждой K -мерной области притяжения субаттрактора с центром в точке c_i . Для этого слева и справа от точки c_i определяются значения массива D , которые наиболее близки к значению $M(D)$, где $M(D)$ - математическое ожидание D , назовем эти точки dl_i и dr_i соответственно, точки cl_i и cr_i это точки массива B в которых достигается значение плотности dl_i и dr_i . Тогда значение радиуса для сферы с центром в точке c_i будет вычисляться по формуле:

$$\max \left\{ \text{Dist}(B_j, c_i) \Big|_{j=pl..pr} \right\}, \quad (6)$$

где $\text{Dist}(x, y)$ - декартово расстояние между точками x и y , pl - индекс точки cl_i в массиве B , pr - индекс точки cr_i в массиве B .

На последнем этапе производится слияние пересекающихся областей притяжения субаттракторов. Результатом слияния являются M непересекающихся областей притяжения в K -мерном пространстве вложения.

Резюме. Таким образом, результатом построения является новая понятийная схема в виде хаотического автомата, состояниями которого являются многомерные области притяжения субаттракторов, присутствующих в исходном случайно-подобном процессе, а функцией переходов - отношения переключения между ними в виде областей разрежения траекторий. Использование хаотических автоматов позволяет решать задачи принятия решений в области медицины, диагностировать патологические состояния, в том числе признаки ИБС. На основе предложенной концепции создан программный продукт, написанный в среде программирования Borland C++ Builder.

Литература: 1. Т.С. Паркер. Л. О. Чжуа. Введение в теорию хаотических систем для инженеров // ТИИЭР. 1987. т.75, №8. С. 6-40. 2. В. Гуревич, Г Волмен. Теория размерности, М.: ХТЛ - Пресс, 1996, 286 с. 3. Альшакова Е.Л., Довгаль В.М., Захаров И.С. Методы линейного и нелинейного отображения n -мерных объектов: Препринт 31-97/Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1997. 12 с. 4. Пустовойт В.И.. Хаос в некоторых задачах информатики Успехи современной радиоэлектроники // Зарубежная радиотехника. – 1997. №10. С. 3.

МЕТОД КРИПТОГРАФИИ НА ОСНОВЕ УПОРЯДОЧЕНИЯ И ХАОТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОЗИЦИИ

Дегтярев С.А., Гордиенко В.В., канд. техн. наук,
Новиков С.Г., канд. техн. наук (г. Курск, Россия)

In the given work the problem of protection of the information is considered/

В настоящее время проблемам защиты информации уделяется особое внимание специалистов в различных областях информатики и психолингвистики.

Целевое назначение данной работы заключается в разработке алгоритма шифрования и расшифрования с использованием механизмов хаотической динамики. Применяя разработанный алгоритм, появляется возможность задать длину ключа, применяемого для шифрования, 256 бит и более, что, соответственно, увеличивает криптостойкость алгоритма в соответствии с критерием Кирхгофа.

Как известно, криптосистема $S = \langle X, Y, K, f \rangle$ есть некоторое преобразование информации $f : X \times K \rightarrow Y$, определенное на множествах исходных состояний X , заключительных состояний Y и ключей K . Состояние $x \in X$ кодирует некоторую полезную информацию. В компьютерной криптографии множества $X = Y = \{0,1\}$, $K \subset \{0,1\}$, а преобразование f задано при помощи программы (алгоритма), реализуемого на машине Тьюринга.

В качестве информации, подлежащей защите, будем рассматривать текстовые сообщения p . Сообщение, называемое так же открытым текстом (plaintext), есть последовательность символов $p = \{p_1, p_2, \dots, p_n \mid p_i \in P\}$, где алфавит P есть конечное множество символов, используемых для кодирования информации. В компьютерных криптосистемах, $P = Z_2 = \{0,1\}$ (бинарный алфавит). Можно рассматривать символы на алфавите байтов, т. е. $P = Z_{256}$.

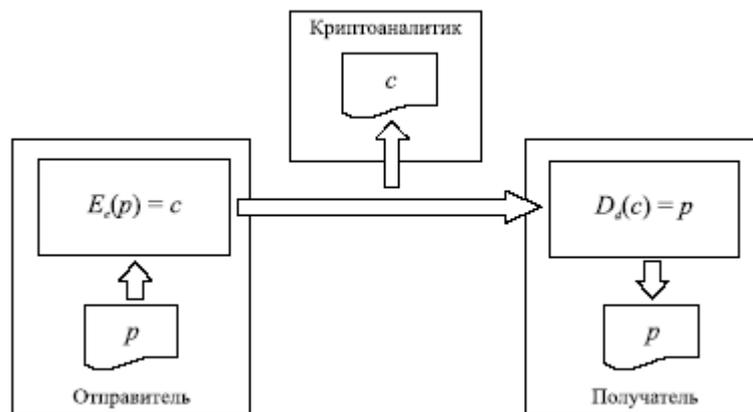


Рис. 1. Схема защищенной передачи сообщения при помощи шифрования и расшифрования.

Операция *шифрование* есть криптографическое преобразование $E : P \times \varepsilon \rightarrow C$ где C - алфавит шифротекста, и ε - множество ключей шифрования, то есть

$$c = E(p, e) = E_e(p), \quad p \in P, c \in C, e \in \varepsilon. \quad (1)$$

Операция *дешифрование* есть обратное преобразование $D: C \times D \rightarrow P$, где D - множество ключей дешифрования, то есть

$$p = D(c, d) = D_d(c), \quad p \in P, c \in C, d \in D. \quad (2)$$

Обычно, $C = P \subset \{0,1\}$ и $\varepsilon = D = K \subset \{0,1\}$.

На рис. 1 представлена классическая схема защищенной передачи сообщения при помощи шифрования/дешифрования.

Современная криптография основана на генераторах псевдослучайных последовательностей. Псевдослучайные последовательности не могут быть эффективно отличены от случайных (доступными вычислительными средствами), но с другой стороны, псевдослучайная последовательность порождается некоторым детерминированным генератором из короткого ключа, поэтому она легко репродуцируема.

Предлагаемый метод решения данной проблемы основан на механизмах хаотической динамики.

Динамическая система называется хаотической, если все ее траектории ограничены, но быстро расходятся в каждой точке. Таким образом, из определения динамической хаотической системы следует, что ее применение для криптографии автоматически выполнит одно из важнейших условий криптостойкости системы - распыление. Распыление предполагает, что похожие ключи (начальные условия) преобразуют текст в совершенно разные последовательности. Это достигается за счет быстрого расхождения траекторий хаотических систем. Второе не менее важное условие криптостойкости - запутывание указывает на то, что статистические свойства открытого текста не обнаруживаются в шифротексте. Это означает, что шифротекст должен быть хаотическим. Также немаловажным следствием из определения динамической хаотической системы является топологическая транзитивность, т.е. траектория хаотической системы является непрерывной и ограниченной. Это необходимо с одной стороны для сохранения состояния криптосистемы в тех пределах, которые допускает носитель информации, с другой для покрытия всего пространства состояний шифротекста.

Используя преимущества применения механизмов хаотической динамики в криптографии перед существующими методами, рассмотрим алгоритм, реализующий эти механизмы.

Задаются начальные условия: дискретное хаотическое отображение, ключ, количество изменений траектории, глубина кодирования, холостой ход.

Поясним, что собой представляют начальные условия и на что они влияют.

Дискретное хаотическое отображение (например, отображение Хенона, TentMap, «кубическая парабола» и т.п.) представляет собой уравнение или систему уравнений, удовлетворяющих условиям динамической хаотической системы, т.е. траектория этой системы является непрерывной, ограниченной и быстро расходящейся. Пример отображения, состоящего из двух уравнений (отображение Хенона (в классической точке)):

$$\begin{aligned} x_{N+1} &= y_N + 1 - 1,4 \times x_N^2; \\ y_{N+1} &= 0,3 \times x_N; \end{aligned} \quad (3)$$

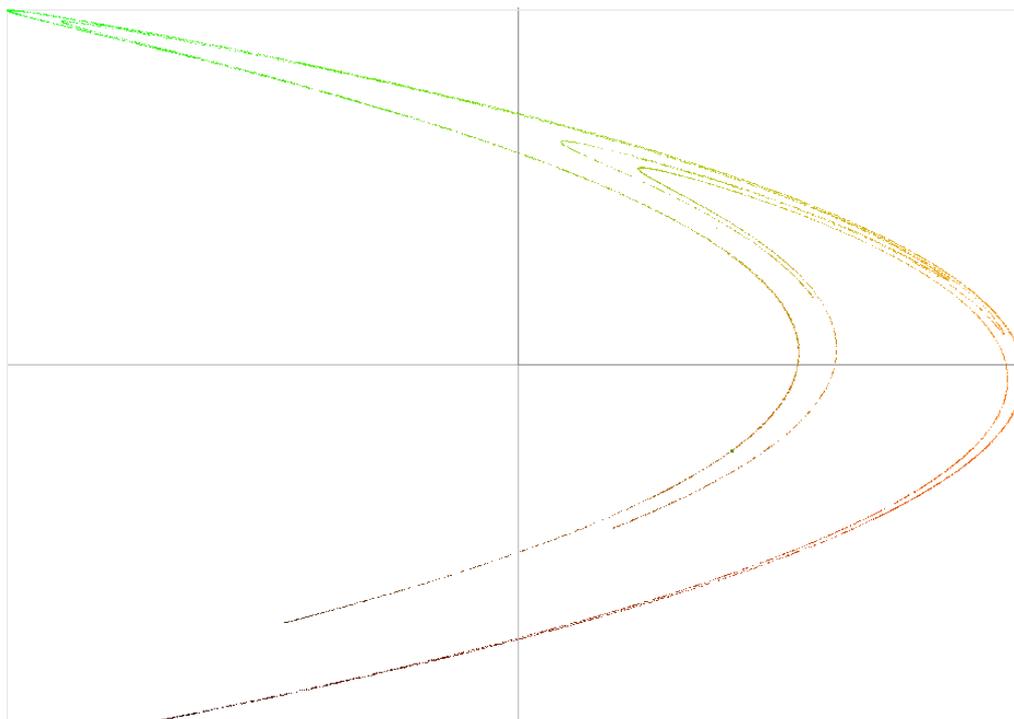


Рис. 2. Траектория отображения Хенона.

Ключ - это начальное значение состояния системы. В предлагаемом алгоритме задается первый ключ x_0 и второй ключ y_0 , что автоматически увеличивает длину ключа до 128 бит.

Количество изменений траектории - величина, которая указывает, сколько раз изменять траекторию аттрактора. Траектория изменяется равномерно по всему тексту, шаг изменения траектории равен длине текста деленной на количество изменений траектории, при этом текущему значению ключа 1 (x) присваивается текущее значение ключа 2 (y) и наоборот, если ключ 2 не используется в выбранном отображении, то он равен 0, соответственно, при смене траектории ключ 1 сбрасывается в 0. Количество изменений траектории не должно превышать длину кодируемого текста в битах.

Глубина кодирования указывает, сколько раз применяется данный алгоритм к одному и тому же тексту. Например, при глубине кодирования равной 2, исходный текст закодируется, а потом уже к зашифрованному тексту будет еще раз применен этот же алгоритм с теми же начальными условиями.

Холостой ход - номер итерации, с которой начнется заполнение хаотического ряда.

Таким образом, изменяя все перечисленные начальные условия и добавляя новые, мы можем получить ключ очень большой длины.

Рассмотрим сначала процесс шифрования. Элементы генерируемого числового хаотического ряда в строго заданной последовательности используются в качестве указателей позиций массива битов кодируемого текста и при этом после упорядочения хаотической последовательности по заданным позициям формируется шифротекст так, что считанный бит текста записывается в позицию массива шифротекста в соответствии с упорядоченной хаотической после-

довательностью и т.д., т.е. выполняется хаотическая транспозиция. Ключом шифрования являются стартовые значения дискретного хаотического отображения. Принимающая сторона по известному только ей ключу запускает хаотическое дискретное отображение и формирует адреса в шифротексте, по каждому из которых выполняется обратная транспозиция, т.е. бит шифротекста из первой позиции пересылается по полученному первому адресу и т.д. Новизна и существенные отличия алгоритмов и программного продукта заключаются в том, что впервые используется хаотическая транспозиция для перестановки последовательности битов кодируемого текста вместо генераторов псевдослучайных чисел. Кроме того, эффективно применяется упорядочение по значениям числового хаотического ряда, что позволяет реализовать принцип «хаотического фейерверка» в пространстве шифротекста.

Проиллюстрируем описанный алгоритм.

Пусть заданы следующие начальные условия:

выбрано отображение Хенона (3);

первый ключ $key1 = 0,7$;

второй ключ $key2 = 0,001$;

количество изменений траектории $ChangeCount = 3$;

глубина кодирования $CodDepth = 2$;

холостой ход $FreeRun = 20$;

текст для шифрования $origin = Ch'aos$.

Вычисляется длина текста $o_len = 6$.

После проверки стартовых значений на соответствие некоторым ограничениям, формируется два массива символов cod и $decod$ длиной o_len . В массив $decod$ записываются символы текста:

$decod[0]=C$;

$decod[1]=h$;

$decod[2]='$;

$decod[3]=a$;

$decod[4]=o$;

$decod[5]=s$.

Далее формируются два массива, размерность которых равна длине текста в битах:

$$g_len = o_len * 8 = 6 * 8 = 48.$$

Один массив ($interchange$) для целых значений, другой ($generator$) для чисел с плавающей точкой.

В массив $interchange$ записываются числа от 0 до g_len-1 . В массив $generator$ записываются значения, сгенерированные хаотическим аттрактором в соответствии с начальными условиями. Происходит этот процесс следующим образом.

Вычисляется шаг (приращение), с которым будет меняться траектория:

$$step = (g_len-1) / ChangeCount = 47 / 3 = 15.$$

В переменной cur хранится номер шага, на котором нужно менять траекторию. Перед началом заполнения массива $cur = step$.

Далее 20 раз «вхолостую» обрабатывает генератор. После 20-й итерации:

key1 = -0.9234388;
key2 = -0.3849493.

Генератор продолжает свою работу, но теперь значения *key1* на каждом шаге записываются в массив *generator* (табл. 1).

Таблица 1

Значения массивов *generator* и *interchange* после работы генератора

generator	interchange	Текст в двоичном виде	generator	interchange	Текст в двоичном виде
-0,578784	0	1	1,072494	24	1
0,253980	1	1	-0,515657	25	0
0,736056	2	0	0,949484	26	0
0,317704	3	0	-0,416826	27	0
1,079506	4	0	1,041603	28	0
-0,536155	5	0	-0,643961	29	1
0,921403	6	1	1,175778	30	1
-0,349424	7	0	-0,841693	31	0
1,105484	8	0	0,360905	32	1
-0,815761	9	0	0,565138	33	1
0,399991	10	0	0,661138	34	1
0,531281	11	1	0,557596	35	1
0,724833	12	0	0,763062	36	0
0,423846	13	1	0,352108	37	1
0,965945	14	1	1,055345	38	1
1,104518	15	0	-0,453623	39	0
-0,669799	16	1	1,028519	40	1
0,703271	17	1	-0,617079	41	1
0,106632	18	1	0,775453	42	0
1,195062	19	0	-0,026982	43	0
-0,967455	20	0	1,231616	44	1
0,048161	21	1	0,991813	45	1
0,706516	22	0	-0,379599	46	1
0,315617	23	0	1,095809	47	0

После этого элементы сгенерированного числового хаотического ряда, содержащиеся в массиве *generator* упорядочиваются (сортируются по возрастанию). Значения этого массива в строго заданной последовательности используются в качестве указателей позиций массива битов кодируемого текста (*interchange*). Т.е. на основании этого упорядочения перемешиваются значения массива *interchange* (табл. 2). Для упорядочения используется алгоритм быстрой сортировки.

После упорядочения хаотической последовательности по заданным позициям формируется шифротекст так, что считанный бит текста записывается в позицию массива шифротекста в соответствии с упорядоченной хаотической последовательностью и т.д., т.е. выполняется хаотическая транспозиция (табл. 2).

Таблица 2

Значения массивов *generator* и *interchange* после упорядочения

generator	interchange	Шифротекст в двоичном виде	generator	interchange	Шифротекст в двоичном виде
-0,967455	20	0	0,557596	35	1
-0,841693	31	0	0,565138	33	1
-0,815761	9	0	0,661138	34	1
-0,669799	16	1	0,703271	17	1
-0,643961	29	1	0,706516	22	0
-0,617079	41	1	0,724833	12	0
-0,578784	0	1	0,736056	2	0
-0,536155	5	0	0,763062	36	0
-0,515657	25	0	0,775453	42	0
-0,453623	39	0	0,921403	6	1
-0,416826	27	0	0,949484	26	0
-0,379599	46	1	0,965945	14	1
-0,349424	7	0	0,991813	45	1
-0,026982	43	0	1,028519	40	1
0,048161	21	1	1,041603	28	0
0,106632	18	1	1,055345	38	1
0,253980	1	1	1,072494	24	1
0,315617	23	0	1,079506	4	0
0,317704	3	0	1,095809	47	0
0,352108	37	1	1,104518	15	0
0,360905	32	1	1,105484	8	0
0,399991	10	0	1,175778	30	1
0,423846	13	1	1,195062	19	0
0,531281	11	1	1,231616	44	1

Далее если глубина кодирования больше 1, повторяется весь процесс заново, но в качестве начальных значений ключей используем текущие значения генератора, а в качестве исходного текста используется шифротекст и т.д. Мы не будем иллюстрировать этот процесс, т.к. он полностью аналогичен.

Принимающая сторона по известному только ей ключу запускает хаотическое дискретное хаотическое отображение и формирует адреса в шифротексте, по каждому из которых выполняется обратная транспозиция, т.е. бит шифро-

текста из первой позиции пересылается по полученному первому адресу и т.д. Таким образом, для иллюстрации расшифрования достаточно в таблицах 1 и 2 поменять местами текст и шифротекст, а все остальные вычисления останутся такими же.

Приведенная методика алгоритмизирована и для ее реализации создана компьютерная программа «Программный продукт для криптографии на основе хаотической транспозиции элементов кодов символов электронных документов».

Новизна и существенное отличие программного продукта заключается в том, что впервые используется хаотическая транспозиция для перестановки последовательности битов кодируемого текста вместо генераторов псевдослучайных чисел. Использование разработанного программного продукта позволяет достигнуть высокого уровня противодействия информационной атаке, поскольку ключ шифрования может быть увеличен до 256 бит и более путем введения множества секретных приращений на секретных шагах работы алгоритма, реализующего дискретное хаотическое отображение.

Таким образом, поставленная в работе цель достигнута, проблема решена.

УДК 621.822

ОБ ОДНОЙ ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Гапонов В.С., докт. техн. наук, **Гайдамака А.В.**, канд. техн. наук,
(г. Харьков, Украина)

The article presents one feature of high-velocity rolling bearings of a double – support rotor system.

В настоящее время выполнен достаточно большой объем научных исследований и практических разработок по снижению вредного явления проскальзывания в подшипниках качения [1]. Вместе с тем в них не отражено влияние элементов роторной системы на кинематику деталей подшипника. Поэтому, целью статьи является исследование взаимного влияния опор роторной системы на проскальзывание тел качения с сепаратором относительно колец подшипника.

Рассмотрим движение высокоскоростного ненагруженного внешними силами ротора (режим холостого хода) на двух опорах качения, имеющих технологические погрешности геометрии деталей в виде разноразмерности тел качения, представимых дискретными моделями. Остальные погрешности, имеющие вероятностный характер, не учитываются.

Динамическое качество роторной системы учитывается зависимостью уровня вынужденных колебаний от интенсивности возмущений и запаса устойчивости системы. Интенсивность возмущений характеризуется динамикой холостого хода.

Полагаем, что ротор, имеет две степени свободы линейных перемещений в радиальной плоскости. Комплект тел качения с сепаратором имеет одну степень свободы относительно неподвижного кольца.

Учет этой степени свободы означает, что в режиме гидродинамического контакта тела качения могут проскальзывать и скорость сепаратора может не

совпадать со значением, определяемым кинематическими соотношениями, а будет определяться балансом действующих на тела качения сил.

Движение ротора описываем в переменных x и y , определяющих положение центра масс ротора в связанной с основанием системе координат. Положение сепаратора одной опоры относительно неподвижного кольца углом φ_1 , положение сепаратора другой опоры – углом φ_2 .

В радиальной плоскости на ротор действуют упругие и диссипативные силы и уравнения его движения имеют вид:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + d\dot{x} &= \frac{du}{dx}; \\ m\ddot{y} + d\dot{y} &= \frac{du}{dy}. \end{aligned}$$

где m - масса ротора; d - коэффициент демпфирования; u - потенциал упругих сил.

Уравнение движения сепараторов

$$I_i\ddot{\varphi}_i = h_i(\Omega_i - \dot{\varphi}_i) + b_i \operatorname{sgn}(\Omega_i - \dot{\varphi}_i) + \frac{du}{d\varphi_i}; \quad (i=1,2),$$

где I_i - момент инерции относительно оси вращения сепаратора вместе с телами качения; Ω_i - кинематическое значение скорости вращения сепаратора.

Если скорость вращения сепаратора $\dot{\varphi}_i$ не совпадает с кинематической, то со стороны колец к нему приложены моменты вязкого трения $h_i(\Omega_i - \dot{\varphi}_i)$ и сухого трения $b_i \operatorname{sgn}(\Omega_i - \dot{\varphi}_i)$. Координаты h_i, b_i зависят от свойств трения и от осевого натяга в подшипниках. Потенциал упругих сил u зависит не только от радиальных перемещений, но и от положения комплекта шаров в подшипнике, поэтому, помимо сил трения, на сепаратор действуют еще и консервативные моменты $\frac{du}{d\varphi_i}$.

В данной задаче используем структуру потенциала в виде [2]

$$u = -\frac{1}{2}K(x^2 + y^2) + x(p \sin \varphi_1 + q \sin \varphi_2) + y(p \cos \varphi_1 + q \cos \varphi_2),$$

где K - радиальная жесткость подшипника; p, q - коэффициенты, характеризующие разноразмерность шариков.

В итоге, система уравнений движения ротора имеет вид

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} + d\dot{x} + Kx &= p \sin \varphi_1 + q \sin \varphi_2, \\ m\ddot{y} + d\dot{y} + Ky &= p \cos \varphi_1 + q \cos \varphi_2, \\ I_1\ddot{\varphi}_1 &= h_1(\Omega_1 - \dot{\varphi}_1) + b_1 \operatorname{sgn}(\Omega_1 - \dot{\varphi}_1) + p(x \cos \varphi_1 - y \sin \varphi_1), \\ I_2\ddot{\varphi}_2 &= h_2(\Omega_2 - \dot{\varphi}_2) + b_2 \operatorname{sgn}(\Omega_2 - \dot{\varphi}_2) + p(x \cos \varphi_2 - y \sin \varphi_2). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В безразмерном времени $\tau = t\sqrt{\frac{K}{m}}$ уравнения (1) примут вид

$$x'' + hx' + x = a \sin \varphi_1 + b \sin \varphi_2,$$

$$y'' + hy' + y = a \cos \varphi_1 + b \cos \varphi_2,$$

$$A_1 \varphi_1'' = \mu_1 (\omega_1 - \varphi_1') + f_1 cgn(\omega_1 - \varphi_1') + a(x \cos \varphi_1 - y \sin \varphi_1),$$

$$A_2 \varphi_2'' = \mu_2 (\omega_2 - \varphi_2') + f_2 cgn(\omega_2 - \varphi_2') + a(x \cos \varphi_2 - y \sin \varphi_2).$$

Здесь

$$h = \frac{d}{\sqrt{Km}}, \quad f_i = \frac{b_i}{K}, \quad a = \frac{p}{K}, \quad A_i = \frac{I_i}{m}, \quad \mu_i = \frac{h_i}{\sqrt{Km}}.$$

$$b = \frac{q}{K}, \quad \omega_i = \Omega_i \sqrt{\frac{m}{K}} \quad (i=1,2),$$

Введением $x = r_1 \sin \psi_1$, $y = r_2 \sin \psi_2$ перейдем к форме в новых переменных:

$$r_1' = -hr_1 \cos^2 \psi_1 + a \sin \varphi_1 \cdot \cos \psi_1 + b \sin \varphi_2 \cos \psi_1,$$

$$r_2' = -hr_2 \cos^2 \psi_2 + a \cos \varphi_2 \cdot \cos \psi_2 + b \sin \varphi_2 \cos \psi_2,$$

$$\psi_1' = 1 + h \cos \psi_1 \sin \psi_1 - \frac{a}{r_1} \sin \varphi_1 \cdot \sin \psi_1 - \frac{b}{r_1} \sin \varphi_2 \sin \psi_1,$$

$$\varphi_1' = \Phi_1,$$

$$\psi_2' = 1 + h \cos \psi_2 \sin \psi_2 - \frac{a}{r_2} \cos \varphi_1 \cdot \sin \psi_2 - \frac{b}{r_2} \cos \varphi_2 \sin \psi_2,$$

$$\varphi_2' = \Phi_2,$$

$$A_1 \Phi_1' = \mu_1 (\omega_1 - \Phi_1') + f_1 cgn(\omega_1 - \Phi_1') + a(r_1 \sin \psi_1 \cos \varphi_1 - r_2 \sin \psi_2 \sin \varphi_2).$$

$$A_2 \Phi_2' = \mu_2 (\omega_2 - \Phi_2') + f_2 cgn(\omega_2 - \Phi_2') + a(x \cos \varphi_2 - y \sin \varphi_2). \quad (2)$$

Будем рассматривать случай резонанса, считая малыми следующие разности:

$$\Delta = \Phi_1 - 1 \text{ и } \Phi_1 - \Phi_2$$

выполним замену

$$\varphi_1 - \psi_1 = \theta_1,$$

$$\varphi_1 - \psi_2 = \theta_2,$$

$$\varphi_1 - \psi_2 = \theta.$$

Подставляя эти соотношения в (2), получим

$$r_1' = -hr_1 \cos^2 \psi_1 + a \sin(\psi_1 + \theta_1) \cos \psi_1 + b \sin(\psi_1 + \theta_1 - \theta) \cos \psi_1,$$

$$r_2' = -hr_2 \cos^2 \psi_2 + a \cos(\psi_2 + \theta_2) \cos \psi_2 + b \cos(\psi_2 + \theta_2 - \theta) \cos \psi_2,$$

$$A_1 \Phi_1' = \mu_1 (\omega_1 - \Phi_1') + f_1 cgn(\omega_1 - \Phi_1') +$$

$$+ a \left[r_1 \sin \psi_1 \cos(\psi_1 + \theta_1) - r_2 \sin \psi_2 \sin(\psi_2 + \theta_2) \right],$$

$$A_2 \Phi_2' = \mu_2 (\omega_2 - \Phi_2') + f_2 cgn(\omega_2 - \Phi_2') +$$

$$+ b \left[r_1 \sin \psi_1 \cos(\psi_1 + \theta_1 - \theta) - r_2 \sin \psi_2 \sin(\psi_2 + \theta_2 - \theta) \right],$$

$$\theta' = \Phi_1 - \Phi_2,$$

$$\begin{aligned} \theta'_1 &= \Delta - h \cos \psi_1 \sin \psi_1 + \frac{a}{r_1} \sin \psi_1 \sin(\psi_1 + \theta_1) + \frac{b}{r_1} \sin \psi_1 \sin(\psi_1 + \theta_1 - \theta), \\ \theta'_2 &= \Delta - h \cos \psi_2 \sin \psi_2 + \frac{a}{r_2} \sin \psi_2 \cos(\psi_2 + \theta_2) + \frac{b}{r_2} \sin \psi_2 \cos(\psi_2 + \theta_2 - \theta), \end{aligned} \quad (3)$$

В системе (3) первые семь переменных можно рассматривать как медленные, если считать коэффициенты трения и разноразмерность шариков малыми. Фазы ψ_1 и ψ_2 - быстрые.

Проведем по этим фазам осреднение системы (3)

$$\begin{aligned} r'_1 &= -\frac{1}{2} \left[r_1 - a \sin \theta_1 - b \sin(\theta_1 - \theta) \right], \\ r'_2 &= -\frac{1}{2} \left[r_2 - a \cos \theta_2 - b \cos(\theta_2 - \theta) \right], \\ A_1 \Phi'_1 &= \mu_1 (\omega_1 - \Phi_1) + f_1 \operatorname{cgn}(\omega_1 - \Phi_1) - \frac{1}{2} (r_1 \sin \theta_1 + r_2 \cos \theta_2) a, \\ A_2 \Phi'_2 &= \mu_2 (\omega_2 - \Phi_2) + f_2 \operatorname{cgn}(\omega_2 - \Phi_2) - \frac{1}{2} (r_1 \sin(\theta_1 - \theta) + r_2 \cos(\theta_2 - \theta)) b, \\ \theta' &= \Phi_1 - \Phi_2, \\ \theta'_1 &= \Delta + a(2r_1)^{-1} \cos \theta + b(2r_2)^{-1} \cos(\theta_1 - \theta), \\ \theta'_2 &= \Delta - (2r_1)^{-1} a \sin \theta_2 + b \sin(\theta_2 - \theta). \end{aligned} \quad (4)$$

Возможны два типа стационарных режимов в системе (4), при которых движение одного сепаратора захватывает движение другого так, что они движутся с одинаковой скоростью $\Phi_1 = \Phi_2$:

- в одном из подшипников проскальзывание отсутствует, тогда $\Phi_1 - \Phi_2 = \omega_1$ (проскальзывание отсутствует, например, в первом подшипнике);
- проскальзывают оба подшипника.

Выводы. Проскальзывание высокоскоростных подшипников качения ненагруженной внешними силами роторной системы определяется взаимным влиянием ее опор и зависит от величины разноразмерности тел качения. Снижение последствий проскальзывания в подшипниках качения может быть достигнуто путем соответствующего назначения допусков на технологические погрешности геометрии деталей, а также уменьшением тепловыделения и ограничения теплового потока через поверхностные слои контактируемых деталей путем модифицирования поверхностных слоев деталей подшипника и образования защитного покрытия с низкими коэффициентами трения и теплопроводности. Последнее будет способствовать уменьшению структурных превращений металла от нагрева в следствии проскальзывания.

Литература: 1. Коднир Д.С. Контактная гидродинамика деталей машин. – Куйбышев, 1970. – 115 с. 2. Прикладные методы в исследовании колебаний /В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов. – М.: Наука, 1988. – 338 с.

УДК 539.1

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРПУСА КРУПНОГАБАРИТНОГО ДВС

Автономова Л.В., канд. техн. наук, Анацкий Ю.П.,
Лавинский В.И., докт. техн. наук (г. Харьков, Украина)

Researching illustrates method of the engine body dynamic characteristics determination based on a coherent modal analysis of oscillations under various body structures with a CAE design schemes.

При работе многих машин и механизмов возникают вибрации и удары, снижающие их надежность и долговечность, а также оказывающие вредное воздействие на здоровье человека. Особенно серьезная ситуация сложилась при эксплуатации мощных ДВС, являющихся во многих случаях источниками интенсивного шума и вибраций. При создании высокоэкономичных и надежных ДВС ведутся интенсивные работы по уменьшению уровней вибрации ДВС с применением различных методов снижения активности источников вибрации и шума, а также специальных технологических и конструкторских решений еще на стадии предварительного проектирования. Однако, применение традиционных виброизоляторов, наибольшая эффективность которых проявляется только в области низких частот, не решает проблему виброизоляции двигателей в целом. Прежде всего, необходим предварительный динамический анализ состояния и поведения во времени и пространстве достаточно сложной функциональной системы ДВС.

Динамический анализ ДВС обычно имеет многовариантный характер, предназначенный для определения отдельных параметров, влияющих на формирование исследуемых динамических характеристик всей системы. Наиболее трудоемкие задачи анализа связаны с оценками нагруженности при колебаниях, вызываемых регулярными возмущениями. Такие оценки требуют многократного определения собственных частот и форм цепной динамической модели на каждом шаге вариации упругих и инерционных параметров. Кроме того, зависящие от времени нагрузки, нестационарные реакции механизмов и узлов в значительной степени усложняют динамический анализ крупногабаритных ДВС при их проектировании и диагностике [1].

В общем случае силы, действующие при работе двигателя на различных режимах, влияют, на уравновешенность двигателя, характер и амплитуду колебательных процессов, возникающих в механизмах. Необходимо проводить динамический анализ узлов и деталей, позволяющий определить характер и амплитуды колебательных процессов для учета их влияния на прочность всей системы.

Традиционные методы прочностного анализа (расчет напряжений при статическом нагружении, анализ собственных колебаний и частотного отклика отдельных узлов) применяются уже на стадии проектирования для предотвращения появления возможных усталостных трещин, возникающих за счет вибрации отдельных элементов ДВС. Рассматривая ДВС как сложную многофункциональную структурную систему, в первую очередь, важно выявить взаимо-

связь между его отдельными элементами и способы воздействия одного элемента на другой.

Следовательно, необходимо проводить предварительный динамический анализ отдельных элементов структур этой системы, оптимально моделируя их параметры, достигая наибольшего соответствия реальным условиям функционирования. Однако, существует ряд ограничений, которые не позволяют в полной мере достаточно быстро и эффективно достичь адекватности моделей, ввиду сложности геометрии и модели деформирования. Поэтому на предварительной фазе проектирования в качестве первоначальной оценки динамического поведения конструкции и отдельных элементов двигателя можно применить модальный анализ, реализованный в специализированном программно-ориентированном пакете. Возможность применения такого подхода объясняется тем, что в программном пакете модальный анализ можно выполнять как для ненагруженной, так и для нагруженной конструкции.

Использование численного метода МКЭ для динамического анализа ДВС, позволяет решать задачи определения собственных частот для упрощенных моделей, что может уже на предварительном этапе конструирования дать результаты, которые дадут возможность избежать изначальных прочностных ошибок проектирования ДВС. При этом следует отметить, что часто требуется применение новых, в том числе достаточно оригинальных моделей, для нахождения наилучших решений. Введение некоторых упрощений в сложную модель можно проводить лишь до некоторого предела, чтобы это существенно не отражалось на условиях адекватности реальному объекту.

Важным этапом выполнения анализа несущей способности конструкции является составление расчетной схемы. Как правило, на первом этапе вводится расчетная схема для укрупненного анализа и оценки состояния конструкции, в общем. Далее на основе полученных данных осуществляется детальное моделирование прогнозируемых опасных зон по критериям прочности.

В настоящей работе, в качестве примера, было проведено моделирование корпуса оригинального крупногабаритного ДВС и численно решена с помощью МКЭ динамическая задача нахождения его собственных форм и частот, в зависимости от структурно-технологических его особенностей. Проведен анализ влияния возможного изменения геометрии и элементной базы конструкции корпуса на его динамические характеристики.

На стадии подготовки расчетной твердотельной модели проводилась работа с геометрической моделью корпуса крупногабаритного ДВС, созданной конструкторами в одной из САД-систем. Такая модель строилась в основном для получения детальной чертежной информации, что обусловило наличие в ней множества мелких конструктивных элементов.

Отдельные фрагменты модели характеризовались наличием в них «щелей», со сложной структурой пересечения поверхностей или с наличием малых поверхностей, образующихся при наложении различных операций при моделировании. В препроцессоре программного комплекса такие геометрические особенности вызывают проблемы при генерации конечно-элементной сетки. Помимо «заглубления» модели с удалением несущественных конструктивных

элементов, важной задачей подготовительного этапа являлось формирование поверхностей для последующего задания граничных условий. В данном исследовании, учитывая геометрическую сложность и крупные габариты (рис.1) корпуса, была создана твердая модель, приближенно отвечающая натурному объекту, однако вписывающаяся в стратегию прочностного анализа и позволяющая прогнозировать опасные зоны, в частности по критерию трещиностойкости.

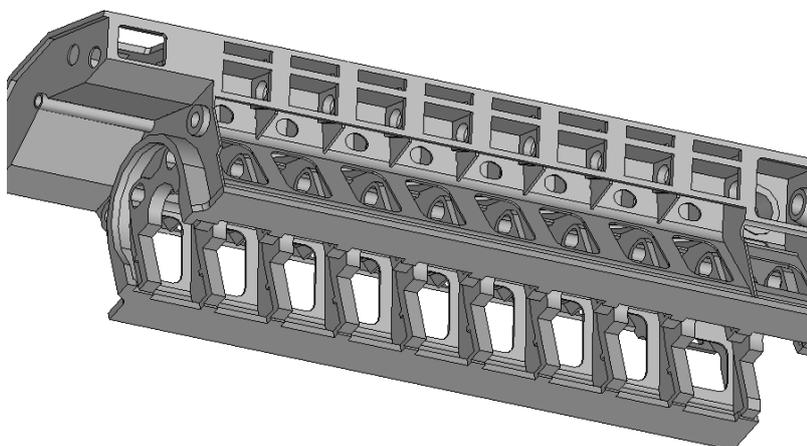


Рис.1. Общий вид корпуса.

средней производительности: количество элементов - 189381; количество узлов - 373532. В качестве оценочных параметров динамического поведения конструкции выбраны частота колебаний, модальная форма и величина максимальных относительных отклонений.

Рассматривались различные варианты конструкции подкрепляющих силовых элементов на корпусе с целью перераспределения зон распространения колебаний на другие участки корпуса, а также возможность сместить резонансный пик амплитудно-частотных характеристик в область малых значений резонансной частоты и, тем самым, уменьшить амплитуду вынужденных колебаний двигателя.

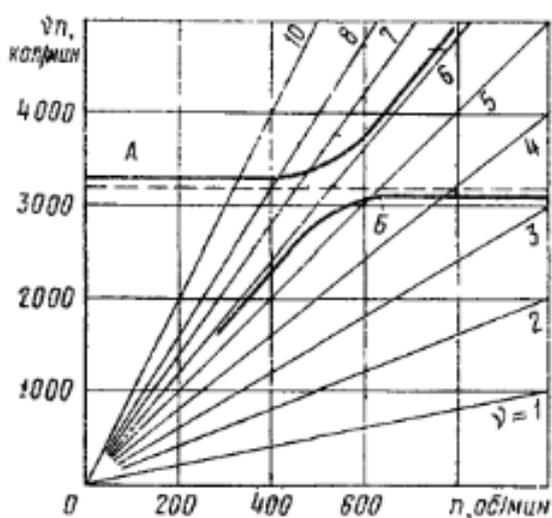


Рис. 2. Зависимость частоты гармонических составляющих вращающих моментов порядка 1,2,...10 от частоты вращения вала дизеля Д100, [2].

На следующем этапе анализа каждый из набора связанных объемов разбивался генератором сетки на элементы гексаэдрической формы. После серии расчетных экспериментов в качестве основной была выбрана конечно-элементная сетка с параметрами, позволяющими проводить дальнейший анализ на персональном компьютере

средней производительности: количество элементов - 189381; количество узлов - 373532. В качестве оценочных параметров динамического поведения конструкции выбраны частота колебаний, модальная форма и величина максимальных относительных отклонений.

В результате расчетов были построены графики колебаний расчетной модели корпуса ДВС и его амплитудно-частотная характеристика. Рациональный выбор конструкции корпуса позволяет сместить резонансный пик амплитудно-частотных характеристик в малые значения резонансной частоты и, тем самым, уменьшить амплитуду вынужденных колебаний двигателя.

логические параметры, было проведено моделирование с помощью МКЭ.

Полученные результаты сравнивались с экспериментальными данными [2] частотной диаграммы валопровода дизеля типа Д100 (рис.2), геометрия которого подобна рассматриваемому в работе дизелю. По экспериментальным данным собственные частоты вала соответствуют 3200 кол/мин. При такой частоте в рабочем диапазоне частот вращения вала 400-850 об/мин в резонанс попадают гармоники моментов 4,5,6 и 7. В идеальном случае гармоника 6-го порядка (кривые А и Б) не должна иметь пересечений с кривыми собственных частот. В частности, рассчитанная для корпуса ДВС гармоника 6-го порядка (собственная частота 278 Гц, что соответствует $278 \cdot 60 / 2\pi = 2656$ кол/мин) пересекает одну из кривых собственных частот. Это может привести к разрушению узлов ДВС. Для предотвращения этого необходимо предпринять гашение таких колебаний с помощью силиконовых демпферов и иных механизмов поглощения колебаний, например, силами вязкого трения.

Следует заметить, что существенный выигрыш во времени дает также использование модального метода решения, который применим к линейным динамическим системам. Проведенные исследования с использованием рассмотренной конечно-элементной модели показали высокую эффективность предлагаемой методики моделирования колебаний корпуса ДВС.

Проведенные исследования с использованием рассмотренной конечно-элементной модели показали высокую эффективность предлагаемой методики моделирования нелинейных колебаний транспортного средства. Возможность получения результатов с длительными временными реализациями открывает, новые пути к расчетному исследованию колебаний и нагруженности деталей и узлов транспортного средства в условиях, близких к реальным, а в дальнейшем, и к оценке долговечности при случайном нагружении.

Литература: 1. Zunmin Geng, Jin Chen and J. Barry Hull Analysis of engine vibration and design of an applicable diagnosing approach. International Journal of Mechanical Sciences, Volume 45, Issue 8, August 2003, Pages 1391-1410. 2. Володин А.И. Локомотивные двигатели внутреннего сгорания - М., Транспорт, 1990, 256 с.

УДК 539.3

МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ СОСТАВНЫХ МАТРИЦ ПРЕСС-ФОРМ

Бирюков О.В., канд. техн. наук, **Лавинский Д.В.**, канд. техн. наук,
Соболь В.Н. (г. Харьков, Украина)

The solution methods for strength analysis of two-layer matrixes are presented. The solution methods are based on R-function method for Reissner's functional and finite element method (FEM) for Lagrange's functional. The solution methods and numerical data comparisons of designing moulds are given.

Актуальность проблемы. Проблемы конструкционной прочности техники занимают важное место при проектировании, создании, доводке и эксплуатации современных машин, приборов и аппаратуры. Об актуальности темы статьи свидетельствует заинтересованность многих отечественных и зарубежных

научных школ в области динамики и прочности машин в поиске эффективных расчетных методов оценки конструкционной прочности осесимметричных элементов конструкций. Поэтому данная работа посвящена разработке методов расчета на прочность составных матриц пресс-форм устройства для прессования порошковых материалов. Для этой цели сформулирована вариационная постановка задач упругости осесимметричных тел на базе вариационно-структурного метода и метода конечных элементов, созданы численный и численно-аналитический метод, программное обеспечение для расчетов на прочность двухслойных матриц, моделирующихся осесимметричными телами вращения под действием внутреннего давления. Определены оценки конструкционной прочности двухслойных матриц пресс-форм устройства для прессования тугоплавких соединений.

Постановка задачи и метод расчета на основе функционала Лагранжа. В работе рассмотрена математическая постановка задачи для упругого деформирования под внутренним давлением двухслойных контактирующих цилиндров, напряженное состояние которых при отсутствии объемных сил определяется системой дифференциальных уравнений равновесия [1]:

$$\sigma_{ij,j} = 0, \quad \sigma_{ij}n_j = p_{in}, \quad \forall x \in L_p, \quad (1)$$

где L_p - поверхность, на которой действует давление в пресс-форме.

В общем случае, для точек, принадлежащих контактной поверхности, условия их сопряжения отвечают неравенствам [2]:

$$u_n^{m-1} + u_n^{m+1} - \delta_{on}^m \leq 0, \quad \sigma_{nn}^m \leq 0, \quad (2)$$

где $u_n^{m-1}, u_n^{m+1}, \delta_{on}^m$ - нормальные перемещения точек поверхностей контактируемых областей и начальный натяг (зазор); σ_{nn}^m - нормальные напряжения на контактирующих поверхностях.

Первое условие в (2) физически отвечает «не проникновению» контактируемых тел. При выборе зазора, между телами возникает контактное давление. Второе условие в (2) отвечает сжатию между стенками в пределах области контакта.

Механизмы контактного взаимодействия между соответствующими точками областей контактируемых поверхностей моделировались путем введения контактного слоя со специальными свойствами, количественно отвечающими механизму контакта [2]. В пределах возможной области контакта этот слой позволяет "внешнюю нелинейность" неравенств (2) свести к "внутренней нелинейности" контактного слоя и рассмотреть взаимодействие тел, разделенных слоем с известными нелинейными свойствами. С помощью описанного выше моделирования можно отразить такие механизмы взаимодействия контактирующих тел, как сцепление, проскальзывание, сухое трение и другие. В расчетах условия фрикционного взаимодействия приняты в форме законов Кулона или Зибеля в зависимости от типа возможного контакта.

Обобщенные уравнения состояния, которые устанавливают связь между напряжениями и деформациями в точках деформирующих тел, представлены тензорно-линейными соотношениями вида:

$$\varepsilon_{ij} = A_{ijkl}\sigma_{kl} + \alpha_{ij}\Delta T, \quad (3)$$

где A_{ijkl} , α_{ij} - компоненты тензоров, отвечающие принятому закону свойств деформирования и температурного расширения-сжатия материала УУКМ.

В пределах линейной упругости материала, соотношение (3) отвечает обобщенному закону Гука. Для упруго-пластического деформирования при простом нагружении и при рассмотрении малых пластических деформаций, в соотношении (3)

$$A_{ijkl} = \frac{1}{E_*} \left[(1 + \nu_*) \delta_{ik} \delta_{jl} - \nu_* \delta_{ij} \delta_{kl} \right], \quad (4)$$

где E_* , ν_* – переменные параметры упругости, которые определяются связью между интенсивностями напряжений σ_i и деформаций, соответственно диаграмме деформирования материала.

В этом случае (3), (4) отвечают деформационной теории малых упруго-пластических деформаций Ильюшина в форме переменных параметров упругости.

В расчетах использован вариационный принцип Лагранжа и конечно-элементная (КЭ) схема матрицы. Базовым КЭ принят четырех узловой изопараметрический элемент с билинейной аппроксимацией перемещений. Методика решения задач о деформировании стенки матрицы принята отвечающей единой итерационной схеме. С этой целью в расчетах принято пошаговое приложение давления, с итерационной схемой поиска неизвестных узловых перемещений, аналогичной методике переменных параметров упругости для решения задач упруго-пластического деформирования. На каждом шаге линеаризованная система уравнений МКЭ имела вид:

$$[K_{N-1}]\{U_N\} = \{F\} - \left\{ F_{N-1}^{\delta \hat{a} \hat{i} \hat{j}} \right\}, \quad (5)$$

где N – номер итерации; $[K]$ – глобальная матрица жесткости КЭ модели; $\{U\}$ – вектор узловых перемещений КЭ модели; $\{F\}$ – вектор внешних сил, приведенных к узлам КЭ сетки; $\left\{ F^{\delta \hat{a} \hat{i} \hat{j}} \right\}$ – вектор температурных нагрузок, приведенных к узлам КЭ сетки.

Итерационный процесс по определению зон контакта и пластичности продолжается до тех пор, пока не достигается наперед заданная точность выполнения условий (2). Предложенный метод реализован в программном модуле для программного комплекса SPACE-T.

Постановка задачи и метод расчета на основе функционала Рейсснера. В расчетах вариационно-структурным методом теории R – функций смешанный функционал Рейсснера в цилиндрической системе координат для изотропного осесимметричного тела будет иметь вид

$$R_{u\sigma} = \iint_{\Omega} \left\{ \sigma_{rr} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \sigma_{\theta\theta} \frac{u_r}{r} + \sigma_{zz} \frac{\partial u_z}{\partial z} + \sigma_{rz} \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) - \frac{1}{2E} \sigma_{rr}^2 - \right. \\ \left. - \frac{1}{2E} \sigma_{\theta\theta}^2 - \frac{1}{2E} \sigma_{zz}^2 - \frac{1}{G} \sigma_{rz}^2 + \frac{\nu}{E} \sigma_{rr} \sigma_{\theta\theta} + \frac{\nu}{E} \sigma_{zz} \sigma_{\theta\theta} + \frac{\nu}{E} \sigma_{rr} \sigma_{zz} \right\} d\Omega$$

$$-\iint_{S_t} t^i u_i dS - \iint_{S_u} n_i \sigma^{ij} (u_i - u_j^*) dS. \quad (6)$$

Вариация функционала (6) запишется так

$$\begin{aligned} \delta R_{u\sigma} = & \iint_{\Omega} \left\{ \delta \sigma_{rr} \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{1}{E} \sigma_{rr} + \frac{\nu}{E} \sigma_{\theta\theta} + \frac{\nu}{E} \sigma_{zz} \right) + \right. \\ & \delta \sigma_{zz} \left(\frac{\partial u_z}{\partial z} - \frac{1}{E} \sigma_{zz} + \frac{\nu}{E} \sigma_{rr} + \frac{\nu}{E} \sigma_{\theta\theta} \right) + \\ & + \delta \sigma_{rz} \left(\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r} - \frac{1}{G} \sigma_{rz} \right) + \delta \sigma_{\theta\theta} \left(\frac{u_r}{r} - \frac{1}{E} \sigma_{\theta\theta} + \frac{\nu}{E} \sigma_{rr} + \frac{\nu}{E} \sigma_{zz} \right) - \\ & \left. - \delta u_r \left(\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}}{r} - \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + f_r \right) - \delta u_z \left(\frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{\sigma_{rz}}{r} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + f_z \right) \right\} d\Omega. \quad (7) \end{aligned}$$

На базе вариационно-структурного метода теории R – функций рассмотрены структуры решения, которые позволили для широкого класса двумерных краевых задач в общем случае записать решения краевых задач ползучести в аналитических представлениях в матрично-векторной форме вида:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= \sigma_{rr}^*(r, z) + B_{(1)}^T \psi_{(1)}, \quad \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta}^*(r, z) + B_{(2)}^T \psi_{(2)}, \quad \sigma_{zz} = \sigma_{zz}^*(r, z) + B_{(3)}^T \psi_{(3)}, \\ \sigma_{rz} &= \sigma_{rz}^*(r, z) + B_{(4)}^T \psi_{(4)}, \quad u_r = u_r^*(r, z) + A_{(1)}^T \varphi_{(1)}, \quad u_z = u_z^*(r, z) + A_{(2)}^T \varphi_{(2)}, \quad (8) \end{aligned}$$

где T - символ транспонирования,

$$\begin{aligned} B_{(1)} &= \left\{ B_i^{(1)} \right\}_{i=1, n}, \quad B_{(2)} = \left\{ B_i^{(2)} \right\}_{i=1, n}, \quad B_{(3)} = \left\{ B_i^{(3)} \right\}_{i=1, n}, \quad B_{(4)} = \left\{ B_i^{(4)} \right\}_{i=1, n}, \\ A_{(1)} &= \left\{ A_i^{(1)} \right\}_{i=1, n}, \quad A_{(2)} = \left\{ A_i^{(2)} \right\}_{i=1, n} \end{aligned}$$

– векторы, составленные из неопределенных компонент,

$$\begin{aligned} \psi_{(1)} &= \left\{ \psi_{(1)i}(r, z) \right\}_{i=1, n}, \quad \psi_{(2)} = \left\{ \psi_{(2)i}(r, z) \right\}_{i=1, n}, \quad \psi_{(3)} = \left\{ \psi_{(3)i}(r, z) \right\}_{i=1, n}, \\ \psi_{(4)} &= \left\{ \psi_{(4)i}(r, z) \right\}_{i=1, n}, \quad \varphi_{(1)} = \left\{ \varphi_{(1)i}(r, z) \right\}_{i=1, n}, \quad \varphi_{(2)} = \left\{ \varphi_{(2)i}(r, z) \right\}_{i=1, n} \end{aligned}$$

– векторы, составленные из координатных функций.

Для цилиндра со свободными торцами структуры решения приняты в виде:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr}(r, z) &= -p_1 w_2 w_c - p_2 w_1 w_b + w_1 w_2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A_{ij}^{(1)} R_i(r) Z_j(z), \\ \sigma_{\theta\theta}(r, z) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A_{ij}^{(2)} R_i(r) Z_j(z), \\ \sigma_{zz}(r, z) &= \omega \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A_{ij}^{(3)} R_i(r) Z_j(z), \quad \sigma_{zr}(r, z) = \omega w_1 w_2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A_{ij}^{(4)} R_i(r) \bar{Z}_j(z), \quad (9) \end{aligned}$$

$$U_r(r,z) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A_{ij}^{(5)} R_i(r) Z_j(z), \quad U_z(r,z) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A_{ij}^{(6)} R_i(r) \bar{Z}_j(z)$$

где

$$w_1 = \frac{R_1 - r}{R_1 - R_2}, \quad w_2 = \frac{r - R_2}{R_2 - R_1}, \quad \omega = \frac{z^2 - h^2}{h^2}, \quad w_c = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{|c^2 - z^2|}{c^2 - z^2} \right),$$

$$w_b = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{|b^2 - z^2|}{b^2 - z^2} \right);$$

– R – функции, за счет которых точно удовлетворяются граничные условия,

$$R_i(r) = \left(\frac{2r - R_1 - R_2}{R_2 - R_1} \right)^{i-1}, \quad Z_j(z) = \left(\frac{z}{h} \right)^{2(j-1)}, \quad \bar{Z}_j(z) = \left(\frac{z}{h} \right)^{2j-1}, \quad i, j = \overline{1, N}; \quad (10)$$

– степенные функции в аппроксимации свободных компонент структур.

Структуры вида (9) подставляются в условие стационарности смешанного вариационного функционала (6). В результате получим систему линейных алгебраических уравнений

$$\begin{bmatrix} [R_{11}] & [R_{12}] \\ [R_{21}] & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_\sigma \\ q_u \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} p_\sigma \\ p_u \end{Bmatrix}. \quad (11)$$

Система линейных алгебраических уравнений (11) разрешается относительно неизвестных свободных компонент структур (9) методом Гаусса.

Результаты расчетов. В расчетных исследованиях рассмотрены двухслойные цилиндрические матрицы проектируемых пресс-форм [5], расчетная схема которой представлена на рис. 1 в виде толстостенного двухслойного цилиндра

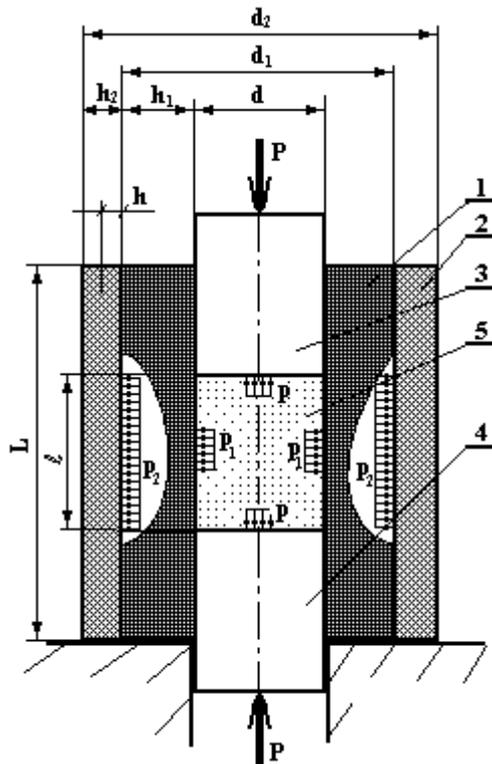


Рис. 1. Расчетная схема двухслойной матрицы пресс-формы.

под внутренним давлением p_1 . Геометрические параметры матрицы приняты следующими: $d_1 = 340 \text{ мм}$, $d_2 = 470 \text{ мм}$, $L = 380 \text{ мм}$.

Данные о физико-механических свойствах материалов элементов пресс-формы приведены в литературе [5]. Сначала исследования выполнены на основе численного метода (МКЭ) для функционала Лагранжа. Данные расчетов напряженно-деформированного состояния матрицы для такого случая приведены на рис. 2 при $l/L = 0,395$.

Далее представлены данные расчетов напряженно-деформированного состояния двухслойной матрицы пресс-формы на основе численно-аналитического метода (RFM). При этом в свободных компонентах структур решений принято $N = 7$, $k_z = 80$, $k_r = 16$ – число узлов Гаусса вдоль осевой и радиальной координаты при интегрирова-

нии коэффициентов и правой части СЛАУ, что обеспечивало погрешность вычислений менее 5% по апостериорному критерию [6]. Для геометрических параметров двухслойной матрицы, обеспечивающих предельный уровень прочности при максимальном отношении интенсивности напряжений к внутреннему давлению, на рис. 3 и рис. 4 представлены распределения $\sigma_{\theta\theta}/p_1$ и σ_i/p_1 в осевом сечении матрицы, соответственно при: $l/L=0.395$; а) $d_2 = 400i \dot{i}$; б) $d_2 = 370i \dot{i}$.

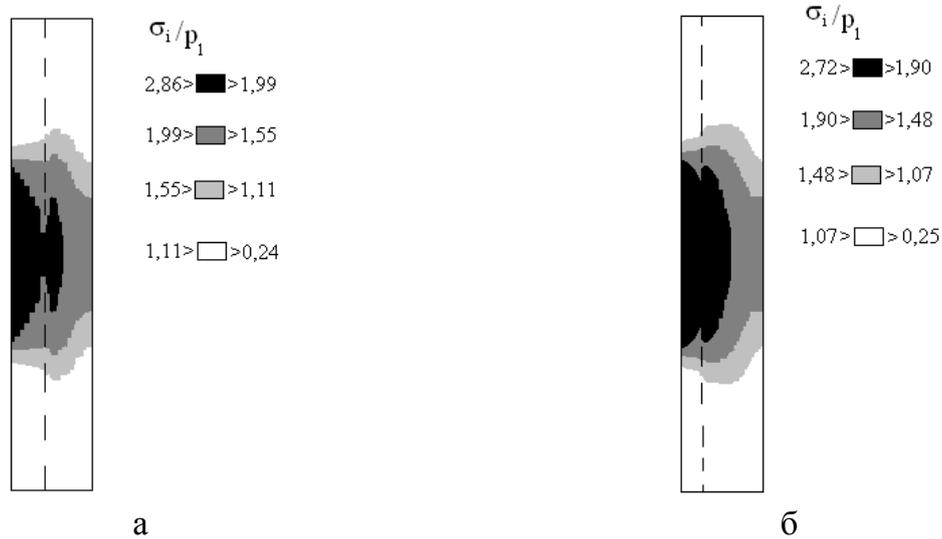


Рис. 2. Распределение интенсивности напряжений.

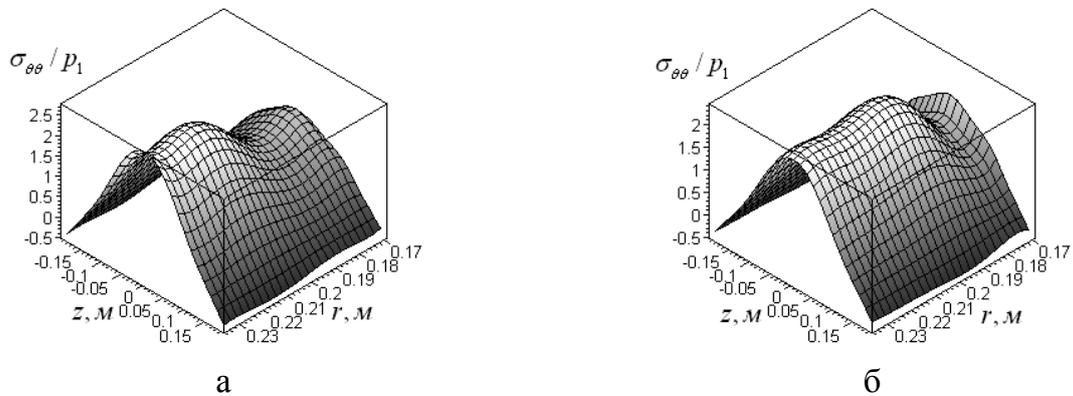


Рис. 3. Распределения $\sigma_{\theta\theta}/p_1$ в матрице

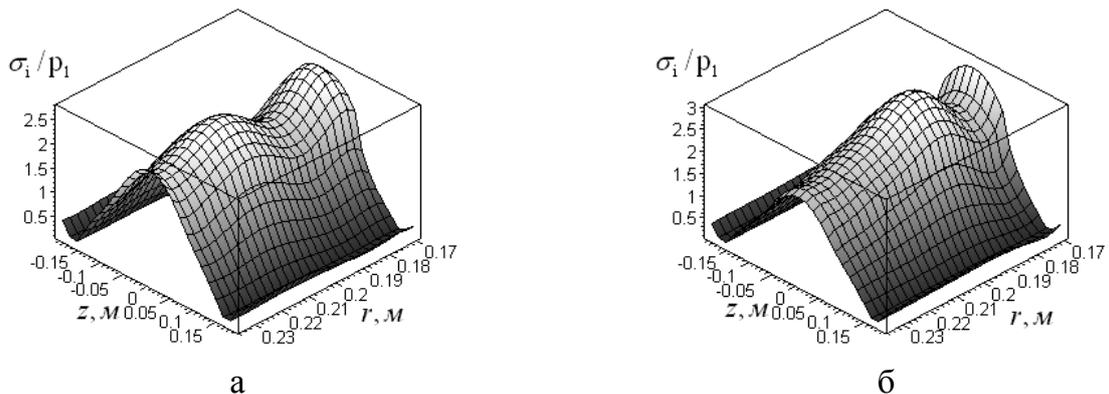


Рис. 4. Распределения σ_i/p_1 в матрице.

Результат сопоставления численных данных представленных на рис. 2-4 показал, что при вычислении методом конечных элементов и вариационно-структурным методом различия значений интенсивностей напряжений не превышают 20%. Применение вариационно-структурного метода позволяет получить решение в аналитическом виде для компонент напряженно-деформированного состояния матрицы, которое может быть использовано для сопоставления с численными методами расчета на прочность составных матриц пресс-форм.

Выводы. Анализ проведенных численных исследований позволяет сделать вывод об эффективности предложенных методов расчета на прочность составных матриц пресс-форм устройства для прессования изделий из порошков тугоплавких соединений с повышенным давлением от 40 до 80 МПа при температурах $\sim 1800^{\circ}\text{C}$. Следует отметить, что достоверность полученных результатов расчета подтверждается сопоставлением численных данных на основе метода конечных элементов и вариационно-структурного метода. Установлено, что различие расчетных данных при сопоставлении методов не превышает 20%.

Литература: 1. Свойства конструкционных материалов на основе углерода. Справочник под ред. В.П. Седова. М. «Металлургия», 1975, 336 с. 2. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: «Наукова думка», 1988, 735 с. 3. Николаев А.Н. Расчет и конструирование матриц для прессования металлических порошков // Труды горьковского политехнического института, металловедения и порошковой металлургии. Т. XIX, вып. 1.– Горький, 1963, с. 11-15. 4. Миранский Д.С. Принцип конструирования аппаратов сверхвысокого давления. Принцип редуцирования радиального напряжения // Прикладная механика и механическая физика.- Москва, № 2, 1960, с. 165 – 168. 5. Бирюков О.В., Саенко С.Ю., Колосенко В.В., Лавинский Д.В., Морачковский О.К., Соболев В.М. Статический анализ прочности конструктивных элементов пресс-форм для прессования изделий из порошков // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – № 32. – С. 28-32. 6. Ромашов Ю.В. Интегральные оценки приближенных решений задач упругого деформирования тел с начальными деформациями // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства / Тематичний випуск “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”, вип. 18.- Харків, 2003.- С. 164-168.

УДК 62.762

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ МОДИФИЦИРОВАННОГО РОТАТАБЕЛЬНОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ПЛАНА

Гапонов В.С., докт.техн.наук, **Музыкин Ю.Д.,** канд.техн.наук,
Столбовой А.С., канд.техн.наук (г. Харьков, Украина)

Are submitted the scheme and computational relations of planniingof experiment, and also example of impiementation for a particular case.

При экспериментальном описании работы сложных механических систем часто стремятся учесть максимальное число независимых эксплуатационных параметров, которые влияют на выходные характеристики машины.

Однако такая постановка задачи приводит к ее необоснованному усложнению и, в ряде случаев, может понизить точность конечного результата. Поэтому, после оценки весомости каждого из независимых параметров, стремятся

к их минимизации без потери физической природы изучаемого явления. В подавляющем большинстве случаев оптимальным числом независимых переменных, определяющих природу изучаемого явления, являются три переменные.

Таким образом, планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. При проведении данной процедуры необходимо:

- стремиться к минимизации общего числа опытов;
- одновременно варьировать всеми переменными, определяющими процесс, используя специальный алгоритм;
- использовать математический аппарат, формализующий действия экспериментатора на стадии проведения и обработки результатов;
- принимать обоснованные решения после каждой серии испытаний, так как изучаемый процесс обычно известен частично.

Для описания объекта исследования удобно пользоваться представлением о кибернетической системе, которая называется “черным ящиком”, внутренние связи в котором исследователю недоступны.

Функция отклика такой системы представляет математическую модель, связывающую выходные параметры машины Y с независимыми параметрами эксплуатации X и может быть представлена в общем виде

$$Y = f(X_1, X_2, X_3).$$

В случае, если исследуемая модель существенно нелинейна, функция отклика может быть представлена в виде полинома второй степени

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2.$$

Используя данную зависимость, можно определить значение функции отклика во всем интервале варьирования независимых переменных.

Правильно составленный план испытаний должен обладать свойством композиционности, что позволяет разделить эксперимент на несколько этапов и постепенно переходить от простых моделей к сложным, используя результаты предыдущих наблюдений. Перед началом испытаний необходимо:

- оценить границы областей определения независимых факторов и различные ограничения, накладываемые на диапазон их изменения;
- проанализировать всю априорную информацию о работе исследуемого объекта и выбрать основной уровень каждого фактора, который является многомерной точкой в факторном пространстве.

Построение плана эксперимента сводится к выбору экспериментальных точек, симметричных относительно основного (нулевого) уровня, то есть к выбору интервалов варьирования.

На выбор интервалов варьирования накладываются естественные ограничения сверху и снизу:

- интервал варьирования не может быть меньше той ошибки, с которой фиксируется уровень фактора;

– интервал не может быть настолько большим, чтобы верхний и нижний уровень оказались за пределами области определения.

При проведении эксперимента должны реализоваться все возможные сочетания уровней.

Условия проведения эксперимента представляются в виде матрицы планирования, где строки соответствуют различным опытам, а столбцы – значения факторов.

Для рассматриваемого случая наибольшее распространение получил ротатабельный центральный композиционный план (РЦКП), основу которого составляет «ядро», представляющее полный факторный эксперимент (ПФЭ), к которому добавляются несколько специально организованных «звездных» точек. Поэтому план и называется композиционным или последовательно строящимся. Кроме того, план является центральным, так как центр плана является симметричным для всех точек.

Координаты точек в кодированном виде:

$$\begin{aligned} &1(-1-1-1); 2(+1-1-1); 3(-1+1-1); 4(+1+1-1); 5(-1-1+1); \\ &6(+1-1+1); 7(-1+1+1); 8(+1+1+1); 9(-\alpha 00); 10(\alpha 00); \\ &11(0-\alpha 0); 12(0+\alpha 0); 13(00-\alpha); 14(00+\alpha); 15\dots 20(000). \end{aligned}$$

Использование РЦКП позволяет при помощи полученной модели описывать поверхность отклика с одинаковой точностью по всем направлениям. При этом остаточные дисперсии на одинаковых расстояниях от центра плана являются равными и наименьшими из возможных.

Полученная функция отклика в виде полинома второй степени позволяет исследовать трехпараметрическую зависимость, которая соответствует экспериментально полученным значениям в контролируемых точках плана. Однако для построения однопараметрических зависимостей типа $Y = f(X_1)$ при $X_2 = const$ и $X_3 = const$ варьирование переменной согласно РЦКП осуществляется на трех уровнях, что явно недостаточно для построения экспериментальной кривой искомой функции. Поэтому, сохраняя принцип композиционности, к матрице РЦКП добавляется еще 6 точек, которые лежат на пересечении осей переменных параметров с плоскостями куба, описывающими полный факторный эксперимент ПФЭ. Такой план называется модифицированным ротатабельным центральным композиционным планом (МРЦКП). Обладая всеми достоинствами предыдущего плана, за счет незначительного увеличения экспериментальных точек, МРЦКП существенно увеличивает информативность полученных результатов и за счет этого позволяет расширить перечень решаемых задач.

На рис. (1) представлена матрица МРЦКП при числе переменных факторов равном трем, которая последовательно включает в себя ПФЭ, РЦКП и до-

полняет их характерными точками, соответствующими линейной модели исследуемого процесса.

Координаты дополнительных точек в кодированном виде:

21(-1 0 0); 22(+1 0 0); 23(0 -1 0); 24(0 +1 0); 25(0 0 -1); 26(0 0 +1).

По найденным пяти точкам вдоль каждого параметра строят графические однопараметрические зависимости при двух других фиксированных параметрах, соответствующих точке центра плана. Построенная однопараметрическая зависимость позволяет установить закон изменения искомого параметра в области его монотонного изменения.

Построив теоретический график изменения искомого параметра и нанеся на него экспериментальные точки, можно определить их корреляцию и дополнительно

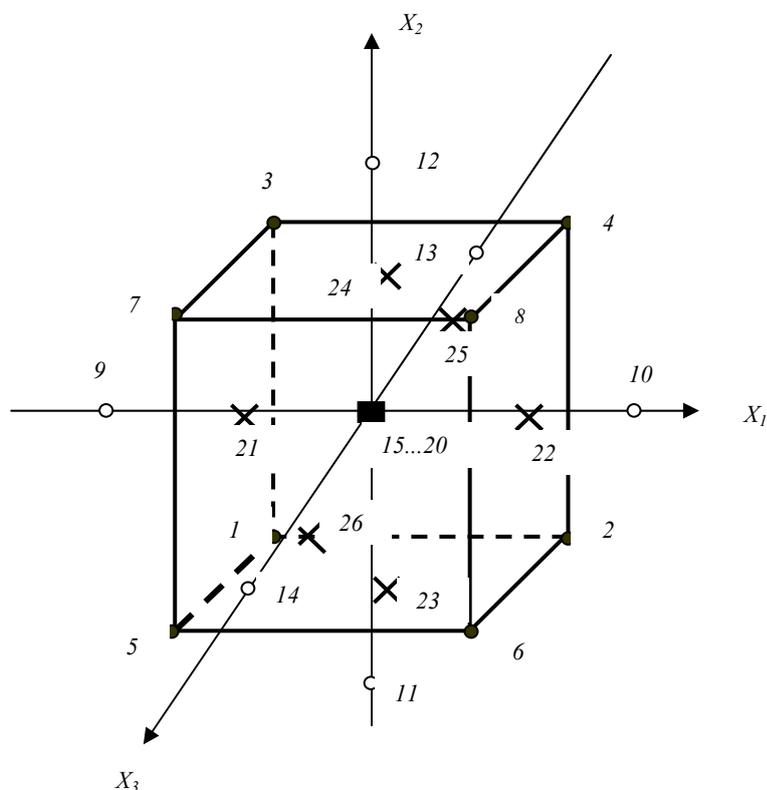


Рис. 1. Трехфакторный модифицированный ротатбельный центральный композиционный план ● - ядро плана; ○ - звездные точки; □ - центр плана; × - дополнительные точки.

установить адекватность полученной модели, представленной в виде полинома второго порядка, действительному закону исследуемого процесса.

Для определения коэффициентов «*b*» уравнения регрессии используются результаты эксперимента, которые соответствуют точкам (1, 2, 3, ... 20). Произведя оценку значимости полученных коэффициентов регрессии и перейдя от нормализованной формы записи к натуральной модели, получим функцию изменения искомого параметра в зависимости от трех независимых переменных, которая базируется на экспериментальных резуль-

татах.

По последним шести точкам плана эксперимента (21, 22, 23, 24, 25, 26) строятся однопараметрические зависимости изменения контролируемого параметра при варьировании одного из переменных параметров и фиксированных значениях двух других, которые соответствуют центру плана.

Таким образом, представленная модель МРЦКП существенно расширяет возможности экспериментальных исследований при несущественном увеличении объема испытаний, сохраняя все достоинства стандартного плана РЦКП.

УДК 621.833.1

О ВЛИЯНИИ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ РЕДУКТОРОВ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Гапонов В.С., докт. техн. наук, Столбовой А.С., канд. техн. наук,
Музыкин Ю.Д., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

The problem of an estimation of influencing of operation conditions and modes of loading on durability of reduction gearboxes of the rolling equipment is reviewed

Долговечность работы зубчатых передач прокатного оборудования определяется комплексом технологических и эксплуатационных факторов, связанных между собой и изменяющихся в процессе эксплуатации.

Уникальность конструкций силовых редукторов клетей прокатных станов определяется чрезвычайно большими нагрузками, изменяющимися в процессе эксплуатации, и габаритами зубчатых колес, превышающими в ряде случаев 4,5 м. Редукторы с цилиндрическими зубчатыми колесами обычно выполняются в виде двух полушевронов, разнесенных на достаточно большие расстояния. В качестве плавающих опор ведущей вал-шестерни, которые позволяют выравнять распределение нагрузки между полушевронами, используются радиальные двухрядные сферические роликоподшипники, устанавливаемые с зазором при посадке в корпусе.

Большие нагрузки, передаваемые редукторами, потребовали выполнения ведущих валов с нарезанными зубьями из малоуглеродистых легированных сталей с цементацией поверхностей зубьев и закалкой до твердости 55...60 HRC. Бандажи крупногабаритных колес обычно изготавливают из легированных сталей с твердостью рабочих поверхностей порядка 220...260 HB.

Опыт эксплуатации описанных редукторов показал, что минимальную надежность имеют зубья полушеврона ведущей вал-шестерни, который расположен со стороны подвода мощности. Основными причинами регулярных перегрузок упомянутого полушеврона являются: затрудненность самоустановки вал-шестерни из-за большой массы и инерционности, упругая закрутка вала и упругие деформации зубьев, изменяющиеся при колебаниях передаваемого крутящего момента. Сокращению ресурса работы зубчатой передачи способствует также возрастающая по времени работы концентрация нагрузки на одной из сторон зубьев вследствие перекоса вала при износе посадочных поверхностей в местах установки подшипников. Отрицательное влияние перекоса вала при износе посадочных поверхностей компенсируется регулярным контролем этих поверхностей и восстановлением геометрии по требованиям проектной документации. Интенсивность проявления других причин регулярных перегрузок одного из полушевронов напрямую связана с изменениями внешнего передаваемого крутящего момента. Упомянутые перегрузки должны учитываться при определении расчетного крутящего момента. В этом случае ресурс работы всего редуктора определяется усталостной прочностью зубьев на изгиб и по контактными напряжениями. Кривые усталостной прочности для легированных

сталей, из которых обычно изготавливают зубчатые колеса прокатного оборудования, не имеют асимптот. Методика определения относительной долговечности зубчатых передач обычно базируется на эмпирическом условии суммирования повреждений [1]

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = a - const,$$

где n_i - общее число циклов действия некоторого напряжения σ_i , N_i - число циклов до разрушения при том же напряжении, a - экспериментально установленный параметр, обычно близкий к единице.

Исходя из уравнения кривой усталости действие всего комплекса напряжений σ_i в течение срока службы t_i и соответствующей частоты вращения n_i заменяем напряжением σ_1 от расчетного крутящего момента T_1 , действующего в течение эквивалентного числа циклов нагружений N_E [2],

$$N_E = 60 \cdot \mu \sum n_i t_i = 60 \cdot \sum \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_1} \right)^m n_i t_i.$$

Показатель кривой усталостной прочности при расчетах по контактными напряжениям обычно принимают $m_H = 6$. При расчетах на изгиб для шестерни с цементацией рабочих поверхностей и закалкой принято $m_F = 9$, а для колеса с твердостью меньшей 350 HB - $m_F = 6$.

Коэффициенты μ , характеризующие интенсивность нагружения, целесообразно определять по гистограммам экспериментальных исследований режимов нагружений реальных редукторов по формулам:

$$\mu_H = \sum \left(\frac{T_i}{T_1} \right)^{0,5m_H} \cdot \frac{N_i}{N_\varepsilon},$$

$$\mu_F = \sum \left(\frac{T_i}{T_1} \right)^{m_F} \cdot \frac{N_i}{N_\varepsilon},$$

где N_i - число циклов нагружений моментом T_i , N_ε - суммарное число циклов нагружений.

Гистограммы нагружений, полученные при достаточно длительном режиме эксплуатации редуктора прокатного стана ОАО «Запорожсталь» [3], показали, что коэффициенты интенсивности нагружений по контактными напряжениям и изгибу для шестерни и колеса составляют:

$$\mu_H = 0,353; \quad \mu_{F_1} = 0,079; \quad \mu_{F_2} = 0,154.$$

Сравнение полученных результатов с типовыми режимами нагружений по ГОСТ 21354-87 [2] показывает, что в рассматриваемом варианте горячей прокатки работа происходит по среднему равновероятному режиму, который характеризуется параметрами:

$$\mu_H = 0,25; \quad \mu_{F_1} = 0,1; \quad \mu_{F_2} = 0,143.$$

При тяжелом режиме нагружения по [2] эти коэффициенты будут составлять:

$$\mu_H = 0,5; \quad \mu_{F_1} = 0,2; \quad \mu_{F_2} = 0,3.$$

Приведенные выше зависимости, описывающие характер изменения кривой усталости и эквивалентного числа циклов нагружений позволяют определять относительное изменение ресурса работы \bar{t}_H и \bar{t}_F от относительного изменения нагрузки и режима нагружений

$$\bar{t}_H = \frac{t_H^*}{t_H} = \frac{\mu_{Hn}}{\mu_{H^*n^*}} \left(\frac{T_1}{T_1^*} \right)^{0,5m_H}, \quad \bar{t}_F = \frac{t_F^*}{t_F} = \frac{\mu_{Fn}}{\mu_{F^*n^*}} \left(\frac{T_1}{T_1^*} \right)^{0,5m_F}.$$

В приведенных формулах знаком * отмечены измененные значения расчетных крутящих моментов T_1^* , частот вращения n^* , коэффициентов интенсивности нагружений μ_H^* и μ_F^* и ресурсов работы t_H^* и t_F^* . В таблице 1 представлены значения относительного изменения ресурсов работы \bar{t}_H , \bar{t}_{F_1} и \bar{t}_{F_2} от относительного изменения крутящего момента (нагрузки) $\bar{T} = T_1^* / T_1$ при постоянных частотах вращения и среднем равновероятном режиме нагружения.

Таблица 1

Относительное изменение ресурса работы

$\bar{T} = \frac{T_1^*}{T_1}$	$\bar{t}_H = \frac{t_H^*}{t_H}$	$\bar{t}_{F_1} = \frac{t_{F_1}^*}{t_{F_1}}$	$\bar{t}_{F_2} = \frac{t_{F_2}^*}{t_{F_2}}$
0,7	2,92	24,8	8,50
0,8	1,95	7,45	3,81
0,9	1,37	2,58	1,88
1,0	1,00	1,00	1,00
1,1	0,75	0,42	0,56
1,2	0,58	0,19	0,33
1,3	0,46	0,09	0,21
1,4	0,36	0,05	0,13
1,5	0,30	0,03	0,09

Если эксплуатация редуктора во всем диапазоне крутящих моментов будет протекать в тяжелом режиме нагружений, то относительное время работы уменьшится в пропорции $\mu_{тяж} / \mu_{ср}$, которая приблизительно равна 2.

Приведенные соотношения позволяют оценить снижение ресурса работы при увеличении коэффициента концентрации нагрузки по длине зуба, связанном с износом посадочных поверхностей подшипников. Коэффициент концентрации нагрузки приводит к пропорциональному изменению крутящего момента и резкому изменению ресурса работы на изгиб ведущей шестерни, что подтверждает необходимость выполнения требований по своевременному контролю и ликвидации изменений, наступающих в процессе работы.

Литература: 1. Решетов Д.Н. Детали машин. –М.: Машиностроение, 1989. – 496 с. 2. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. Введ. 27.10.87. –М.: Изд-во стандартов, 1988. – 127 с. 3. Гапонов В.С., Музыкин Ю.Д., Столбовой А.С., Татьков В.В., Вышнинецкий С.М., Телюк Д.В. Исследование режимов нагружения силового редуктора чистой клетки непрерывного тонколистового стана горячей прокатки «1680». Тр. 12-й Международн. научн.-техн. конф. «Физические и компьютерные технологии». Х.: ФЭД, 2006. – с. 178-181.

УДК 62.762

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ «ДВИГАТЕЛЬ ВИНТОВОЙ КОМПРЕССОР» ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ НД-24/Т20

Мац В. И., канд. техн. наук, **Наумов А. И.** (г. Харьков, Украина)

Researches of dynamics of station with two compressors both preliminary and final pressure working from one engine.

В подвижных станциях НД-24/Т20, вследствие оригинальной схемы, возникает проблема максимального снижения крутильных колебаний с одновременным снижением уровня шума. Исследования динамики станции с двумя компрессорами и предварительного и окончательного давления, работающей от одного двигателя представляет определенные трудности в силу ограниченных возможностей по заданию исходных данных.

Крутильную систему станции НД-24/Т20 можно представить в виде рис. 1.

Здесь I_1 – приведенный момент инерции двигателя; I_2 – приведенные моменты инерции компрессоров низкого и высокого давлений; C – жесткость упругих муфт между двигателями и компрессорами; M_ϕ – муфты сцепления между двигателем и компрессорами.

При определении расчетных схем системы маховыми массами фрикционных муфт сцепления можно пренебречь, поэтому крутильная система может быть представлена в виде двух изолированных двухмассовых систем, изображенных на рис. 2.

Уравнение движения системы Лагранжа:

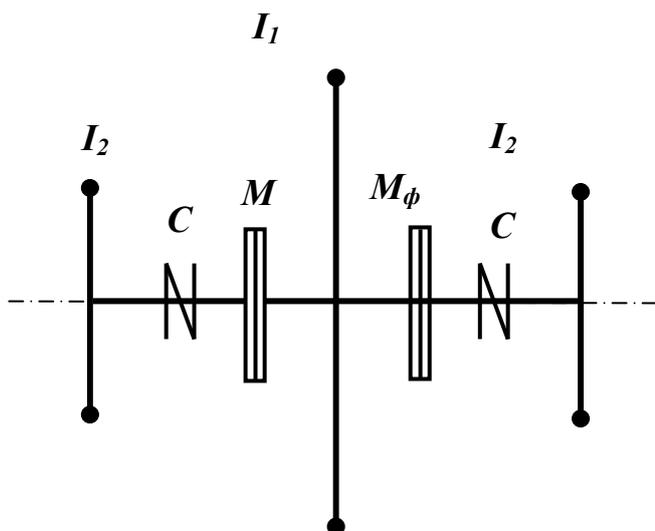


Рис. 1. Схема крутильной системы станции НД-24/Т20.

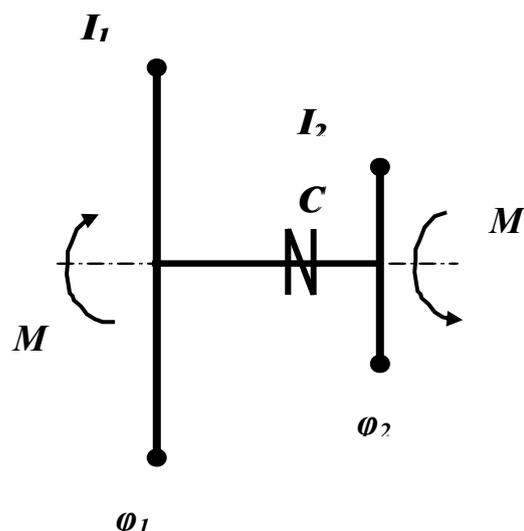


Рис. 2. Схема изолированных систем станции.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dN}{d\dot{\varphi}_i} \right) - \frac{dT}{d\varphi_i} + \frac{dU}{d\varphi_i} = M_i,$$

где M_i – обобщенные силы, соответствующие перемещениям φ_1 и φ_2 .

Для данной системы имеем:

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\varphi}_1 + C(\varphi_1 - \varphi_2) &= M_1 \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + C(\varphi_2 - \varphi_1) &= M_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Для схемы «двигатель – винтовой компрессор» можно принять: $M_2 = \text{const}$, а M_1 в виде периодической функции.

Сложив уравнение (1), можно видеть, что:

$$I_1 \ddot{\varphi}_1 + I_2 \ddot{\varphi}_2 = M_1 + M_2, \quad (2)$$

И если среднее значение суммы $M_1 + M_2$ за полный период M_2 будет отлично от нуля, то система будет двигаться равноускоренно. Поэтому,

$$M_1 = -M_2 + M_n, \quad (3)$$

где M_n – периодическая функция от t , среднее значение которой равно нулю.

Всякую такую функцию можно разложить в ряд вида:

$$M_n = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos(i\omega t + \varepsilon_i), \quad (4)$$

где a_i и ε_i - const, a :

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau}, \quad (5)$$

где τ – период возмущающей силы.

Величина ω определяется средней частотой вращения двигателя.

С учетом (3) уравнения (1) и (2) можно переписать в виде:

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{\varphi}_1 + C(\varphi_1 - \varphi_2) &= -M_2 + M_n \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + C(\varphi_2 - \varphi_1) &= M_2 \end{aligned} \quad (6)$$

$$I_1 \ddot{\varphi}_1 + I_2 \ddot{\varphi}_2 = M_n \quad (7)$$

В случае, когда упругая связь обеих половин муфты сделана бесконечно жесткой, практически:

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi.$$

В этом случае равенство (7) обращается в $i\omega\tau$.

$$(I_1 + I_2)\ddot{\varphi} + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos(i\omega\tau + \varepsilon_i),$$

Откуда следует, если отбросить свободные колебания системы, которые всегда затухают:

$$\varphi = -\frac{1}{I_1 + I_2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_i}{i^2 \omega^2} \cos(i\omega\tau + \varepsilon_i). \quad (8)$$

Полученным выражением определяются те колебания части муфты, движущейся вместе с винтовым компрессором, которые были бы, если муфта была абсолютно недеформируемой.

Рассматривается случай, когда C – конечно.

Сложив уравнения (6), по – прежнему имеем:

$$I_1 \ddot{\varphi}_1 + I_2 \ddot{\varphi}_2 = M_n = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos(i\omega\tau + \varepsilon_i),$$

Откуда получим:

$$I_1 \varphi_1 + I_2 \varphi_2 = -\sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_i}{(i\omega)^2} \cos(i\omega\tau + \varepsilon_i). \quad (9)$$

Для получения второго уравнения, определяющего $\varphi_1 = \varphi_2$, поделим первое из уравнений (6) на I_1 , а второе на I_2 .

Тогда получим:

$$\ddot{\varphi}_1 + \frac{C}{I_1}(\varphi_1 - \varphi_2) = -\frac{M_2}{I_1} + \frac{1}{I_1} \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos(i\omega t + \varepsilon_i)$$

$$\ddot{\varphi}_2 + \frac{C}{I_2}(\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{M_2}{I_2}.$$

Вычитая эти уравнения, друг из друга, получим:

$$\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2 + C \frac{I_1 + I_2}{I_1 \cdot I_2} (\varphi_1 - \varphi_2) = -M_2 \frac{I_1 + I_2}{I_1 \cdot I_2} + \frac{1}{I_1} \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos(i\omega t + \varepsilon_i).$$

Частное решение этого уравнения, которое определяет вынужденные колебания, имеет вид:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{M_2}{C} + \frac{1}{I_1} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_i}{\lambda^2 - i^2 \omega^2} \cos(i\omega t + \varepsilon_i), \quad (10)$$

где:

$$\lambda^2 = \frac{C(I_1 + I_2)}{I_1 \cdot I_2}, \quad (11)$$

– частота собственных колебаний муфты.

Чтобы исключить φ_1 из равенств (9), (10) достаточно вычесть из первого уравнения второе, предварительно умножив (10) на I_1 , получим:

$$(I_1 + I_2)\varphi_2 = \frac{M_2 I_1}{C} - \sum_{i=1}^{\infty} a_i \left(\frac{1}{i^2 \omega^2} + \frac{1}{\lambda^2 - i^2 \omega^2} \right) \cos(i\omega t + \varepsilon_i),$$

Или

$$\varphi_2 = \frac{M_2}{I_1 \cdot \lambda^2} - \frac{1}{I_1 + I_2} - \sum_{i=1}^{\infty} a_i \frac{\lambda^2}{(\lambda^2 - i^2 \omega^2) i^2 \omega^2} \cos(i\omega t + \varepsilon_i). \quad (12)$$

Равенство (12) показывает, как колеблется при C конечном часть привода, связанная с винтовым компрессором.

При $\lambda \rightarrow \infty$, первый член в уравнении (12) пропадает, а все дроби:

$$\frac{\lambda^2}{\lambda^2 - i^2 w^2}.$$

Обращаются в единицу и равенство (12) превращается в равенство (8).

С уменьшением λ^2 постоянная составляющая в выражении (12) по модулю непрерывно возрастает. Происходит это вследствие того, что средний угол закручивания муфты $\varphi_1 - \varphi_2$ с уменьшением жесткости муфты растет. Из формулы (10) этот средний угол закручивания муфты равен:

$$(\varphi_1 - \varphi_2)_{cp} = -\frac{M_2}{C}. \quad (13)$$

Это среднее значение разности $\varphi_1 - \varphi_2$ показывает, на какой средний угол поворота полумуфт необходимо рассчитать муфту.

Из формулы (10) следует, что для уменьшения крутильных колебаний винтового компрессора, требуется, чтобы λ^2 было меньшим, чем наименьшее из чисел ($i^2 w^2$), что соответствует $i=1$.

Таким образом, чтобы упругая муфта разгружала винтовой компрессор от крутильных колебаний, угловая частота собственных колебаний муфты должна быть мала по сравнению со средней угловой скоростью машины w , которой определяется основной период возмущающихся усилий, вызывающих крутильные колебания рассматриваемой системы.

Если требуется, чтобы муфта достигала своей цели при всяких режимах работы, то следует добиться того, чтобы указанное выше требование было соблюдено при всяком числе оборотов машины, которое может у нее длительно поддерживаться, т.е. необходимо выполнение условия:

$$\lambda \ll w. \quad (14)$$

Рассмотрим, во сколько раз λ должно быть меньше наименьшего из возможных значений w для того, чтобы колебания уменьшались муфтой в k раз.

Для этого рассмотрим простейший случай, когда:

$$M_n = a \cdot \cos(wt) \quad (15)$$

Тогда формула (12) дает:

$$\varphi_2 = \frac{M_2}{I_2 \cdot \lambda^2} - \frac{a}{I_1 + I_2} \cdot \frac{1}{w^2} \cdot \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - w^2} \cos(wt). \quad (16)$$

Постоянная величина $\frac{M_2}{I_2 \lambda_2}$ не влияет на колебательный процесс, поэтому рассмотрим влияние λ^2 на амплитуду колебаний.

Для жесткой муфты, т.е. при $\lambda \rightarrow \infty$:

$$\varphi_2 - \varphi_0 = -\frac{a}{(I_1 + I_2)\omega^2} \cos(\omega t).$$

Сравнивая это выражения с выражением (16), имеем, что при λ конечной величине:

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_0} = \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - \omega^2}.$$

Если необходимо, чтобы муфта уменьшила амплитуду колебаний k – раз, следует добиться того, чтобы:

$$\frac{\lambda^2}{\lambda^2 - \omega^2} = \frac{1}{k}. \quad (17)$$

Или иначе:

$$\frac{\lambda^2}{\omega^2} = \frac{1}{k + 1}.$$

Таким образом, чтобы упругая муфта уменьшила амплитуду колебаний в k раз необходимо ее сделать настолько податливой, чтобы частота свободных колебаний муфты не превышала:

$$\lambda = \frac{\omega}{\sqrt{k + 1}}. \quad (18)$$

В общем случае, когда M_n определяется всеми членами ряда (4), колебания муфты будут определяться выражением (12). При этом жесткость муфты будет влиять на все члены ряда, но на каждый по-своему.

Но если подобрать λ^2 так, чтобы в первом члене ряда было выполнено условие (17), то амплитуда колебаний первой частоты будет уменьшена в k раз, а всех остальных более чем в k раз.

Таким образом, если подобрать частоту собственных колебаний муфты λ так, чтобы выполнялось условие (18), то все гармоники, из которых состоят крутильные колебания, будут уменьшены муфтой, по крайней мере, в k раз.

Кроме того, если выполняется условие (18), то резонанс в системе отсутствует.

Резонанс можно ожидать лишь при уменьшенных в $\sqrt{k + 1}$ раз оборотах двигателя, т.е. его можно ожидать только в процессе пуска или остановки.

Поэтому при этом критическое число оборотов должно быть пройдено как можно быстрее. При этом частота второй и высших гармоник должна ле-

жать достаточно далеко от частот возмущающих сил.

Литература: 1. Сегаль В.Ф. Динамические расчеты двигателей внутреннего сгорания. Л.: Машиностроение, 1974, 248с. 2. Полых К.Г. Динамика автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа, 1970, 328с.

УДК 539.3

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН

Симсон Э.А., докт.техн.наук, **Назаренко С.А.**, канд. техн. наук,
Трохман М.В., Марусенко С.И. (г. Харьков, Украина)

Sensitivity analysis methods of high both geometric and physical informational content are suggested for complicated FEA models, especially with design variables vector of high dimension, to minimize numbers of straight calculation procedure activation. Computational stages to obtain gradients of constructional functional are investigated. Application domain for developed mathematical apparatus of turbo-compressor elements is discussed.

В связи с резким подорожанием энергоносителей проблема существенного снижения расхода топлива являются первостепенной государственной проблемой. Компрессоры и турбины, конструктивно включающие в качестве основного элемента лопаточные колеса, являются одним из наиболее распространенных классов энергомашин. Несмотря на существенные различия в описании рабочего процесса, все лопаточные машины имеют сходную проблематику в проблеме обеспечения динамической, температурной и статической прочности[1-4].

Основными факторами комбинированного нагружения рабочего колеса турбины являются: центробежные силы вращения ротора, включая дополнительные инерционные нагрузки на переходных режимах; давление рабочего тела в межлопаточном канале; температурное нагружение. Наиболее сложным является расчет напряженного состояния от газовых сил. Формально расчет вынужденных колебаний

$$K(\vec{u})\vec{V} + \vec{R} \left[\vec{u}, \vec{V}, \dot{\vec{V}} \right] + M(\vec{u})\ddot{\vec{V}} = \vec{F}_c \cos \omega t + \vec{F}_s \sin \omega t$$

проводится в соответствии с подходом, использующим разложение в ряд по собственным формам, определяемым в рамках теории циклически симметричных конструкций, и итерационное формирование матрицы демпфирования. При этом необходимо иметь в виду, что по многим причинам практически отсутствует достоверная расчетная информация о характере аэродемпфирования и взаимосвязи колеблющихся лопаток ТКР через поток газа, а также амплитудно-фазово-частотном характере газовых нагрузок. Поэтому на данном этапе рассмотрение характеристик вынужденных колебаний в качестве критериев оптимальности практически ненадежно для использования

в реальном процессе проектирования, и в качестве основных динамических критериев принимаются отстройка от опасных резонансов в нижней части спектра, смещение остающихся резонансов в область старших гармоник газовых нагрузок.

Анализ чувствительности представляет информацию о направлении и скорости изменения функционалов качества конструкций при изменении варьируемых параметров [5,6]. Были разработаны две методики анализа чувствительности. В первой методике сопряженные переменные вводятся непосредственно для вариационной или дифференциальной формулировки исходной задачи анализа. После чего дискретизация исходной и сопряженной задач, а также варьируемых функций формы механического элемента или конструкции (введение понятия материальной производной) может выполняться как три формально несвязанных этапа. При использовании в качестве модели резонансных колебаний элемента конструкции краевая задача на собственное значение представлена уравнением $L_\lambda y=0$ с граничными условиями $\Gamma y|_a=0$, где L_λ - линейный дифференциальный оператор n -го порядка вида $M + \lambda N$; Γ - операторы граничных условий. После дискретизации геометрии системы и введения набора варьируемых параметров \vec{t} производится пересчет функциональных производных в материальные $\vec{\nabla}_t J = \int_{\Omega_i} \frac{\partial H^T}{\partial \vec{u}} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} dx$, где $\vec{u}(x)$ - варьируемая вектор - функция, t_i - варьируемый параметр, Ω_i - подобласть интегрирования в системе координат x , "относящаяся" к параметру t_i .

Так для кусочно - постоянной дискретизации:

$$u(x) = u_i, \quad x_{i-1} \leq x \leq x_i, \quad \frac{\partial J}{\partial u_i} = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{\partial J}{\partial u} dx;$$

для кусочно – линейной:

$$\frac{\partial J}{\partial u_i} = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{\partial J}{\partial u} \frac{x - x_i}{x_i - x_{i-1}} dx + \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{\partial J}{\partial u} \frac{x_{i+1} - x}{x_{i+1} - x_i} dx.$$

Второй подход предполагает следующую последовательность вычислительных этапов: КЭ дискретизация задачи анализа; введение вектора сопряженных переменных; введение пространства варьируемых переменных; вычисление градиентов от функционалов качества конструкций. Например, для резонирующей собственной частоты колебаний $\lambda'_{u_i} = \vec{y}^T [K' - \lambda M'] \vec{y} / \vec{y}^T M \vec{y}$, где \vec{y} , – собственный вектор узловых перемещений; $K(\vec{u}), M(\vec{u})$ – матрица жесткости и масс.

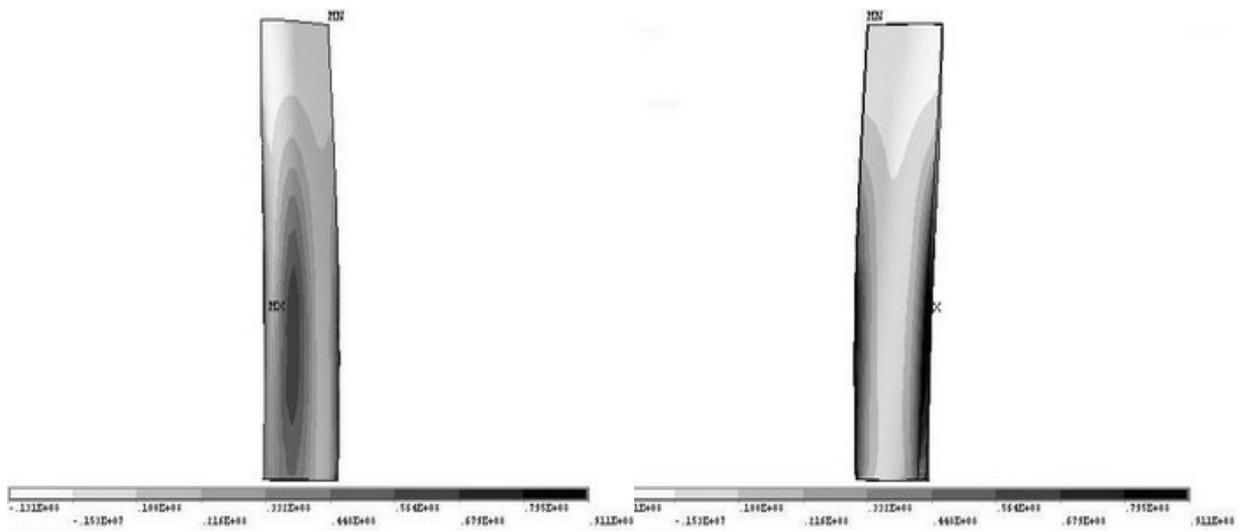


Рис.1. Первая собственная частота (поверхность корытца).

Рис.2. Первая собственная частота (поверхность спинки).

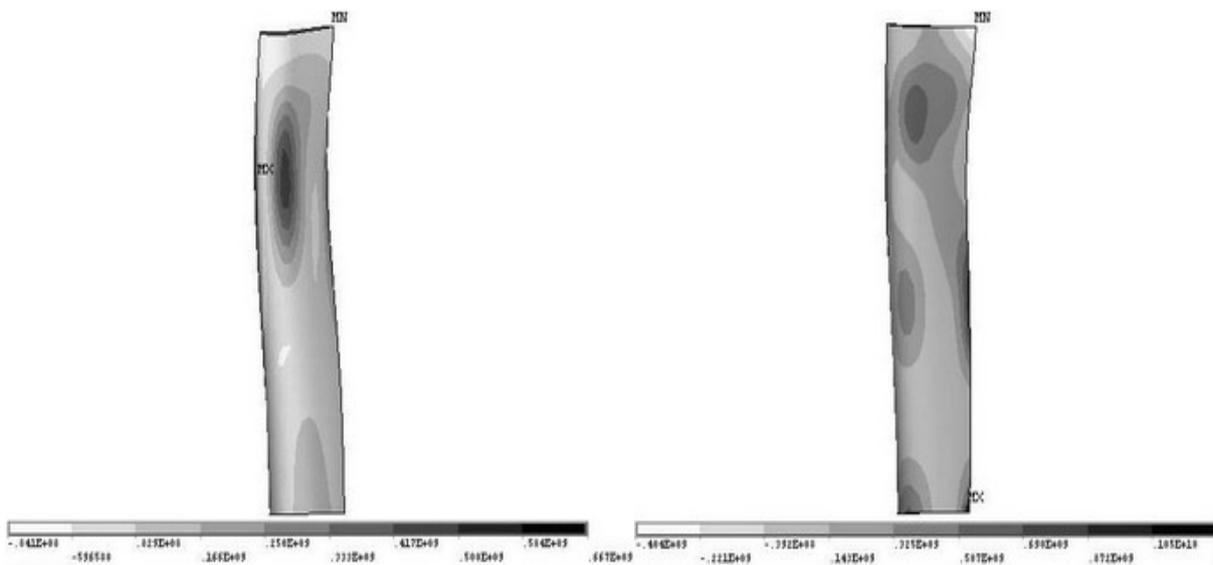


Рис.3. Третья собственная частота (поверхность спинки).

Рис.4. Пятая собственная частота (поверхность спинки).

На рис. 1-6 приведены для примера картины чувствительностей собственных частот элементов конструкций лопаточных машин к добавлению материала (нормальным перемещениям точек поверхности). Если на стадии проектирования возможно как увеличение, так и уменьшение толщин, то после изготовления - только снятие материала. При этом можно указать на какой поверхности, и в какой зоне влияние добавления (снятия) материала более значительно. При исследованиях использовались трехмерные КЭ. В качестве формы иллюстрации результатов сделана тоновая заливка на поверхности конструкций. Серым цветом показана зона минимальных по абсолютной величине (близких к нулю) коэффициентов чувствительности, темным - максимальных положительных, светлым - максимальных отрицательных коэффициентов чувствительности. Для оперативной оценки изменения механических показателей вычисляет-

ся двумерный интеграл от соответствующей функциональной производной по области колеса и весовой функции "реконструкции" геометрии и свойств материала. На рис. 1-4 рассмотрена лопатка турбины средней мощности К-200-22-2М, на рис. 5 и 6 – конструкция ступица-диск турбокомпрессора транспортной машины.

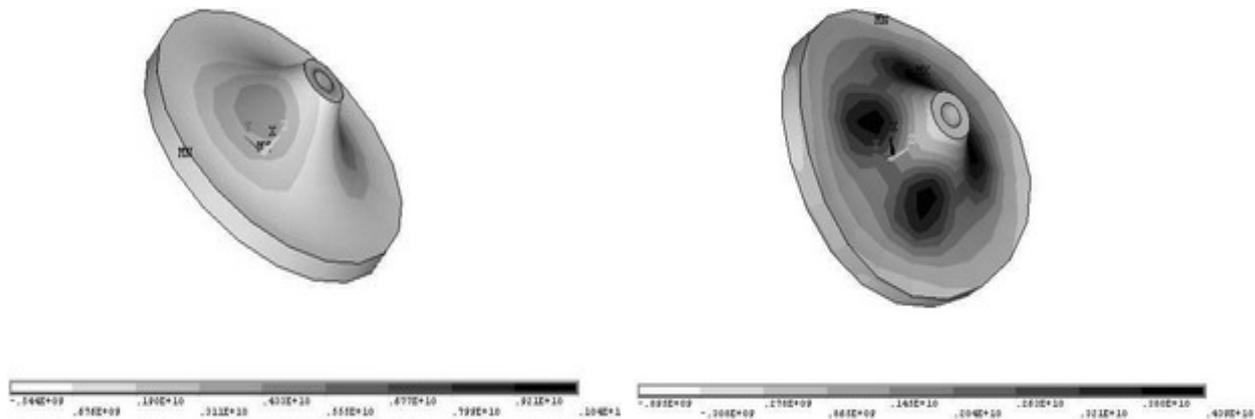


Рис.5. Вторая собственная частота.

Рис.6. Пятая собственная частота.

Предварительный анализ распределения производных позволяет выделить зоны наиболее и наименее существенного влияния на механические показатели переменных проектирования, вследствие чего появляется возможность выбрать минимальный набор варьируемых параметров и за счет этого повысить эффективность и быстродействие вычислительного процесса. Кстати говоря, точность аппроксимации геометрии в зонах экстремальных коэффициентов чувствительности во многом определяет достоверность статических и вибрационных расчетов деталей турбомашин. Анализ чувствительности позволяет производить оперативный пересчет конструкций при разработке модификаций, определить предельные и статистические оценки разночастотности реальных лопаток через картину чувствительности и поле геометрических погрешностей для различных технологий изготовления; обосновано назначать допуски на геометрические параметры рабочих колес; разработать рациональные системы технологического и эксплуатационного контроля наиболее ответственных геометрических размеров.

Литература: 1. Тарелин А.А., Антипцев Ю.П., Аннопольский И.Е. Основы теории и методы создания оптимальной последней ступени паровых турбин. - Харьков: Контраст, 2001. – 224 с. 2. Лукьяненко В.М., Назаренко С.А., Симсон Э.А., Солошенко В.А. Математические модели анализа рабочих колес турбокомпрессорных агрегатов // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. 2000. Вып. 82. С. 54-57. 3. Богуслаев А.В., Дубрович В.И., Набока И.А. Современные информационные технологии в авиастроении. // Вестник двигателестроения ЗНТУ, НАУ им. Жуковского «ХАИ», ОАО «Мотор Сич». - Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2004. - №4 - с.18-22. 4. Олейник А.Г., Прибора Т.И., Тихомиров В.В., Шереметьев А.В. Оптимизация геометрии рабочего колеса компрессора с применением расчетов МКЭ в трехмерной постановке. // Вестник двигателестроения ЗНТУ, НАУ им. Жуковского «ХАИ», ОАО «Мотор Сич», Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2004. - №4. с.23-28. 5. J.H. Choi, J.H. Won1 and J.M. Yoon. Boundary Method for Shape Design Sensitivity Analysis in the Optimization of Three-Dimensional Elastostatics. 6th World Congresses of

УДК 539.3

**АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИСТЕМ**

Симсон Э.А., докт.техн.наук, **Назаренко С.А.**, канд. техн. наук,
Зенкевич Ю.А., Зюзин А.Ю. (г. Харьков, Украина)

Complicated finite-element models and sensitivity analysis methods of dynamic characteristics are given in this article. Computation stages of constructions gradients functional derivation are investigated. The developed mathematical apparatus application domains of ultrasonic structures are examined.

В отличие от машиностроительных конструкций механические системы вибрационной техники проектируются на работу в резонансе как основном функциональном режиме[1]. Это отражается в “инверсии” традиционных критериев и проектировочных требований. На этапе проектирования необходимо: обеспечить настройку конструкции в “рабочий резонанс”; обеспечить максимальный (или заданный) уровень вибраций на рабочей поверхности инструмента; минимизировать потери энергии на внутреннее трение и разогрев системы; максимизировать возбудимость резонирующей формы колебаний; уменьшить потери энергии в системе крепления; максимизировать коэффициент полезного действия установок; обеспечить электрическую прочность в пьезоактивных элементах возбуждения; максимизировать (или обеспечить) динамическую прочность (исключение составляют установки для ускоренных испытаний, где необходимо обеспечивать усталостное разрушение образцов); выполнить специальные требования к характеру вибраций, обусловленные особенностями технологического процесса (равномерность волнового фронта на рабочей поверхности технологического инструмента, заданное направление колебаний для медицинского инструмента и др.); обеспечить устойчивую работу генератора (малую чувствительность рабочей резонансной частоты и питающего напряжения в диапазоне автоподстройки при переходе от холостого хода к рабочему режиму); удовлетворить габаритным, компоновочным и конструктивным ограничениям.

Основу механической части большинства ультразвуковых установок различного назначения составляет резонансная колебательная система, обычно одно-, двух- или трехполуволновой длины. В нее входит резонансный преобразователь магнитострикционного или пьезокерамического типа, резонансный волновод - концентратор (одно- или двухступенчатый) и рабочий инструмент с наконечником, которого может и не быть, если его функции выполняет сам концентратор. Анализ чувствительности позволяет производить оценку изменений характеристик ультразвуковых установок без перестройки всей кон-

струкции. Анализ чувствительности позволяет решить целый ряд практических задач на всех этапах жизненного цикла конструкций - от проектирования до контроля эффективной эксплуатации[2,3].

Рассмотрим модельную задачу анализа чувствительности криволинейных волноводов. В отличие от прямолинейных концентраторов[4,5] помимо задачи усиления амплитуды колебаний возникает более сложная и интересная проблема трансформации колебаний из одной точки пространства в другую с усилением вибраций на рабочем конце в заданном направлении (в глобальной или локальной системе) при минимальных потерях энергии (потребляемой элементом мощности). Такие задачи характерны, например, для стоматологических установок в связи с наличием специальных требований к характеру колебаний рабочего конца различных инструментов одного прибора (изгибный - у наконечника для снятия зубного камня, продольный - у наконечника для снятия коронок). При этом задача трансформации продольных колебаний из одной точки пространства в изгибные другой решается за счет одновременного варьирования формой оси и законом изменения по оси поперечного сечения.

Наибольшая эффективность при уточненном описании поведения элементов резонансной вибротехники, характеризующихся плотным (а иногда кратным) спектром собственных частот, достигается использованием объемных КЭ, позволяющих описывать детали пространственной формы и трехмерного вибрационного, напряженно-деформированного и электрического полей. Конструкция ультразвуковой установки была разбита на 1754 десятиузловых КЭ, 3062 степени свободы. На рис. 1 и 2 приведены результаты исследования модели пространственной конструкции. Отметим, что, как правило, в нижней части спектра зоны экстремальных коэффициентов чувствительности собственных частот к добавлению материала совпадают с областями максимальных динамических напряжений (положительные) и перемещений (отрицательные).

В современных сварочных установках с целью повышения производительности процесса и улучшения качества сварного шва применяются ножевые концентраторы-волноводы. Экспериментальная доводка требует больших материальных и временных затрат в силу высокой чувствительности динамических характеристик к малым изменениям переменных проектирования.

Обычно сонотроды такого типа используются в качестве второй ступени резонансной колебательной системы, которая либо используется как распределитель колебаний между рабочими наконечниками, либо сама выполняет функции рабочего инструмента. Особенности проектирования ножевых сонотродов связаны в первую очередь с требованием обеспечения равномерного волнового фронта на излучающей ультразвук поверхности, актуальность которого резко возрастает после превышения шириной инструмента половины длины продольной волны. Для различных типов сонотродов отношение минимальной амплитуды колебаний на рабочей грани к максимальной изменяется от 90% до 60%, что приводит к ухудшению прочностных свойств

и гладкости сварного шва, вплоть до полной непригодности для заданного технологического процесса.

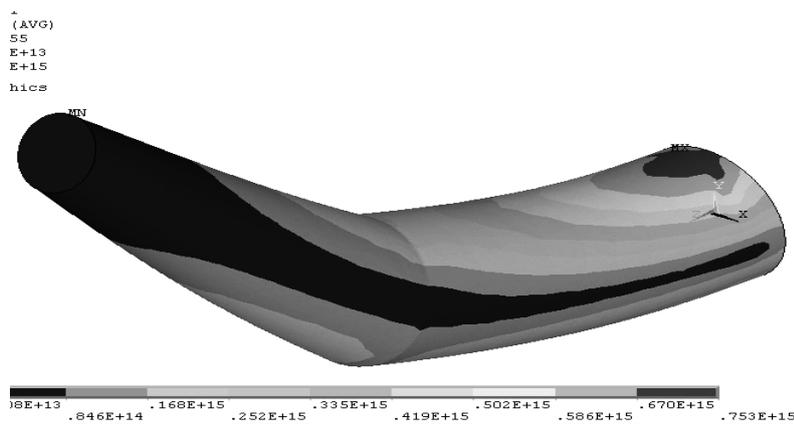


Рис.1. Форма интенсивности динамических напряжений на первой собственной форме колебаний.

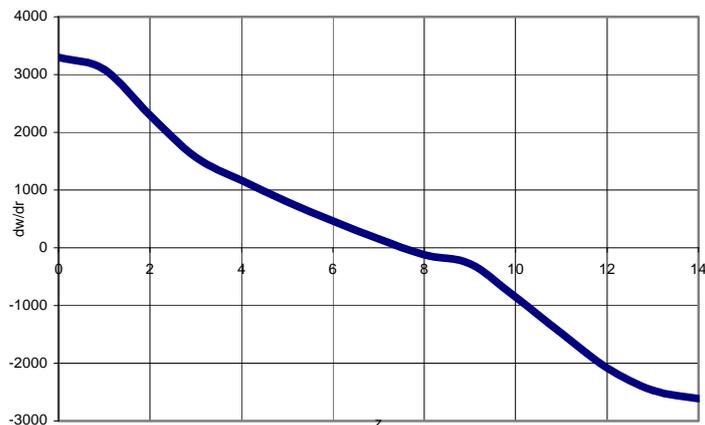


Рис. 2. Анализ чувствительности первой собственной частоты к изменению радиуса поперечного сечения.

Математическая постановка задачи проектирования ультразвукового сварочного сонотрода формулируется следующим образом: определить вектор варьируемых параметров, описывающий пространственную форму инструмента и минимизирующий потери энергии на внутреннее гистерезисное трение при ограничениях на рабочую собственную и соседние "паразитные" частоты колебаний $\omega_i = \omega_p^*$; $\omega_{i-1} \leq \omega^* - \Delta\omega$; $\omega_{i+1} \geq \omega^* + \Delta\omega$ и обеспечивающий равномерность распределения амплитуд колебаний на излучающей грани.

Рассмотрим сварочное оборудование, производимое фирмой "Branson". Продольные резонансные колебания возбуждаются электромеханическим преобразователем, присоединяемым в центральной точке широкой грани. Узкая грань, контактирующая со свариваемыми деталями, излучает высокочастотные ультразвуковые волны, обеспечивающие внутренний разогрев пластмассы, ее плавление и сварку.

Математическая модель сонотрода строилась с использованием 2376 восьмиузловых конечных элементов(рис.3-6). В качестве варьируемых параметров были выбраны координаты узлов конечно-элементного разбиения, лежащие на боковой поверхности. В силу конструктивных особенностей толщины и длиной сонотрода варьировать нежелательно.

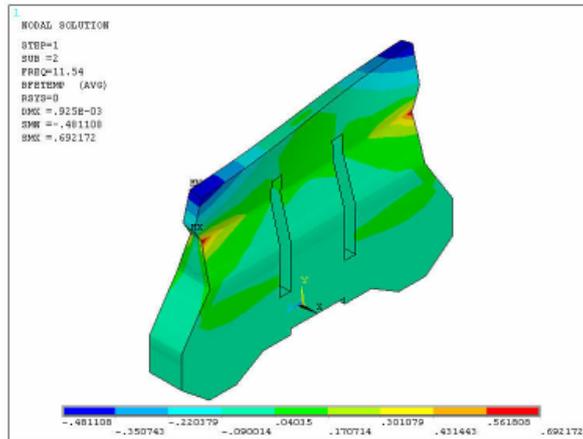


Рис.3. Анализ чувствительности второй собственной частоты.

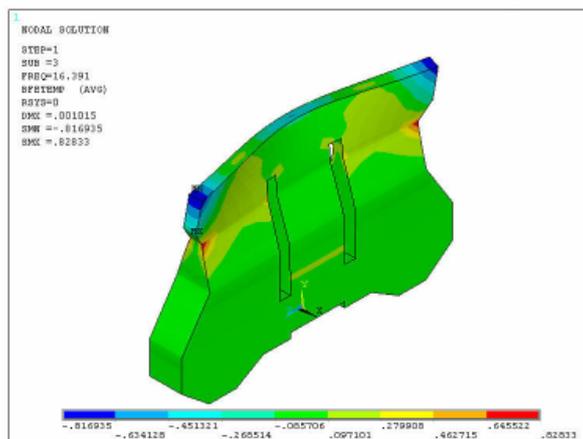


Рис. 4. Анализ чувствительности третьей собственной частоты.

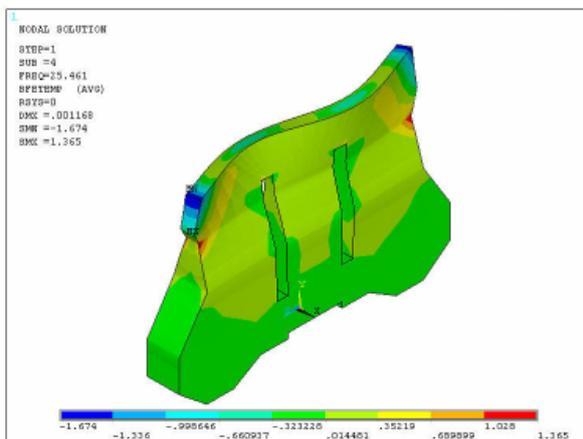


Рис.5. Анализ чувствительности четвертой собственной частоты.

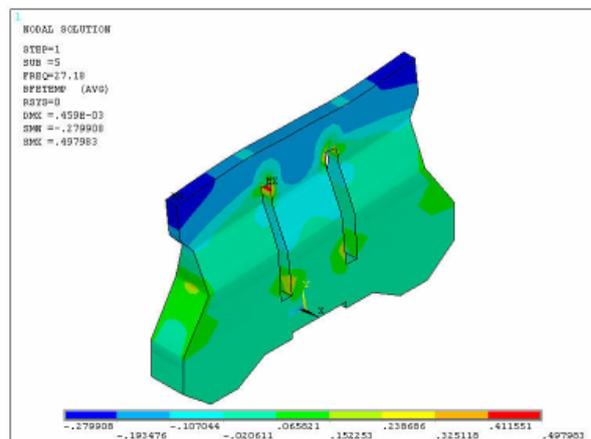


Рис. 6. Анализ чувствительности пятой собственной частоты.

Результаты решения задач анализа чувствительности динамических характеристик элементов ультразвуковых систем показывают достаточную точность и сходимость.

Литература: 1. Хорбенко И.Г. Ультразвук в машиностроении/ М.: Машиностроение, 1974. -241 с. 2. Назаренко С.А. Многодисциплинарный анализ чувствительности для исследования жизненного цикла изделия// Труды 11-й Международной научн.-техн. конф. «Физические и компьютерные технологии».- Харьков.-2005. 3. Назаренко С.А., Симсон Э.А., Анацкий Ю.П. Способы понижения размерности задач анализа чувствительности составных конструкций// Вісник НТУ «ХПІ». - Харків:НТУ «ХПІ». - 2005.- вип.22. 4. A. Benjeddou, M.A. Trindade, and R. Ohayon. New shear actuated smart structure beam finite element. AIAA J., 37(3):378-383, 1999. 5. Isakov S., Kedrovskaya O. Designing of ultrasonic waveguides in conditions of spatial oscillations, MicroCAD'99 " Information technologies: Science, Technique, Technology, Education, Health ", issue 7, part 1, 1999. p.293-299.

УДК 539.1

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Бондарь С.В., канд. техн. наук, **Васюков Д. В.,**

Лавинский В.И., докт. техн. наук (г. Харьков, Украина)

Work is devoted to exposition of basic approaches at estimations of capacity on the criteria of strength and inflexibility of matrix press for the compression of porous material. It is shown that integration appendixes is the most effective approach.

Создание, развитие и совершенствование подходов и методов автоматизации технологии проектирования современных конструкций в различных областях техники и строительства в настоящее время являются приоритетными в научно-практическом плане. Данное обстоятельство определяет актуальность предложенной темы исследования. Это связано с тем, что при проведении проектировочных работ, одним из важнейших является математическое обеспечение разработки и поэтапного создания оригинальных современных дизайнерских проектов сооружений, которые должны удовлетворять многим требованиям и критериям качества, в том числе и прочностным условиям.

Системы автоматизированного проектирования САД и инженерной подготовки САЕ занимают исключительное положение среди компьютерных приложений - это индустриальные технологии, непосредственно направленные в сферу самых важных областей материального производства. Таким образом, при проведении исследование напряженно-деформированного состояния деталей либо при усовершенствовании уже созданных необходимо использовать полный спектр инструментальных средств. При этом разработка собственных расчетных модулей из-за своей трудоемкости и сложности теряет приоритетность, а современные расчетные комплексы, не всегда позволяют выполнить анализ в некоторых специфических задачах. Одним наиболее эффективным подходом, в таком случае, является интеграция прикладных приложений, благодаря которым существует возможность использовать преимущества программных комплексов и компенсировать некото-

рые их ограниченные возможности.

Предлагается один из вариантов достижения автоматизации прочностных расчетов - это создание программного приложения, которое позволит объединить определенные этапы проектирования конструкции. Выделим такие, как создание трехмерной модели, посредством системы автоматизированного проектирования; получение расчетной схемы для выполнения расчета в специализированном расчетном модуле.

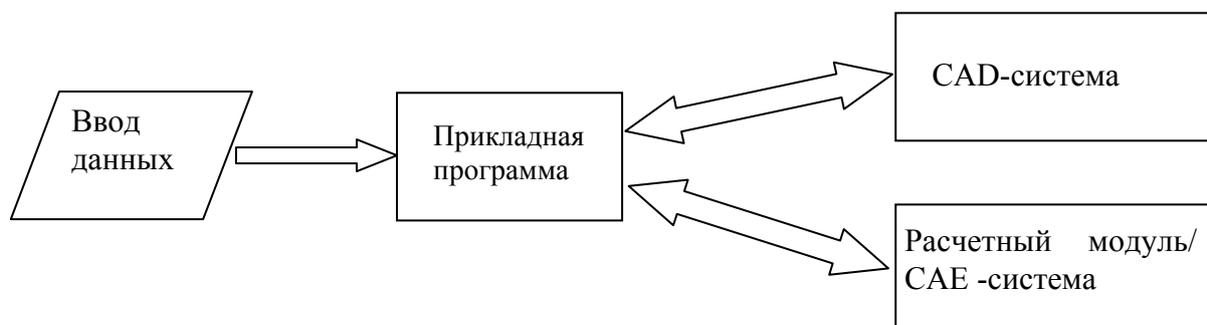


Рис. 1. Схема взаимодействия программы.

Построение трехмерной модели выполняется с выбором геометрических параметров детали, в системе автоматизированного проектирования. Необходимо отметить важный факт, выбирая комплекс в котором будет выполняться проектирование модели нужно, что бы им поддерживалась одна из возможных техник интегрирования (COM, Automation, DDE, Cobra) либо существовал подход, характерный данному приложению.

Исходя из выше сказанного, проектирование элементов и деталей конструкций выполнялось в комплексе SolidWorks. Перечислим основные факторы, которые повлияли на выбор такого комплекса. Во-первых, достаточно развитые возможности выполнения и построения сложных трехмерных моделей с комфортным в пользовании, графического интерфейса. Во-вторых, комплекс SolidWorks предоставляет возможность управлять в своей среде работой другим программам через собственный интерфейс прикладного программирования (API). Отмеченная особенность является наиболее существенной, так как итерационные шаги в проектировании предполагают именно на этом этапе обеспечения создание много параметризованную модель. Понятно, что построение исходной модели конструкции по введенным параметрам эффективнее проводить в виде параметризованной структуре.

Далее модель импортируется в универсальный программный комплекс ANSYS или в специализированный проблемно ориентированный расчетный модуль, в котором непосредственно и выполняется расчет напряженно-деформированного состояния детали методом конечных элементов.

Примерами такого подхода являются созданные программные приложения: CREATOR и Parametr_IND. Посредством таких приложений выполняется параметризованное построение моделей по введенным параметрам (построение модели винтовой лестницы и конического индуктора соответственно). Две программы, которые достигают одной цели, имеют одно основное отличие в технике интеграции. В приложении Parametr_IND применяется COM - модель

компонентных объектов, с помощью которых одни объекты предоставляют сервисы другим приложениям. В приложении CREATOR применяется Automation - технология на основе COM, позволяющая прикладной программе серверу предоставлять свои сервисы в распоряжение другой программы - клиенту через диспінтерфейсы.

Техника интеграции с расчетными комплексами является специфической относящиеся к данному конкретно программному продукту. Так, например, для взаимодействия с расчетным комплексом SPACE-T[2] в совокупности с модулем COCS FEM, существует возможность выполнять расчет по сформированному текстовому файлу исходных данных. А в расчетном комплексе ANSYS есть возможность использовать входные и выходные файлы, также сохранять промежуточную информацию. Описанные подходы создания специальной интеграции для двух комплексов и лежат в основе этих прикладных программ.

Так при создании приложения CREATOR приведены отдельные этапы проектирования металлоконструкции винтовой лестницы на основе моделирования в рамках МКЭ стержневой системой, а именно: автоматизированное построение стержневой и объемной модели конструкции, обработка топологической модели с последующим расчетным анализом полученной конечно-элементной модели с позиций прочности и жесткости, аналогично тому как это сформулировано в программном комплексе SPACE-T.

При разработке приложения Parametr_IND и анализе детали конического индуктора учитывалось, что в детали возникает сложное напряженно-деформированное состояние, связанное с воздействием поверхностных сил, объемных сил и существенного теплового поля. При анализе напряженно-деформированного состояния конического индуктора необходимо решить задачу магнитоупругости, в которой необходимо учитывать взаимосвязь упругого и электромагнитного полей, также учитывать влияние магнитного поля на упругую деформацию, обусловленную действием неравномерного нагрева тела. Выполнив расчет и анализ результатов с целью прогноза наиболее нагруженных областей модели, далее проводится аналогичный расчет для модернизированной модели, в которой целенаправленно изменены геометрические параметры. При варьировании геометрическими параметрами необходимо учитывать главную цель проектирования конического индуктора, который должен обеспечивать практически равномерное распределение давления пондеромоторных сил в рабочей зоне воздействия. При выполнении прочностных условий необходимо следить за тем, что бы поле распределения давления соответствовало технологическим требованиям магнитно-импульсной штамповки.

Иными словами необходимо отыскать оптимум между прочностными и электромагнитными количественными и качественными характеристиками детали, что и является в этом проекте основной задачей инженера-проектировщика.

Разработанные интегрированные программные приложения на основе межпакетного взаимодействия позволили объединить отдельные этапы проектирования. Условный проектировщик-дизайнер формально отделен от выполнения определенного постоянного набора действий и операций, в данном слу-

чае связанных с построением расчетных схем и конечно-элементным моделированием. Это, в свою очередь, дает возможность сосредоточиться на проведении непосредственно самого расчетного анализа конструкции на прочность и жесткость.

Таким образом, в процессе создания интегрированных программных приложений, должны быть использованы положительные качества автоматизированных систем проектирования и мощных расчетных комплексов.

Описанные идеи создания автоматизированной системы проектирования в таком виде в целом показали пригодность для анализа объектов в различных сферах производства при создании современных конструкций и объектов машиностроения. Проведенные исследования некоторых вариантов исследуемых объектов позволили проанализировать диапазоны возможных исполняемых конструктивных параметров с рациональным выбором по критериям прочности.

Литература: 1. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, -2001.-591с. 2. Бондарь С.В., Зубатый С.С., Киркач Б.Н., Лавинский В.И. Программный комплекс SPACE-T для решения термоупругопластических контактных задач // Вестник ХГПУ. Динамика и прочность машин. - 2000. - вып. 57. - С. 24-34. 3. ОБЕ Іпле§гаіюп Теспполо§lez: А Теспшса! Оуепаелу / Кгащ ВгоскзсптЫ!, Ослобер 1994 : М8ВЫ ЫЪгау. 4. Батыгин Ю.В., Лавинский В.И., Хименко Л.Т. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 1. Издание второе. -Харьков: изд. "МОСТ-Торнадо", -2003г. -284с. 5. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. Апзуз для инженеров.- Москва: - Машиностроение, 2004. — 511с.

УДК 621-822

О ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Свиргун О.А., канд. техн. наук, **Столбовой А.С.**, канд. техн. наук,

Свиргун В.П., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

Is regarded an issue about selection of a method of the solution of hydrodynamical equations guaranteeing indispensable accuracy of calculation.

Совершенствование конструкций и повышение надежности работы опорных узлов современных энергетических машин требует реализации уточненных методов расчета, учитывающих многообразие реальных условий эксплуатации.

Основой теоретических расчетов гидродинамического давления в радиальных подшипниках скольжения является уравнение Рейнольдса в виде

$$\frac{\partial}{\partial \vartheta} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial \vartheta} \right) + r^2 \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6\mu V r \frac{\partial h}{\partial \vartheta}, \quad (1)$$

где p - искомая функция давления, h - толщина смазочного слоя в точке с угловой и осевой координатами ϑ и z , μ - динамическая вязкость смазывающей жидкости, V - скорость вала, имеющего радиус r .

Решение приведенного уравнения эллиптического типа реализуется численно с использованием его конечно-разностной аппроксимации в виде

$$D^2 \xi_{i,j-0,5}^3 p_{i,j-1} + \xi_{i-0,5,j}^3 p_{i-1,j} - \left(D^2 \xi_{i,j-0,5}^3 + \xi_{i-0,5,j}^3 + \xi_{i+0,5,j}^3 + D^2 \xi_{i,j+0,5}^3 \right) p_{i,j} + \xi_{i+0,5,j}^3 p_{i+1,j} + D^2 \xi_{i,j+0,5}^3 p_{i,j+1} = H^2 \left(\frac{\partial \xi}{\partial v} \right)_{i,j}, \quad (2)$$

где $\xi_{i,j} = \frac{h}{\delta}$ - безразмерная толщина смазочного слоя в точке с координатами i, j , δ - радиальный зазор, $D = \frac{\theta r}{B}$ - относительная длина рабочей поверхности, имеющей центральный угол θ и ширину B , $p_{i,j} = \frac{p\delta}{6\mu r\theta V}$ - безразмерный параметр давления в точке с координатами i, j , $H = \frac{1}{s}$ - шаг квадратной сетки, имеющей $(s+1)^2$ узлов.

Выбор итерационного метода для решения получившейся системы линейных уравнений для внутренних узлов рассматриваемой сетки определяется его сходимостью при произвольных правых частях уравнения (2).

Для оценки условий сходимости представим систему уравнений (2) в матричном виде

$$Ax = b, \quad (3)$$

где $A = [a_{m,n}]$ - квадратная матрица порядка $k = (s-1)^2$, x - вектор-столбец искомых функций давлений, b - вектор-столбец правых частей уравнения (2). Обозначим $p_{i,j} = x_m$, тогда $p_{i\pm 1,j} = x_{m\pm 1}$, $p_{i,j\pm 1} = x_{m\pm(s-1)}$. Коэффициенты при искомых функциях и правую часть уравнения (2) запишем в виде

$$\xi_{i\pm 0,5,j}^3 = a_{m,m\pm 1} = a_{m\pm 1,m}; \quad (4)$$

$$D^2 \xi_{i,j\pm 0,5}^3 = a_{m,m\pm(s-1)} = a_{m\pm(s-1),m}; \quad (5)$$

$$-\left(D^2 \xi_{i,j-0,5}^3 + \xi_{i-0,5,j}^3 + \xi_{i+0,5,j}^3 + D^2 \xi_{i,j+0,5}^3 \right) = a_{m,m}; \quad (6)$$

$$H^2 \left(\frac{\partial \xi}{\partial v} \right)_{i,j} = b_m. \quad (7)$$

Во всех случаях, когда $n \neq m$, $n \neq m \pm 1$, $n \neq m \pm (s-1)$, а также в точках, отстоящих от границы на расстоянии $H/2$, принимаем $a_{m,n} = a_{n,m} = 0$.

В силу условий (4) и (5) получившаяся матрица A будет симметричной, а из формулы (6) вытекает

$$a_{m,m} = - \sum_{n=1}^{n=k} a_{m,n} |_{n \neq m}. \quad (8)$$

Квадратичная форма матрицы A будет равна

$$\begin{aligned}
\psi &= a_{1,1}x_1^2 + a_{2,2}x_2^2 + \dots + a_{k,k}x_k^2 + 2a_{1,2}x_1x_2 + 2a_{1,3}x_1x_3 + \dots + 2a_{k-1,k}x_{k-1}x_k = \\
&= -(a_{1,2} + a_{1,3} + \dots + a_{1,k})x_1^2 - (a_{2,1} + a_{2,3} + \dots + a_{2,k})x_2^2 - \dots - (a_{k,1} + \\
&+ a_{k,2} + \dots + a_{k,k-1})x_k^2 + 2a_{1,2}x_1x_2 + 2a_{1,3}x_1x_3 + \dots + 2a_{k-1,k}x_{k-1}x_k = \\
&= -a_{1,2}(x_1 - x_2)^2 - a_{1,3}(x_1 - x_3)^2 - \dots - a_{k-1,k}(x_{k-1} - x_k)^2.
\end{aligned} \tag{9}$$

Из полученной формулы (9) видно, что квадратичная форма ψ рассматриваемой матрицы будет меньше нуля при всех значениях x , кроме $x_1 = x_2 = \dots = x_m = \dots = x_k$, так как $a_{m,n} \geq 0$ при $n \neq m$. Упомянутое равенство возможно, если во всех узлах будет реализовано условие:

$$b_m = x_m \left(a_{m,m} + \sum_{n=1}^{n=k} a_{m,n} |_{n \neq m} \right) \equiv 0. \tag{10}$$

Условие (10) не относится к области гидродинамических подшипников с клинообразной формой рабочих поверхностей. В рассматриваемых конструкциях радиальных подшипников с постоянной и изменяющейся от деформаций формой рабочих поверхностей квадратичная форма представленной симметричной матрицы будет отрицательной, а эти условия для нормальной системы уравнений являются достаточными для сходимости итерационных процессов при их решении по методу Зейделя [1]. Интенсивность процесса сходимости определяется значениями коэффициентов, входящих в уравнение (2), степенью приближения массива исходных данных для первой итерации к конечному результату и допускаемой ошибкой при остановке итерационного процесса. В общем случае окончание расчета поля давления по рабочей поверхности определяется относительной погрешностью на двух последовательных итерациях, имеющих номера $(\nu - 1)$ и (ν) .

$$\varepsilon = \left| \frac{p_{i,j}^{(\nu)} - p_{i,j}^{(\nu-1)}}{p_{i,j}^{(\nu)}} \right| \leq [\varepsilon]. \tag{11}$$

Допускаемое значение погрешности итерационного процесса $[\varepsilon]$ должно обеспечивать точность расчета с ошибкой, которая на порядок меньше погрешности, обусловленной заменой частных производных в уравнении (1) конечными разностями уравнения (2). Оценку погрешности от замены точного алгоритма приближенным целесообразно выполнять по методу Рунге [1], согласно которому

$$\delta_H = \frac{p_H - p_{2H}}{2^t - 1}, \tag{12}$$

где δ_H - погрешность расчета с шагом сетки H , p_H и p_{2H} - расчетные функции поля давления в одной и той же точке с координатами i, j , найденные с шагом H и удвоенным шагом $2H$, t - порядок погрешности. При принятой в уравнении (2) схеме конечно-разностной аппроксимации порядок погрешности составляет $t = 2$.

Изложенная методика позволяет рассчитывать поля давлений радиальных гидродинамических подшипников скольжения с различными формами рабочих поверхностей, которые, в свою очередь, являются основой оценки несущей способности, потерь мощности от трения, расходов смазывающей жидкости и температуры опорных узлов.

Литература : Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики.- М.: Наука, 1966.- 664 с.

УДК 20.53

ПРОБЛЕМА ОБРАБОТКИ ХАОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Довгаль В.М., докт. техн. наук, **Гордиенко В.В.**, канд. техн. наук,
Ильин И.В., **Ильин С.И.**, **Пузына Р.А.** (г. Курск, Россия)

Problem of processing of chaotic processes and ways of its decision.

В последнее время внимание специалистов в разных областях науки и техники привлекают системы со случайно-подобным поведением, которые чаще принято называть хаотическими. К хаотическим проявлениям относятся вибрации винтов и корпусов летательных аппаратов, двигатели внутреннего сгорания, турбин, электротехнических агрегатов, вариации курсов валюты и ценных бумагах и т.д. Специфика свойств и поведения хаотических систем во многом изменяет сложившиеся представления и оказывает существенное влияние на выбор адекватных инструментальных средств исследования и принятия решений в различных прикладных областях [1, 2, 3, 4].

Системы со случайно-подобным поведением в своих проявлениях характеризуются детерминированным хаосом [1, 3]. В дальнейшем изложении условимся не разделять хаотические системы без логической необходимости на непрерывные и на дискретные.

По внешнему виду графики случайных и случайно-подобных процессов являются идентичными. Между тем детерминированный хаотический процесс принципиально отличается от случайного механизмами порождения. Если первый класс процессов порождается неустойчивостью функционирования системы, то второй - недостаточностью информации о функционировании генератора случайных последовательностей в виде, например, «рулетки» различной физической природы. Прежде всего, случайно-подобные процессы характеризуются нестационарностью. Не трудно проверить, что при разбиении некоторого продолжительного случайно-подобного процесса, заданного хаотическим числовым рядом, на конечное число произвольных фрагментов с последующим их объединением в два представительных подмножества исходного ряда, вычисление математического ожидания и дисперсии для них приводит к разным результатам. Законы распределения, построенные для каждого подмножества, значимо различаются, а функция последовательной корреляции устремляется к некоторой заданной константе. Вместе с тем вычисленная мощность спектра, как основного хаотического числового ряда, так и его двух представительных подмножеств не имеет доминантных частот и значимых трендов, что однознач-

но определяет эффект белого шума, называемого «сплошным спектром».

При этих названных и далеко не всех специфических свойствах случайно-подобных процессов определяется как логический, так и методологический запрет на применение для их анализа теоретико-вероятностных когнитивных схем и их производных, а также спектрального анализа. Основной причиной выбора неадекватных инструментальных средств для анализа и обработки хаотических процессов является неосведомленность широкого круга научных работников и инженеров о механизмах и критериях классификации числовых рядов, получаемых в результате измерений, т.е. их разделения на классы случайных, псевдослучайных и хаотических.

Неадекватный выбор средств анализа и обработки случайно-подобных процессов в их противопоставлении случайным, как правило, приводит к драматическим последствиям принятых логически и практически несостоятельных решений.

На основании приведенных сведений и результатов проведенных предварительных исследований следует вывод об актуальности и перспективности создания новой концепции и методологического каркаса системного анализа и обработки случайно-подобных процессов, заданных в виде числовых хаотических рядов (ЧХР) с целью извлечения необходимых, достаточных и устойчивых признаков для организации эффективных процедур принятия решений и прогнозирования.

1. Концептуальный базис. Главенствующее положение в рамках концепции анализа и обработки хаотических процессов занимают общесистемные научные принципы:

- целостность (эмерджентность) исследуемой системы;
- дискретное строение;
- иерархичность внутренней структуры;
- полносвязный граф отношений компонентов.

Основным положением концепции на правах тезиса является декларация об отнесении хаотических систем к классу сложных открытых по воздействиям внешней среды систем, состоящих из иерархически упорядоченных по уровням множеств хаотических осцилляторов, каждый из которых, включая элементарные, является также хаотической системой.

Всякое подмножество хаотических субсистем предшествующего уровня иерархии и наделенное структурными отношениями, порождает эмерджентные свойства единственной (вверх по иерархии) системе, т.е. такие новые свойства, которые отсутствуют у всех его структурных компонентов на всех нижележащих уровнях.

Будем интерпретировать множество субсистем предшествующего уровня вместе с отношениями и выходными хаотическими процессами как новый тип в классе абстрактных автоматов: открытых хаотических автоматов (ОХА), состояниями которых являются хаотические системы, функцией переходов – отношения между ними, а функцией выходов - хаотические числовые ряды системы. При этом на все состояния ОХА подается равное для всех внешнее хаотическое воздействие дискретного (импульсного) или непрерывного (с точностью до значений ЧХР) характера. В свою очередь, в предлагаемой концепции в каждое со-

стояние по иерархии вложен субавтомат, наследующий все свойства и особенности ОХА, вплоть до уровней, допускающих выполнение адекватных измерений.

В концептуальный базис введем следующие положения, ставшими хрестоматийными в современной теории хаотических систем в виде следующих феноменологических свойств:

- локализация хаотического процесса каждой системы в многомерном пространстве существования в виде топологического портрета;
- локализация притягивающего множества (бассейна притяжения), которое охватывает его топологический портрет (область притяжения представляет собой подмножество точек пространства существования, при попадании в которое хотя бы одного текущего значения хаотического процесса, он, после некоторого числа спорадических блужданий, строго захватывается топологическим портретом и без внешнего возмущения не может выйти из него);
- эксклюзивная особенность, связанная с дробной размерностью топологического портрета хаотического процесса в многомерном пространстве существования с целочисленной размерностью;
- сохранение значения дробной размерности топологического портрета хаотического процесса при вариациях начальных значений или локальных внешних приращениях его значений, не приводящих к выходу за границы притягивающего множества, т.е. при многомерном задании любого хаотического процесса, после притяжения процесса к топологическому портрету, размерность не изменяется;
- различие исходных значений "запуска" странного аттрактора с необходимостью порождает экспоненциальное различие накопленных значений хаотического процесса в его многомерной форме задания, но не изменяет его топологического портрета;
- самонепересекаемость каждой последовательности значений хаотического процесса, принадлежащей топологическому портрету (не повторяемость значений координат хаотического процесса в пространстве существования с размерностью, не меньшей критической).
- возможность восстановления топологического портрета хаотического процесса по любой одной измеряемой одномерной развертке во времени значений координаты пространства существования его многомерного топологического портрета.

Следует отметить особенности многомерного пространства существования топологического портрета хаотических процессов. Пространство существования имеет сложную метрическую структуру. Метрика рассматриваемого пространства изменяется в области бассейна притяжения и, соответственно, в местоположении топологического портрета. Сложные структурно-логические отношения топологии многомерных форм представления хаотических процессов и пространства существования определяют правомерность принятого в предлагаемой концепции тезиса искривления несущего пространства в бассейнах притяжения. Установлено [1], что целочисленную размерность пространства существования R^{2N+1} , в которое вложен топологический портрет хаотического процесса при неизвестном N , можно определить заданием некоторого числа n при

априорной истинности отношения

$$N > n, \quad (1)$$

где N – целочисленная размерность пространства вложения, n – стартовая целочисленная размерность пространства. Затем, принудительно выполняя $n = n + 1$ и вычисляя дробную размерность топологического портрета, установить факт прекращения вариаций размерности с некоторого шага выполнения изменений n_{min} и тогда присвоить $N = n_{min}$.

Пространство существования с целочисленной размерностью

$$M = 2N + 1$$

называется пространством вложения. При этом определенный приведенной выше процедурой параметр M является избыточным, поэтому нами были разработана другая процедура его определения, в которой выход из процесса принудительного увеличения мерности пространства n на единицу в соответствии с алгоритмом Чжуа-Паркера [1] осуществляется при наступлении события неравенства всех векторов значений координат, составляющих многомерный ЧХР [5, 6]. Использование такого способа обосновывается свойством самонепересекаемости траекторий странных аттракторов, являющихся математическим образом хаотического процесса.

В концептуальный базис введем впервые обнаруженную нами перманентную закономерность многомерных хаотических процессов, которая заключается в неравномерности следования или местоположения точек на топологическом портрете, определяющегося как множество значений векторов координат пространства его вложения.

Неравномерность следования или местоположения значений векторов координат, составляющих многомерный хаотический процесс, будем интерпретировать как пространственное разрежение или сгущение точек, определяемое по изменению расстояний между ними. Таким образом, функция неравномерности заполнения пространства существования для непрерывного хаотического процесса вычисляется как множество отношений текущих расстояний от предшествующих до последующих значений к среднему значению хаотического числового ряда во всем интервале измерений. В дискретном случае неравномерность заполнения пространства вложения определяется разграниченными кластерами, т.е. множеством точек, для которых расстояние от точки с координатами «центра тяжести» множества до любой точки не превышает фиксированной длины некоторого радиуса, исходящего из центра. Свойство неравномерности заполнения пространства существования устойчиво регистрировалось на всем многообразии исследованных нами хаотических процессов, порождаемых системами различной природы. При этом исследовались хаотические процессы систем, заданных математическими соотношениями или уравнениями (дискретные отображения и непрерывные процессы моделей Дуффинга, Лоренца и др.), а также полученные в результате измерений параметров реально существующих систем с хаотическим поведением (энцефалограммы, ритмограммы сердца и реограммы человека, осциллограммы вибрации различных двигателей и станков, поведение частоты транзакций в распределенных базах данных, динамика рестартов и т.д. Указанная закономерность пространственной

и/или временной неравномерности заполнения пространства существования положена нами в основу способа, защищенного патентом РФ, а его теоретическое обоснование приведено в работе [7]. Без изменений и модификаций этот способ был использован нами для прогнозирования пиковой частоты при обращении к серверу-концентратору в распределенной базе данных для адекватного выбора размера буфера транзакций.

2. Особенности методологии. Стратегическая цель методологии определяется в рамках предлагаемой концепцией как проблема синтеза адекватных автоматных моделей конкретных хаотических систем, объективно являющимися сложными открытыми системами, по результатам исследования многообразия свойств и особенностей случайно-подобных процессов, генерируемых ими.

Будем рассматривать названную автоматную модель как множество взаимодействующих ОХА, каждый из которых моделирует работу некоторой subsystemы, относящейся к предшествующему уровню иерархии и являющейся составным компонентом исследуемой системы, а на ее выходе формируется многомерный случайно-подобный процесс. Как уже отмечалось, всякий ОХА имеет внешний вход, значение которого суммируется с текущим значением ЧХР, являясь по отношению к нему внешним возмущающим воздействием. Известно, что любое внешнее приращение текущего значения ЧХР, или экспоненциально переводит его в другой ЧХР с сохранением размерности топологического портрета и принадлежности к нему, или происходит выброс процесса за границы притягивающего множества исходного топологического портрета.

Доминантной тактической целевой функцией методологии, является решение проблемы визуализации многомерных топологических портретов и бассейнов притяжения хаотических процессов. Человеку-исследователю в результате объективных психофизиологических ограничений восприятия многомерных объектов необходимо предъявлять информации в доступном для него виде на двухмерном экране монитора или в виде распечаток. Предварительные исследования, проведенные нами в этом направлении, позволили разработать алгоритмические и программные средства практически приемлемых вариантов визуализаторов многомерных объектов [8, 9]. Несмотря на это, проблема визуализации многомерных топологических портретов хаотических процессов с учетом их специфичности не снимается. Без визуального исследования динамики многомерных хаотических процессов не представляется возможным собрать релевантную информацию для дальнейших математических построений и синтеза автоматных иерархических моделей хаотических систем.

Важной методологической проблемой в рамках предлагаемой концепции является определение эмерджентных переходов по уровням иерархии, т.е. порождение качественно новых свойств хаотических систем, состоящих из subsystem предшествующего уровня. При этом реальные эмерджентные переходы должны быть адекватно представлены в иерархической автоматной модели.

Выводы. Основное назначение предлагаемой концепции заключается в логико-методологическом разграничении средств анализа и обработки процессов реальных систем с целью исключения построения неадекватных моделей, процедур принятия решений и прогнозирования. Анализ и обработка хаотиче-

ских процессов, реализованные на основе когнитивных схем математической статистики и теории вероятностей, по принципу *reductio ad absurdum*, приводит к бессмысленности процедур обучения по предъистории процесса и прогнозирования на их основе. Анализ обработка процессов без синтеза адекватной иерархической модели хаотических систем не могут приводить к логически состоятельным результатам. Иллюстрацией этому являются многочисленные безуспешные попытки создания прогностических процедур выигрыша в лотереях или определения динамики курса валют.

Концептуальный базис составляют устоявшиеся обоснованные понятийные структуры, экспериментально установленные факты и интуитивно ясные тезисы, которые образуют систему основных непротиворечивых положений для создания методологии исследований и манипуляций в классе хаотических процессов. Стратегической целью методологического каркаса является синтез адекватных автоматных моделей хаотических систем, каждый из которых представляет собой сложно-организованную открытую иерархическую систему. Тактические цели методологии соотносятся с построением инструментальных средств исследований в рассматриваемой предметной области.

В следующей части данной публикации будет рассмотрена концепция, проведена оценка непротиворечивости принятой системы тезисов и конкретизация методов и методик, составляющих ядро предлагаемой методологии.

Таким образом, совокупность всех перечисленных перманентных свойств хаотических систем и порождаемых ими процессов составляет платформу теоретических положений предлагаемой концепции и методологии, направленных на извлечение из случайно-подобных процессов релевантной информации для принятия решений и реализации прогностических процедур, разрабатываемых для систем телекоммуникаций и компьютерных сетей. Между тем концепция и методология при некоторых модификациях имеют потенциальные возможности успешного применения для самого широкого круга приложений, где по-прежнему используются результаты теории вероятностей для анализа и обработки заведомо хаотических процессов.

Литература: 1. Т.С. Паркер. Л. О. Чжуа. Введение в теорию хаотических систем для инженеров // ТИИЭР. 1987. т.75, №8. С. 6-40. 2. Андреев Ю.В., Дмитриев А.С., Куминов Д.А.. Хаотические процессоры. Успехи современной радиоэлектроники // Зарубежная радиотехника. – 1997. №10. С. 50-77. 3. Пустовойт В.И.. Хаос в некоторых задачах информатики Успехи современной радиоэлектроники // Зарубежная радиотехника. – 1997. №10. С. 3. 4. В. Гуревич, Г Волмен. Теория размерности, М.: ХТЛ - Пресс, 1996, 286 с. 5. Захаров И.С., Довгаль В.М., Бородин С.Г. Определение размерности топологических портретов многомерных хаотических процессов: Препринт 23-97/Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1997. 16 с. 6. Захаров И.С., Довгаль В.М., Бородин С.Г. Алгоритмические средства реализации процедур оценки фрактальной размерности странных аттракторов: Препринт 12-98/Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1998. 14 с. 7. V. Dovgal., I. Sarayev. MYOCARDIAL ISCHEMIA AND DETERMINET CHAOS IN INTEGRAL HOMEOSTATIC REGULATION// *Jornal of Clinical Monitoring end Computing*. 17: № 3-4, 2002, pp. 167-172. 8. Довгаль В.М., Альшакова Е.Л., Захаров И.С. Визуальная детерминистская классификация состояний и объекта управления в N-мерном пространстве состояний// *Автоматика и телемеханика*. № 6. 2001. С. 32-36. 9. Довгаль В.М., Альшакова Е.Л., Захаров И.С. Методы линейного и нелинейного отображения n-мерных объектов: Препринт 31-97/Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1997. 12 с.

**ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СИМУЛЯЦИИ
ПРОГРАММ ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ****Довгаль В.М.,** докт. техн. наук, **Щекин Я.В.** (г. Курск, Россия)*Programmatic implementation of microcontrollers' simulation processes.*

Микроконтроллер является интегрированной схемой, включающей следующие функциональные единицы: микропроцессорное ядро, ОЗУ, запоминающее устройство того или иного типа для хранения программы, встроенные периферийные устройства, такие как таймеры-счётчики, преобразователи сигналов (ЦАП, АЦП, ШИМ), интерфейсы ввода-вывода (например, I²C, serial, CAN, SPI). В настоящее время на рынке встраиваемых систем используется большое количество разнообразных моделей микроконтроллеров. Выбор микроконтроллера для применения в конкретной разработке определяется соответствием решаемой задаче его производительности, объёма встроенной памяти, набора встроенных периферийных устройств, его цены и времени создания программы с его использованием. В зависимости от трудоёмкости программирования задачи, объёма памяти и производительности микроконтроллера для разработки программы применяются адекватные языки программирования, средства разработки и отладки. В 40% случаев (по данным 2005 года) в качестве языка разработки обоснованно используется ассемблер [1].

Как известно, отладка программ занимает от 25% до 60% времени разработки, для её выполнения используются такие инструменты, как отладчики и симуляторы. Существующие симуляторы микроконтроллеров выпускаются их производителями, и могут иметь следующие возможности: пошаговая и постоянная симуляция, создание списка выполненных команд, установка точек останова на выполнение инструкций по конкретному адресу, на доступ к определённым регистрам и областям памяти или их модификацию, построение списка областей данных, к которым производился доступ, изменение любых данных в симулируемом окружении. Следует отметить, что возможности и интерфейсы существующих симуляторов значительно отличаются друг от друга, и каждый из них обычно работает только с одним семейством устройств одного производителя.

Таким образом, в настоящее время в случае применения микроконтроллера, ранее неизвестного разработчику, ему приходится изучать не только функционирование встроенных периферийных устройств и систему команд, но и отладочные средства, предоставляемые производителем микроконтроллера, и пользоваться ими. Кроме того, ни одно из известных средств не поддерживает симуляцию расширяемого множества семейств микроконтроллеров, не предоставляет возможностей создания и выполнения модульных тестов, создания разработчиком собственных отладочных программ, частичной автоматической проверки их структурно-логической корректности по формальным критериям, а также независимой от модели микроконтроллера, языка программирования, операционной системы и типа ЭВМ симуляции периферийных устройств. [2,3] С целью устранения этих недостатков предлагается создание универсального средства симуляции и отладки программ на ассемблере для различных микроконтроллеров, которое имело бы вышеуказанные возможности, что и яв-

ляется целью разработки данного программного продукта.

Для реализации возможности симуляции различных микроконтроллеров, создания и выполнения модульных тестов, создания разработчиком собственных отладочных программ, частичной автоматической проверки их структурно-логической корректности по формальным критериям и симуляции периферийных устройств, предлагается подход, основанный на выполнении инструкций ассемблера без трансляции в промежуточный машинный код, использовании высокоуровневого интерпретируемого языка программирования, использования механизма BSD sockets для взаимодействия с виртуальными устройствами.

Сущность предлагаемого подхода заключается в следующем. Создаётся программный продукт, состоящий из трёх отдельных программных модулей — ядра, графической оболочки и имитаторов устройств. Ядро продукта разрабатывается на языке TCL [4] в виде загружаемого пакета (библиотеки), что позволяет использовать его для создания разработчиком собственных отладочных программ и модульных тестов. При обеспечении возможности расширения множества симулируемых микроконтроллеров создаётся библиотека базовых функций, которая должна использоваться для создания дескриптора нового микроконтроллера на языке TCL. После разработки нового дескриптора все возможности продукта становятся автоматически доступными при симуляции данного микроконтроллера. Для автоматического обнаружения нарушений структурно-логической корректности симулируемых программ с каждым хранимым значением связываются специальные метки, которые присваиваются значению согласно области памяти, откуда оно было получено, и используются для проверки нарушения границ областей памяти при использовании этих значений. Взаимодействие с виртуальными устройствами основано на текстовом протоколе (не более 10 команд) и использует механизм BSD sockets, что позволит разрабатывать их на любом языке программирования, имеющем доступ к этому механизму. Следует отметить, что наряду с описанными преимуществами, у данного подхода есть такие ограничения, как невозможность симуляции чтения данных из инструкций программы и то, что минимальной единицей симуляции является один такт.

Резюме. Для тестирования предлагаемого подхода была выполнена разработка ядра программного продукта, создание дескрипторов двух семейств микроконтроллеров (PIC16 и MCS51), трёх виртуальных устройств (FM31XX, serial, LCD-индикатора), успешно выполнен поиск ошибок в программах, предназначенных для созданных с использованием этих устройств изделий, продемонстрирована возможность автоматической проверки структурно-логической корректности программ, с использованием ядра этого симулятора созданы тесты эквивалентности процедур на ассемблере процедурам на высокоуровневом языке TCL, разработан набор автоматизированных модульных тестов для симулируемых программ, а также продемонстрировано выполнение вышеперечисленных функций существующих симуляторов. В результате была подтверждена возможность решения описанных задач с помощью этого подхода.

Литература: 1. <http://ru.wikipedia.org/Микроконтроллер>. 2. <http://Microcontroller.com>. 3. Jones C. Assessment and control of software risks. Prentice-Hall, 1994. 4. <http://www.tcl.tk>.

УДК 681.3

ВАРИАНТ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ В ТОЧКЕ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПОНЕНТЫ

Тютюнов Д.Н., канд. техн. наук, Бойцова Е.А., канд. техн. наук,
Корольков О.Ф., канд. техн. наук, Усикова Н.Ю., канд. техн. наук,
Евдокимов А.Н. (г. Курск, Россия)

Variant of calculation of logarithmic function in a point with the help exhibitors.

В настоящее время значительно возросла роль микропроцессорного сопровождения и управления технологическим циклом.

Наиболее актуальна эта проблема в робототехнике, станках ЧПУ, системах навигации, наведения, задачах прикладной механики и электротехники.

Главенствующую роль при этом занимают функциональные преобразования и задачи интерполяции функций на заданном интервале. В этом случае важно достичь максимальной точности вычислений и простоты алгоритмов, их обеспечивающих, что позволяет значительно экономить время вычислительных операций и предельно сократить аппаратные затраты [2].

Существующие методы быстрых вычислений («цифра за цифрой», табличный, полиномиальный, цепных дробей и т.п.) не позволяют получить данной производительности АУ [1].

Предлагаемый таблично-симметричный метод включает в себя элементы табличного метода и свойство симметрии графиков прямой функции $f(x)$ и обратной функции $f^{-1}(x)$ относительно биссектрисы $y = x$ 1-го и 2-го координатных углов для функций shx и chx .

Вычисления будем проводить на положительной полуоси, учитывая, что shx и $arshx$ – нечетные функции, chx – четная функция, $archx$ – ни четная, ни нечетная функция с интервалом нормировки [1;2], т.к. $archx$ определена на интервале $[1; \infty)$.

Рассмотрим графики взаимнообратных зависимостей shx и $arshx$ (рис.1). В качестве интервала нормировки выберем отрезок $[0;1]$. Зададим произвольное значение аргумента $\bar{x} \in [0;1]$. Для вычисления $arsh\bar{x}$ найдем $x'_1 \in [0;1]$ такое, что

$$shx'_1 = \bar{x}, \quad (1)$$

тогда, исходя из определения функции $arshx$, следует:

$$arsh\bar{x} = x'_1. \quad (2)$$

Выберем из ПЗУ ближайшее значение аргумента $x_1 \leq \bar{x}$ такое, что:

$$shx_1 \leq \bar{x}. \quad (3)$$

Из графика на рис.1 следует, что если:

$$shx_1 = \bar{x}, \quad (4)$$

то задача решена, в противном случае – рассмотрим разность:

$$\Delta x = x'_1 - x_1, \quad (5)$$

тогда

$$shx'_1 = sh(x_1 + \Delta x). \quad (6)$$

Из (1) следует:

$$\bar{x} = shx'_1 = sh(x_1 + \Delta x) = shx_1 + chx_1 \Delta x, \quad (7)$$

т.е. из (7) следует:

$$\Delta x = (\bar{x} - shx_1) \cdot \frac{1}{chx_1} = \bar{x} \cdot \frac{1}{chx_1} - thx_1. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (2) учитывая (5), получим

$$arsh\bar{x} = x'_1 = x_1 + \Delta x = x_1 + \bar{x} \cdot \frac{1}{chx_1} - thx_1. \quad (9)$$

Учитывая, что

$$\frac{1}{chx_1} = sech x_1, \quad (10)$$

и имея в ПЗУ набор табличных значений x_1 , $sech x_1$, thx_1 , вычислим $arsh\bar{x}$ по формуле:

$$arsh\bar{x} = x_1 - thx_1 + \bar{x} \cdot sech x_1. \quad (11)$$

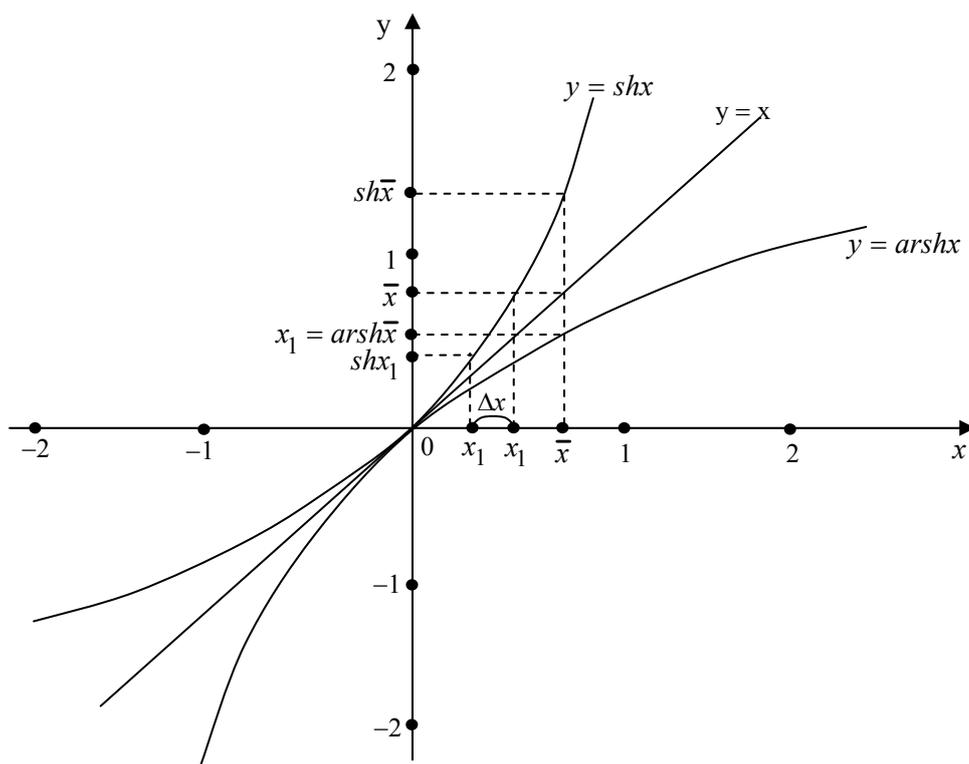


Рис.1.

Операцию по вычислениям (11) можно ускорить, вычисляя параллельно фрагменты $x_1 - thx_1$ и $\bar{x} \cdot sech x_1$ (разность $x_1 - thx_1$ и величины $sech x_1$ можно хранить в ПЗУ, тогда процесс (11) можно не распараллеливать). Далее операция завершится суммированием этих фрагментов.

Рассуждая аналогично, мы получим рабочую формулу для вычисления функции $arsh\bar{x}$, учитывая, что интервал нормировки этой функции включает

значения аргумента $\bar{x} \in [1; 2]$ (рис.2)

$$arch\bar{x} = x_1 - cthx_1 + \bar{x} / shx_1. \quad (12)$$

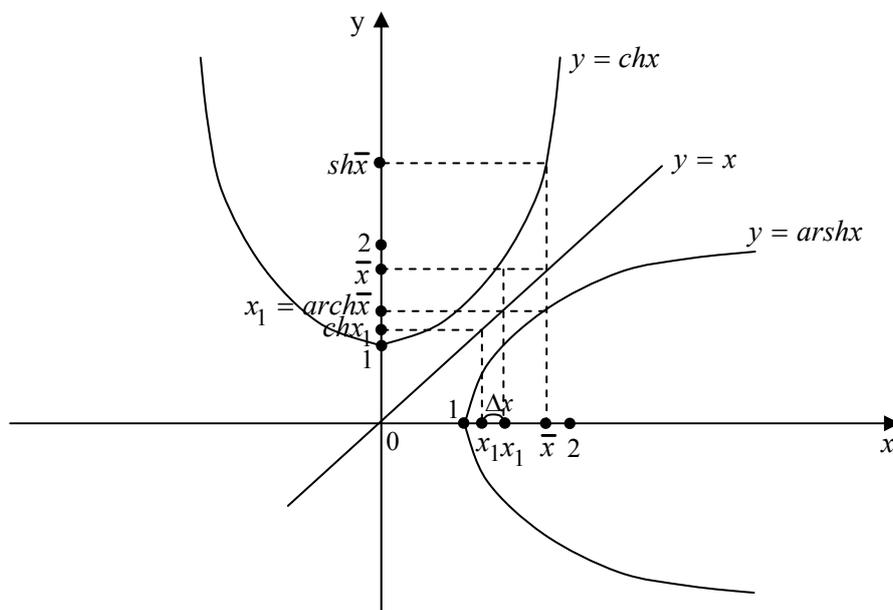


Рис.2.

Учитывая, что

$$\frac{1}{shx_1} = cshx_1, \quad (13)$$

имеем

$$arch\bar{x} = x_1 - cthx_1 + \bar{x}cshx_1. \quad (14)$$

По аналогии с $arsh\bar{x}$ процесс вычисления $arch\bar{x}$ также можно распараллелить за счет вычисления фрагментов $x_1 - ctgx_1$ и $\bar{x}cshx_1$.

Если $\bar{x} > 2$, то расчет $arch\bar{x}$ ведется по формуле (14) с расширением набора констант в ПЗУ для интервала, в которой попадает \bar{x} . Это могут быть отрезки [2;3], [3;4] и т.д. Рабочий интервал выбирает заказчик. В соответствии с выбором пропорционально возрастает объем ПЗУ.

Ниже приведем значения функции $arsh\bar{x}$ и $arch\bar{x}$ (табл.1 и 2) в нескольких точках оси Ox с точностью $\varepsilon = 10^{-8}$.

Таблица 1

\bar{x}	x_1	thx_1	$\frac{1}{chx_1}$	$arsh\bar{x}$	
				Табл.	Расч.
0,314526981764	0,30950000	0,299982160070	0,95394481163	0,30955913592	0,30955913644
0,675218274179	0,63220000	0,62165621668	0,78329020691	0,63224643863	0,6322464392
1	0,88130000	0,70706998576	0,70714357469	0,88137358701	0,88137358893

Таблица 2

\bar{x}	x_1	thx_1	$\frac{1}{shx_1}$	$arch\bar{x}$	
				Табл.	Расч.
1,1	0,44350000	2,40072186673	2,18253647883	0,44356825438	0,44356825997
1,5	0,96240000	1,34165970719	0,89445557179	0,96242365011	0,96242365049
2	1,31690000	1,15471983864	0,57738886875	1,31695789692	1,31695789886

Общее время вычислений функций $arshx$ и $archx$ определяется формулой

$$t' = t_c + t_y + t_{\pm}, \quad (15)$$

где t_c – время суммирования; t_o – время умножения; t_{\pm} – время чтения из ПЗУ.

Литература: 1. Байков, В.Д. Специализированные процессоры: итерационные алгоритмы и структуры [Текст] / В.Д.Байков, В.Б.Смолов. М.Радио и связь, 1985. 288 с. 2. Вычисление гиперболических функций $sh(x)$, $ch(x)$ методом Δ -приближений [Текст]: [Текст] / В.М.Довгаль, Малыхин В.В., Д.Н.Тютюнов, Евдокимов А.Н., Овсянников О.И.// Сборник материалов XII Международной научно-технической конференции «Физические и компьютерные технологии», г. Харьков, 2006.

УДК 621.81

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО УЗЛА СОЕДИНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВИБРОСТЕНДА

Пучков С.Ю. (г.Харьков, Украина)

The robustness characteristics of a hydrostatic assembly joint were investigated for different thickness of the oil layer.

Уровни воспроизводимых вибронагрузок W , диапазон рабочих частот пространственного вибростенда определяются в значительной степени амплитудно-фазо-частотными характеристиками его узлов соединения, важнейшим параметром которых является характеристика жесткости C , рассчитываемая по выражению

$$C = \frac{dW}{dh}, \quad (1)$$

где

$$W = 2FP_c K_w \Delta \beta; \quad (2)$$

h - изменение толщины Δ масляного слоя при $W \neq 0$; $h_0 = \Delta$ при $W=0$; F - площадь рабочей поверхности; P_c –давление рабочей жидкости в системе питания; K_w - коэффициент нагрузки; $\Delta \beta$ - изменение относительного давления при $W \neq 0$.

Выразим в (2) изменение относительного давления $\Delta \beta$ через изменение h толщины Δ слоя масла узла соединения. Для этого воспользуемся условием неразрывности слоя смазочного материала для узла соединения гидростатического принципа действия, которое описывается в соответствии с результатами работ [1,2] уравнением

$$\frac{\beta + \Delta \beta}{\beta} \left(\frac{h_0 - h}{h_0} \right)^3 = \left(\frac{1 - \beta - \Delta \beta}{1 - \beta} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

где $h_0 = \Delta$.

Приведем уравнение (3) к виду

$$\frac{(\beta + \Delta \beta)^2}{\beta^2} \left(\frac{h_0 - h}{h_0} \right)^6 = \frac{1 - \beta - \Delta \beta}{1 - \beta}.$$

Обозначив $1 - \beta = m$ и $\left(\frac{h_0 - h}{h_0}\right)^6 = \left(1 - \frac{h}{h_0}\right)^6 = n$, получим

$$\frac{(\beta + \Delta\beta)^2}{\beta^2} \cdot n = \frac{m - \Delta\beta}{m} = 1 - \frac{\Delta\beta}{m} \quad (4)$$

или

$$\Delta\beta^2 + 2\beta \cdot \Delta\beta + \beta^2 = \frac{1}{n}\beta^2 - \Delta\beta \frac{\beta^2}{mn}. \quad (5)$$

Обозначим $\alpha\beta + \frac{\beta^2}{mn} = k$ и $\beta^2 - \frac{\beta^2}{n} = p$, тогда выражение (5) примет вид

$$\Delta\beta^2 + \Delta\beta \cdot k + p = 0. \quad (6)$$

Приемлемым для нас решением уравнения (6), учитывая, что при $h \neq 0$ всегда выполняется условие $p < 0$, будет значение

$$\Delta\beta = -\frac{k}{2} + \sqrt{\frac{k^2}{4} - p} > 0.$$

Подставим полученное для $\Delta\beta$ выражение в (1), тогда

$$C = \frac{dW}{dh} = \frac{d(a \cdot \Delta\beta)}{dh} = a \left[\left(\frac{\partial(\Delta\beta)}{\partial k} \cdot \frac{\partial k}{\partial n} \cdot \frac{\partial n}{\partial h} \right) \Bigg|_{h=0} h + \left(\frac{\partial(\Delta\beta)}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial n} \cdot \frac{\partial n}{\partial h} \right) \Bigg|_{h=0} h \right], \quad (7)$$

где $a = 2F \cdot P_c \cdot K_W$.

После соответствующих дифференциальных и алгебраических преобразований окончательно получим

$$C = 6FP_c K_W \frac{h}{h_0} \frac{\beta^2}{(1 - h/h_0)^7} \left[\frac{1}{4} \frac{(2\beta(1 - \beta)(1 - h/h_0)^6 + \beta^2)^2}{(1 - \beta)(1 - h/h_0)^6} - \frac{\beta^2 \left(1 - \frac{1}{(1 - h/h_0)^6}\right)^{-1/2} \left[(1 - \beta) \cdot (1 - h/h_0)^6 + 1\right]}{(1 - \beta)^2 (1 - h/h_0)^6} \right]. \quad (8)$$

Выражение (8) устанавливает зависимость жесткости C масляного слоя от значений площади F рабочей поверхности узла соединения, давление P_c масла в системе, коэффициента K_W нагрузки, относительного давления $\beta = P_0/P_c$ в камерах и изменения h толщины $h_0 = \Delta$ масляного слоя при $W \neq 0$.

Рассчитанные в соответствии с выражением (8) характеристики жесткости двухступенного гидростатического узла соединения позволяют установить и оценить влияние значений относительного давления β для заданных значений рабочего зазора $h_0 = \Delta$ на жесткость узла соединения.

На основании этих характеристик могут быть выбраны геометрические параметры узлов соединения.

Зависимости $C(h_0, \beta)$ были использованы при создании трехкоординатного поступательного электродинамического вибростенда гидростатического принципа действия. Полученная зависимость (8) удовлетворительно описывает жесткостную характеристику реального двухступенного гидростатического узла соединения и может быть применен в предварительных расчетах на стадии проектирования многокоординатного вибростенда.

Литература: 1. Рипел Г. Проектирование гидростатических подшипников.-М.: Машиностроение, 1967.- 145 с. 2 Пучков С.Ю. Высокоэффективные методы и средства испытаний объектов машиностроения на 'надежность, реализующие принцип пространственного виброн нагружения// Тез.докл.мждународ.науч.-техн. конф.,12-15сент. 1995 г., Севастополь-Донецк; ДГТУ, 1995.-с. 24-25.

УДК 519.859

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ КОМПОНОВКЕ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Чугай А.М., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

In the paper problem statement of space-planning designing of a machine hall of a power unit as a optimization geometrical designing problem is made. On the basis of a method of Φ -functions a mathematical model of optimization placement problem of spherocylinders into a prism with account given shortest distances is built and its peculiarities are investigated. A method of problem solution is developed.

Введение

Одним из основных факторов, которые оказывают существенное влияние на ускорение научно-технического прогресса, является широкое применение вычислительной техники и методов математического моделирования. Важным классом задач, которые требуют первоочередного решения, являются задачи, связанные с моделированием и автоматизацией процессов проектирования различных технических систем и устройств. В разных областях народного хозяйства возникают оптимизационные задачи, связанные с размещением трехмерных геометрических объектов в заданных областях. Такие задачи имеют большое как теоретическое, так и прикладное значение. Оптимизационные задачи размещения трехмерных геометрических объектов имеют широкое применение в энергетическом машиностроении, например при проектировании машинных залов электростанций, при разработке аппаратурно-технологической компоновки. Задача объемно-планировочного проектирования машинного зала энергоблока заключается в выборе такого расположения элементов машинного зала, которое позволило бы свести к минимуму затраты на его строительство и эксплуатацию, удовлетворить правилам безопасности, максимально снизить потери мощности в различных устройствах связи. Учет всех требований и ограничений при объемно-планировочном проектировании ставит проектировщика в очень сложные условия. Решение этой задачи

производится чисто эвристическими методами, при которых выбор варианта ограничивается проектированием только нескольких, сравнительно выгодных вариантов. Тем не менее, проектирование энергоблоков достаточно высоко развито, и дальнейшее его улучшение возможно только на пути привлечения математических методов.

Инженерно-технические агрегаты машинного зала энергоблока с определенной степенью точности могут быть представлены как параллелепипеды, цилиндры, или как тела, составленные из набора цилиндров и сфер. Положение каждого такого тела в пространстве машинного зала определяется значениями координат полюса тела. Вся совокупность координат является множеством переменных задачи. Недопустимость взаимного пересечения агрегатов, необходимость в определенных промежутках между парами устройств – все эти требования, накладывающие ограничения на значения переменных, должны быть выражены в виде соответствующих функциональных зависимостей между переменными.

Постановка задачи. В данной работе рассматривается следующая оптимизационная задача геометрического проектирования. Заданы различные сфероцилиндры и призма. Высота призмы является переменной. Сфероцилиндрами в задаче названы объекты, образованные объединением цилиндра с двумя сферическими сегментами. Высота сферических сегментов может принимать значения от нуля до величины радиуса цилиндра. Заданием соответствующих метрических характеристик сфероцилиндры могут быть преобразованы к сферам, цилиндрам, и объектам специального вида. Кроме того, заданы технологические ограничения на размещение объектов в виде минимально допустимых расстояний между каждой парой сфероцилиндров, и минимально допустимых расстояний, между каждым сфероцилиндром, и каждой гранью призмы.

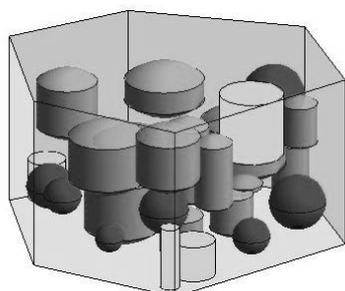


Рис.1. Постановка задачи.

Необходимо разместить заданные объекты в призму таким образом, чтобы высота занятой части призмы была минимальной (рис.1).

Математическая модель задачи. Математическая модель задачи строится на основе нормализованных Φ -функций, которые рассмотрены в работах профессоров Ю.Г. Стояна [1], Н.И. Гиля, Т.Е. Романовой. Нормализованная Φ -функция равна нулю, если объекты касаются, меньше нуля, если пересекаются и равна расстоянию между объектами, если объекты не имеют общих точек. Для описания взаимодействия между размещаемыми объектами построена нормализованная Φ -функция для двух сфероцилиндров. На основании построенной Φ -функции построена математическая модель задачи и исследованы ее основные свойства.

Следует отметить, что рассматриваемая задача является многоэкстремальной и NP-трудной. Область допустимых решений можно представить в виде объединения подобластей, каждая из которых формируется линейными и нелинейными ограничениями. Такое представление области

допустимых решений теоретически позволяет решать задачу в виде последовательности задач нелинейного программирования. Однако, вследствие того, что задача является NP-трудной, в настоящее время не существует эффективного метода нахождения глобального минимума такой задачи. Поэтому для решения задачи необходимо разработать метод решения, основанный на комбинации как приближенных, так и точных оптимизационных методов, что может значительно улучшить окончательный результат.

Метод решения задачи. Для решения поставленной оптимизационной задачи разработан метод решения, который позволяет быстро формировать начальные точки из области допустимых решений, осуществить их направленный перебор и определить локальные минимумы задачи. Метод решения заключается в следующем. В соответствии с модифицированным методом сужающихся окрестностей [2] генерируются последовательности размещаемых объектов. Для быстрого получения начальных размещений объектов используется метод оптимизации по группам переменных, основанный на представлении объектов в виде объединения элементарных параллелепипедов [3]. Специальным образом формируется некоторое множество точек из области допустимых решений. Каждая точка из сформированного множества берется в качестве начальной точки для поиска локальных минимумов поставленной задачи в соответствии с модифицированным методом возможных направлений. В качестве некоторого приближения к глобальному минимуму поставленной задачи принимается наименьший найденный локальный минимум.

Литература: 1. Stoyan Yu. G. Φ -function and its basic properties// Докл. АН Украины. Сер. А. - 2001. - № 8. - С. 112-117. 2. Стоян Ю.Г., Соколовский В.З. Решение некоторых многоэкстремальных задач методом сужающихся окрестностей. – Киев: Наук. думка, 1980. - 208 с. 3. Stoyan Yu., Gil' N., Pankratov A., Scheithauer G. Packing of non-convex polytopes into a parallelepiped: Prepr./ Technische Univarsitat Dresden; MATH-NM-06-2004. Dresden. June 2004. 27 p.

УДК 621.81

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МАШИН

Проволоцкий А.Е., докт. техн.наук, **Кадильникова Т.М.,** канд.техн. наук
(г.Днепропетровск, Украина)

The technique of technical diagnosing of machines on the basis of the theory of pattern recognition is offered.

Техническое диагностирование машин осуществляется с целью определения технического состояния машин и отдельных механизмов; выявления целесообразности, условий и сроков безопасной эксплуатации с учетом фактического режима работы, а также необходимости проведения ремонтов, реконструкции или прекращения эксплуатации в случаях:

- 1) после нормативного срока эксплуатации;
- 2) перед проведением реконструкции;

- 3) в случае аварии или повреждения, вызванного чрезвычайной ситуацией природного или техногенного характера, с целью определения возможного восстановления;
- 4) в случае выявления в процессе эксплуатации и проведения технического осмотра износа (механического или коррозионного), остаточных деформаций, трещин и других повреждений составных частей, деталей или их элементов;
- 5) в других случаях соответственно требованиям нормативно-правовых актов охраны труда или по инициативе субъекта хозяйствования.

Нормативным сроком эксплуатации считается срок службы, назначенный в техническом паспорте машины. Количество актов технического освидетельствования не ограничивается и определяется фактическим состоянием машины.

Организация работ по проведению технического диагностирования машин включает построение информационной модели машины. Информационная модель представляет собой базу данных, состоящую из эксплуатационной, конструкторской, ремонтной и другой документации. В информационную модель входят паспорт машины, техническое описание (чертежи основных составных частей и деталей, которые быстро изнашиваются); акты приемки к эксплуатации после первичной сборки или капитального ремонта; материалы предыдущих технических освидетельствований; а также протоколы проверки электрооборудования [1].

Строится динамическая модель конкретной машины и исследуются условия эксплуатации с целью определения мест контроля и режимов работы. Выбираются технические средства для технического освидетельствования; исследуется наличие стабильных с точки зрения работоспособности параметров машины; определяются быстроизменяющиеся параметры и состав измерительного комплекса по их фиксации.

Строится алгоритмическая модель диагностирования, которая усложняется или упрощается в зависимости от условий эксплуатации. С помощью сеток Петри формируется граф состояния машины и определяется для различных условий эксплуатации ограниченное, с точки зрения информативности, множество диагностических параметров [2].

Для диагностических параметров строятся эталонные поверхности (на основе данных информационной модели), соответствующие нормальному или оптимальному функционированию, и поверхности текущего состояния, постоянно меняющиеся с течением времени в процессе мониторинговой диагностики.

При исследовании поверхностей в качестве меры близости можно применять среднеквадратичное евклидово расстояние между точками состояний W и W_* n -мерного признакового пространства:

$$L(W, W_*) = \left[\frac{1}{K_q} \sum_{S=1}^{K_q} (U_j - U_{sj}^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

где K_q – количество состояний W_* ; U_{sj}^* – признаки состояния W_* .

Эталонный вектор принимается в виде:

$$\vec{V} = \left\{ \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l v_{k1}, \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l v_{k2}, \dots, \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l v_{kn} \right\}.$$

Распознавание состояния, заданного вектором $\vec{U} = \{u_1^0; u_2^0; \dots; u_n^0\}$, осуществляется оценкой расстояний между векторами \vec{U} и \vec{V} и отнесением к соответствующему классу состояний W_i , т.е. задача сводится к нахождению минимума функционала

$$F(u, v) = \sqrt{\left(\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l v_{k1} - u_1^0 \right)^2 + \left(\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l v_{k2} - u_2^0 \right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{l} \sum_{k=1}^l v_{kn} - u_n^0 \right)^2}$$

при следующих ограничениях: $|U_j - V_j| < \rho_j$, где ρ_j – радиус сферы, в которую должна попадать точка U_j в признаковом пространстве для отнесения ее к j -му классу [3].

Область (сфера) диагноза W_j с радиусом ρ_j должна быть выбрана таким образом, чтобы она включала с некоторым запасом, как все точки признакового пространства, так и координаты эталонного вектора.

Максимум сходства достигается при выполнении условия:

$$\left(\sum_{j=1}^n u_j^0 \cdot v_j \right)^2 = \sum_{j=1}^n (u_j^0)^2 \cdot \sum_{j=1}^n (v_j)^2 + \alpha(u_j^0, v_j),$$

где $\alpha(u_j^0, v_j)$ – бесконечно малая функция, определяемая погрешностью измерений фактических параметров технического состояния машины комплексом контрольно-измерительной аппаратуры (ККРА).

На основе математической теории распознавания образов происходит сравнение эталонной поверхности и поверхности состояния и ставится диагноз, определяющий дальнейшую эксплуатацию машины.

Реальное техническое состояние машины оценивается по результатам сравнения поверхностей, а прогнозирование изменения диагностических параметров позволяет определить сроки безопасной эксплуатации до появления признаков резкого снижения надежности.

Пусть изменение главных диагностических параметров машин на временном интервале T мониторингового исследования может быть представлено моделью вида:

$$y(t) = a^T \cdot u(t) + h(t), \quad t \in T,$$

где $a^T = \{a_j\}_{j=0}^n$ – набор случайных коэффициентов; $u(t) = \{u_j(t)\}_{j=0}^n$ – непрерывные детерминированные функции, характеризующие изменение главных

диагностических параметров машины во времени; $h(t)$ – ошибка модели, определяемая как функция погрешности диагностирования.

Предположим, что возможен непрерывный контроль $y(t)$, в результате которого получена реализация $z(t)$ на интервале $T_p \subset T$:

$$z(t) - c(t) \leq y(t) \leq z(t) + c(t), \quad t \in T_p \subset T.$$

Если функции $y(t)$ образуют на интервале T систему Чебышева, то максимальными реализациями будут экстремальные полиномы Карлина $y(t)^-$ и $y(t)^+$ [4]. Кривые $y(t)^-$ и $y(t)^+$ образуют для $t \in T$, конус прогноза, в котором гарантированно находится действительная реализация процесса диагностирования.

Пусть работоспособность машины определяется состоянием контролируемого дискретного выходного параметра $y(t)$. В общей форме условие работоспособности имеет вид:

$$A(t) \leq y(t) \leq B(t),$$

где $A(t)$ и $B(t)$ – соответственно нижняя и верхняя границы допустимых изменений параметров. Необходимо определить моменты контроля и коррекции параметра, при которых гарантируется его нахождение в области допустимых значений (выполнение условий работоспособности) в течение времени эксплуатации $[0; T]$. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы число контрольных замеров и коррекции было по возможности минимальным.

Согласно [4], если функционал ограничен на множестве и принимает постоянный знак при любых аргументах, то локальные экстремумы функционала достигаются на множестве функций распределения.

Если условия теоремы выполняются для каждого из её параметров, то функционал имеет единственное решение, определяющее предотказное состояние системы.

Пусть по результатам p контрольных изменений строятся экстремальные реализации $y^-(t)$ и $y^+(t)$, $t \in T_p$. Пересечения экстремальных реализаций с границами области допустимых значений параметра $A(t)$ и $B(t)$ определит моменты времени T_A и T_B , минимальный из которых целесообразно принять за момент очередного $(p+1)$ -го контроля:

$$t_{p+1} = \min\{T_A, T_B\}.$$

Моменты времени T_A и T_B находятся решением уравнений:

$$y(t)^- = A(t) \quad \text{и} \quad y(t)^+ = B(t).$$

В момент времени t_{p+1} выполняется очередное измерение параметра, результат которого z_{p+1} используется для расчётов параметров новых экстремальных реализаций. Определяется очередной промежуток времени, в течение которого параметр не выйдет за допустимые пределы. Если этот промежуток окажется меньше некоторого, наперёд заданного, минимально целесообразного времени эксплуатации $t^{min}(t_{p+2} - t_{p+1}(t^{min}))$, то в момент времени t_{p+1} следует произвести профилактическую коррекцию параметров $y(t)$.

Для пополнения базы данных информационной модели рекомендуется профилактическую коррекцию проводить не только для параметра, достигшего

граничного состояния, а и для других параметров, проведя при этом полное техническое обследование машины и выбор главных диагностических параметров. Эти меры повышают точность диагностирования путем увеличения количества точек для последующего построения функций состояния.

Если база данных содержит обширную информацию об изменении диагностических параметров, то профилактическую коррекцию можно проводить только для параметра достигшего граничного значения.

Литература: 1. Кадильникова Т.М. Информационная модель системы мониторинга машин. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Выпуск 29. Донецк – 2005.- С.99-104. 2. Проволоцкий А.Е., Кадильникова Т.М., Маймур Я.С. Формирование диагностических признаков технического состояния объектов. Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства. Випуск 42.-2006.- С.48-51. 3. Проволоцкий А.Е., Кадильникова Т.М. Распознавание технического состояния машин и формирование диагностических признаков. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Випуск 8.- Дніпропетровськ.-2004.- С.121-129. 4. Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А. Некоторые математические вопросы обслуживания сложных систем. М.- 1975.- 212 с.

УДК 621.923

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЛІГОНА ДЛЯ ПРИСКОРЕНИХ РЕСУРСНИХ ВИПРОБУВАНЬ МОБІЛЬНИХ МАШИН

Бажанов О.І., Дащенко О.Ф., докт. техн. наук,

Панкратов М.М., канд. техн. наук (м. Одеса, Україна)

Research of law of change of the voltage arising in mobile machines at accelerated tests on ground, depending on its parameters.

Для ресурсних випробувань мобільних машин створена велика кількість полігонів, але, не зважаючи на широке розповсюдження і велику ефективність даних методів до сьогодні не розроблені методики вибору параметрів і конструкцій полігонного обладнання.

На практиці прискорених ресурсних випробувань машин застосовуються два методи створення профілів нерівностей на треках полігонів:

- відтворення профілів вибраних типових ділянок доріг, вимірних в процесі експлуатації;
- розташування в різноманітних варіантах штучних перешкод на рівних поверхнях треків з твердим покриттям.

Стосовно до ресурсних випробувань несучих систем машин переважним є другий спосіб, при якому забезпечується менша вартість треків та більш високі коефіцієнти прискорених випробувань, ніж при першому. Критерієм правильності вибору режиму полігонних випробувань є збіг характеру і послідовності типових пошкоджень, що виникають при полігонних випробуваннях та в експлуатації [1]. Аналізом великого числа експериментальних даних [2] встановлено, що однією з основних причин виникнення при полігонних випробуваннях нетипових пошкоджень є неоптимальна форма штучних перешкод.

Мета цієї роботи - дослідження впливу параметрів перешкод (форми, розмірів, порядок розташування) на навантаженість несучої системи машини.

Виходячи з сучасних вимог до полігонів [2] перешкода повинна бути доцільною для прискорених випробувань машин різноманітних типів. Вибір розмірів і форми перешкоди проводиться на основі параметрів рядів розподілень нерівностей типових ділянок доріг, які зустрічаються в звичайних умовах експлуатації. Результати замірів нерівностей ділянок ґрунтової дороги з засохлими коліями та шосе з розбитим асфальтовим покриттям найбільш важкі умови експлуатації показали, що найбільш часто зустрічаються нерівності заввишки 100...160 мм. Враховуючи, що при прискорених випробуваннях відтворюють типові умови експлуатації, висота перешкод вибрана рівною 160 мм. Подальше підвищення висоти перешкоди приводить до збільшення напруженості і лобових навантажень при наїзді, викликаючи тим самим значне зростання нетипових пошкоджень.

Була розроблена конструкція перешкоди (рис. 1) з регульованою довжиною горизонтального майданчику. Перешкода складається із крайніх елементів з кутом нахилу 30° і 45° .

Загальна максимальна довжина штучної перешкоди складає 1100 мм, довжина верхньої горизонтальної площадки при повному наборі, крім проміжних елементів, дорівнює 800 мм. За розробленими кресленнями був виготовлений комплект штучних перешкод та встановлений на бетонному треку полігону.

Експерименти проведені на самохідному шасі Т-16М з номінальним навантаженням 4 т. Рух здійснювався по треку зі швидкістю 8 і 10,5 км/ч. Послідовність проведених експериментів була наступна. На початку здійснювався рух по штучних перешкодах з повним набором проміжних елементів, потім демонтувалось по одному проміжному елементу і знову проводився заїзд. Таким чином довжина горизонтальної площадки штучної перешкоди зменшувалась до 200 мм через кожні 150 мм. Тим часом реєструвалась сила, що сприймалася віссю колеса та напруги в рамі, в зоні кріплення вісі до рами. Для вимірювання вертикальних та горизонтальних навантажень була виготовлена спеціальна тензометрична вісь. Дослідження проводилось з використанням радіотелемагнітографічної лабораторії [2]. За результатами статичної обробки побудовані графіки навантажень (рис.1, рис. 2).

Аналізом експериментальних даних встановлено наступне.

1. Зміна довжини горизонтальної площини від 800 до 350 мм не склала суттєвого впливу на навантаженість ходової та несучої систем шасі причепа.
2. Найбільше збіг навантажень при полігонних випробуваннях та експлуатації виникає з довжиною горизонтальної площадки, рівної 500 мм і кутові в'їзду 30° .

В подальшому на треку полігона Інститута-полігона мобільних машин з перешкодами, виготовленими за схемою (рис.1), були проведені випробування різноманітних машин (самохідних шасі, причепів, автомобілів). При цьому вдалось шляхом зміни довжини горизонтальної площадки перешкоди, швидкості руху з кутом в'їзду 30° , оптимально змоделювати експлуатаційну навантаженість. Остання обставина забезпечила достатньо точне збіг експлуатаційних і полігонних пошкоджень.

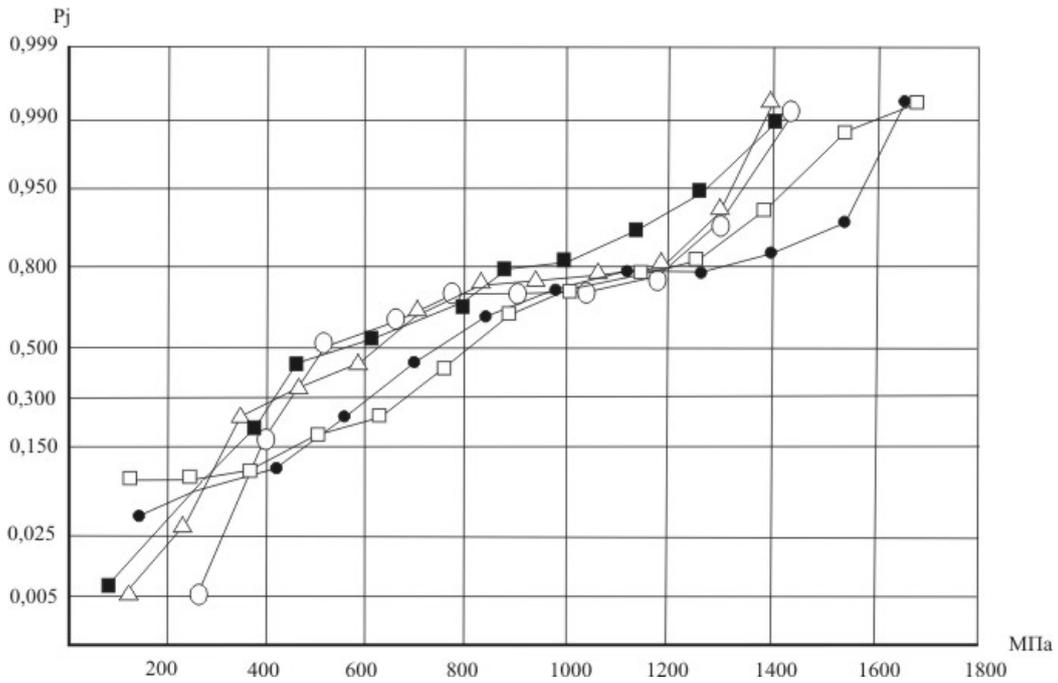


Рис.1. Перешкода з регульованою довжиною горизонтальної площадки.

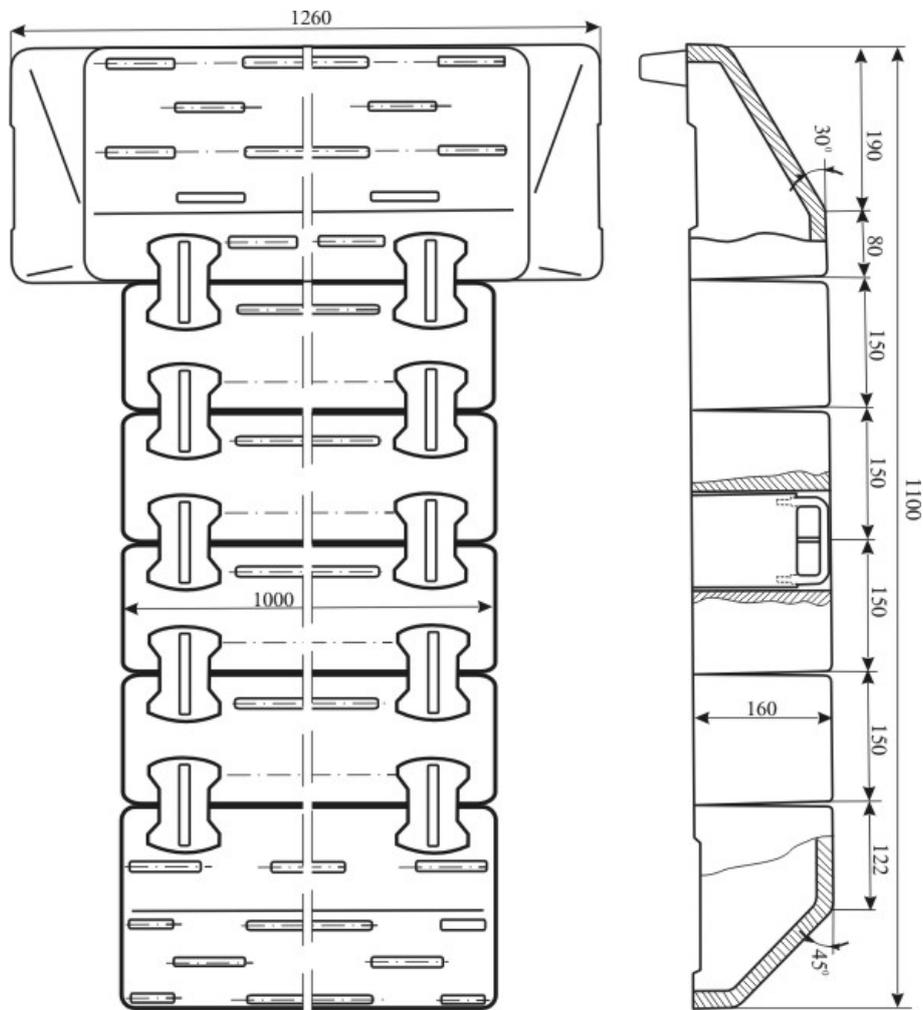


Рис.2. Графіки розподілення навантажень в залежності від швидкості руху самохідного шасі і величини кута в'їзду: \triangle — \triangle перешкода без елементів, $V=8$ км/г; \bullet — \bullet перешкода з 2 елементами, $V=10,5$ км/г; \bullet — \bullet перешкода з 3 елементами, $V=10,5$ км/г; \bullet — \bullet перешкода з 4 елементами, $V=10,5$ км/г; \bullet — \bullet експлуатація.

Висновки. Описана конструкція штучної перешкоди та методика зміни її параметрів дозволяють моделювати експлуатаційне навантаження мобільних машин при ресурсних випробуваннях.

Література: 1. Кучель Р.В. Испытания на надежность машин и их элементов. — М. Машиностроение, 1982. — 180 с. 2. Панкратов Н.М., Боровский Н.Д. Ускоренные испытания мобильных машин и их элементов. — Одесса: Черноморье, 1998. — 196 с.

УДК 621.432

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ В ПРИВОДЕ ТУРБОНАДДУВА С ГИДРООБЪЕМНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ ТИПА 6ТД

Шатохин В.М., докт. техн. наук, **Зайцев А.И.**, докт. фарм. наук,
Шаповалов А.В., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

Complex mathematical model for dynamic processes studying under transient behaviours in turbocharging driving gear diesel engine 6TD with hydrovolumetric transmission and differential mechanism is built. It takes into account moment characteristics of turbine and compressor, elasticity of connective shaft, external and operating influences. Results of design-experiment investigations are cited.

Введение. Одним из перспективных направлений по совершенствованию транспортных двигателей использование гидрообъемных передач (ГОП). Главное достоинство этих устройств состоит в возможности плавного изменения передаточного отношения между источником и потребителем мощности, благодаря чему, в частности, может быть достигнуто расширение зоны устойчивой работы дизелей посредством введения гидрообъемных машин (ГОМ) в привод компрессора. Особый интерес представляет применение аксиально-поршневые ГОМ как обладающих наилучшими габаритно-весовыми характеристиками [1]. Как показал опыт доводки и эксплуатации дизелей 6ТД с указанными устройствами, на характерных установившихся и переходных режимах возникали опасные динамические процессы, обусловленные взаимодействием крутильных колебаний и гидродинамических процессов. Наблюдалось срабатывание предохранительного клапана в магистрали высокого давления, имел место чрезмерный износ опорных поверхностей, башмаков, отрывы башмаков от поверхностей, что практически приводило к преждевременному выходу из строя ГОП. Отсутствие или несовершенство расчетных моделей затрудняет доводку разработанных и проектирование новых двигателей с указанными устройствами в приводе компрессора. Достоверное исследование динамических процессов в приводах с ГОП невозможно без выбора рациональных моделей последних и их корректировки, так как наличие дифференциальных механизмов может порождать как прямой, так и обратный потоки мощности, проходящие через ГОП.

В статье построена комплексная математическая модель, которая позволяет исследовать динамические процессы при переходных режимах в гидромеханическом приводе с дифференциальным механизмом и ГОМ, учитывает моментные характеристики турбины и компрессора, упругость соединительных

валов, внешние и управляющие воздействия.

1. Математическая модель ГОП. В данной статье использована модель ГОП, подробно описанная в работе [2]. Важным ее достоинством является то, что при наличии дифференциального механизма в приводе она позволяет учесть изменение направления потока мощности, проходящего через гидрообъемные машины. Насос и мотор при этом обмениваются своими функциями. Соответствующая система уравнений имеет вид

$$\left. \begin{aligned} I_H \ddot{\vartheta}_H &= Q_H + M_{жн}; & I_M \ddot{\vartheta}_M &= Q_M + M_{жм}; \\ k_{упр} \frac{d(\Delta p)}{dt} + k_{п} \Delta p + q_H e_H \dot{\vartheta}_H + q_M e_M \dot{\vartheta}_M &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где I_H , I_M – моменты инерции роторов насоса и мотора; Q_H , Q_M – обобщенные силы, действующие на насос и мотор; $M_{жн} = q_H e_H \Delta p - k_{г.н} \dot{\vartheta}_H$, $M_{жм} = q_M e_M \Delta p - k_{г.м} \dot{\vartheta}_M$ – моменты, действующие на насос и мотор со стороны жидкости.

Последнее уравнение (1) представляет собой уравнение неразрывности потока жидкости в магистралях ГОП [3]. К указанным уравнениям необходимо добавить уравнения, описывающие динамику механической части привода. Связь между уравнениями осуществляется через обобщенные силы Q_H и Q_M .

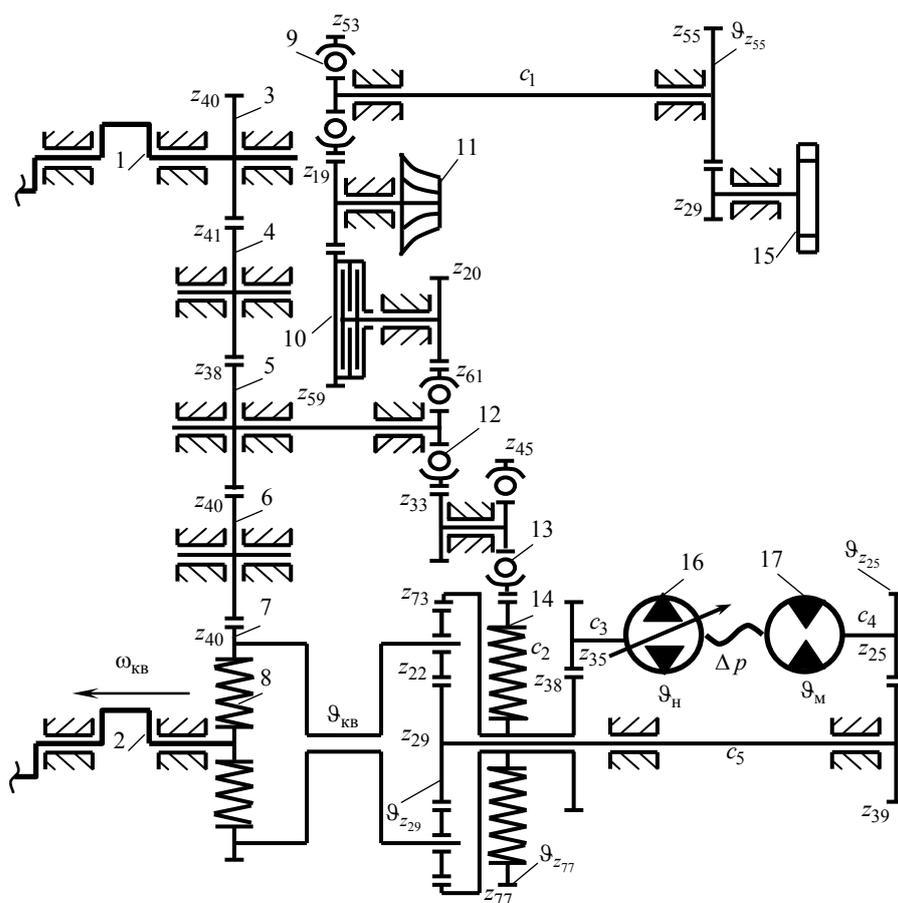


Рис. 1. Кинематическая схема привода турбонадува с ГОП.

2. Модель привода и ее параметры. На рис. 1 представлена кинематическая схема привода к компрессору. Приняты следующие обозначения: 1, 2 –

выпускной и впускной коленчатые валы; 3÷7 – шестерни главной передачи; 8 – упругая муфта на выпускном валу; 9, 12, 13 – обгонные муфты; 10 – фрикционные муфты; 11 – ротор компрессора; 14 – упругая муфта в приводе компрессора; 15 – ротор турбины; 16, 17 – гидронасос и гидромотор. Для шестерен используется обозначение z_i , где индекс i указывает на число ее зубьев.

Переходные режимы в исследуемом приводе возникают вследствие изменения скорости коленчатого вала двигателя и соответствующих изменений угла наклона шайбы гидронасоса. В проведенных исследованиях полной модели машинного агрегата с ДВС установлено, что значения собственных частот, формируемых в основном упруго-инерционными элементами привода к турбине и компрессору, существенно меньше значений частот, определяемых коленчатыми валами и главной передачей. Так как, кроме того, на долю привода приходится относительно небольшая доля мощности двигателя, то при исследовании переходных режимов в нем принят кинематический способ возбуждения, когда задается закон изменения угловой скорости коленчатого вала $\omega_{\text{КВ}}(t) = \dot{\vartheta}_{\text{КВ}}(t)$.

На первом этапе в этом случае для расчетов необходимы следующие параметры: коэффициенты жесткости валов $c_1 = 0,895 \cdot 10^3 \text{ Нм}$, $c_3 = 2,257 \cdot 10^4 \text{ Нм}$, $c_4 = 2,256 \cdot 10^4 \text{ Нм}$, $c_5 = 3,9 \cdot 10^3 \text{ Нм}$; жесткость податливого участка нелинейной упругой муфты с предварительным натягом $c_2 = 1,0 \cdot 10^4 \text{ Нм}$. Характеристика муфты показана на рис. 2, где $M_0 = 107,3 \text{ Нм}$ – момент предварительного натяга; $d = 0,0029 \text{ рад}$ – величина податливого участка (жесткость упоров на много порядков превосходит c_2 , поэтому она принималась равной бесконечности).

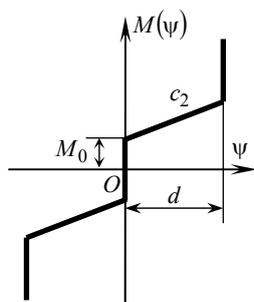


Рис. 2. Характеристика нелинейной муфты.

Значения моментов инерции узлов и шестерен привода указаны в табл. В данном исследовании обгонные муфты 9, 13 принимались замкнутыми, 12 – разомкнутой (наиболее характерная ситуация), поэтому в моменты инерции I_9 , I_{13} включены моменты инерции шестерен соответственно $I_{z_{53}}$, $I_{z_{45}} + I_{z_{33}}$, момент инерции I_{12} включает момент инерции внешней обоймы муфты и шестерни $I_{z_{61}}$. В момент инерции фрикционной муфты I_{10} , компрессора I_{11} и турбины I_{15} включены соответственно моменты инерции шестерен $I_{z_{59}} + I_{z_{20}}$, $I_{z_{19}}$, $I_{z_{29}}$, момент инерции эпицикла $I_{z_{38z_{73}}}$ включает момент инерции ступицы упругой муфты I_{14} .

Для задания величины крутящего момента, развиваемого турбиной, использовались экспериментальные данные стационарных режимов работы дизеля. На рис. 3 черными кружками показаны значения мощности турбины холостого хода, 100% мощности двигателя на режимах максимального момента ($n_{\text{КВ}} = 2000 \text{ мин}^{-1}$) и максимальной мощности ($n_{\text{КВ}} = 2800 \text{ мин}^{-1}$). Для обоих ре-

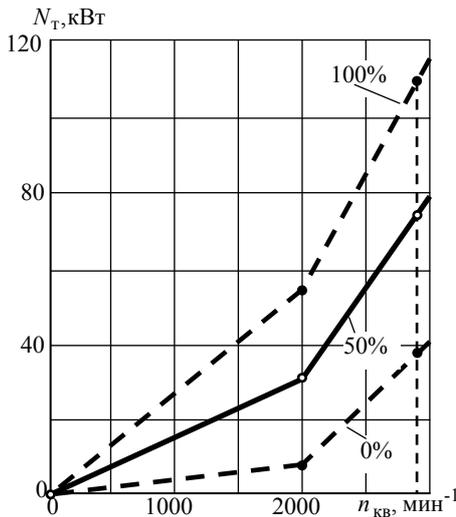


Рис. 3. Характеристика турбины.

жимов в качестве третьей точки использована точка с координатами $n_{кв} = 0$, $N_T = 0$. Рабочая характеристика турбины на заданном режиме строится путем пропорционального деления отрезков между соответствующими точками указанных предельных характеристик (показаны пунктиром). На рис. 3 такая характеристика для 50% мощности двигателя показана сплошной линией. По этим данным момент турбины определялся с учетом того, что передаточное отношение $n_T/n_{кв} = 7,88$.

Для момента сопротивления на роторе компрессора имеет место зависимость $M_K = \alpha_K \omega_K^2$ (α_K – коэффициент пропорциональности, экспериментальное значение которого $1,356 \cdot 10^{-6}$ Нмс²).

Параметры гидромашин имеют следующие значения:
 $k_{упр} = 3,47 \cdot 10^{-14}$ Н⁻¹м⁵, $q_H = q_M = 5,3 \cdot 10^{-6}$ м³, $p_{max} = 21$ МПа,
 $k_{п} = 1,767 \cdot 10^{-11}$ м⁵Н⁻¹с⁻¹, $k_{Г.Н} = k_{Г.М} = 0,016$ Нмс, $\gamma_M = \gamma_{H_{max}} = \gamma_{M_{max}} = 18^\circ$,
 $-\gamma_{H_{max}} \leq \gamma_H \leq \gamma_{H_{max}}$ ($-1 \leq e_H \leq 1$, $e_M = 1$).

Таблица

Моменты инерции

	Обозначение элемента														
	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{15}	$I_{z_{55}}$	$I_{z_{29}}$	$I_{z_{22}}$	$I_{z_{38z_{73}}}$	$I_{z_{77}}$	$I_{z_{35}}$	$I_{z_{25}}$	I_{16}	I_{17}
$I_k \cdot 10^4$, кгм ²	51,7	106,0	91,6	6,21	35,0	265,5	23,14	3,6	2,7	184,4	167,0	5,1	10,7	45,0	45,0

3. Дифференциальные уравнения движения. Примем в качестве обобщенных координат углы поворота (рис. 1): $\mathcal{Q}_{кв}$ – коленчатого вала (води́ла дифференциального механизма); $\mathcal{Q}_{z_{29}}$ – центральной шестерни z_{29} ; \mathcal{Q}_H и \mathcal{Q}_M – насоса и мотора; $\mathcal{Q}_{z_{77}}$, $\mathcal{Q}_{z_{25}}$, $\mathcal{Q}_{z_{55}}$ – шестерен соответственно z_{77} , z_{25} , z_{55} . Дополнительно в качестве обобщенной координаты следует взять разность давлений в магистралях Δp . В результате применения стандартной процедуры записи уравнений Лагранжа второго рода с учетом уравнения неразрывности потока жидкости в магистралях ГОП (последнее уравнение в (1)) имеем:

$$I_1^* \ddot{\mathcal{Q}}_{z_{29}} = -c_{1,1} \mathcal{Q}_{z_{29}} + c_{1,2} \mathcal{Q}_H - c_{1,4} \mathcal{Q}_{z_{77}} - c_{1,5} \mathcal{Q}_{z_{25}} + c_{1,0} \mathcal{Q}_{кв} + I_0^* \ddot{\mathcal{Q}}_{кв};$$

$$I_2^* \ddot{\mathcal{Q}}_H = c_{2,1} \mathcal{Q}_{z_{29}} - c_{2,2} \mathcal{Q}_H - c_{2,0} \mathcal{Q}_{кв} + M_{жн};$$

$$I_3^* \ddot{\mathcal{Q}}_M = -c_{3,3} \mathcal{Q}_M + c_{3,5} \mathcal{Q}_{z_{25}} + M_{жм};$$

$$I_4^* \ddot{\mathcal{Q}}_{z_{77}} = -c_{4,1} \mathcal{Q}_{z_{29}} - c_{4,4} \mathcal{Q}_{z_{77}} - c_{4,6} \mathcal{Q}_{z_{55}} + c_{4,0} \mathcal{Q}_{кв} - i_{12} M_K;$$

$$\left. \begin{aligned} I_5^* \ddot{\vartheta}_{z_{25}} &= -c_{5,1} \vartheta_{z_{29}} + c_{5,3} \vartheta_M - c_{5,5} \vartheta_{z_{25}}; \\ I_6^* \ddot{\vartheta}_{z_{55}} &= -c_{4,6} \vartheta_{z_{77}} - c_{6,6} \vartheta_{z_{55}} - i_{19} M_T; \\ k_{\text{упр}} \frac{d(\Delta p)}{dt} &= -k_{\text{п}} \Delta p - q_{\text{н}} e_{\text{н}} \dot{\vartheta}_{\text{н}} - q_{\text{м}} e_{\text{м}} \dot{\vartheta}_{\text{м}}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для коэффициентов жесткости в этих уравнениях справедливы выражения:

$$\begin{aligned} c_{1,1} &= c_3 i_6^2 + c_5 + c_2 i_3^2; & c_{1,2} &= c_{2,1} = c_3 i_6; & c_{1,4} &= c_{4,1} = c_2 i_3; & c_{1,5} &= c_{5,1} = c_4 i_{16}; \\ c_{1,0} &= c_3 i_6 i_7 + c_2 i_3 i_4; & c_{2,2} &= c_3; & c_{2,0} &= c_3 i_7; & c_{3,3} &= c_{3,5} = c_{5,3} = c_4; & c_{4,4} &= c_2 - c_1 i_{13}^2; \\ c_{4,6} &= c_{6,4} = c_1 i_{13}; & c_{4,0} &= c_2 i_4; & c_{5,5} &= c_4 + c_5 i_{16}^2; & c_{6,6} &= c_1. \end{aligned}$$

Приведенные моменты инерции имеют вид:

$$\begin{aligned} I_1^* &= I_{z_{29}} + I_{z_{38} z_{73}} i_3^2 + I_{z_{22}} i_1^2 + I_{z_{35}} i_6^2; & I_2^* &= I_{16}; & I_3^* &= I_{17}; \\ I_4^* &= I_{z_{77}} + I_{13} i_5^2 + I_{12} i_9^2 + I_{10} i_{11}^2 + I_{11} i_{12}^2 + I_9 i_{13}^2; & I_5^* &= I_{z_{25}} + I_{z_{39}} i_{16}^2; & I_6^* &= I_{z_{55}} + I_{15} i_{19}^2; \\ I_0^* &= I_{z_{38} z_{73}} i_3 i_4 + I_{z_{22}} i_1 i_2 + I_{z_{35}} i_6 i_7. \end{aligned}$$

Необходимые передаточные отношения:

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{z_{29}}{z_{22}}; & i_2 &= i_1 + 1; & i_3 &= \frac{z_{29}}{z_{73}}; & i_4 &= i_3 + 1; & i_5 &= \frac{z_{77}}{z_{45}}; & i_6 &= i_3 \frac{z_{38}}{z_{35}}; & i_7 &= i_4 \frac{z_{38}}{z_{35}}; \\ i_9 &= i_5 \frac{z_{33}}{z_{61}}; & i_{11} &= i_9 \frac{z_{61}}{z_{20}}; & i_{12} &= i_{11} \frac{z_{59}}{z_{19}}; & i_{13} &= i_{12} \frac{z_{19}}{z_{53}}; & i_{16} &= \frac{z_{25}}{z_{39}}; & i_{19} &= \frac{z_{55}}{z_{29}}. \end{aligned}$$

Для численного интегрирования система уравнений (2) предварительно представлялась в форме Коши.

4. Расчетно-экспериментальные исследования переходных режимов.

Так как главной особенностью привода является возможность изменения передаточного отношения от коленчатого вала двигателя к ротору компрессора за счет изменения угла наклона шайбы гидронасоса, то исследования проводились по двум направлениям: определялась зависимость передаточного отношения от угла наклона шайбы; изучалось влияние заданного закона изменения угловой скорости коленчатого вала на угловую скорость ротора компрессора и давления в полостях гидромашин.

На первом этапе указанная зависимость строилась для различных, но фиксированных значений угла наклона шайбы, т.е. для установившихся режимов (в последующем предполагается исследование непрерывного изменения угла наклона). В этом случае для жесткой модели оказалось возможным полу-

читать аналитическое выражение для передаточного отношения $i_k = \dot{\vartheta}_k / \dot{\vartheta}_{\text{КВ}}$ при различных значениях угла γ_H шайбы гидронасоса. Положение такой модели вполне определяется заданием угла поворота коленчатого вала $\vartheta_{\text{КВ}}$, насоса – ϑ_H , разности давлений – Δp . При известном движении коленчатого вала поведение механической части вместо первых шести уравнений (2) будет описываться одним дифференциальным уравнением (здесь оно не приводится) относительно ϑ_H .

Для угловой скорости центральной шестерни z_{29} дифференциального механизма на основании метода Виллиса имеем (рис. 1)

$$\dot{\vartheta}_{z_{29}} = (1 + \alpha)\dot{\vartheta}_{\text{КВ}} - \alpha\dot{\vartheta}_{z_{38}z_{73}}, \quad (3)$$

где $\alpha = 1/i_3$, $\dot{\vartheta}_{z_{38}z_{73}}$ – угловая скорость эпициклической шестерни.

С другой стороны $\dot{\vartheta}_{z_{29}} = -i_{16}\dot{\vartheta}_M$.

Скорость гидромотора выразим через скорость насоса, используя для этого уравнение неразрывности потока жидкости (последнее уравнение в (1)). Пренебрегая потерями, получим

$$\dot{\vartheta}_M = -\frac{e_H}{e_M}\dot{\vartheta}_H = -e_H\dot{\vartheta}_H.$$

Здесь учтено, что $e_M = 1$. Поскольку

$$\dot{\vartheta}_H = -\frac{z_{38}}{z_{35}}\dot{\vartheta}_{z_{38}z_{73}},$$

то для $\dot{\vartheta}_{z_{29}}$ имеем

$$\dot{\vartheta}_{z_{29}} = -i_{16}\frac{z_{38}}{z_{35}}e_H\dot{\vartheta}_{z_{38}z_{73}}. \quad (4)$$

Приравняв (3) и (4), получим уравнение, из которого следует

$$\dot{\vartheta}_{z_{38}z_{73}} = i(\gamma_H)\dot{\vartheta}_{\text{КВ}},$$

$$\text{где } i(\gamma_H) = \frac{1 + \alpha}{\alpha - i_{16}\frac{z_{38}}{z_{35}}\frac{\text{tg}\gamma_H}{\text{tg}\gamma_{H\max}}}.$$

Так как для жесткой модели

$$\dot{\vartheta}_k = i_{12}\dot{\vartheta}_{z_{38}z_{73}}$$

окончательно имеем

$$i_k(\gamma_H) = \frac{\dot{\vartheta}_k}{\dot{\vartheta}_{\text{КВ}}} = i_{12}i(\gamma_H). \quad (5)$$

Зависимость $i_k(\gamma_H)$ представлена на рис. 4. Полученные идеальные значения передаточного отношения несколько превышают

реальные. Ошибка растет при увеличении $\dot{\vartheta}_{\text{КВ}}$ и γ_H , однако для $\gamma_{H\max}$ и доста-

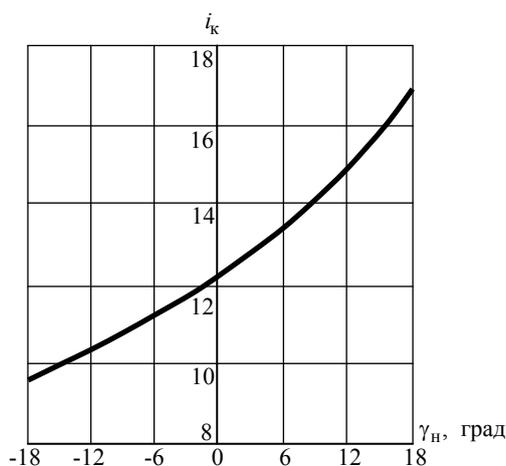


Рис. 4. Передаточное отношение привода.

точно большой скорости коленчатого вала реальное i_k , как показывают эксперименты, отличается от идеального не более чем на единицу.

Как следует из формулы (4) при $\gamma_n > 0$ направления вращения центральной и эпициклической шестерен противоположны, при $\gamma_n < 0$ – направления совпадают. Соответственно этому изменяется направление потока мощности, проходящего через ГОМ. При этом гидронасос и гидромотор обмениваются

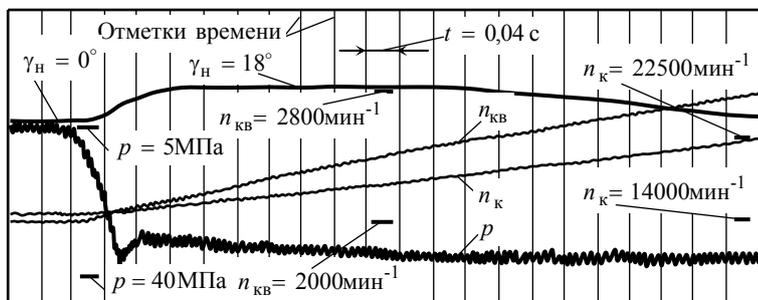


Рис. 5. Оциллограмма экспериментальных испытаний привода.

своими функциями, в результате чего положение магистрали высокого давления остается неизменным.

Полученная зависимость $i_k(\gamma_n)$ (рис. 4) показывает, что введение в привод гидрообъемной машины позволяет существенно изменить передаточное отношение от коленчатого вала к ротору компрессора и тем самым существенно улучшить характеристики двигателя.

На следующем этапе исследовалось влияние изменений угловой скорости коленчатого вала и угла наклона шайбы насоса на угловую скорость ротора компрессора и давления в полостях гидромашин. Поскольку на первом этапе целью таких исследований было уточнение математических моделей переход-

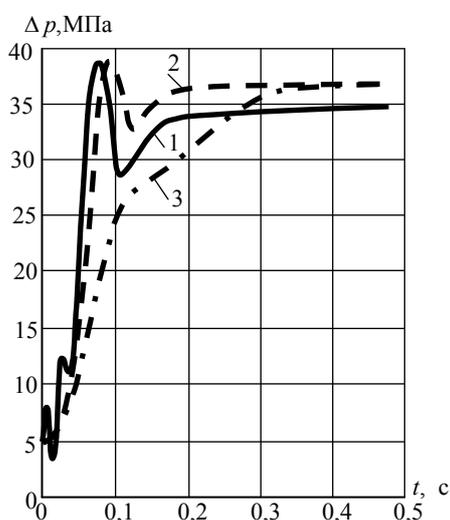


Рис. 6. Разность давлений при переходном режиме.

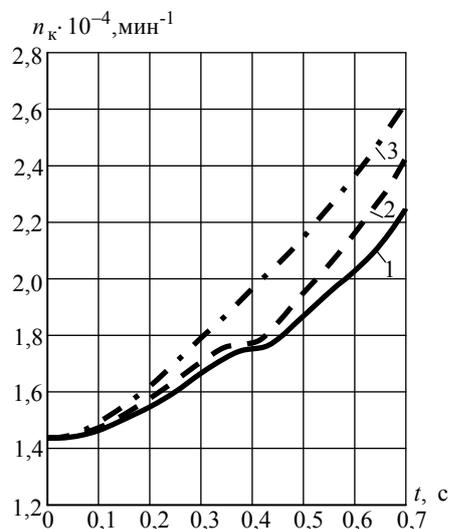


Рис. 7. Частота вращения компрессора при переходном режиме.

ных режимов в приводе, то расчеты проводились на тех режимах, для которых имелись экспериментальные данные. В частности рассчитывался переходный режим, оциллограмма которого показана на рис. 5. Снятые с оциллограммы данные о функциях $\omega_{нв}(t)$ и $\gamma_n(t)$ аппроксимировались как кусочно-линейными, так и гладкими функциями. С оциллограммы также снимались начальные значения $\omega_{нв}$ и Δp , что позволяло уточнить отдельные параметры модели из условия существования стационарного режима. Так из уравнения

механической части жесткой модели находился коэффициент α_k , из уравнения неразрывности потока жидкости $-k_{\text{п}}$.

На рис. 6, 7 приведены сопоставления экспериментальных (кривая 1) и расчетных данных, полученных по упругой (кривая 2) и жесткой (кривая 3) моделям для функций $\Delta p(t)$ и $n_{\text{кв}}(t)$. Представленные графики показывают, что более близкими к экспериментальным оказываются результаты расчетов упругой модели.

Выводы. 1. Выбрана рациональная модель гидродинамических процессов в ГОП привода компрессора. 2. Построены уравнения движения механической части привода с учетом податливости соединительных валов. 3. Получено аналитическое выражение для передаточного отношения от коленчатого вала к ротору компрессора в зависимости от угла наклона шайбы гидронасоса. 4. Установлено, что введение в привод ГОП позволяет значительно изменить передаточное отношение и тем самым существенно улучшить характеристики двигателя. 5. Представлены расчетно-экспериментальные данные исследований зависимостей частоты вращения компрессора и разности давлений в магистралях ГОП от частоты вращения коленчатого вала. 6. Выявлена предпочтительность использования упругой модели привода. 7. Результаты исследований являются перспективной основой создания более сложных и совершенных моделей привода турбонаддува с ГОП.

Литература: 1. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем.– М.: Машиностроение, 1982.– 606 с. 2. Шатохин В.М., Ярмак Н.С. Исследование переходных режимов в приводе турбонаддува с гидрообъемной передачей дизеля 6ТД-2 // Механіка та машинобудування.– 2006.– №1.– С. 205-217. 3. Пасынков Р.М., Гайцгори М.М. Расчет гидрообъемных трансмиссий с учетом динамических нагрузок // Вестник машиностроения.– 1967.– № 10.– С. 48-51.

УДК 621.432

СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ МАШИННОГО АГРЕГАТА С ДИЗЕЛЕМ 3ТД-4

Шатохин В.М., докт. техн. наук, **Зайцев А.И.**, докт. фарм. наук,
Кутовая О.В., канд. техн. наук (г. Харьков, Украина)

Parametric synthesis method for nonlinear models of machine aggregates with explosion engine is offered. The dynamic model of the engine 3TD-4 with nonlinear elastic coupling between cranked shafts and the nonlinear moment of friction in anti-hunt is developed. Results of settlement - experimental researches of its(her) reliability are submitted.

Введение. Увеличение мощности и быстроходности современных установок с ДВС неизбежно ведет к повышению динамических нагрузок, когда все в большей степени проявляются упругие свойства их деталей и узлов. Анализ и устранение опасных крутильных колебаний, которые нередко определяют прочность и надежность конструкции, требуют при построении моделей с одной стороны учета технологических нелинейностей, а с другой – введения упругих муфт и демпфирующих устройств, характеристики которых

чаще всего также являются нелинейными. Указанные факторы на установившихся динамических режимах порождают смещение резонансов, деформирование резонансных кривых, многозначность колебаний, что существенно осложняет решение задач анализа и тем более синтеза для многомассовых моделей машинных агрегатах с ДВС. Методы их решения в настоящее время разработаны недостаточно.

В статье предложен метод параметрического синтеза нелинейных моделей машинных агрегатов с ДВС. В его основе лежит эффективный алгоритм решения задач анализа, использующий гармоническую линеаризацию для интегральных уравнений движения, записанных с помощью импульсно-частотных характеристик (ИЧХ) [1], а также алгоритм определения максимальных по частоте упругих моментов, соответствующих верхним ветвям устойчивых решений в области многозначности амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) [2]. Главное достоинство такого подхода для решения задач синтеза и оптимизации в том, что число уравнений движения равно числу нелинейностей и трудоемкость решения задачи анализа практически не зависит от числа степеней свободы модели. Разработанный метод использован для снижения опасных динамических нагрузок в силовой цепи машинного агрегата с дизелем ЗТД-4. Результаты расчетов сопоставляются с экспериментальными данными.

1. Формулировка задачи динамического синтеза нелинейных моделей машинных агрегатов с ДВС. Задача динамического синтеза машинного агрегата состоит в определении параметров, обеспечивающих выбранные динамические критерии качества при учете ограничений, накладываемых на варьируемые параметры.

Математически задачу динамического синтеза можно сформулировать как задачу нелинейного программирования следующим образом. Варьируя вектор параметров $x = [x_1, x_2, \dots, x_l]^T$ модели, который включает и параметры нелинейностей, необходимо добиться того, чтобы максимальное значение некоторого функционала $U(x, \omega)$ в заданном частотном диапазоне Ω изменения частоты ω внешних периодических моментов стало минимальным

$$\min_{x \in X} \max_{\omega \in \Omega} U(x, \omega), \quad (1)$$

где $\Omega = \{\omega \mid \omega^* \leq \omega \leq \omega^{**}\}$; X – область поиска допустимых решений, которая задается в виде линейных

$$a_i \leq x_i \leq b_i, \quad x_i > 0 \quad (i = \overline{1, l}) \quad (2)$$

и нелинейных

$$G_i(x) \leq 0 \quad (i = \overline{l+1, m}) \quad (3)$$

ограничений относительно варьируемых параметров; a_i и b_i – наименьшее и наибольшее значение i -го варьируемого параметра x_i .

Линейные ограничения (2) можно представить и в другом виде

$$g_i(x) \geq 0 \quad (i = \overline{1, 2l}). \quad (4)$$

Поскольку целью динамического синтеза является снижение динамиче-

ских нагрузок валопровода, то для определенности в качестве целевой функции будем брать максимальное по частоте значение амплитуды упругого момента на наиболее нагруженном j -ом участке рассматриваемой системы

$$F(x, \omega) = \max_{\omega \in \Omega} A_{M_j}(x, \omega). \quad (5)$$

Таким образом, определение целевой функции сводится к расчету установившихся вынужденных колебаний в нелинейной системе в заданной области частот возбуждения и нахождению максимального по частоте упругого момента. В общем случае функция A_{M_j} является мультимодальной и для определения ее максимума на отрезке $[\omega^* \leq \omega \leq \omega^{**}]$ необходимо применять методы глобального поиска экстремума. Хорошо зарекомендовал себя для этих целей алгоритм глобального поиска [3]. При этом должна быть учтена возможность появления многозначных решений, характерных для нелинейных систем, т. е. определение максимального по частоте упругого момента может потребовать нахождения экстремума многозначной функции.

Опыт решения задач рассматриваемого класса показал, что среди прямых методов одно из первых мест по эффективности в задачах умеренной размерности занимает метод скользящего допущения [4]. При учете нелинейных ограничений (3), задачу минимизации исходной целевой функции оказалось целесообразным преобразовать в задачу минимизации специально сконструированной функции вида

$$\Phi(x, \omega) = F(x, \omega) + \sum_{i=l+1}^m \delta_i G_i^2(x), \quad (6)$$

где δ_i – логический оператор, обладающий следующим свойством:

$$\delta_i = \begin{cases} 0, & G_i(x) \leq 0, \\ 1, & G_i(x) > 0, \end{cases}$$

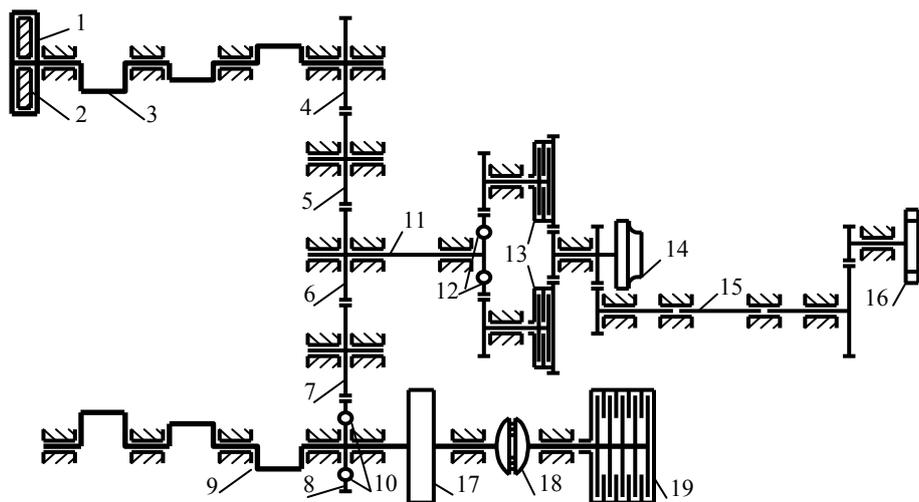
т.е. суммирование в (6) ведется только по индексам невыполненных ограничений.

Особенность конструкций силовых передач позволяет при решении задач синтеза в довольно широких пределах варьировать упругие характеристики соединительных элементов за счет изменения их размеров. Изменение же моментов инерции масс нежелательно из конструктивных соображений, либо даже вовсе невозможно, если речь идет о приведенных массах потребителей [5]. Поэтому под варьируемыми параметрами системы будем понимать жесткости линейных упругих участков, параметры нелинейных упругих муфт и демпферов.

2. Расчетно-экспериментальные исследования по оптимизации параметров нелинейной модели машинного агрегата с дизелем ЗТД-4 на установившихся режимах. В базовом двухвальном дизеле 6ТД-2, на основе которого создан двигатель ЗТД-4, для снижения динамической нагруженности валопроводов на переходных режимах работы в зубчатую передачу, связывающую коленчатые валы, введена упругая муфта с податливым участком. Из-за уменьшения приведенных масс коленчатых валов модифицированного двигателя собственная частота, обусловленная податливым участком упругой муфты,

возросла настолько, что главная – теперь уже третья гармоника возмущающих моментов оказалась резонирующей в зоне эксплуатационных оборотов ($\approx 900 \div 1400 \text{ мин}^{-1}$) для указанной частоты. Это потребовало проведения расчетно-экспериментальных исследований по выбору оптимальных параметров упругой муфты, силиконового демпфера и рессор в приводе к турбине и нагнетателю двигателя.

Модель машинного агрегата и ее параметры. На рис. 1. представлена кинематическая схема дизеля, связанного с потребителем (гидротормоз): 1,2 – ступица и маховик демпфера; 3 – продувочный коленчатый вал; 4÷8 – шестерни главной передачи; 9 – выхлопной вал; 10 – упругая муфта на выхлопном валу;



11 – рессора привода нагнетателя; 12 – упругая муфта в приводе нагнетателя; 13 – фрикционные муфты; 14 – ротор нагнетателя; 15 – рессора привода турбины; 16 – ротор турбины; 17 – маховик двигателя; 18 – резино-пальцевая муфта; 19 – гидротормоз. В расчетах приняты следующие обозначения:

Рис. 1 Кинематическая схема двигателя 3ТД-4 с потребителем.

$I_1 \div I_3, I_4 \div I_6$ – соответственно цилиндрические массы выхлопного и продувочного валов; $I_7 \div I_{11}$ – шестерни главной передачи; I_{12} – компрессор; I_{13} – турбина; I_{14} – ступица демпфера продувочного вала; I_{15} – маховик демпфера; I_{16} – маховик двигателя; I_{17} – гидротормоз. Значения моментов инерции указаны в табл. 1, причем для компрессора и турбины даны значения моментов инерции, приведенные к коленчатым валам.

Коэффициенты жесткостей соединений расчетной модели приведены в табл. 2; c_9 соответствует жесткости податливого участка c_9'' упругой муфты с предварительным натягом (рис. 2) и обеспечивается двенадцатью пружинами. В каждом из шести окон муфты, расположенных на радиусе $R = 67,5 \text{ мм}$, установлено параллельно по две пружины с предварительным поджатием $0,7 \text{ мм}$ (диаметр пружины $D = 16 \text{ мм}$; диаметр проволоки $d = 5 \text{ мм}$; исходная длина пружины $L = 39,1 \text{ мм}$; длина предварительно поджатой пружины $L_1 = 38,4 \text{ мм}$; экспериментальное значение жесткости пружины $c = 1,729 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$). Поджатия обеспечивают момент предварительного натяга муфты $M_0 = 156 \text{ Нм}$; ее рабочий ход $\delta = 4,4 \text{ мм}$. Жесткость упоров нелинейной характеристики $c_9' = 3,7 \cdot 10^5 \text{ Нм}$ получена в результате обработки экспериментальных кривых

нагрузки и разгрузки главной передачи при заземленной шестерне выхлопного вала и приложении момента к шестерне продувочного вала. Этим значениям соответствуют параметры нелинейности: $d'_9 = 4,215 \cdot 10^{-4}$ рад; $d''_9 = 0,065$ рад. Технологический зазор для каждой из четырех пар зубчатых колес главной передачи (см. рис. 1) равен 0,3 мм, радиусы начальных окружностей шестерен можно принять равными 100 мм, поэтому суммарный угловой зазор, отраженный в нелинейной характеристике, составляет $2d = 0,012$ рад.

Так как рассеяние энергии в машинном агрегате с ДВС носит сложный многофакторный характер, а его достоверное математическое описание представляет трудную задачу, то в расчетах использовалось эквивалентное линеаризованное демпфирование, которое определялось из совпадения расчетных и экспериментальных данных на резонансных режимах при отсутствии демпферов. В результате получено: $\beta_1 = \dots = \beta_6 = 4,2$ Нмс.

Исходные значения параметров демпфера:
 $\nu_0 = 0,015 \text{ м}^2 / \text{с}$;
 $\gamma_0 = 9,81 \cdot 10^3 \text{ Н} / \text{м}^3$;
 $R = 0,121 \text{ м}$;
 $r = 0,045 \text{ м}$; $b = 0,043 \text{ м}$; $h = 0,0005 \text{ м}$.

Таблица 1

k	$I_k, \text{ кгм}^2$
1÷6	0,073
7	0,038
8	0,033
9	0,036
10	0,072
11	0,023
12	0,64
13	1,336
14	0,035
15	0,105
16	1,58
17	2,5

Таблица 2

k	$c_k, \text{ Нм}$
1÷4	$2,604 \cdot 10^6$
5	$2,604 \cdot 10^6$
6	$1,299 \cdot 10^6$
7	$1,684 \cdot 10^6$
8	$2,389 \cdot 10^6$
9	$1,504 \cdot 10^4$
10	$1,629 \cdot 10^4$
11	$1,575 \cdot 10^4$
12	$2,604 \cdot 10^6$
13	$8,3 \cdot 10^6$
15	$2,66 \cdot 10^6$
16	$8,113 \cdot 10^3$

Возмущающие моменты возникают вследствие действия газовых сил на поршни и сил инерции шатунов и поршней на кривошипы вала двигателя.

Обороты двухтактного двигателя ЗТД-4 лежат в интервале 800÷2600 об/мин. Максимальная мощность $N_{max} = 600$ л.с. (442 кВт) и номинальный крутящий момент $M_n = 1622$ Нм достигаются при номинальной частоте вращения 2600 мин^{-1} ; максимальный момент $M_m = 1784$ Нм имеет место при 1950 мин^{-1} . Порядок работы цилиндров – 1-2-3.

Опасные колебания порождались главной – третьей гармоникой; поэтому возмущение на цилиндрических

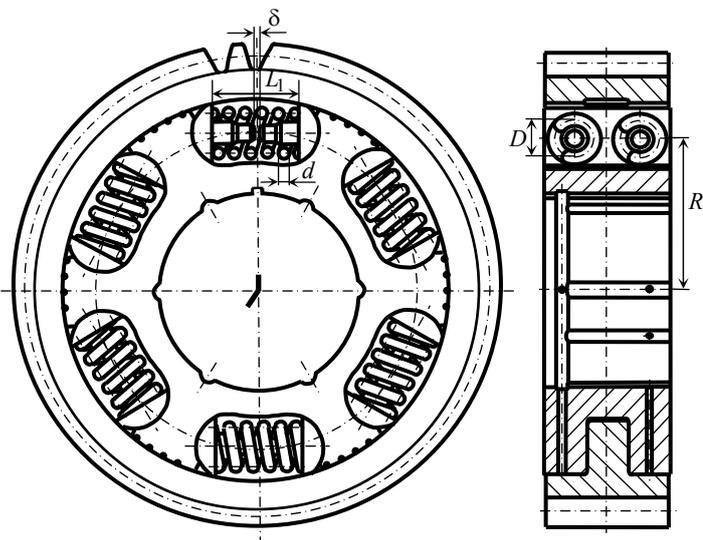


Рис. 2. Нелинейная упругая муфта.

массах задавалось в виде

$$M_1(t) = \dots = M_3(t) = M_c^{(1)} \cos \omega t + M_s^{(1)} \sin \omega t ,$$

$$M_4(t) = \dots = M_6(t) = M_c^{(2)} \cos \omega t + M_s^{(2)} \sin \omega t ,$$

где $M_c^{(k)}, M_s^{(k)}$ ($k = 1, 2$) – соответственно суммарные амплитуды косинусных и синусных составляющих моментов газовых сил и сил инерции; ω – угловая частота, соответствующая третьей гармонике. На номинальной частоте вращения получено: $M_c^{(1)} = -68,0 \text{ Нм}$; $M_s^{(1)} = 178,5 \text{ Нм}$; $M_c^{(2)} = -164,5 \text{ Нм}$; $M_s^{(2)} = 80,5 \text{ Нм}$.

Оптимизация параметров нелинейной модели машинного агрегата с дизелем 3ТД-4. Из-за уменьшения приведенных масс коленчатых валов двигателя 3ТД-4, созданного на базе дизеля 6ТД-2, собственная частота, обусловленная податливым участком упругой муфты, возрастает настолько, что главная – теперь уже третья гармоника возмущающих моментов оказывается резонирующей в диапазоне рабочих оборотов ($800 \div 1400 \text{ мин}^{-1}$) для указанной частоты. Максимальный упругий момент в главной передаче может достигать при этом почти 11 кНм. Опыт же доводки двигателей 5ТДФ, 6ТД показал, что при упругих моментах более 7,5 кНм она становится неработоспособной. На рис. 3, а представлены расчетные амплитудные значения упругих моментов в главной передаче, рессорах турбины и нагнетателя для конструкции с приведенными выше параметрами, но без учета демпфера (штриховой линией выделены неустойчивые ветви).

Средний момент, передаваемый упругой муфтой, для исследуемого диапазона частот принят равным 100 Нм. Отмеченные обстоятельства требуют снижения максимального упругого момента в главной передаче.

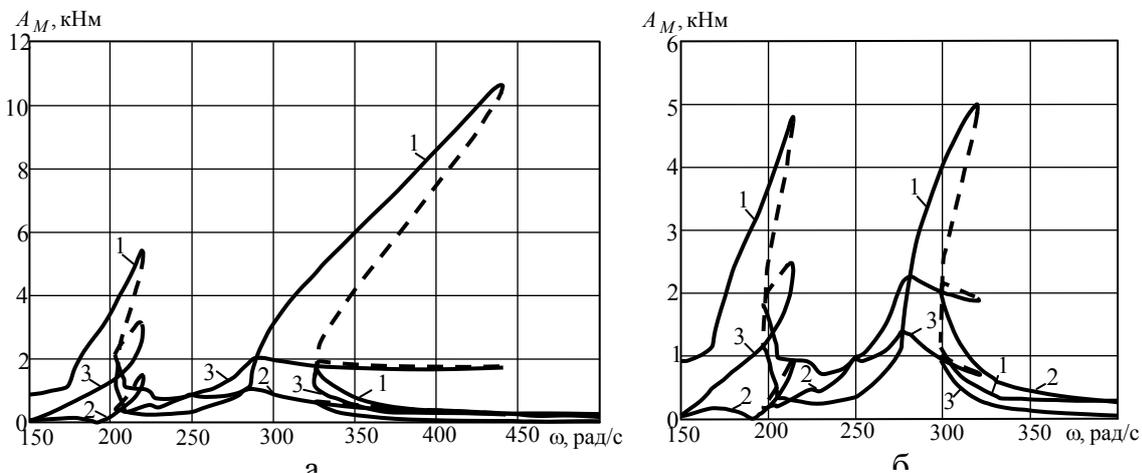


Рис. 3. Амплитуды упругих моментов: а) – исходная модель; б) – модель после оптимизации (1 – нелинейная муфта; 2 – рессора нагнетателя; 3 – рессора турбины)

Задача ставится следующим образом: в частотном диапазоне $\omega \in [250, 450] \text{ рад/с}$ необходимо минимизировать максимальную по частоте амплитуду упругого момента $A_{M_9}^{max}$ на наиболее нагруженном участке с упругой муфтой при условии выполнения ограничений на максимальные амплитуды упругих моментов соответственно рессор нагнетателя и турбины $A_{M_{10}}^{max} \leq A_M^{don}$, $A_{M_{11}}^{max} \leq A_M^{don}$, где $A_M^{don} = 2500 \text{ Нм}$ – допускаемый упругий момент. В качестве варьируемых параметров, значения которых несложно реализовать практиче-

ски, рассмотрены: жесткость податливого упругой муфты и ее рабочий ход, кинематическая вязкость силиконового масла, жесткости рессор турбины и нагнетателя. Пределы их изменения: $c_9''^* \leq c_9'' \leq c_9''^{**}$, $\delta^* \leq \delta \leq \delta^{**}$, $\nu_0^* \leq \nu_0 \leq \nu_0^{**}$, $c_{10}^* \leq c_{10} \leq c_{10}^{**}$, $c_{11}^* \leq c_{11} \leq c_{11}^{**}$, где $c_9''^* = 1 \cdot 10^4 \text{ Нм}$; $c_9''^{**} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ Нм}$; $\delta^* = 2 \text{ мм}$; $\delta^{**} = 6 \text{ мм}$; $\nu_0^* = 0,001 \text{ м}^2 / \text{с}$; $\nu_0^{**} = 0,1 \text{ м}^2 / \text{с}$; $c_{10}^* = c_{11}^* = 1 \cdot 10^4 \text{ Нм}$; $c_{10}^{**} = c_{11}^{**} = 2 \cdot 10^5 \text{ Нм}$.

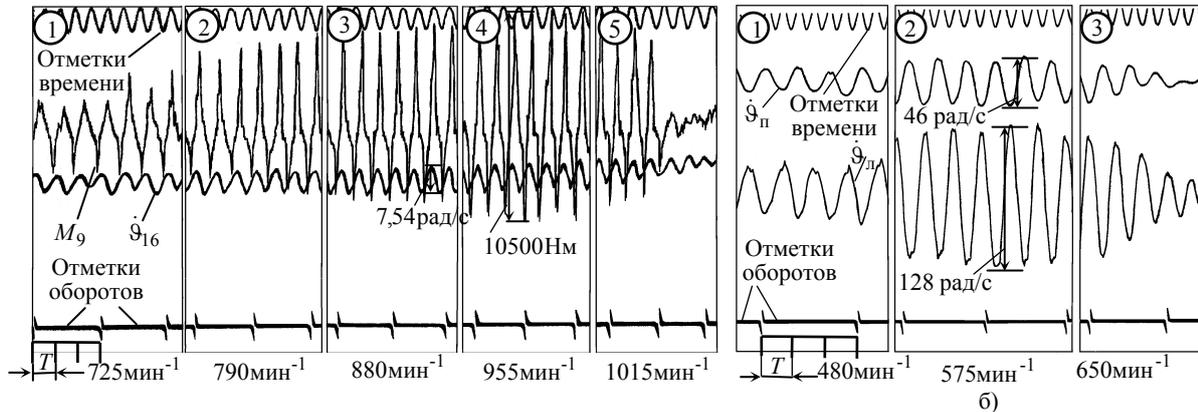


Рис. 4. Осциллограммы при увеличении оборотов двигателя: а) – упругого момента в нелинейной муфте и угловой скорости маховика; б) – угловых скоростей шестерен рессоры турбины.

В результате решения оптимизационной задачи получено: $c_{9op}'' = 1 \cdot 10^4 \text{ Нм}$; $\delta_{op} = 6 \text{ мм}$; $\nu_{0op} = 0,0526 \text{ м}^2 / \text{с}$; $c_{10op} = 1,506 \cdot 10^4 \text{ Нм}$; $c_{11op} = 1,436 \cdot 10^4 \text{ Нм}$; $A_{M_9}^{max} = 4752 \text{ Нм}$; $A_{M_{10}}^{max} = 2216 \text{ Нм}$; $A_{M_{11}}^{max} = 1301 \text{ Нм}$. Таким образом оптимальные значения жесткости податливого участка упругой муфты и величины ее рабочего хода достигаются на границах соответствующих диапазонов варьирования. Снижение динамических нагрузок тем существеннее, чем меньше жесткость пружин и больше их рабочий ход. Дальнейшее изменение этих параметров в указанном направлении невозможно из-за конструктивных ограничений: радиуса расположения пружин, размеров окон, индекса пружин, величины передаваемого крутящего момента. Близкое к полученному значение жесткости обеспечивают пружины с диаметром проволоки $d = 4,5 \text{ мм}$ и жесткостью $c = 1,834 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$. В этом случае с учетом жесткости главной передачи $c_9'' = 1,005 \cdot 10^4 \text{ Нм}$, а параметр $d_9'' = 0,0889 \text{ рад}$. Значения жесткостей c_{10} и c_{11} близкие к оптимальным конструктивно обеспечивают рессоры диаметрами соответственно 21 мм и 15 мм, приведенные жесткости которых $c_{10} = 1,629 \cdot 10^4 \text{ Нм}$; $c_{11} = 1,605 \cdot 10^4 \text{ Нм}$. Ближайшая к оптимальной стандартная вязкость силикона $\nu_0 = 0,05 \text{ м}^2 / \text{с}$.

Для выбранных значений параметров произведены расчеты вынужденных колебаний рассматриваемой модели, результаты которых представлены на графиках. На рис. 3, б изображены зависимости амплитуд упругих моментов нелинейной муфты, рессор нагнетателя и турбины от частоты. Сравнение графиков последнего рисунка с графиками рис. 3, а показывает, что амплитуды упругих моментов в нелинейной муфте для модели с измененными параметра-

ми существенно ниже. Максимальная амплитуда упругого момента в муфте равна 4992 Нм и достигается при 318 рад/с (1012 мин⁻¹), соответственно в рессорах нагнетателя и турбины имеем 2331 Нм и 1369 Нм при 278 рад/с (885 мин⁻¹).

В левой части рис. 3, а, б имеется еще одна зона интенсивных колебаний в диапазоне частот 196÷215 рад/с (626÷683 мин⁻¹). Их уровень, однако, существенно завышен из-за того, что в этом частотном диапазоне возмущающие моменты брались такие же, как и для резонансного режима, рассмотренного выше. Кроме того, этот диапазон лежит ниже оборотов холостого хода, поэтому усиление колебаний может иметь место только при запуске двигателя. Указанный резонанс надежно фиксируется в эксперименте, что служит дополнительным подтверждением достоверности предложенной модели.

Экспериментальное исследование динамических процессов в машинном агрегате с дизелем ЗТД-4. Для проверки достоверности построенной модели машинного агрегата и определения уровня динамических нагрузок с выбранными в результате решения оптимизационной задачи значениями параметров были проведены экспериментальные исследования. На рис. 4, а представлены фрагменты осциллограммы с записями упругого момента в нелинейной муфте и угловой скорости маховика для разных оборотов двигателя при их возрастании. Срыв резонансных колебаний происходит вблизи 1000 мин⁻¹ (315 рад/с), амплитудные значения моментов достигают при этом 5250 Нм; амплитудные значения угловой скорости маховика близки к 3,77 рад/с, что естественно соответствует небольшим амплитудам колебаний 0,013 рад. Фрагменты осциллограммы, показанные на рис. 4, б, подтверждают наличие резонансных колебаний на низких оборотах, имеющих место при запуске двигателя. Здесь записаны угловые скорости левой ($\dot{\vartheta}_l$) и правой ($\dot{\vartheta}_n$) шестерен рессоры турбины (на рис. 1 рессора показана под номером 15). Таким образом, предложенная расчетная модель достоверно отражает динамические свойства машинного агрегата с двигателем ЗТД-4 как по частотным диапазонам резонансных колебаний, так и по их уровню для найденных при решении оптимизационной задачи параметров.

Выводы. 1. Предложен метод параметрического синтеза нелинейных моделей машинных агрегатов с ДВС при наличии многозначной целевой функции, базирующийся на алгоритме определения максимальных по частоте упругих моментов, соответствующих верхним ветвям устойчивых решений в области многозначности АЧХ. 2. Построена достоверная нелинейная динамическая модель машинного агрегата с дизелем ЗТД-4. 3. Осуществлен оптимальный синтез ее параметров с целью снижения динамических нагрузок. 4. Приведены результаты экспериментальных исследований и их сопоставление с данными расчетов.

Литература: 1. Шатохин В.М. О методе гармонической линеаризации для нелинейных механических систем с большим числом степеней свободы // Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам.– Одесса: Одесский национальный политехнический университет.– 2001.– Вып. 5. – С. 159-162. 2. Шатохин В.М. Синтез параметров нелинейных моделей машинных агрегатов с ДВС на установившихся режимах в области многозначности решений // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.– Харків: НТУ “ХПІ”.– 2003.– Т. 3, №8–С. 117-128. 3. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло.– М.: Наука, 1971.– 311 с. 4. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование.– М.: Мир, 1975.– 534 с. 5. Терских В.П. Крутильные колебания валопровода силовых установок, т. 1.– Л.: Судостроение, 1969. – 208 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН СВЕРХНОРМАТИВНОГО ИЗНОСА РЕБОРД КОЛЕС ГРЕЙФЕРНОЙ ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРАНА-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ И ЕГО ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Гусев Ю.Б., (г. Мариуполь, Украина), **Слободяник В.А.**, канд. техн. наук, **Ткачук Н.А.**, докт. техн. наук, **Танченко А.Ю.** (г. Харьков, Украина)

The article is devoted the problem of speed-up higher attrition wheels and rails of bridge type crane. Publications, devoted this problem, are analysed. The method of conducting of experiment is written up and his results are resulted. On results research the row of recommendations of the reasons of the promoted wear directed on a removal is done

1. Состояние вопроса. В настоящее время вопросам обеспечения высоких технических характеристик кранов различного типа и предназначения уделяется особое внимание. Этому вопросу в различных постановках посвящены многочисленные работы, в частности [1-3]. В этих работах большое внимание уделяется вопросам описания и моделирования нагрузок, воздействующих как непосредственно на весь кран, так и на его определенные узлы и агрегаты (ветровые, динамические, электродинамические, импульсные нагрузки и т.п.). Исследуются переходные процессы, возникающие от разнообразных вынуждающих условий и их комбинаций. Как показала практика опытной эксплуатации кранов-перегружателей в реальных условиях на Алчевском коксохимическом комбинате, одним из наиболее значимых факторов оказался сверхнормативный ускоренный износ ходовых колес грейферной тележки и подтележечных рельсов. В связи с этим возникла актуальная и важная задача экспериментального исследования этого явления, по результатам которого предполагается разработать конкретные рекомендации по улучшению конструкции крана-перегружателя, а также уточнить параметры расчетной модели крана как сложной динамической системы для дальнейших численных исследований.

Все рассмотренные вопросы, созданные модели и предложенные в этих работах алгоритмы представляют несомненную научную и практическую ценность. Однако при проектировании новых конструкций, в частности кранов-перегружателей, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях, возникают новые задачи комплексного моделирования динамических процессов и определения напряженно-деформированного состояния этих конструкций как сложных машин, элементы которых находятся в определенных условиях взаимодействия. Например, при проектировании кранов перегружателей угля для коксохимической, горнодобывающей, металлургической промышленности Украины (проектант и изготовитель – ОАО ГСКТИ «Азовмаш»), возникли задачи научного обоснования структуры и параметров конструкций этих машин на основе компьютерного моделирования процессов, возникающих в условиях эксплуатации на конкретных предприятиях. Эти исследования являются составной частью проектных исследований, общая технология проведения которых отражена в работах [4-7]. В частности, эта технология исследований, предложенная авторами, предусматривает расчетно-экспериментальное обоснование параметров динамических моделей исследуемых перегружателей.

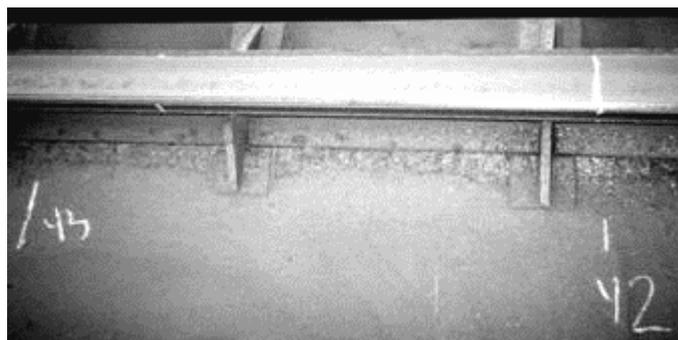
2. Методика проектных исследований

2.1. Постановка задачи

Ставится задача установить причины повышенного износа ходовых колёс грейферной тележки и подтележечных рельсов крана-перегрузателя грузоподъёмностью 200 кН. Указанный кран введен в эксплуатацию в августе 2003 года. При фактическом режиме эксплуатации работы крана выявлены моменты, влияющие на нормальную эксплуатацию крана, связанные прежде всего с отсутствием простоев при проведении ремонтных работ. Последние же вызваны ускоренным износом ходовых колёс тележки и рельса (рис. 1 и 2).



а - Балка «А» (с троллеями)



б - Балка «Б»

Рис.1. Износ рельсов.



а - Колесо 1



б - Колесо 3

Рис.2. Износ колес.

Потенциальными причинами, из-за которых может происходить износ пары «колесо-рельс» грузовой тележки являются [8 – 10]:

- 1) искривление подтележечных путей;
- 2) перекос колёс тележки в горизонтальной (в основном) и вертикальной плоскостях;
- 3) отклонение от параллельности общих плоскостей ходовых колёс;
- 4) несоответствие колеи подтележечного пути и тележки

В работе ставится задача экспериментального определения факторов,

влияющих на износ сопряженных элементов исследуемой системы «тележка-рельс-колесо». Методика проведения измерений приведена в статье [11].

3. Результаты исследований. Результаты измерений сгруппированы по отдельным факторам и представлены в виде диаграмм и табличном виде.

3.1. Результаты измерений положений рельса в плане

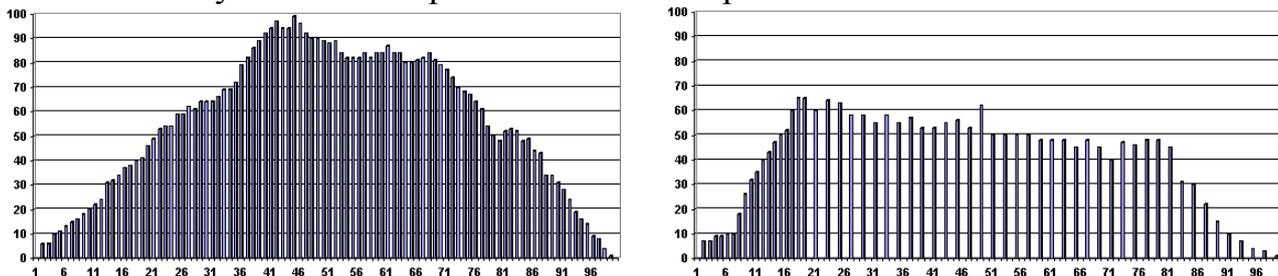


Рис. 3. Отклонение от прямолинейности кромки верхнего пояса (стенки балки), мм.

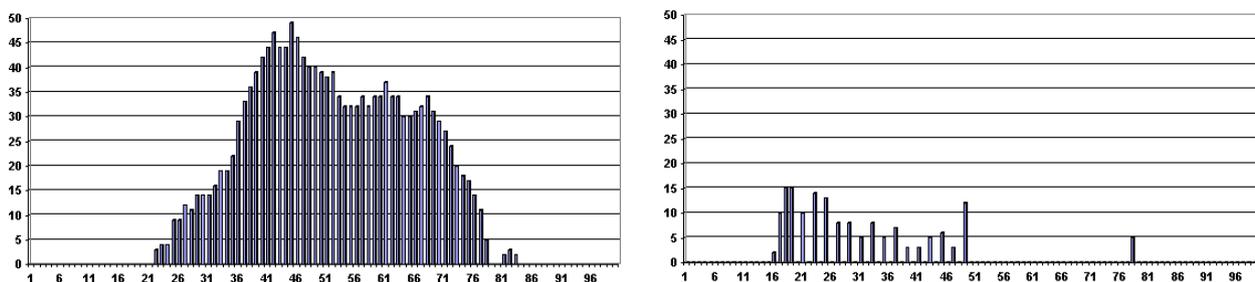


Рис. 4. Превышение предельных значений 50мм^* (30мм^{**}), мм.

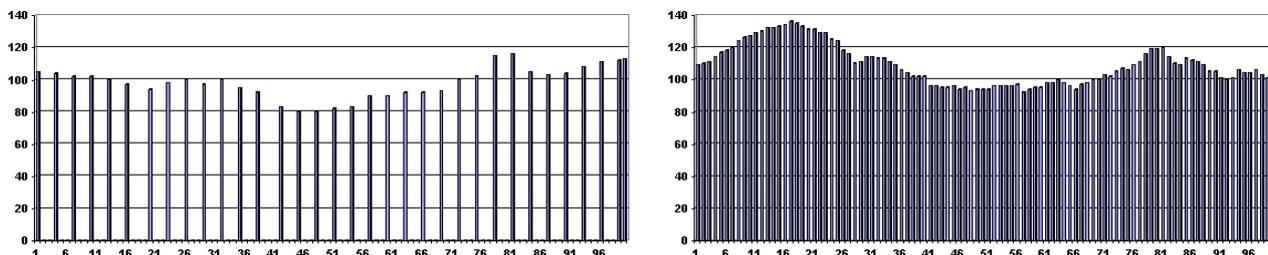


Рис. 5. Расстояние от кромки до подошвы рельса ($b/2=150/2$ мм), мм.

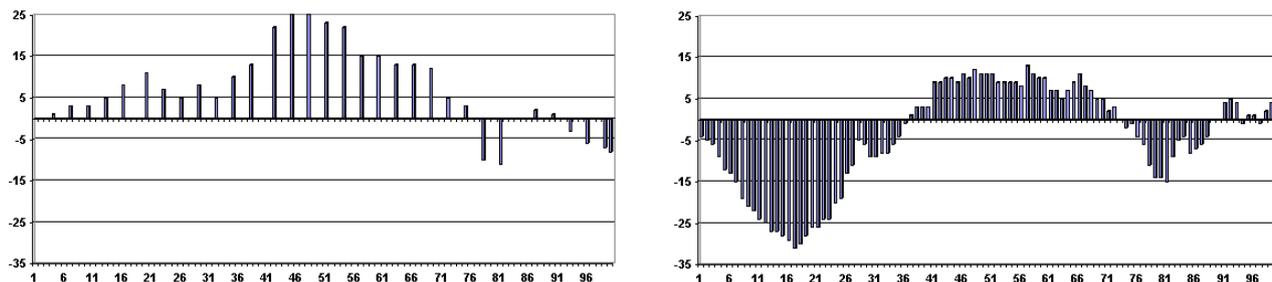


Рис. 6. Отклонение оси рельса от оси стенки, мм.

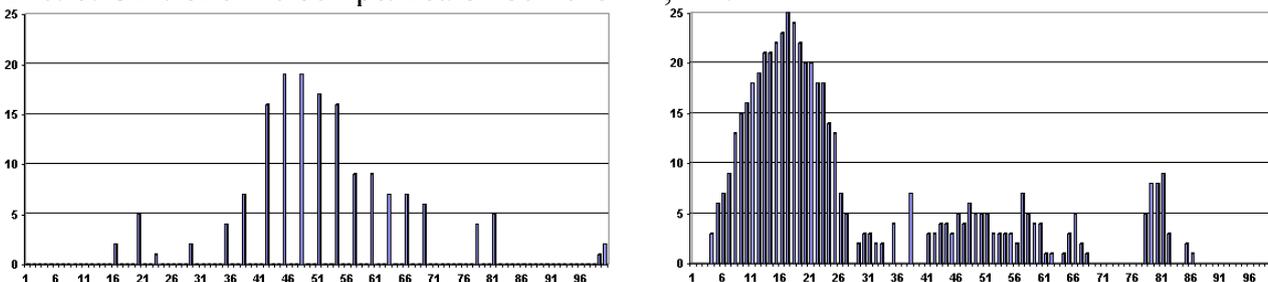


Рис. 7. Превышение предельного значения (6 мм), мм.

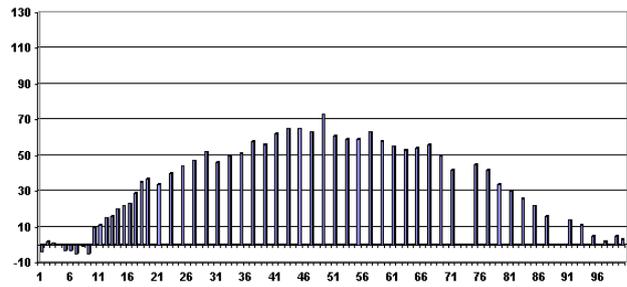
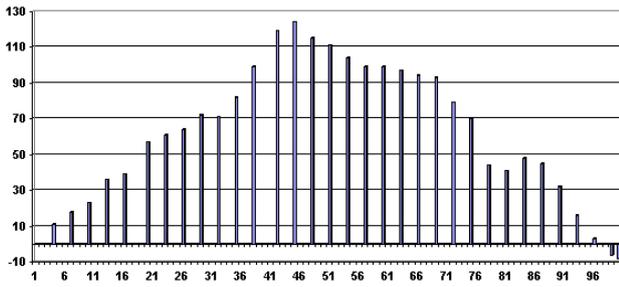


Рис. 8. Отклонение оси рельса от прямолинейности, мм.

На рис. 3–12 левый столбец соответствует измеренным значениям по балке «А» (с троллеями), правый – по балке «Б».

3.2. Отклонение оси подтележечного рельса вдоль сечений моста "Δ₄".

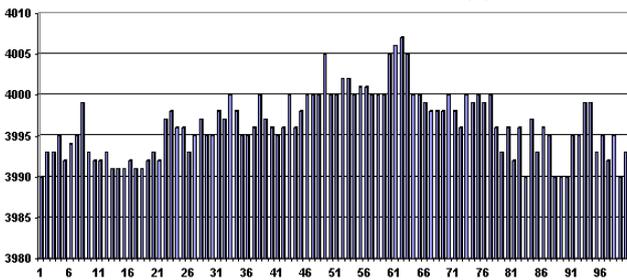


Рис. 9. Колея, мм.

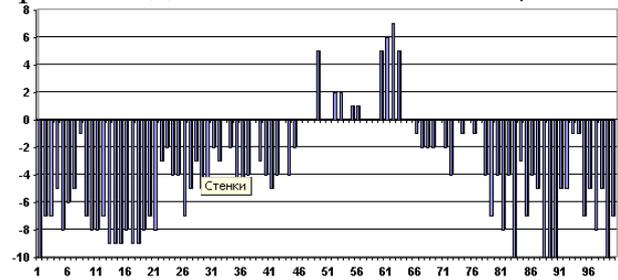


Рис. 10. Отклонение оси подтележечного рельса Δ₄, мм.

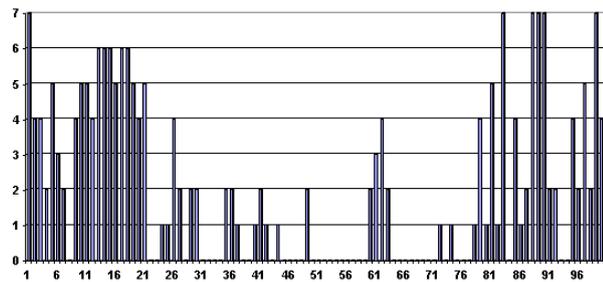


Рис. 11. Превышение предельного значения (3 мм), мм.

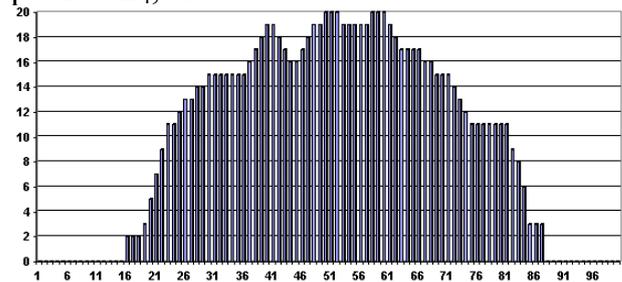


Рис. 12. Горизонтальный износ головки рельса*, мм.

Результаты измерения взаимного перекоса колёс, рельсов и угловые отклонения колес тележки приведены в статье [11].

4. Анализ результатов измерений. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы о причинах износа колёс грейферной тележки и подтележечных рельсов:

1. Значительные отступления от нормативных значений положения подтележечного рельса в плане: максимальные отклонения превышают допускаемые в 20,6 раза (124 мм вместо 6мм). Собственно относительно стенки балки превышение составляет «всего» 19мм (то есть в 3,17 раза), однако в связи сопутствующим искривлением пролётных балок (балки А - 99мм, балки Б - 65мм на базе 100м) и получается такой результат. Отступление от норм в прямолинейности балок выражается в их максимальном превышении: в 1,98 и 1,30 раза, для балок «А» и «Б», соответственно. С учетом всех отклонений получается в балке «А» - 60%, а в балке «Б» - 28%. Если учесть отклонения только на пролёте 60м, (между опорами крана), то указанные превышения составляют:

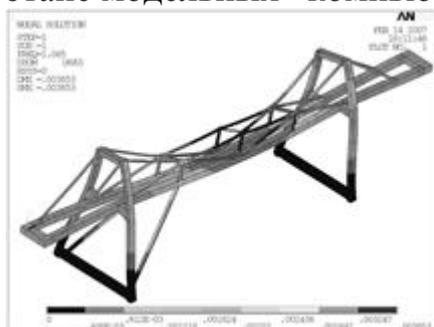
для балки А в $55/30 = 1,83$ раза; балка Б на этом участке отклонений, превышающих норму, не имеет.

2. Взаимный перекося колёс.

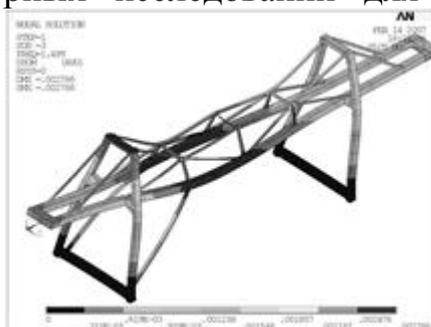
Чтобы тележка двигалась прямолинейно и не стремилась развернуться при движении, угловые отклонения колёс от направления её движения не должны превышать нормированных значений, определённых как по ГОСТ 24378-80 «Краны мостовые электрические. Технические условия», так и по ИСО - 8306 -1985 (Е) «Краны мостовые, козловые»-1986. В данном случае - грейферная тележка, работающая в режиме 6М (Весьма тяжёлый), допуск составляет $tg\varphi=0.0004$ К тому же обнаружены отклонения в общем расположении плоскостей колёс.

Указанная нагрузка от перекося колёс суммируется с нагрузкой, вызванной сверхнормативной деформацией пролётных балок, «приумножается» повышенной (режим 8К) скоростью передвижения тележки (3,73 м/с) и приводит к интенсивному износу колёс. Износ имеется также и у дорожки катания рельса (значительная часть её имеет плоскую поверхность).

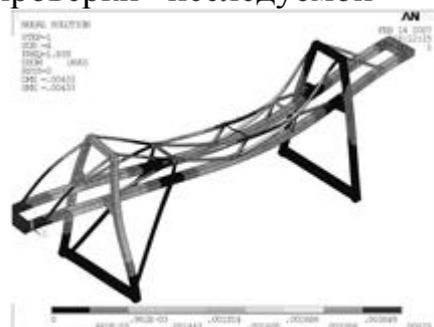
5. Анализ собственных частот и форм мостового крана. На первом этапе модельных компьютерных исследований для проверки исследуемой



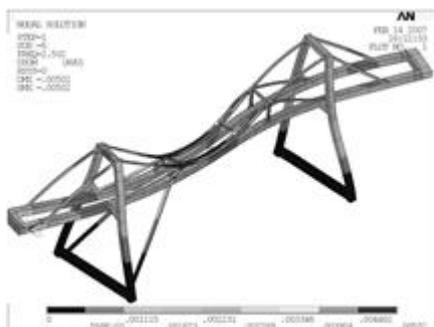
а) 1.085 Гц



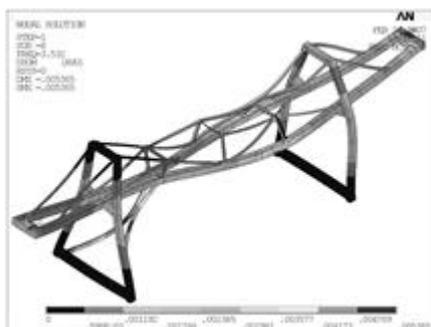
б) 1.5 Гц



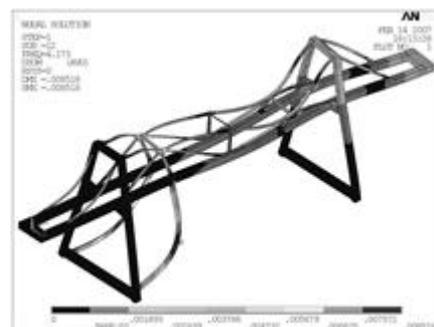
в) 1.8 Гц



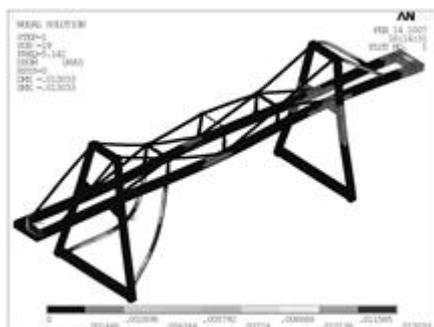
г) 2.5 Гц



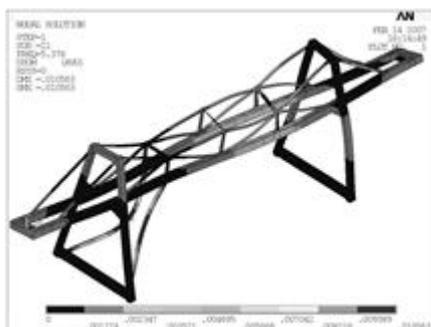
д) 3.5 Гц



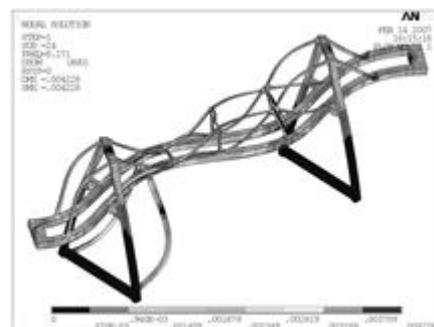
е) 4.2 Гц



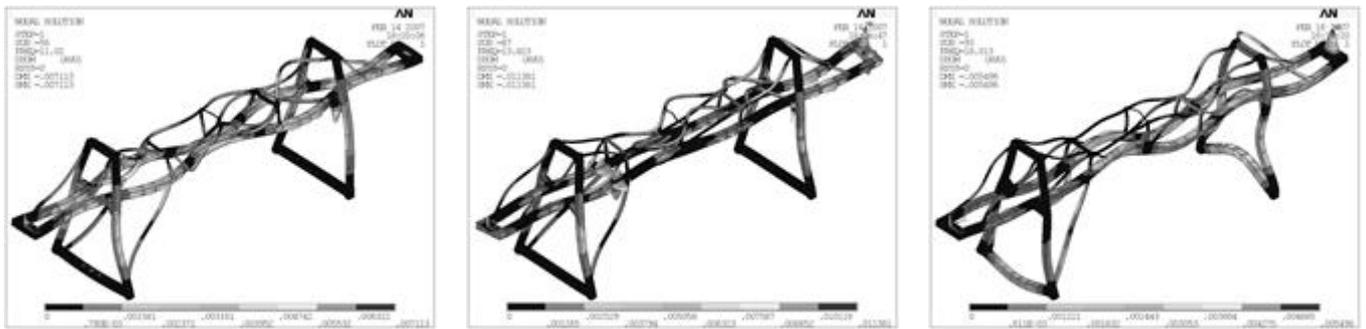
ж) 5.1 Гц



з) 5.4 Гц



и) 6.2 Гц



к) 11 Гц

л) 13.8 Гц

м) 18 Гц

Рис. 13. Собственные формы модели мостового крана и соответствующие собственные частоты.

конструкции на возможный резонанс в системе были вычислены собственные частоты модели конструкции и им соответствующие формы. Анализ собственных частот и форм выявил довольно большое количество «низких» (единицы и десятки Герц) собственных частот модели мостового крана (рис. 13).

Заключение. Все указанные рекомендации более конкретно можно рассмотреть или предложить другие после сравнения полученных результатов с аналогичными данными на момент ввода крана в эксплуатацию. Это вызвано необходимостью определить динамику развития отклонений и вернуться к этому вопросу через определённый период, после внедрения разработанных рекомендаций, а также провести комплексные исследования динамических параметров напряженно-деформированного состояния крана-перегрузателя и в заключение провести параметрическую оптимизацию конструкции как сложной механической системы. Проведенный расчет собственных частот показал наличие большого количества собственных форм, отвечающих низким частотам. Конструкция характеризуется достаточно плотным спектром собственных частот, что требует учета этого обстоятельства при дальнейших исследованиях динамических процессов в углеперегрузателе. Все это составляет направления дальнейших исследований.

Литература: 1. *Петросян О.М.* Влияние дефектов и повреждений подкрановых конструкций на их напряженно-деформированное состояние // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. Випуск 2000-1(21) – Макіївка, 2000. – С.83-87. 2. *Мазикіна О.Б.* Визначення перекосу ходових коліс мостових кранів // Відомості Академії гірничих наук України. – Кривий Ріг, 1998. - № 1.-С.89-90. 3. *Будиков Л.Я.* Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа // Луганск: Изд-во ВУГУ, 1997. -210 с. 4. *Чепурной А.Д., Глинин Г.П., Гусев Ю.Б., Пеклич М.М., Барчан Е.Н., Ткачук Н.А.* Расчетно-экспериментальный метод определения параметров элементов машиностроительных конструкций // Вестник НТУ „ХПИ”. Тематический выпуск „Машиноведение и САПР”. – 2005, №53, с.162-176. 5. *Ткачук Н.Н., Гусев Ю.Б., Танченко А.Ю., Васильев А.Ю.* Системный подход к проектированию, анализу и синтезу элементов зубчатых передач и транспортных средств на основе взаимного обмена данными между подсистемами // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Наукове фахове видання, Мелітополь. – 2006, вип.36, с.115-121. 6. *Глинин Г.П., Гусев Ю.Б., Головченко В.И., Орлов Е.А.* Методи автоматизованого аналізу міцності та жорсткості просторових конструкцій // Вестник НТУ „ХПИ”. Тематический выпуск „Машиноведение и САПР”. 2006, №3, с.58-69. 7. *Гусев Ю.Б.* К вопросу об исследовании напряженно-деформированного состояния металлоконструкции перегружателя ПМГ-20 // Вестник НТУ „ХПИ”. Тематический выпуск „Машиноведение и САПР”. – 2006, №24, с.70-75. 8. Определение положения ходовых колёс (перекос осей) электромостовых

кранов // Отчёт: ВНИИПТМаш, Арх. №3603 НИ. Тема 3646. -М.: 1993г. -39с. 9. Скрипник Э.Т. и др. Перекосы и долговечность ходовых колёс мостовых кранов // Безопасность труда в промышленности. -1992. -№5.-С.41-45. 10. Ковальский Б.С, Слободяник В.А., Иванов В.Н. Некоторые проблемы украинского краностроения // Укр. инж.-пед. инс-т. -Харьков, 1994г. - 53с: ил. -Деп. в ГНТБ Украины. 3.10.94., №1984-Ук94. 11. Гусев А.Ю., Танченко А.Ю., Васильев Н.А., Ткачук Н.А. К вопросу об определении причин сверхнормативного износа реборд колес грейферной тележки мостового крана-перегрузателя // Вестник НТУ „ХПИ”. Тематический выпуск „Машиноведение и САПР”. – 2007, №6, с.55-66. 12. РД 001.01-95. Краны грузоподъёмные. Экспертное обследование. Мет. Указ. По оценке техн. состояния мостовых, козловых и спец. кранов. -Харьков, -1995г.

УДК 531.8:621.747

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИНЕРЦИОННОЙ ВЫБИВНОЙ РЕШЕТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ САПР

Барчан Е.Н. (г. Мариуполь, Украина), **Ткачук Н.А.**, докт. техн. наук,
Грабовский А.В. (г. Харьков, Украина)

The new technology of research of dynamic processes is resulted in the knock-out machines of inertias with unbalance vibration excitors in this article. On the basis of mathematical model the specialized programmatic-model complex is built. A computer 3D model is built, and its researches are conducted.

Состояние вопроса и постановка задачи. Наиболее распространенным способом выбивки литейных форм в современных условиях продолжает оставаться отделение отливочной смеси от отливок на выбивных решетках-грохотах. Колебания решетки передаются залитой форме. Сочетание масс решетки выбиваемой формы, режим колебаний рассчитываются и подбираются таким образом, чтобы форма подбрасывалась вверх на некоторую высоту, а при падении соударялась с выбивной решеткой. Возникающие при этом ударные и инерционные импульсы вначале раскачивают и нарушают связи между отливкой, смесью и стержнями, а затем в разделенных элементах создаются различные ускорения, появляется и увеличивается число соударений между ними. В этих условиях уплотненная смесь и стержни, имеющие меньшую прочность, чем металл, интенсивно разрушаются. Комья измельчаются как от соударений с решеткой и отливкой, так и от соударений друг с другом.

Общая схема исследований. Учитывая специфику поставленной задачи было принято решение использовать предложенный ранее обобщенный параметрический подход, применение которого дает возможность создавать семейство параметрических моделей, позволяющие описать довольно широкий класс исследуемых конструкций [1, 2]. Данный подход предусматривает комплексный подход к решению проблемы проектирования и модернизации, поскольку позволяет промоделировать изменения любых числовых параметров, используемых для описания модели, и всесторонне их проанализировать в различных специализированных инженерных пакетах.

На рис. 2 приведена общая схема исследования динамического поведения инерционной выбивной решетки с дебалансными вибровозбудителями:

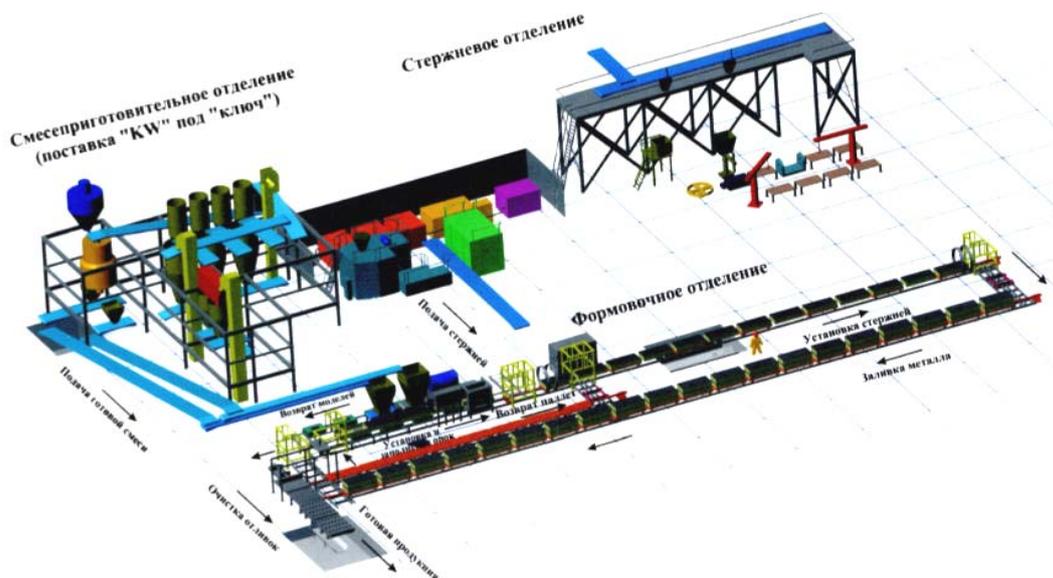


Рис. 1. Общая схема уникального формовочного комплекса «KW» установленного на ЗАО «АзовЭлектросталь».



Рис. 2. Общая схема исследования динамических характеристик выбивной машины.

Формирование уравнений движения системы тел. Уравнения движения системы тел (уравнения Эйлера-Лагранжа)

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial q} \right)^T \lambda = F \quad (1)$$

и уравнения связей, записанные в форме алгебраических соотношений вида

$$\Phi(q, t) = 0 \quad (2)$$

представляют собой традиционный подход при анализе механических систем. В уравнениях (1) -(2) применяются следующие обозначения: T – суммарная кинетическая энергия; Φ – вектор связей; F – вектор обобщенных приложенных сил; λ - вектор множителей Лагранжа (силы реакции в связях); t – независимая переменная времени; q – вектор обобщенных координат.

Систему уравнений (1)-(2) можно представить в программных кодах. Численное интегрирование уравнений, выведенных из формулировки Лагранжа (1), позволит описать движение самых различных механических систем [3]. Дифференциальные уравнения в системе (1) можно свести к уравнениям 1-го порядка путем стандартной подстановки новых зависимых переменных вместо каждой производной высшего порядка.

Используемые методики решения задач динамики основаны на прямом решении системы дифференциальных уравнений. Анализ последних работ [4, 5] показал что, основная трудность заключается в корректном составлении этой системы и сложность ее дальнейшего решения. Причем любое изменение физической модели, элементов подвески, параметров корпуса и др. повлечет за собой перестройку всей системы.

Методика проведения многовариантных расчётов:

- Построение твердотельной параметрической модели в одном из CAD (computer-aided design) пакетов (Pro\ENGINEER, SolidWorks).
- Передача модели из CAD в CAE пакет и преобразование геометрической модели в физическую.
- Расчет в одном из CAE (computer-aided engineering) пакетов, (VisualNastran Desktop 4D, Cosmos Motion, ADAMS, ANSYS), где задаются необходимые кинематические, упругие, демпфирующие связи, силовые факторы и пр.

Методика решения. В современном проектировании широко используются различные программные пакеты автоматизированного конструирования, позволяющие оценивать проекты на каждом этапе процесса разработки [6]. Средства CAE позволяют анализировать кинематику или динамику поведения проектируемого агрегата. К этой категории относятся такие пакеты, как ADAMS, DADS и MSC.VisualNASTRAN Desktop 4D, ANSYS. С точки зрения этих пакетов каждый компонент сборочной модели рассматривается как тело с сосредоточенной массой, либо тела могут быть с распределёнными массами, которые сосредотачиваются в узлах конечно-элементной сетки.

В представленной работе предлагается построить в пакете автоматизированного проектирования CAD SolidWorks, трёхмерную твердотельную модель. Затем по построенной геометрической модели создать физическую в Cosmos-Motion, ANSYS. Задать нагрузки, связи и провести численное исследование динамического поведения системы «подвеска-грохот-отливка» при номинальной нагрузке выбивной машины.

Для демонстрации данной методики будем использовать класс выбивных решеток, подобных модели 31260. Для этого была построена сборочная модель решетки в соответствии с чертежами в CAD пакете SolidWorks, общий вид выбивной решетки приведен на следующем рисунке (рис. 3):

В состав конструкции виброгрохота входят:

- корпус, состоящий из двух бок овин, позиция 1, 3 и 2, 4, скрепленных с двух сторон стенками 8 и стяжками 5 и 6, изготовленными из двутавра, и торцевых платиков для скрепления с боковинами;
- колосники рабочего полотна 7, которые устанавливаются на стяжки 5;

- вибровозбудитель 11, закрепленный в верхней части на боковинах;
- привод, включающий в себя два электродвигателя, муфты промежуточные, роlikоопоры, лепестковые муфты и раму;
- опоры решетки 9 (4 единицы);
- пружина опоры решетки. В качестве амортизатора корпуса решетки применены сдвоенные (пружина в пружине) пружины 10 в количестве 16 пар по 4 пары на каждой опоре.

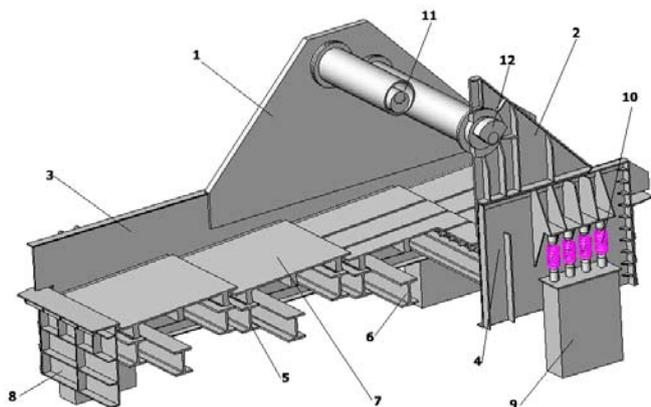


Рис. 3. Общий вид инерционной выбивной решетки с дебалансными вибровозбудителями.

зОВ.

Исследуемая выбивная вибрирующая транспортирующая машина обладает следующими техническими данными и характеристиками: грузоподъемность – 100 кН; частота колебаний 1000 об/мин; максимальная амплитуда колебаний полотна: вертикальная – 4,8 мм, горизонтальная – 2,8 мм; габаритные размеры: длина – 6300 мм, ширина – 4300 мм, высота – 2750 мм; масса – 15920 кг.

После того как геометрия модели инерционной выбивной машины была передана в САЕ пакеты (CosmosMotion, ANSYS Workbench), в неё были добавлены упругие и демпфирующие связи, заданы массовые характеристики, и добавлены т. н. «моторы». Также были наложены ограничения на степени свободы некоторых тел.

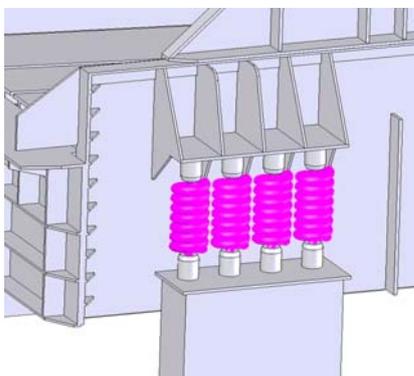


Рис. 4. Узел из 4-х пружин в месте крепления выбивной машины к фундаменту.

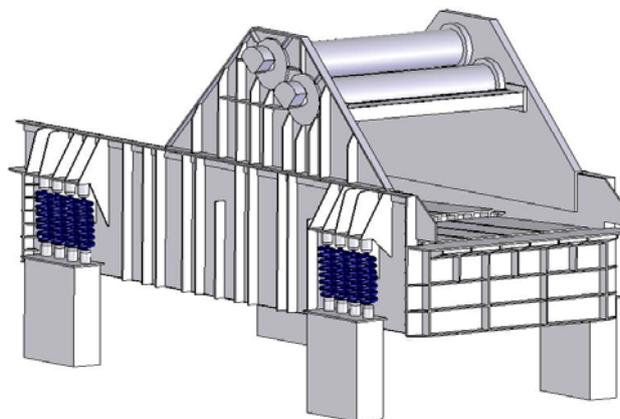


Рис.5. Полная модель выбивной машины с упругими и демпфирующими связями

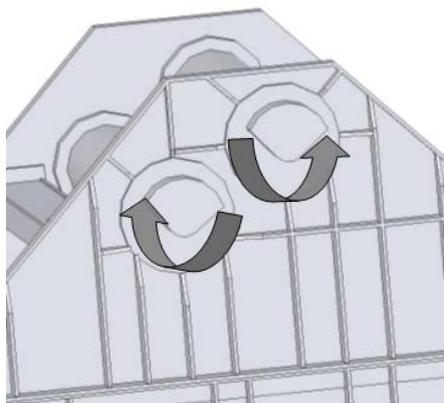


Рис. 6. Задание вращения валов (1000 об/мин).

Пружины и демпферы были добавлены в местах, где в реальной модели стоят пружины (рис. 4, 5).

На валах было задано вращение (рис. 6). Массово-инерционные характеристики выбивной машины получаются из параметров геометрии с учётом того, что материал из которого изготовлена конструкция «грохота», - однородный, но при необходимости материал может быть изменён. Задание всех жесткостей и сил демпфирования также являются величинами параметрическими.

В результате перехода от геометрической модели к физической модель стала обладать массово-инерционными характеристиками, в модели появились упругие и демпфирующие элементы. Созданная модель в самом общем случае обладает 14-ю степенями свободы.

Результаты тестовых расчётов. В качестве результатов тестовых расчетов рассмотрим качественные распределения перемещений коробки выбивной машины, полученные при холостой работе и номинальном нагружении выбивной машины тестовым грузом. Поскольку в реальной конструкции выбивной машины наиболее выражаются 3 степени свободы. Поэтому для адекватного описания поведения проводится анализ, в котором корпусу выбивной решётки разрешены 3 степени свободы. Для такой модели были получены следующие результаты (рис. 7 – 11). Машине были заданы следующие характеристики: масса – 15960 кг, жесткость каждой пружины – 330 Н/м, коэффициент демпфирования – 1 Н*сек/мм, частота вращения вала – 1000 об/сек. В приведенном расчёте были заданы характеристики реальной машины.

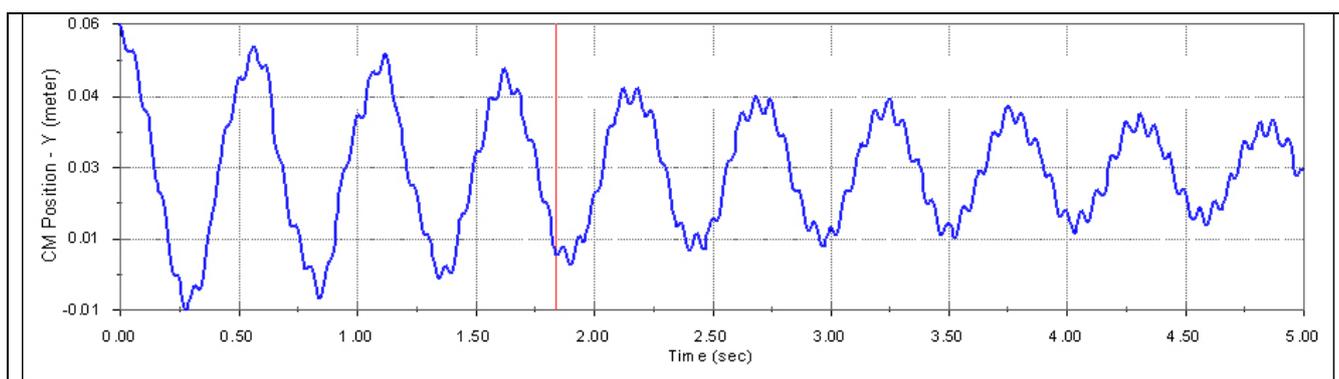


Рис. 7. График перемещения центра масс машины (вертикальная координата).

Заключение. В статье предложена новая технология анализа динамических процессов и синтеза конструктивных параметров выбивных машин с дебалансным приводом. Построен программно-модельный комплекс и получены тестовые результаты. Они подтвердили работоспособность созданного программно-модельного комплекса и его эффективность для решения возникающих в процессе проектирования задач.

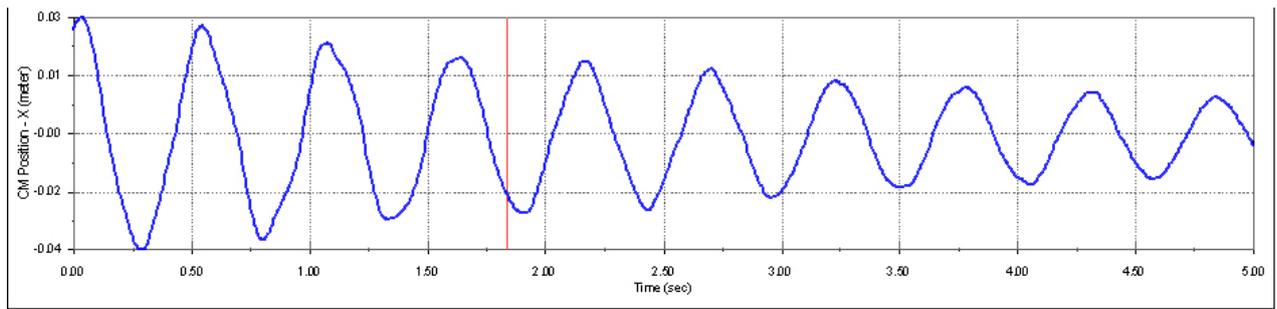


Рис. 8. График перемещения центра масс машины (горизонтальная координата).

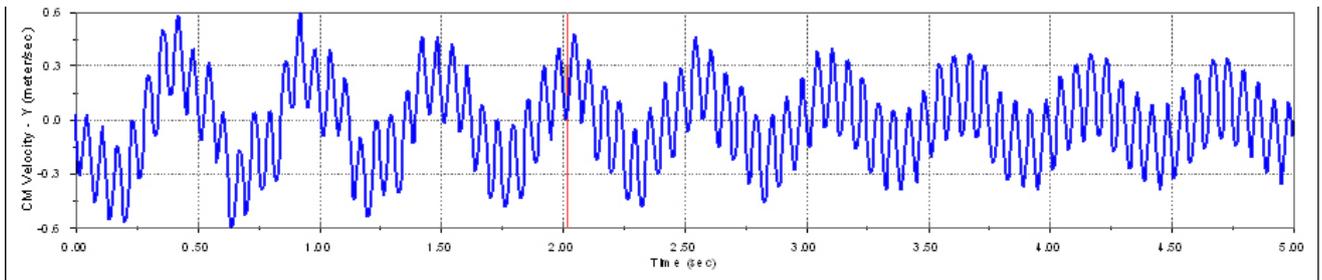


Рис. 9. График изменения скорости центра масс коробки (вертикальная координата).

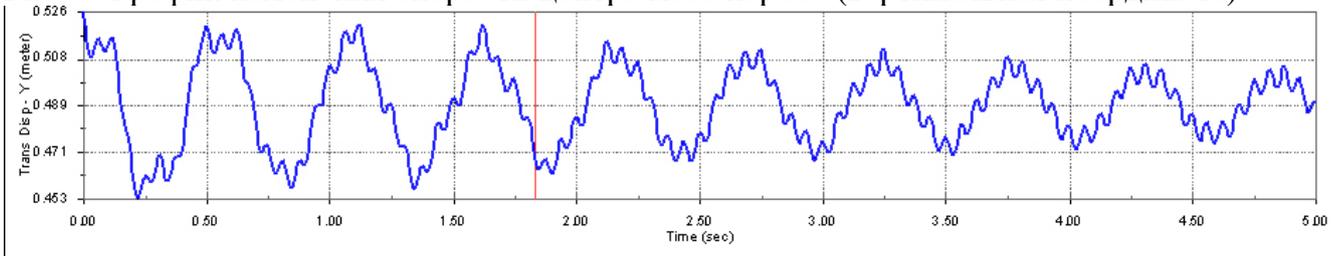


Рис. 10. График изменения скорости длины первого левого упругого элемента.

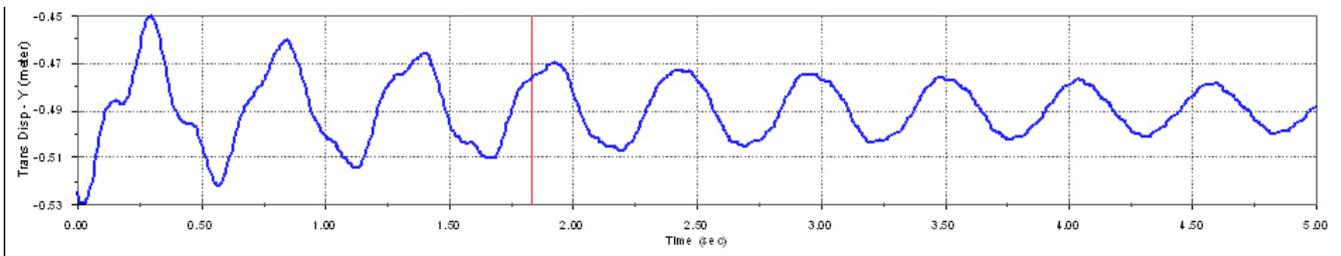


Рис. 11. График изменения скорости длины последнего левого упругого элемента.

В дальнейшем планируется проведение численных и экспериментальных исследований и оптимизации конструкций выбивных машин.

Литература: 1. Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Чепурной А.Д., Орлов Е.А., Ткачук Н.Н., Бруль С.Т. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // Механiка та машинобудування. – Харкiв: НТУ “ХП”, 2006. – № 1. – С.73-79. 2. Ткачук Н.А., Бруль С.Т., Малакей А.Н., Гриценко Г.Д., Орлов Е.А. Структура специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов транспортных средств специального назначения // Механiка та машинобудування. – 2005. – № 1. – С.184-194. 3. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Часть 2. – М.: Высшая школа, – 1966. – 411 с. 4. Дмитроченко О.Н. Эффективные методы численного моделирования динамики нелинейных систем абсолютно твёрдых и деформируемых тел // Дисс. на соиск. уч. ст. канд. физ.-мат. наук. 5. Погорелов Д.Ю. Введение в моделирование динамики систем тел: Учеб. пособие. – Брянск: БГТУ, 1997. 6. Ли К. «Основы САПР (CAD/CAM/CAE)». – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.

4. ЕКОНОМІКА І ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 685. 5

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ Й СЕРТИФІКАЦІЇ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТУ ЯКОСТІ ЗА СТАНДАРТОМ ІSO 9001:2000

Орлов П.А., докт. екон. наук (м. Харків, Україна)

The condition of introduction and certification of systems of management of quality according to the standard ISO 9001:2000 in Ukraine is analyzed. The serious arrears in this area are marked in connection with the forthcoming entry of Ukraine into WTO, which will result in increase of a level of a competition for the domestic enterprises even on a home market. The method of an estimation of integrated effect from introduction and certification of systems of management of quality is offered.

Проанализировано состояние внедрения систем менеджмента качества в соответствии со стандартом ISO 9001:2000 в Украине. Показано, что отставание в этой области очень негативно скажется на конкурентоспособности отечественных предприятий, особенно машиностроительных, после скорого вступления Украины в ВТО, так как уровень конкуренции для них повысится даже на внутреннем рынке. Предложен метод оценки экономической эффективности внедрения и сертификации системы менеджмента качества.

Про виняткову актуальність проблеми якості для нашої країни свідчить наступне. Після скорого вступу України до СОТ різко зросте рівень конкуренції для вітчизняних підприємств на внутрішньому ринку. У країні переважним чином за рахунок низької якості продукції на грані зникнення знаходиться галузь сільгоспмашинобудування. Ліквідовані Харківський завод тракторних двигунів та завод «Серп і молот», які разом мали виробничу потужність більш 300 тис. двигунів для тракторів і комбайнів у рік. ВАТ «ХТЗ», який зараз виробляє тільки 2100-2200 тракторів у рік. За 2006 р. вітчизняної сільгосптехніки було закуплено у 11 разів менше, ніж ввезено іноземної, а тракторів - у 16,8 разів [5].

У той же час у Білорусі успішно розвивається Мінський тракторний завод, який щорічно виробляє більш 50 тис. тракторів та експортує свою продукцію у різні країни світу. Мінський моторний завод щорічно виробляє більш ніж 120 тис. дизельних двигунів та значну частину експортує.

Найбільшу кількість сертифікованих СМЯ відповідно до міжнародного стандарту ISO 9001 версії 2000 року мають такі країни як Китай, Англія, Японія, США, Франція, Німеччина, Італія. Швидко зростає кількість сертифікованих СМЯ у Росії, Латвії, Чехії, Словенії.

На 1 січня 2006 року в Україні було 1405 сертифікатів на системи управління якістю відповідно до міжнародного стандарту ISO 9001:2000, у тому числі 989 сертифікатів зареєстровано у системи УкрСЕПРО та 416 сертифікатів видано іноземними органами. Для порівняння Угорщина має більше 10 тис. сертифікованих СМЯ, Румунія - 6 тис., Польща - 6,5 тис.

Якщо на підприємстві перестають працювати над вдосконаленням якості продукції та послуг, то це неминуче призведе до його банкрутства. Від якості товарів та послуг, що виробляються, залежить експортний потенціал країни,

зростання добробуту нації та якості життя. Як вірно підкреслив президент Європейської організації якості Г. Д. Сеґецци, дефіцит торгівельного балансу країни є наслідком неуваги до якості.

За даними Держкомстату, Україна за 2005 року має перевищення імпорту товарів над експортом на 1854, 3 млн. дол. За шість місяців 2006 року частка чорних металів в експорті склала 33,8%, машин, приладів, обладнання 13,7%, а частка машин, приладів, обладнання у імпорті - 28,8% тобто у два рази більше.

У результаті впровадження та сертифікації СМЯ, основаної на новітніх розробках та досвіді передових фірм світу, підприємства отримують можливість підвищити ефективність функціонування, зміцнити конкурентні переваги у галузі якості продукції та задоволення потреб своїх споживачів. Так, за оцінками Дж. Джурана, за 85% проблем якості відповідає система менеджменту, а за інші 15% - виконувачі. На думку Е. Демінга, 96-98% проблем якості виникає через систему менеджменту, а решта 2-4% - через виконувача. Наявність сертифікату на СМЯ значно полегшує пошук замовників на продукцію підприємства у промислово розвинутих країнах.

СМЯ є частиною системи управління (далі СУ) організації, яка спрямовує та контролює діяльність організації у тому, що стосується якості. У склад СУ організацією входить СМЯ, система управління фінансовою діяльністю та СУ охороною навколишнього середовища.

Сьогодні наявність міжнародного сертифіката на СЯ виробничого підприємства істотно сприяє успіху у пошуку підприємств-покупців продукції та партнерів, особливо із промислово розвинутих країн. На думку західних експертів, у близькому майбутньому на єдиному європейському ринку до 95% контрактів буде укладатися тільки за наявності у постачальника сертифіката на СЯ. У багатьох країнах відсутність сертифіката на СЯ підприємства використовується як митний бар'єр. Підприємства, що не мають сертифіката, все частіше не допускаються до участі у тендерах в промислово розвинутих країнах, а іноді й в Україні. Сертифікація СМЯ дозволяє значною мірою покращити імідж та репутацію підприємства, підвищити ринкову вартість підприємства. За оцінками міжнародного реєстра «Веі Когзке Уегієз», сертифікація СМЯ підвищує ринкову вартість підприємства у середньому на 10%.

Проведене опитування керівників західних підприємств, що мають сертифіковані СЯ, засвідчило, що лише 9% з них вважають, що у результаті сертифікації їх очікування не виправдалися, решта вважають, що виправдалися чи навіть були вищими [3].

Досвід передових фірм багатьох держав демонструє, що постійне підвищення якості є найбільш ефективним для досягнення високих темпів економічного та соціального прогресу.

Як показує досвід, більші вигоди від сертифікації СМЯ одержують підприємства, які експортують свою продукцію в промислово розвинені країни або мають великий експортний потенціал, а сертифікована авторитетними закордонними організаціями СМЯ дозволяє ефективніше реалізувати цей потенціал («Турбоатом», ЗАТ «Швденкабель», ВАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», ВАТ «Мотор Січ»). ЗАТ «Завод «Південкабель» за участю зовніш-

ніх консультантів підготував до сертифікації систему управління якістю на відповідність вимогам стандарту ISO 9001 приблизно за один рік. Досвід вітчизняних підприємств свідчить про те, що в середньому період підготовки до сертифікації СМЯ становить один-два роки.

У більшості випадків СМЯ за ISO серії 9000 впроваджуються та сертифікуються підприємствами на добровільній основі. Виключенням є випадки, коли сертифікація продукції за національними та міжнародними стандартами передбачає обов'язкову сертифікацію СМЯ. Наприклад, з 9 модулів сертифікації продукції, що застосовуються починаючи з 1993 року у країнах ЄС 3 модулі D, E, H потребують здійснення сертифікації СМЯ.

У випадку добровільного впровадження й сертифікації СМЯ керівництву підприємства необхідно спочатку оцінити її економічну доцільність. Оцінка економічної доцільності впровадження СМЯ передбачає зіставлення витрат на розробку, впровадження СМЯ й її підтримку, з одного боку, та вартісну оцінку позитивних результатів від впровадження й сертифікації СМЯ, з іншого.

У відповідності зі стандартами міжнародної організації з стандартизації ISO серії 9000, у яких відображено міжнародний досвід управління якістю, підприємство може досягти успіху тільки при наступних умовах:

- 1) якість стане турботою всіх членів підприємства, а не тільки керівників;
- 2) про досягнення необхідної якості будуть дбати при виконанні усіх функцій на підприємстві та на всіх стадіях життєвого циклу продукції від початку розробки до утилізації.

Вибір органа з сертифікації до початку розробки СМЯ дозволить підприємству одержувати оплачувану методичну допомогу в підготовці фахівців для підприємства в області керування якістю, у розробці й впровадженні СМЯ.

Наступним важливим питанням є визначення працівників підприємства, які будуть брати участь у реалізації цього проекту й обсяги робіт по впровадженню СМЯ, що можуть виконати ці працівники, з одного боку, і представники органа по сертифікації, з іншого. Від цього будуть залежати витрати підприємства на розробку СМЯ. Практика показує, що працівники підприємств, на яких в умовах планової економіки діяли комплексні системи керування якістю продукції (КС УКП), успішно справляються самі, тому що є багато загального в документації КС УПК і СМЯ.

Витрати на розробку й впровадження СМЯ будуть істотно залежати від видів продукції, що випускаються, де впроваджується СМЯ або окремих її видів, від рівня наукоємкості й складності продукції, а також від числа й значимості пунктів вимог стандарту ISO 9001, яким повинна відповідати СМЯ, що впроваджується. Тому потрібно визначити пункти вимог стандарту ISO 9001, які можуть бути опущені за умови, що це, як записано в пункті 1.2 стандарту, не вплине негативно на здатність підприємства поставляти продукцію, що задовольняє вимоги замовника.

Наприклад, підприємство займається тільки виробництвом і реалізацією продукції. Розробку нової продукції підприємство замовляє іншій спеціалізованій проектно-конструкторській організації. У цьому випадку підприємство може не враховувати пункти вимоги стандарту ISO 9001, що втримуються в ро-

зділі 7.3. «Проектування й розробка». Після вирішення перерахованих вище завдань для ефективного керування реалізацією проекту доцільно розробити й затвердити графік впровадження й сертифікації СМЯ .

У процесі розробки СМЯ варто ретельно проаналізувати всі сторони діяльності підприємства з метою їх вдосконалювання, починаючи з його структури управління. Виявлення основних процесів на підприємстві має обов'язково супроводжуватися (якщо буде потреба) їх регніжинірингом (перепроєктуванням) з метою раціоналізації й підвищення ефективності. Тільки при такому підході можна створювати дійсно ефективну СМЯ. Як свідчить практика, системи якості, створювані на різних підприємствах, що відповідають одному й тому ж стандарту ISO, істотно відрізняються своєю ефективністю. Необхідно виходити з того, що із завершенням розробки й впровадження СМЯ не повинен завершитися процес удосконалювання діяльності підприємства. Стандарти ISO передбачають постійне вдосконалювання СМЯ і діяльності підприємства на основі результатів внутрішніх і зовнішніх аудитів, які проводяться періодично і аналізу з боку керівництва.

Економічний ефект від впровадження й сертифікації систем менеджменту якості (Эс) пропонується розраховувати по наступній формулі:

$$\mathcal{E}_c = \sum_0^T (\Delta\Pi_t - Z_{mt} - H_t) \cdot (1 + E)^{-t} - \sum_0^{T_c} K \cdot (1 + E)^{-t} ,$$

де $\Delta\Pi_t$ - приріст прибутку в році t , обумовлений впровадженням і сертифікацією системи менеджменту якості у відповідності зі стандартами ISO 9000, грн.; H_t - податок на приріст прибутку в році t , обумовлений впровадженням і сертифікацією системи менеджменту якості у відповідності зі стандартами ISO 9000, грн.; E - річна норма дисконтування; Z_{mt} - витрати підтримки СМЯ у році t , грн.; K_t - витрати на створення, впровадження й сертифікацію системи менеджменту якості в році t , грн.; T_c - період створення, впровадження й сертифікації системи менеджменту якості, років; T - період дії сертифікованої системи менеджменту якості, років; t - рік, результати й витрати якого приводяться до початкового моменту часу.

При оцінці ефективності впровадження й сертифікації системи менеджменту якості необхідно враховувати ступінь її поширення на підприємстві (на один вид продукції, на кілька видів продукції, на всю продукцію, що виробляється). Тому в увагу повинні прийматися зміни показників діяльності по тій продукції, на яку поширюється система менеджменту якості.

Література: 1. Якубовський В. Міжнародні стандарти ISO версії 2000 року: основа, структура і практика застосування (частина 1. Принципи побудови) // Стандартизація, сертифікація, якість. - 2000. - №2. - С. 53-2. 2. Орлов П. А. Впровадження систем управління якістю: стан, проблеми, перспективи // Стандартизація, сертифікація, якість. - 2004. - №6. - С. 59 - 63. 3. Всеобщее управление качеством: Учебник для вузов / [О. П. Глудкин, Н. М. Горбунов, А. Й. Гуров, Ю. В. Зорин]; / Под ред. О. П. Глудкина. - М.: Радио й связь, 1999. - 600 с. 4. Орлов П. А. Менеджмент качества й сертификация продукции: Учеб. пособие. - Х.: Изд. «ИНЖЕК», 2004. - 304 с. 5. Офіційний веб-сайт Міністерства аграрної політики України <http://mainagro.gov.ua>.

УДК 339.13: 138.100

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТОРГОВО-ПОСРЕДНИЧЕСКИХ УСЛУГ НА РЫНКАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОДУКТА

Савченко Н.Ф., канд.техн.наук, Крюк А. Г., канд.техн.наук, Воликов В.В.
(г. Харьков, Украина)

Questions of a choice of a technique and estimation of objects of the industrial property in conditions of becoming in the country of market attitudes(relations) are investigated.

Постановка задачи. Одной из наиболее сложных задач при коммерческой деятельности многих фирм и предприятий в условиях глобализации экономики является проведение эффективной маркетинговой политики на рынке интеллектуального продукта. Эта часть работ, по сути, должна рассматриваться как первый этап выяснения возможностей конкурентов или же партнеров и, в дальнейшем, может значительно облегчить разработку стратегических направлений торговой политики. Ее проявление осуществляется как в форме непосредственного технологического обмена, так и в оказании посреднических услуг в виде консультаций по защите прав отечественного товаропроизводителя или его ознакомления с национальными или международными особенностями реализации товаров, так или иначе представляющих объекты интеллектуальной собственности (патенты, ноу-хау), их оценки и, при необходимости, защиты. В этой связи, а также с наметившимися перспективами вступления стран СНГ и Украины, в частности, в организацию ВТО представляется целесообразной значительная активация их деятельности на международном уровне. В результате существенно возрастает значение интеллектуальной собственности (ИС), отражая изменение подходов как к оценке количественного и качественного роста потребностей людей в товарах, так и к оценке возможностей удовлетворения этих потребностей за счет увеличения физических объемов производства товаров, расширения их ассортимента и повышения качества. Это обуславливает необходимость уточнения подходов к оценке объектов промышленной собственности.

Цель исследования. Необходимость активизации усилий по продвижению ИС тем значительнее, что уже приобретают реальные предпосылки проблемы освоения новых рынков сбыта. Вместе с тем их освоение требует понимания отдельных вопросов, относящихся к положениям и правилам международной торговли. Поэтому совершенствование методов оценки ИС и выявление каналов получения информации: коммерческих и некоммерческих, межгосударственные соглашения, межфирменные связи и другие элементы развивающихся коммуникационных систем достаточно актуальны и приобретают все большее значение.

Следует также учитывать, что технологический обмен в рамках международных проектов финансируют и, естественно, определенным образом координируют МВФ, Европейский банк реконструкции и развития, Международный банк реконструкции и развития, специализированные международные организации системы ООН – ЮНИДО, ЮНЕП, ЮНЕСКО и др., что способствует формированию инвестиционного климата в стране.

Развитие наукоемких, высокотехнологичных отраслей (к высокотехнологичным отраслям относятся, как правило, производство турбин, электронно-вычислительных машин и оборудования, радиоэлектронных компонентов, лабораторного оборудования, авиационная и ракетно-космическая промышленность) и стремительный рост международного обмена их продукцией способствовали формированию теорий неотехнологического направления (например, теория снижающихся издержек (эффект масштаба)). Так, теория «технологического разрыва» предполагает, что технические новшества первоначально появляются в одной стране, она приобретает преимущество: новая технология позволяет производить товары с меньшими издержками. Если новшество заключается в производстве нового продукта, то предприниматель в стране-новаторе в течение определенного времени обладает так называемой «квазимонополией», то есть получает добавочную прибыль, экспортируя новый товар. Следовательно, выгодно выпускать не то, что относительно дешевле, а то, что пока никто выпускать не может, но необходимо всем или многим. Как только эту технологию освоят другие страны, следует производить опять что-то новое и такое, что другим недоступно.

В результате появления технических новшеств образуется «технологический разрыв» между странами, обладающими и не обладающими этими новшествами. Этот разрыв постепенно будет преодолеваться, так как другие страны начинают копировать нововведение страны-новатора. Однако пока разрыв не преодолен, торговля новыми товарами, производимыми по новой технологии, будет продолжаться.

Степень развития технологии и спрос на каждой стадии различны. Одним из выводов исследования М. Портера («Конкурентные преимущества стран») стал достаточно подробно проработанный совершенно новый подход к проблемам международной торговли. Одной из предпосылок этого подхода является следующее: «На международном рынке конкурируют фирмы, а не страны. Необходимо понять, как фирма создает и удерживает конкурентное преимущество, чтобы уяснить роль страны в этом процессе». Успех на внешнем рынке зависит от правильно выбранной конкурентной стратегии.

Поэтому проблема рационального использования или своевременного приобретения объектов ИС становится очевидной и в ряде случаев острой, если ее рассматривать с позиций поэтапного отстаивания интересов отечественных товаропроизводителей. Учитывая, что наиболее распространенной формой передачи ИС и технологий является лицензионная торговля, представляется целесообразным совершенствование ее форм в зависимости от патентовладельца (государство, юридическое или физическое лицо) и целей организации в рамках законов и документов, относящихся к охране авторских прав в Украине и отраженных в законе «О научно-технической информации». Следует также учесть особенности и трудности проведения гибкой политики в области рынка ИС, его сегментацию [1,2]. К положительным аспектам в области рынка ИС можно отнести то, что еще в 1994 г. более 100 стран, в их числе и США, активно участвующих в международной торговле, подписали соглашение по вопросам прав на ИС, касающихся торговли (TRIP). Оно предусматривает сближение и унификацию ряда положений в национальном законодательстве об ИС в странах

ГАТТ. В результате после 1.01.1996 г. изобретатели из других стран могут быть в равных условиях с изобретателями других, лидирующих в международной торговле, стран, например, с изобретателями США. Однако в условиях болезненного становления рыночных отношений в Украине, неопределенности спроса и предложения эффективное продвижение на рынок объектов ИС или их приобретение без разработки специальных подходов в рамках государственных или региональных программ достаточно сложно. В результате, учитывая специфику рынка ИС, возникает опасность превращения Украины не просто в экономически отсталую страну, но и в страну, допустившую миллиардные убытки из-за неправильной оценки объектов ИС и политики их реализации. Для амортизации этого процесса необходимы не только понимание роли создаваемого и, особенно, созданного ранее потенциала, но и его эффективное использование. Исполнителями и координаторами различных научных направлений могли быть ведущие специалисты инженерных центров, например ХПИ, ХАИ, ХИРЭ, ХГУ, ХНЭУ и других. Безусловно, уже на первых порах действие подобных центров значительно более эффективно расширило бы полномочия патентных служб или привело бы к их реорганизации. Важнейшим преимуществом такого подхода стала бы и возможность максимально использовать пока еще имеющийся научный потенциал, особенно относящийся к изобретениям б. СССР, не публиковавшихся ранее по определенным соображениям в открытой печати. Могли бы расширяться различные формы технологического обмена, в частности, и такие, как виртуальные. Это облегчало бы выход на международный рынок не только объектов ИС, но и многих товаров благодаря заблаговременному формированию сегмента рынка с учетом не только возможностей конкретного предприятия, но и региона, исключало бы дублирование работ в сфере изучения области применения и оценки объектов ИС.

Особо следует отметить сложность и проблемы в деятельности маркетинговых служб в аспекте усиливающейся конкуренции сертификационных и товарных знаков в условиях формирования единого рынка, их увеличивающуюся роль как объектов ИС.

Наиболее сложными при оценке объектов ИС являются новые технологии. При их приобретении лицензиат не всегда согласен раскрыть область применения этого вида промышленной собственности (например, относя их к коммерческой тайне).

Поэтому целесообразно при определении цены исходить из сравнительного анализа не наиболее близкого объекта ИС, а учитывая и наиболее близкие, альтернативные решения. При оценке в этом случае возникает необходимость использования нескольких видов комплексных показателей (натуральных и стоимостных): интегральных, удельных, обобщенных (сумма баллов, функциональные зависимости главного показателя от начальных показателей, желательности и др.).

Анализ преимуществ объекта ИС (технологических процессов) можно осуществлять различными способами:

- путем попарного сравнения данного варианта технологии с базовыми;
- путем использования в расчетах условного «эталона» - гипотетического варианта, для которого все показатели качеств имеют наивысшую оценку.

В этом отношении были рассмотренные следующие варианты:

- анализуемый вариант - газодетонационная штамповка (ГДш) деталей сложной формы габаритами до 2 м, которые изготавливаются из цветных металлов и сплавов;
- и сравнимые варианты:
 - формообразование деталей методами взрывной штамповки (ВШ);
 - формировка деталей электрогидравлическим штамповкой (ЭГШ);
 - традиционная штамповка (Трад. шт.) деталей на механических прессах с использованием двухэлементной схемы оснащения.

Фактически это не только возможные, но и наилучшие определенным показателям варианты изготовления деталей из плоских заготовок габаритами до 2 м (наиболее распространенная номенклатура изделий).

Для выявления состава основных преимуществ объекта ИС следует учитывать мнение независимых экспертов, которые можно выделить как характерные для разных условий производства и эксплуатации:

1. Безопасность технологического процесса и возможность встраивания в существующий производственный процесс.
2. Широту номенклатуры обрабатываемых деталей. Как измеряемый параметр (показатель) принято количество единиц наименований деталей, которые могут быть получены каждым из сравниваемых вариантов технологических процессов.
3. Показатели качества: точность и разнотолщинность, определяемые замерами размеров изделия и толщины листа в зонах деформации заготовки. Его оценивают в процентах относительного изменения размеров и толщины материала заготовки после деформации.
4. Показатель производительности процесса формообразования оценивается длительностью цикла операции, другими словами – величиной оперативного времени в минутах.
5. Наличие опытного и промышленного образца.
6. Показатель сроков технологической подготовки производства оценивается временами, необходимым для разработки технологической документации, и временами изготовления специального технологического оснащения в условиях типичной группы отдела главного технолога и цеха нестандартного оборудования.
7. Показатель «Цена оборудования» принят в условиях воссоздания при современном состоянии экономики для типичного представителя оборудования каждого технологического производства. Оценивают в натуральных или условных единицах.
8. Показатель «Цена оснащения» принимают в относительных значениях - условные единицы стоимости на килограмм массы.
9. Наличие в пределах срока действия патента публикаций и заявок на выдачу патентов.
10. Показатель «Гибкость производства» оценивается величиной времени переналадки оборудования из выпуска деталей одного наименования на вы-

пуск деталей другого наименования.

Тогда, обрабатывая мнения различных экспертов (лицензиара и лицензиата), можно осуществить расчеты, выделяя лучший, гипотетический вариант. Очевидно, что только с позиций системного подхода, учитывая роль предприятия в регионе и в стране, а также иерархию факторов, влияющих на конкурентоспособность производимого в последующем изделия (на основании использования ИС), и эволюцию как товара, так и имеющегося производственного потенциала, могут быть выявлены наиболее объективные показатели с позиций лицензиата.

В этом случае взаимодействие интеллектуального центра, широко использующего практику венчурных фирм (или консалтинговых), и предприятия как потребителя интеллектуальных услуг (лицензиата) может координироваться предварительным отражением запроса в виде разработанных по специальной методике морфологических таблиц (отражая подходы предприятия к конфиденциальности информации). Строки таблиц могут отражать наиболее существенные с позиций системного подхода технологические и конструктивные или иные особенности объектов ИС или рассматриваемого изделия, а также полезные дополнительные функции, которые могут быть приобретены производимым на основании приобретенной лицензии товаром. Колонки отражают сведения об альтернативных вариантах их обеспечения. Количество вариантов повышения потребительских свойств товара как виртуального субъекта рынка выявится после анализа вариантов с учетом наиболее значимых новых функций. В общем случае это количество может быть определено как последовательное произведение альтернативных вариантов всех строк морфологической таблицы. Затраты на ведение работ могут компенсироваться в форме кредитов (банков или частных структур).

Таким образом, рассмотрены некоторые проблемы разработки маркетинговой стратегии продвижения на рынок объектов ИС, а также их оценки и возможные решения проблемы повышения эффективности использования объектов ИС как объектов коммерческой деятельности.

Литература: 1. Инновационный менеджмент: Справ. пособие / под ред. П.Н. Завалина, А.К. Казанцева, Л.Э. Миндели – М.: ЦИСН, 1998. – 568 с. 2. Маркетинг / Под ред. А.Н. Романова. – Банки и биржи, ЮНИТИ, 1996. – 560 с.

УДК 330.325

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ВРЕМЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЕ

Тимофеев В.Н., докт. экон. наук (г. Харьков, Украина)

Influence of expenses of resources and capital investments is examined on duration of investment processes and their efficiency.

Активизация инновационной деятельности в процессе становления и развития рыночных отношений служит, с одной стороны, основой усиления конкуренции. С другой стороны, это является одним из основных факторов ускорения научно-технического прогресса (НТП). В условиях ускорения НТП и углубления интенсификации производства существенное значение приобретают вопросы исследования влияния капитальных вложений и других видов ре-

сурсов на длительность цикла воспроизводства и обновления средств производства. Повышение капитальных вложений и соответственный рост технической оснащенности процессов создания и освоения новых технических систем способствует сокращению сроков обновления продукции. К примеру, внедрение средств автоматизации проектирования радиоэлектронных устройств позволяет в 2-7 раз сократить трудоемкость проектных работ [1].

Распыление капитальных вложений и их уменьшение в расчете на один объект увеличивает сроки инвестиционных циклов. К примеру, сокращение количества строек наполовину в Украине в 80-е годы и соответственная концентрация капитальных вложений позволила сократить средние сроки строительства с 6,4 до 5,5 лет [2]. Таким образом можно выделить два, своеобразно проявляющих себя, вида эффективности ресурсов: затратная и временная. Первая достаточно хорошо известна и давно исследуется. Она характеризует различные виды ресурсов с точки зрения их влияния на снижение текущих затрат (себестоимости) на производство продукции. Временная эффективность ресурсов проявляется через их влияние на сокращение сроков продолжительности процессов, для реализации которых первые используются. Временная эффективность ресурсов, следовательно, непосредственно характеризует их функцию экономить время.

Затратная и временная эффективность ресурсов соотносятся как явления последовательных процессов, а не проявляющиеся в одном процессе одновременно. Так, временная эффективность ресурсов, используемых для создания объекта, проявляется как результат сокращения сроков его ввода в действие. В свою очередь, затратная эффективность ресурсов проявляется уже в процессе функционирования объекта.

Целесообразно рассматривать прежде всего временную эффективность такого универсального вида ресурсов, как капитальные вложения. При этом временная эффективность других производственных ресурсов приводится к эффективности капитальных затрат. Измерителем эффективности влияния капитальных вложений на продолжительность инвестиционных процессов, могут служить коэффициенты временной эффективности капитальных вложений, определяемые для конкретного объекта по формуле:

$$A_{\dot{O}} = \frac{\dot{O}_1 - \dot{O}}{\hat{E} - \hat{E}_1} = \frac{\Delta \dot{O}}{\Delta \hat{E}},$$

где T_1, T – продолжительность реализации проекта для базового (нормативного) и оцениваемого вариантов; K_1, K – капитальные вложения для тех же вариантов.

В связи с разной масштабностью объектов коэффициенты временные временной эффективности капитальных вложений целесообразно выражать в относительных величинах через индексы:

$$E_T = \frac{1 - I_T}{I_K - 1},$$

где I_T, I_K – индексы изменения соответственно продолжительности и капитальных вложений для реализации проекта.

В таком виде коэффициенты временной эффективности могут представ-

лать собой объект нормирования для различных объектов, исходя из условия ограниченности капитальных вложений. Исходными условиями для решения данной задачи является, с одной стороны, затратная эффективность капитальных вложений, т.е. экономический эффект от реализации оцениваемых проектов. С другой стороны, должна учитываться ограниченность объема капитальных вложений (КВ) в исследуемой экономической системе. Сокращение сроков реализации проектов по сравнению с их базовым (нормативным) значением вследствие дополнительных КВ образует соответствующий прирост экономического эффекта.

Задача заключается в том, чтобы при ограниченном объеме КВ найти минимально допустимое (предельное) значение коэффициента временной эффективности дополнительных капитальных вложений, обеспечивающего максимальный прирост суммарного эффекта от ускорения реализации проектов КВ во всей исследуемой экономической системе. Кроме того определяется также оптимальное распределение капитальных вложений по всем реализуемым проектам. Целевая функция в общем случае выражается при этом как прирост суммарного эффекта по проектам (объектам):

$$\Delta \dot{Y} = \sum_{i=1}^m [\dot{Y}_{\tilde{A}_i} \cdot \Delta T(\Delta K_i) - \alpha_i \cdot \Delta K_i] \rightarrow \max,$$

где $\dot{Y}_{\tilde{A}_i}$ – годовой экономический при реализации i -го проекта с учетом лага освоения; $\Delta T_i(\Delta K_i)$ – сокращение сроков реализации i -го проекта по сравнению с базовым (нормативным) вариантом как функция дополнительных капитальных вложений ΔK_i ; α_i – коэффициент, отражающий влияние затрат по реализации i -го проекта на суммарные затраты за период его жизненного цикла.

Сокращение срока реализации проекта можно представить:

$$\Delta T = T_j - T = T_j (1 - I_T).$$

Из формулы коэффициента временной эффективности:

$$1 - I_T = E_T (I_K - 1),$$

а прирост дополнительных капитальных вложений можно представить:

$$\Delta K = K_i (I_K - 1).$$

Тогда

$$\Delta T = \frac{T_j}{\hat{E}_j} \dot{A}_{\dot{O}} \cdot \Delta \hat{E} = \frac{1}{\beta} \dot{A}_{\dot{O}} (\hat{E} - \hat{E}_j),$$

где T_H, K_H – соответственно базовые (нормативные) продолжительность и затраты на реализацию проекта; K, T – тоже для планового варианта реализации проекта; β – средняя нормативная стоимость 1 года цикла реализации проекта.

С учетом этого математическую постановку задачи можно сформулировать следующим образом: определить неизвестные E_T, K_i (для $i = m$), обращающие в максимум функцию:

$$\Delta \dot{Y} = \sum_{i=1}^m \left[\frac{\dot{Y}_{\tilde{A}_i}}{\beta_i} E_T (K_i - K_{j_i}) - \alpha_i (K_i - K_{j_i}) \right] \rightarrow \max$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^m K_i \leq K_0,$$

$$K_i^{\min} \leq K_i \leq K_i^{\max} \text{ для } i = \overline{1, m},$$

где K_0 – общий лимит капитальных вложений в исследуемой экономической системе; K_i^{\min} , K_i^{\max} – минимально и максимально допустимые объемы капитальных вложений на реализацию i -го проекта.

Задача решается итеративным методом с использованием аппарата линейного программирования путем определения оптимальных K_i на каждом шаге итераций с установленным значением E_T .

В целом предложенный подход к оценке временной эффективности инвестиционных процессов и их оптимизации способствует совершенствованию решения вопросов управления экономической динамикой инноваций.

Литература: 1. Моисеев С.В. Экономические критерии выбора радиоэлектронных комплексов самолетов. – М.: Машиностроение, 1994. – 224 с. 2. Экономика инвестирования в научно-технический прогресс./ А.С. Емельянов, В.Ф. Беседин, В.М. Козуб и др. – К.: Наукова думка, 1988. – 312 с.

УДК 658.5

ДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИКИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Тимофеев Д.В., канд. экон. наук (г. Харьков, Украина)

Dynamics of competitiveness of technical equipment at early stages of life cycle is considered.

Конкурентоспособность (КС) продукции один из основных показателей уровня развития предприятия. В связи с этим в условиях рыночных отношений проблема управления КС занимает ведущее место в функционировании и стратегии деятельности, как крупных корпораций, так и небольших фирм. Для сложной технической продукции, используемой в качестве орудий труда (автомобили, тракторы, металлообрабатывающее оборудование и др.), существенное влияние на КС оказывает также НТП, темпы которого возрастают и во многом тоже зависят от уровня конкуренции.

В этих условиях особенно возрастают требования к адекватности оценки КС с точки зрения ее динамики. Этим во многом определяется эффективность всей системы управления КС продукции. С учетом этого можно констатировать, что КС товара проявляется в условиях весьма динамичной среды. Один и тот же товар в разных условиях будет обладать разным уровнем КС. Таким образом, рассматривая вопрос оценки КС техники, следует исходить, по нашему мнению, из следующих двух предпосылок. Во-первых, КС относительная характеристика товара и соответственно ее уровень может отражаться также относительным показателем. Во-вторых, относительный характер КС и динамичность среды, где она проявляется обуславливает также динамичный характер КС, т.е. она является функцией времени. Следует отметить, что в существую-

ших методах оценки КС превалирует статический подход, т.е. оценка ее осуществляется в определенный момент времени для сложившихся условий. Однако недоучет динамических аспектов КС существенно повышает вероятность принятия ошибочной неэффективной стратегии деятельности предприятия. В связи с этим возникает необходимость динамической оценки КС техники.

На динамику КС оказывают влияние субъективные и объективные факторы. Первые определяются, главным образом, квалифицированностью действий предприятия по обеспечению КС. Объективные факторы имеют более долгосрочный характер. Они отражают влияние НТП, стоимости ресурсов, конъюнктуры рынка сбыта, действий конкурентов, налоговой и кредитно-финансовой политики государства и др. Одни из них имеют краткосрочный характер и при управлении КС требуют адекватных тактических действий. Другие объективные факторы имеют долгосрочный характер и влияют на динамику КС изделия в течение всего ЖЦТ. Основным объективным фактором данного вида является НТП, который обуславливает моральный износ изделия и соответственно снижение его КС.

Характерным показателем ускоряющегося НТП является также фактор времени. Статистические данные говорят о сокращении временных характеристик инноваций. Это убедительно доказывает анализ американской патентной сферы, проведенный В. Зубчаниновым и Н. Соловьевым [1]. Достаточно заметна также тенденция сокращения продолжительности цикла «начало исследований – внедрение нового изделия» [2]. Параллельно идет процесс бурного расширения ассортимента промышленных изделий. За последние 20-25 лет количество наименований изделий увеличилось по меньшей мере в десять раз и в настоящее время насчитывает многие миллионы [3].

Исходя из концепции непрерывности НТП, следует считать непрерывными и его следствия – моральное старение каждой модели техники, а также снижение ее потенциальной экономической эффективности и КС. Основные ступени указанного процесса следующие: вначале наступает моральный износ проекта (после разработки проекта более прогрессивной модели). Если освоено производство и выпущены первые новые изделия, наступает моральный износ конструкции (техническое старение). Когда технико-экономический уровень оцениваемого изделия становится ниже среднего в сфере применения продукции данного назначения наступает полный моральный износ модели. Соответственно при прочих неизменных условиях снижается ее КС. Этим определяется связь НТП, морального износа и КС изделия. Отсюда можно отметить следующее: 1) динамика КС на преобладающем участке времени проявляется как убывающая функция от времени; 2) взаимосвязь КС и морального износа (МИ) модели требует планирования ее жизненного цикла как товара (ЖЦТ) и его составляющих: - этап создания и освоения производства модели, период ее серийного выпуска и реализации; 3) количественная оценка взаимосвязи КС и МИ каждого конкретного вида техники создает объективную основу для нормативного управления КС за период ЖЦ.

Таким образом, исследуя КС техники за период ее ЖЦ как функцию времени, следует рассматривать различные объекты оценки. На стадии создания

новой техники (СНТ) им является объект разработки. Соответственно можно оценивать КС этой разработки по отношению к возможным альтернативным проектам. На стадии производства изделия его оценка осуществляется как объекта производства и с этой точки зрения рассматривается его конкурентоспособность. Объектом анализа здесь является КС продукции предприятия. В период продажи продукции последняя оценивается как объект реализации. При этом объектом анализа является КС товара. Наконец, на стадии эксплуатации техники она оценивается как объект применения (использования) потребителем. Объектом анализа в системе определения конкурентоспособности является в этом случае КС изделия. В совокупности перечисленные стадии составляют ЖЦ модели (наименования) техники, а объектом анализа в системе оценки КС является конкурентоспособность модели (КСМ). Рассматривая более широко этот вопрос следует учитывать и другие признаки составляющих КСМ: место, время и условия проявления, целевую функцию, основной субъект оценки, факторы. В свою очередь, показатели составляющих КСМ отражают их особенности по рассматриваемым стадиям жизненного цикла модели техники, а их уровень характеризует КС по сравнению с принятой базой. При этом между показателями КС для различных объектов существует иерархическая взаимосвязь в направлении развития процессов ЖЦ. То есть показатели объектов оценки на более ранних стадиях ЖЦ оказывают влияние (последствие) на показатели объектов оценки последующих стадий.

Проведенный анализ позволяет выделить ряд групп факторов КС, оценки и ее динамики по определенным признакам. Эта классификация приведена в табл. 1.

Таблица 1

Общая классификация групп факторов оценки и динамики конкурентоспособности

Признак	Группы факторов
Сфера проявления	Внешние и внутренние для товаропроизводителя (продавца)
Возможность воздействия (управления) на факторы	Объективные (неуправляемые) и субъективные (управляемые)
Продолжительность воздействия	Долгосрочные, краткосрочные, среднесрочные
Природа воздействия	Стохастические (имеют случайный характер), детерминированные (могут быть достаточно точно оценены)
Сущностная природа (среда возникновения)	Политические, экономические, социальные, демографические, природно-климатические

Все факторы КС достаточно тесно взаимосвязаны и представляют собой весьма сложный комплекс причинно-следственных связей. Классификация по двум признакам в табл. 1 определяет факторы основополагающего характера, учет и оценка которых непосредственно обуславливает особенности системы управления динамикой КС.

В целом, как следует из вышеприведенного, динамическая оценка КС техники представляет собой достаточно сложную задачу прогнозного характера, основанную на учете большого количества факторов разной природы. Это, в свою очередь, безусловно, усложняет задачу реализации прогнозной модели и повышает важность проблемы оценки значимости и выбора факторов.

Таким образом, наряду с оценкой КС техники для существующих условий в настоящий момент времени (статический подход), важнейшее значение имеет оценка КС как функции времени (динамический подход). Реализация ее на период жизненного цикла товара позволяет существенно повышать эффективность системы оценки и управления КС техники.

Литература: 1. Зубчанинов В., Соловьев Н. /Известия АН СССР. Серия экономическая. №3, 1980., с. 57-59. 2. Lavalley L. A marxsta prognotikaert. /Budapest, Kossuth Konyvkiado., 1972. – 231 с. 3. Санто Б. Инновация как средство экономического развития: Пер. с венг. – М.: Прогресс, 1990. – 296 с.

УДК 378.147

ОСОБЕННОСТИ ОТРАСЛЕВЫХ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛИЗАЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Смоловик Р.Ф., канд. экон. наук, **Линник Е.И.**, канд. экон. наук,
(г. Харьков, Украина)

In article various ways of re-structuring of industries to conditions of transition to postindustrial manufacture, and also value resource saving strategy as major making branch re-structuring are considered.

Основным признаком, определяющим движение социально-экономической системы по пути глобализации в современных условиях, является наличие международной технической и информационной системы коммуникации и международного процесса производства, включая международный рынок. В этих условиях экономические взаимосвязи страны ориентированы на долгосрочные соглашения с другими странами с целью сотрудничества в области совместного использования ресурсов, которые необходимы для выполнения задач, связанных с корпоративной миссией каждой из них. Необходимо также отметить, что при этом трансформируется вся экономическая сфера страны, происходит реструктуризация экономики в соответствии со стандартами, принятыми в экономически развитых странах.

Структурная перестройка экономики предполагает также необходимость стимулирования инвестиций, достижения ресурсной независимости, реализации антимонопольных мероприятий, стабилизации международных экономических взаимосвязей и многое другое.

Однако, украинская экономика, несмотря на стремление к рыночным преобразованиям, сохраняет все еще признаки ресурсоемкого экстенсивного развития, ведущую роль в структуре которого по-прежнему играют добывающие отрасли промышленности при довольно несбалансированном блоке отраслей обрабатывающей промышленности и недостаточно развитой сфере услуг. В этих условиях процесс дальнейшего социально-экономического развития не-

возможен без соответствующей структурной реорганизации экономики. Однако, решение указанной задачи требует принципиальных изменений в самом процессе использования основных экономических ресурсов. Причем такая задача является не только чисто технологической, она требует коренных изменений во всей системе общественных отношений. В данном случае необходимо обратиться к мировому опыту отраслевой реструктуризации, которая предполагает несколько таких вариантов (рис. 1).

Однако, необходимо также отметить, что в современных условиях для нашей страны достаточно сложно выбрать стратегию, поскольку ни одна из них не может быть долговременной. Так, например, для «сырьевой стратегии» характерна перспектива быстрого истощения запаса ресурсов, возможность появления новых видов ресурсов, появление новых конкурентов, возникает опасность зависимости национальной экономики от колебаний мировой конъюнктуры.



Рис. 1. Стратегии отраслевых приоритетов в промышленной политике.

Стратегия суперинновационных технологий имеет определенное ограничение по ее применению. Ею могут воспользоваться лишь некоторые наукоемкие подотрасли производства, такие как сфера космического производства, авиа- и ракетной техники. В связи с этим наиболее приемлемой для Украины считается стратегия развивающихся стран, стратегия имитации, использование приобретаемой, освоенной инновационной технологии, позволяющей обеспечить выпуск конкурентоспособной продукции.

Стратегическая же цель структурной политики, на наш взгляд, должна сформировать качественно новую структуру экономики, обеспечивающую: социальную ориентацию всего процесса общественного производства, создание высокоразвитого потребительского сектора и прогрессивной структуры потребления с высоким удельным весом потребительских благ, с последовательным совершенствованием технологической структуры производства. Достижение указанных целей возможно при условии, когда технологическая политика предприятия будет решать следующие задачи: мониторинг научно-исследовательской деятельности, технологических тенденций развития; оптимальное использование интеллектуального потенциала организации; проведение инновационной технологической политики.

Все изложенное выше позволяет сделать следующие выводы.

В современных условиях глобализации экономически развитые страны переживают переход от индустриального к постиндустриальному производству, которое требует отраслевой реструктуризации, основанной на инновационных процессах. Главным элементом такого стратегического направления должна стать общенациональная система ресурсосбережения, включающая взаимосвязанные программы экономики конкурентных ресурсов, прежде всего энергетических. Скорректированная программа энергосбережения при разумном регулировании цен будет стимулировать экономию наиболее энергоемких продуктов, а также снижение затрат при их производстве.

УДК 378.147

ОСОБЛИВОСТІ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЕКТУ

Паперовський В. Б. (м. Тернопіль, Україна)

To effectively use their own intellectual property at realization of the investment project enterprise must have a get fat and reliable information on all object of the intellectual property, which are found in its dictation. The prerequisite of the reception full and reliable information there is inventory. The article is dedicated to by question to particularities to inventories object to intellectual property at realization innovation project.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Проблемі управління об'єктами інтелектуальної власності (ОІВ) на підприємстві, зокрема виявленням та ідентифікацією ОІВ в сучасній науковій літературі приділяється незначна увага. Більшість науковців та фахівців розглядають дану проблему на макрорівні і в більшості з точки зору галузі права. Дослідженням проблеми управління інтелектуальною власністю на підприємстві займаються В. П. Астахов, В. І. Мухопад, А. П. Сергеева, П. П. Крайнев, Л. Лукачева і інші.

Вступ. Маючи високий науково-технічний потенціал, підприємства галузі сільськогосподарського машинобудування інколи неефективно використовують його в економічному обороті. Тим часом одним із основних активів на ринку стає використання факторів нематеріального характеру, що включають в себе інтелектуальну власність. Економічна безпека та конкурентоздатність підпри-

ємства все більше залежить науково-технічного рівня та застосування на практиці новітніх технологій. Тому на сьогоднішній час гостро стоїть питання щодо ефективності внутрішнього управління активами інтелектуальної власності при реалізації інвестиційних проектів.

Необхідною передумовою одержання повної та достовірної інформації щодо інтелектуальних ресурсів є проведення інвентаризації.

Постановка завдання. В даному дослідженні ставиться завдання обґрунтування розробки цілісної системи інвентаризації об'єктів інтелектуальної власності на підприємствах сільськогосподарського машинобудування при реалізації інвестиційних проектів.

Результати. Успіх і стійкість підприємства в сучасному світі багато в чому визначається ступенем адаптації до умов економіки, що прискорюється й ускладнюється в динаміці змін, що відбуваються у внутрішньому і зовнішньому середовищі. В умовах інформаційної економіки адаптація є, насамперед, інформаційно-інтелектуальним і соціально-психологічним процесом. Виробнича структура розвинутих країн уже не дає можливості забезпечувати істотні переваги підприємства тільки за рахунок матеріальних і фінансових факторів, роблячи їх загальнодоступними. Індивідуальні переваги і лідерство в більшій степені стають наслідком ефективного використання унікальних по своїй природі факторів нематеріального, невловимого характеру, що включають у себе інтелектуальну власність.

В умовах трансформації економіки на більшості підприємствах сільськогосподарського машинобудування характерною є фінансова криза, фізичний знос та моральне старіння обладнання, пасивна позиція на ринках наукоємкої продукції.

В умовах кризи на підприємствах сільськогосподарського машинобудування об'єкти інтелектуальної власності (ОІВ) не знаходять ефективного використання в економічному обороті. Частково це пов'язано з тим, що у більшості управлінців та фахівців вони прямо асоціюється із невідчутністю та абстрактністю їх реальної вартості. Переважно управлінський персонал недооцінює необхідність та можливість підвищення реальної ринкової вартості підприємства шляхом цілеспрямованого і раціонального управління інтелектуальними ресурсами і, зокрема об'єктами інтелектуальної власності.

Одним із шляхів виходу підприємств галузі сільськогосподарського машинобудування з кризи вбачається в ефективному управлінні інтелектуальними ресурсами та інвестиційному забезпеченні реалізації інноваційних проектів на основі ОІВ.

Очевидно, щоб ефективно використовувати свої інтелектуальні ресурси при реалізації інвестиційного проекту підприємство повинно мати повну й достовірну інформацію про всі об'єкти інтелектуальної власності, що перебувають у її розпорядженні. Необхідною передумовою отримання повної та достовірної інформації є інвентаризація. Інвентаризація містить у собі заходи щодо встановлення факту наявності об'єкта інтелектуальної власності, його початкових даних, ухвалення принципового рішення про його використання. У даному випадку поява об'єкта інтелектуальної власності може бути обумовлена як діяльніс-

ттю інноваційних підрозділів підприємства, так і одержанням його із зовнішніх джерел.

Оскільки ОІВ особливий об'єкт обліку, тому їх інвентаризації властиві як загальні так і специфічні цілі. Основною ціллю інвентаризації є залучення раніше отриманих результатів науково-технічної діяльності в економічний оборот при реалізації інвестиційного проекту. Поряд з тим інвентаризація може переслідувати і другорядні цілі. До яких можна віднести:

1. виявлення фактичної наявності ОІВ в натурі;
2. виявлення ОІВ, які не використовуються і в подальшому не можуть приносити економічної вигоди, для їх списання;
3. перевірка наявності документів, що підтверджують права на використання ОІВ, для прийняття рішення про подальшу експлуатацію ОІВ або відмову від неї.

Особливістю інвентаризації інтелектуальної власності та результатів інтелектуальної діяльності (ОІВ), є те що обліковими одиницями можуть бути або самі ОІВ або права на них (ІВ).

Початковим пунктом проведення інвентаризації можна вважати початкове рішення керівництва щодо реалізації інвестиційного проекту. Метою даної інвентаризації є виділення ОІВ та прав на них відповідно до інвестиційного проекту.

Проведення інвентаризації об'єктів інтелектуальної власності передбачає виконання певних організаційних, правових та облікових процедур (рис. 1).

При цьому аналізується звітна науково-технічна, проектна, конструкторська, технологічна й інша документація для виявлення потенційно охоронспроможних результатів. На основі цього аналізу надаються рекомендації щодо використання ідентифікованих результатів в економічному обороті.

Оскільки об'єкту інтелектуальної власності можна поставити певне облікове найменування, то даний об'єкт є ідентифікуючий і розпізнаваний. Проте, момент ідентифікації згідно думки різних фахівців є досить спірним. На етапі розпізнавання необхідне чітке оформлення первинних документів, які можуть стати основою для самого факту існування об'єкту інтелектуальної власності та прав на нього, його подальшої оцінки. Це можуть бути договори купівлі-продажу, патенти, проектно-технічна документація і т. д. Основною ознакою по якій один інвентарний об'єкт ідентифікується від іншого є виконання ним самостійної функції у виробництві продукції, виконанні робіт або надання послуг. При умові коли РНТД не має охоронних документів, проводиться оформлення їх відповідно до типу ОІВ.

При виявленні РНТД необхідно провести перевірку на патентну чистоту, щоб уникнути проблем та судових позовів.

При проведенні інвентаризації після ідентифікації та розпізнавання проводиться паспортизація результатів (заповнюється паспорт по певному зразку). При відсутності інформації по певних позиціях паспорта проводяться дослідження з метою отримання необхідної інформації. В паспорт також можуть заноситись пропозиції про подальше використання ОІВ. Характеристики інвентарного об'єкта можуть визначатися в загальному або відповідно до конкретного

проекту.

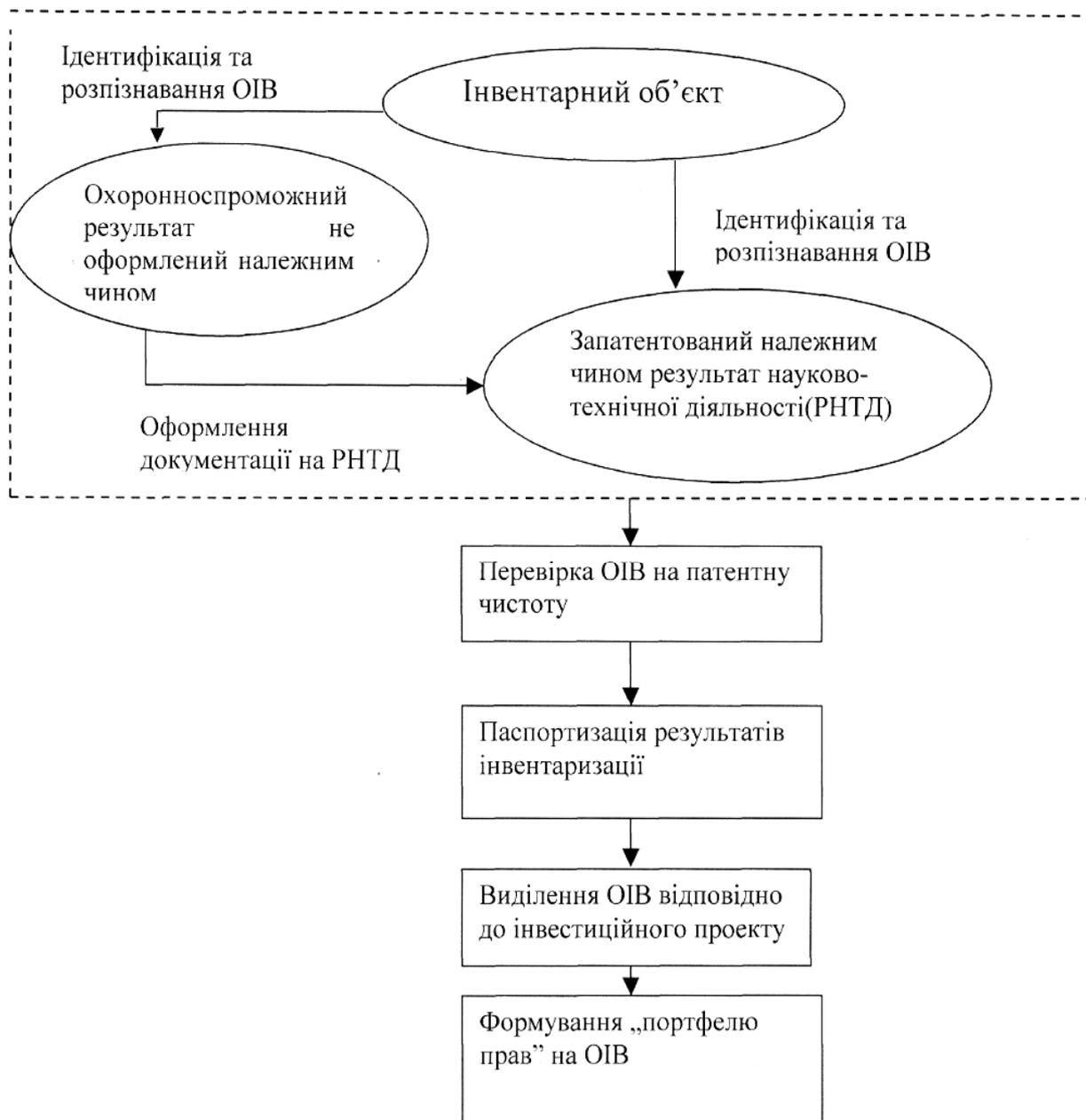


Рис. 1. Інвентаризація ОІВ відповідно інвестиційного проекту.

Формування „портфелю прав" передбачає проведення ідентифікації прав на всі ОІВ, які використовуються в проекті. Сформований „портфель прав" може оцінюватися у відповідності з загальними принципами і стандартами оцінки.

Висновки: Таким чином, інвентаризація об'єктів інтелектуальної власності являється одним із головних факторів ефективного управління своїми інтелектуальними ресурсами при формуванні „інвестиційного портфелю" з метою збільшення прибутку на промисловому підприємстві.

Література: 1. Святоцький О. Роль інтелектуальної власності в економічному розвитку України // Інтелектуальна власність. -1998. - №1. С. 29-33. 2. Шипова Е.В. Оценка интеллектуальной собственности: Учеб.пособие. -Иркутск: Изд-во БГУЗП,2003. - 122с. 3. Прахов Б. Інвентаризація прав на результати науково-технічної діяльності // Інтелектуальний капітал. 2005.- №3.-С. 32-34.

ЗНАЧЕНИЕ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА

Мищенко А.Н. (г. Одесса, Украина)

Meaning of the law of quality management for economic mechanism.

Проблема качества и конкурентоспособности продукции сложна и актуальна даже для процветающих и благополучных стран мира и жизненно важна для стран сравнительно недавно ставших на путь развития рыночной экономики.

В силу ряда объективных и субъективных причин, Украина вступила во всеобщее движение за качество со значительным опозданием по отношению к развитым странам Европы, с достаточно сложным состоянием хозяйственного механизма.

Как известно, хозяйственный механизм состоит из совокупности конкретных форм и методов сознательного воздействия на экономику. Этот механизм обеспечивает взаимодействие подсистемы, которая управляет, и подсистемы, которой управляют.

Хозяйственный механизм неразрывно связан с реальными задачами, которые стоят перед производством и определяются не только государственным законодательством, но и объективными законами производства, в том числе законом соответствия уровня развития интеллектуального и производственного потенциала общества и характера общественно-производственных и политических отношений.

Хозяйственный механизм - сложная общественная система, для которой характерен достаточно высокий уровень неопределенности присущих ей связей и отношений. Это открытая, непостоянная система с гибкими и преимущественно нестойкими внешними и внутренними связями [1].

Вышеперечисленные особенности хозяйственного механизма обуславливают актуальность осмысления роли различных экономических законов в пространстве хозяйственного механизма.

Различают действие экономических законов и их сознательное применение. Механизм экономических законов и хозяйственный механизм (механизм их использования) являются понятиями разных уровней: первый подразумевает объективную необходимость экономических законов, второй используется в конкретной хозяйственной практике.

Центральным в системе хозяйственного механизма является экономический механизм, который действует через экономические интересы, обусловленные материальными потребностями людей и состоит из комплекса экономических способов, методов, нормативов, показателей, с помощью которых реализуются объективные экономические законы.

Одним из основных экономических законов несомненно является всеобщий организационно-экономический механизм управления качеством продукции. Этот закон имеет ярко выраженный универсальный характер, однако, имеет особенности, присущие той или иной отрасли производства (машиностроительной, химической, медицинской и др.).

С целью повышения качества и конкурентоспособности отечественной

продукции, обеспечения защиты интересов потребителей и содействия вхождению Украины в европейское и мировое экономическое пространство в 2001 году был издан указ Президента Украины «О мерах по повышению качества отечественной продукции» [2].

Этот документ предполагает разработку и внедрение нормативно-правовых актов государственной поддержки внедрения систем управления качеством на предприятиях и свидетельствует об осознании важности этого магистрального направления в экономическом механизме хозяйственной системы страны.

Украина, вступив на путь рыночной экономики позднее целого ряда стран имеет возможность объективно оценить пройденный ими путь развития и, возможно, избежать ошибочных решений и отклонений в процессе решения основных проблем повышения качества продукции.

Решение проблемы повышения качества и конкурентоспособности продукции требует решения как теоретических вопросов, связанных с созданием нормативно-правовой базы, так и практических мероприятий. Внедрение системы управления качеством приводит к необходимости создания на предприятии специализированной службы качества, чьей основной деятельностью должно стать внедрение и применение на всех уровнях управления эффективных методов контроля и средств достижения целей в области качеств [3].

Сложившиеся в стране условия для внедрения системы управления качеством существенно отличаются от условий в развитых странах с уже установившимися рыночными отношениями в первую очередь по количеству и качеству специалистов в области управления производством (менеджеров), которые являются ключевыми людьми на предприятии, а профессия их одна из самых престижных.

Навыки эффективного управления основываются не столько на инженерных, сколько на специальных знаниях и умении применять подходящие методы формирования мобилизации и приведения в движение потенциала предприятия для решения стоящих перед ним задач.

Движение за качество возникло под влиянием действия объективного экономического закона, сформулированного еще в начале прошлого столетия и установившего, что с развитием производственных сил возрастают общественные потребности. На удовлетворение этих постоянно возрастающих общественных потребностей и должна быть направлена интенсивная разработка адекватных мер по непрерывному повышению уровня качества продукции и деятельности общественных предприятий.

Эффективная работа всеобщего организационно-экономического механизма управления качеством является приоритетным мероприятием успешного развития и стабильности хозяйственного механизма страны.

Литература: 1. Внутрішній економічний механізм підприємства: Навч. посібник /Грешко М.Г. и др.. К.: КНЕУ, 2001. - С. 25- 40. 2. Указ Президента Украины №113/2001 от 23.02.2001 “О мероприятиях по повышению качества отечественной продукции”. 3. Иванов В.Н. Особенности и перспективы движения за качество. Стандарты и качество/ 1-2003.

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ КАДРОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПЕРСОНАЛУ ПІДПРИЄМСТВА**Савченко М.М.** (м. Харків, Україна)

Management of personnel work at the enterprise demands improvement and target increase of efficiency of use of personnel potential. Special value is got with creative components of personnel potential. N.N.Savchenko. Some aspects personnel to potential of the personnel of the enterprise.

Вступ. В умовах розвитку ринкової економіки та її інтеграції до міжнародної кадрова політика стає найважливішою складовою підвищення ефективності використання трудових ресурсів підприємства та його розвитку. При цьому управління кадровою роботою на підприємстві, здійснюючись в правовому полі, визначеному Положеннями Конституції України, Кодексу законів про працю і іншими нормативними документами, повинно проводитись з позицій раціоналізації використання кадрового потенціалу [1,2].

Постановка мети. Найважливішою обставиною формування кадрового потенціалу є те, що персонал багатьох, особливо наукоємких підприємств знаходиться в умовах, далеких від бажаних, що приводить до відтоку найбільш висококваліфікованих кадрів, до їх внутрішньої або зовнішньої міграції. Як друга обставина, можна відзначити те, що персонал може бути об'єктивно не зацікавлений в підвищенні ефективності використання прогресивних методів організації праці і основних засобів виробництва через можливість скорочення штату працівників. Проблемою є і постійно зростаючий рівень старіння робочої сили. Це ускладнює процеси структурних перетворень на підприємстві, які обумовлені вимогами науково-технічного прогресу, поглиблює кризові наслідки і знижує внутрішню мотивацію розвитку кадрового потенціалу підприємств, позначаючись в ускладненні взаємостосунків з керівним персоналом, а також приводить до виникнення конфліктів. Тому метою дослідження є вдосконалення гнучких, з позицій системного підходу методів розвитку кадрового потенціалу, ґрунтуючись на зростанні значення людського чинника як на індивідуальному рівні, так і з позицій груп, команд, виробничих колективів.

З цих позицій соціально – економічні цілі організації управління кадрами представляються як комплекс найважливіших функцій управління кадровим потенціалом підприємства, які реалізуються в програмах розвитку культури і освіти; у вдосконаленні системи професійної підготовки і підвищення кваліфікації; у зміні змісту праці, форм її організації і мотивації; у раціоналізації форм і методів підбору, оцінки, просування працівників і обліку особливостей поглиблення розподілу праці, розвитку продуктивних сил в суспільстві, вдосконалення ринку тренінгових послуг в Україні.

Результати. З позицій системного підходу все різноманіття рішень, відомих (тобто заданих, прогнозованих) і / або невідомих, як методів виявлення проблем і їх подолання в кадровій політиці, можна охарактеризувати як:

$$P_i = f(x \leftrightarrow y \leftrightarrow z),$$

де x , y , z – відповідно визначають стан і взаємозв'язок елементів макросистеми за ознакою: ресурси (наявні, потенційні), методи (технології, людський капітал)

використання ресурсів, ефективність (нові товари, прибуток, конкурентоспроможність виробництва), стан яких може бути стабільним, перехідним (кризовим) або критичним. За стабільним станом усі чинники ($x \leftrightarrow y \leftrightarrow z$) відомі, загрози виникнення кризових явищ для підприємства не існує. У разі виникнення загрози один (менш загрозовий стан) з чинників (стає важко досяжним, наприклад за відсутністю певних ресурсів (x) або технологій їх використання (y), або необхідністю покращення конкурентоспроможності виробництва (z)) – підприємство знаходиться у передкризовому стані. Якщо має місце невідповідність умовам конкурентоспроможності підприємства двох чинників, то підприємству загрожує банкрутство – настає криза. Виходячи з цього можна провести класифікацію можливих варіантів формування кадрового потенціалу та удосконалення мотиваційних механізмів керування персоналом з позиції системності, послідовності та ефективності витрат на його розвиток. Зрозуміло, що на кожному етапові формування кадрового потенціалу може суттєво відрізнятись. Якщо у першому випадку кадровий потенціал використовується ефективно, то у двох інших – неефективно або є незадовільним.

При цьому можливі рішення у залежності від впливу зовнішніх і внутрішніх чинників можуть прогнозуватись керівництвом як традиційні (задовільні), так і кардинальні, які потребують у подальшому корінних змін у структурі персоналу та перепрофілюванню підприємства або зміни його власників.

Як найбільш ефективні представляються механізми удосконалення творчої компоненти кадрового потенціалу, які у багатьох випадках вимагають більш ефективної мотивації персоналу по принципу «перспектива і позитивність кінцевого результату». Як перспективний буде результат, що забезпечує покращення ефективності виробництва (співвідношення прибутку до витрат), покращення ефективності використання людських ресурсів (зміни структури, створення нових робочих місць, накопичення людського капіталу), а також збільшення продуктивності.

З цих позицій набувають актуальності для виробництва покращення стану нематеріальних активів виробництва, його гудвілу. Надзвичайно важливою в умовах не лише кризи часткою нематеріальних активів слід вважати об'єкти інтелектуальної власності (ІВ), якими визнаються відповідно до Закону України «Про власність» від 26 березня 1991 року наступні об'єкти права інтелектуальної власності: твори науки, літератури та мистецтва, винаходи, відкриття, корисні моделі, промислові зразки, раціоналізаторські пропозиції, знаки товарів та послуг, результати науково-дослідних робіт та інші результати інтелектуальної діяльності. Слід зазначити, що до результатів науково-дослідних робіт також відносять комп'ютерні програми, бази даних, топографії інтегральних мікросхем, найменування місця походження товару, бази даних, фірмові найменування, ноу-хау тощо.

З розвитком ринкових відносин значення та частка нематеріальних активів у майні підприємства постійно зростає, що зумовлено швидкістю та масштабністю технологічних змін у галузі, розповсюдженням інформаційних технологій, розвитком та ускладненням фінансових відносин, рівнем конкуренції. Отже, слід більшу увагу наділяти творчій компоненті потенціалу, яка проявляється у створенні конкурентозахищеної продукції, перш за все залученню та

створенню об'єктів інтелектуальної власності. Це найбільш ефективно впливає насамперед на показники продуктивності через:

- якісні характеристики об'єкта з позицій його корисності;
- вартість нематеріального активу з позицій незалежного оцінщика та власного уявлення про його цінність, враховуючи його вплив на вартість кінцевої продукції;
- через зменшення строків корисного використання нематеріального активу з позицій споживчих якостей товару, що несе в собі позитивні якості нематеріального активу;
- ефекти використання нематеріального активу з позицій дохідності (прибутковості) та конкурентоспроможності;
- капіталізацію об'єкта нематеріальних активів з товарних позицій, тобто нематеріальний актив є об'єктом купівлі-продажу.

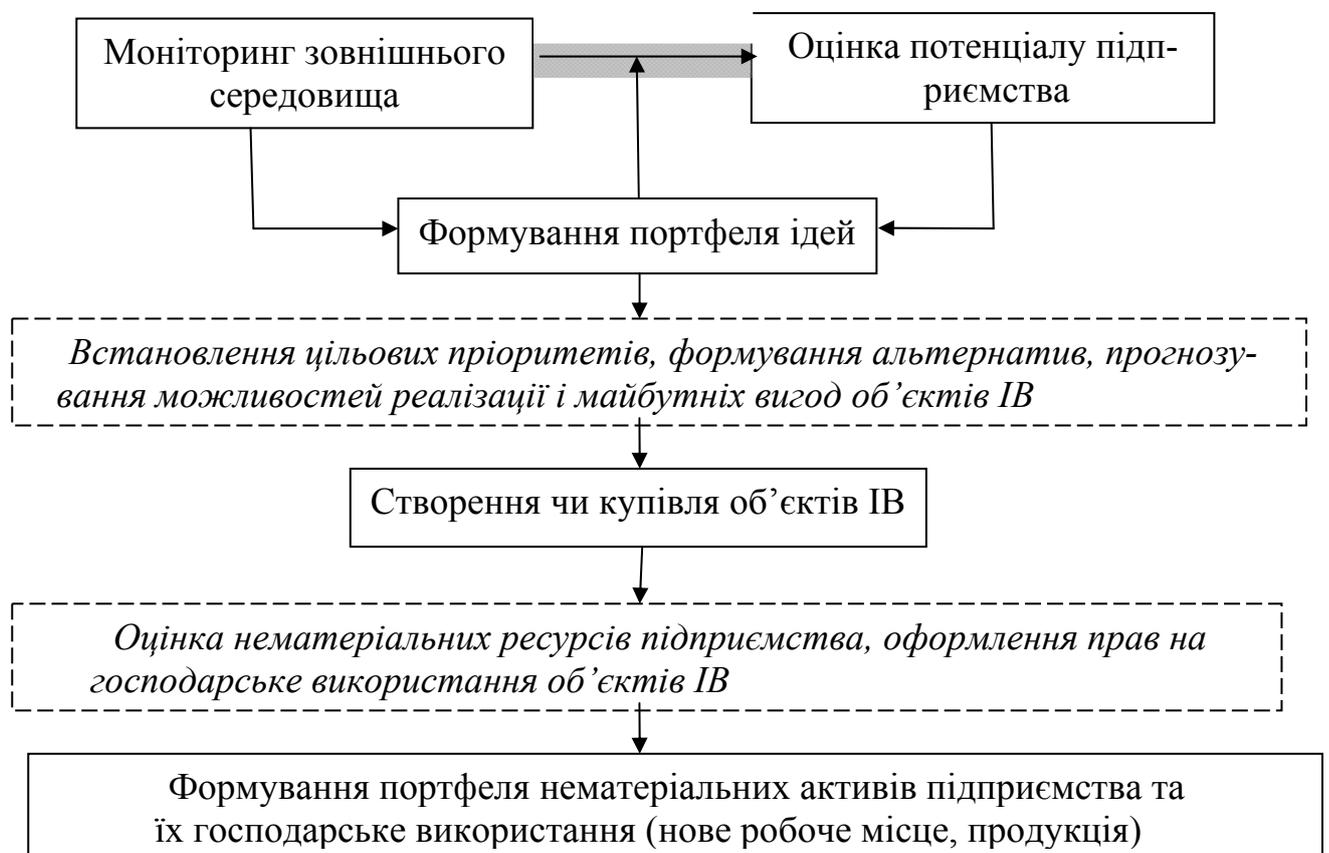


Рис. Етапи формування господарського використання об'єктів ІВ.

На цій основі можна запропонувати модель формування портфеля нематеріальних активів підприємства (рис.).

З позицій корисності об'єктів ІВ як нематеріальних активів їх треба досліджувати в контексті узгодженості зі стратегією і тактикою розвитку підприємства, ситуацією на ринках. Економічні фактори корисності значною мірою впливають на управлінські рішення щодо придбання того чи іншого об'єкта інтелектуальної власності. Але не слід забувати, що адекватно їх можна оцінити лише з позицій системного підходу. Нематеріальний актив повинен органічно входити в загальну систему цілей підприємства та плідно працювати задля збільшення його капіталу.

Залучення до господарського обороту підприємства об'єктів інтелектуальної власності стає ефективним при впровадженні кон'юнктурного підходу – з позицій створення активних ліцензій – супроводження інтелектуальної розробки машинами та пристроями, що вимагає створення робочих місць для дослідження нових розробок з урахуванням потреб можливих споживачів.

Використання об'єктів ІВ має певні специфічні риси, які можуть бути як негативними, так і позитивними:

- 1) відсутність матеріальної основи для отримання вигід;
- 2) умовна невіддільність від суб'єкта господарювання;
- 3) тривалий термін використання;
- 4) відсутність корисних відходів;
- 5) невизначеність усього спектра можливих ефектів від використання;
- 6) підвищений рівень ризику на стадіях створення та використання.

Тому слід вважати цілком виправданим створення фонду матеріального заохочення з прогресивною системою матеріального стимулювання (від заохочувального мінімуму на етапі впровадження до стабільного максимуму (певний відсоток від прибутку)), що ураховує творчий внесок за індивідуальними та колективними досягненнями на протязі використання конкурентоспроможних, тобто кращих техніко-економічних здобутків. Для цільового творчого спрямування персоналу раціональним може бути і створення спеціального відділу кадрового і технологічного прогнозування (ВКіТП), у якому б акумулювались перспективні розробки з метою подальшого технологічного обміну з підприємствами – партнерами (наприклад, зовнішніми) та залучення інвестицій.

Висновки. Розвиток кадрового потенціалу обумовлює вдосконалення гнучких підходів у сфері мотивації знань і залежить від стратегії підприємства на ринку. Максимальне використання наявного кадрового потенціалу в Україні без істотної реконструкції підприємства, зміни власника або і перепрофілювання потребують за відсутності надійних інвесторів збереження кадрового потенціалу та створення умов його подальшого розвитку для підвищення конкурентоспроможності і іміджу підприємства.

Література: 1. Управление персоналом: От фактов настоящего к возможностям будущего: Учебное пособие. А. Брасс, В. Глушаков, В. Кривцов, Р. Седегов — Мн.,: УП «Технопринт», 2002— 386 с. 2. Федонін О. С., Репіна І. М., Олексюк О. І. Потенціал підприємства: формування та оцінка: Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2004.

УДК 528.897

**ОСОБЕННОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТРУДОВОЙ
СОЦИАЛИЗАЦИИ УЧАЩИХСЯ СРЕДНИХ СПЕЦИАЛЬНЫХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ В ПЕРЕХОДНЫЙ ПЕРИОД К НОВЫМ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ**

Смирнова Г.А. (г. Курск, Россия)

Features professional - labour социализации of learning average special educational institutions in the transitive period to new socio economic conditions.

Среднее профессиональное образование является частью социального. Оно базируется на единстве и взаимосвязи знаний о социальной и индивидуальной

жизни человека. У учащихся средних профессиональных учебных заведений формируется практика профессионального общения, которая опирается на уже имеющиеся знания, умения и навыки, полученные в школе. Здесь также начинает обновляться и расширяться дополнительное образование, основывающееся уже не на традиционной кружковой, секционной работе, а на поиске новых форм.

На современном этапе развития общества коренным образом меняется сопутствующая подготовка молодых специалистов - выпускников профессионального образования - по всем дисциплинам, изучаемым в средних специальных учебных заведениях. Здесь идет процесс деидеологизации учебных курсов по разным наукам, преодолевается их доминирующий просветительский характер, усиливается влияние на социальные технологии, на систему управления, на взаимодействие специалистов в различных отраслях профессиональной деятельности. Социология и психология нередко выступают "стержнем" такой профессиональной подготовки.

Общественное значение цели "повышение образования" заключается в духовном и интеллектуальном развитии человека, получении им какой-либо общественно-необходимой специальности. Принято считать, что это социально позитивная ценность, и родители и педагоги ориентируют учащихся на продолжение образования. Однако наше исследование¹ показало, что у первокурсников учреждений среднего профессионального образования ценность получения образования тесно связана со стремлением к достижению "успеха у лиц другого пола" (70,3%), "жизни в большом красивом городе" (67,7%), "приобретению машины, дачи, модных вещей" (49,6%), получению "почетных званий, правительственных наград" (32,2%), "возможности руководить людьми" (30,9%), "большой благоустроенной квартиры" (28,8%). Одновременно стремление к образованию оказывается слабо связанным с "интересной творческой работой", "наличием умных, интересных друзей", "физическим совершенством". Иными словами, для части первокурсников личностный смысл цели "повышение образования" заключается в достижении высокого материального положения и общественного престижа, не предусматривающих активной трудовой деятельности и духовного совершенствования. Как показывают исследования, нередко общественно значимые цели для индивида не имеют личностного смысла, т.е. усваиваются им лишь на вербальном уровне. Так, согласно результатам наших исследований, не все учащиеся Курского электромеханического техникума ответили, что они имеют четкие жизненные цели и планы, идеалы.

В процессе профессионально-трудовой социализации личности будущих специалистов правомерно выделить несколько периодов. Первый можно обозначить как раннюю социализацию, связанную с приобретением социально

¹ Исследование проводилось в г. Курске в рамках диссертационного исследования «Образовательный процесс как фактор профессионально-трудовой социализации личности будущего специалиста (на материале учреждений среднего профессионального образования)». Опрошено 440 учащихся Курского электромеханического техникума по случайной выборке. Кроме того, был проведен экспертный опрос 21 преподавателя учреждений среднего профессионального образования г. Курска по проблеме совершенствования форм и методов управления процессом профессионально-трудовой социализации личности будущих специалистов – учащихся средних специальных учебных заведений.

обязательных общекультурных знаний и навыков, носящих неспецифичный в профессиональном отношении характер.

Второй период - это профессиональная социализация, связанная с овладением специализированными трудовыми знаниями и навыками, приобщением к соответствующей субкультуре. Здесь начинается культурная и социальная дифференциация молодых членов общества, ибо они приобщаются к различным профессиональным культурам с разными взглядами на мир и ценностными представлениями.

Социализация общекультурного характера в период профессиональной подготовки осуществляется, во-первых, как освоение учащимся среднего профессионального образования нового, уже не детского статуса в семье; во-вторых, как приобретение новых социокультурных знаний и навыков за счет значительно расширяющегося в этот период круга социальных контактов; в-третьих, за счет обсуждения и интерпретации своего нового статуса и нового опыта в сфере молодежной субкультуры, в которой также усиливается тенденция к социокультурной дифференциации людей.

Особенно остры проблемы, связанные с институтами ранней социализации. Последние в течение длительного периода оставались неизменными по своему строению и в настоящее время выполняют предписанные им функции далеко не в полную меру. Будучи смоделированными по "классическим" образцам и ориентированными на устойчивую культурную парадигму прежние принципы ранней социализации в новых условиях уже не обеспечивают необходимых знаний и навыков общекультурного характера. Сегодня среднее профессиональное образование необходимо учащимся для "взрослой жизни", для получения профессиональных знаний, умений и навыков. Несмотря на постоянные обсуждения в педагогических кругах вопроса об усложнении учебных программ, курс среднего профессионального образования пока неудовлетворителен с позиций как общекультурной, так и профессиональной подготовки. Следовательно, в течение образовательного процесса в большинстве случаев не происходит успешная профессионально-трудовая социализация будущих специалистов. Поэтому надо обратить внимание на некоторые варианты процесса профессионально-трудовой социализации в программе среднего профессионального образования.

Любой предмет, изучающийся в техникуме или колледже, - это прежде всего явление, связанное с выбранной профессией, и только в этом смысле он может быть осознан и как результат ее развития. Но в современной системе учебных дисциплин важно, по нашему мнению, создать некое содержательное ядро, несущую ось, систематизирующий фактор, что придаст цельность всему процессу работы среднего профессионального образования, четко обозначит внутрисубъектные связи. Именно такую роль в среднем профессиональном учебном заведении и призваны, на наш взгляд, сыграть учебная дисциплина «Введение в специальность» и занятия факультатива «Моя профессия».

Эффективность этих курсов значительно повышается при следующих условиях: проведение занятий в хорошо оборудованной аудитории с магнитофоном и диапроектором, с определенным минимумом методических пособий; единовременная работа со всем коллективом по общей программе для дости-

жения взаимопонимания и взаимоподдержки; реализация принципов последовательности и системности в организации всего учебного процесса и четкая постановка поэтапных целей развития учащихся; творческий поиск взаимосвязей, интегрирующих моментов в системе пересекающихся предметов учебного плана; продуманное, логически обоснованное сочетание вышеупомянутых курсов с различными формами внеклассной работы.

В данной статье мы рассмотрели только некоторые особенности профессионально-трудовой социализации личности будущих специалистов - учащихся средних профессиональных учебных заведений в переходный период к новым социально-экономическим условиям. Понятно, что проблема эта многоаспектная и требует усилия многих специалистов различных профилей.

Социально-педагогический анализ показал только один срез данной проблемы. В данном случае речь идет не только о взаимоотношениях основных субъектов процесса профессионально-трудовой социализации личности будущих специалистов - учащихся средних профессиональных учебных заведений, но и о взаимодействии таких основных субъектов как учащиеся и преподавателей, государства и системы среднего профессионального образования в целом.

Но профессионально-трудовая социализация есть результат и развития общественного сознания во всех своих проявлениях. Сегодня общество еще не выработало общей идеологии и концепции своего развития относительно особенностей профессионально-трудовой социализации личности будущих специалистов, поэтому в настоящий момент это актуально и требует новых исследований.

Надо учесть, что особенности профессионально-трудовой социализации личности будущих специалистов основываются на том, чтобы не только преподаватель, но и учащийся мог знать и понимать: на каких идеалах сегодня надо воспитывать будущее поколение, какие ставить перед ними задачи и цели, каким содержанием необходимо наполнять такие понятия как профессия, верность своему делу, ответственность перед обществом и людьми и пр., чтобы обеспечить прогрессивное развитие общества. Эти вопросы очень сложные и ответа, во всяком случае, конкретного и полного пока нет.

Актуальность данного материала обоснована тем, что предстоит большая исследовательская работа и в области выявления новых, более динамичных и современных особенностей профессионально-трудовой социализации личности будущих специалистов - выпускников средних специальных учебных заведений.

Будем надеяться, что наша работа внесла определенный вклад в исследование данной проблемы.

УДК 658.012

ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ИНКАССАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Мальцева А.А. (г. Курск, Россия)

Competently spent the politics of the collection of money resources is the important factor of optimization of funds of the reference: increases of inflow of money resources on the enterprise, acceleration of the calculations between the enterprises,

decrease of the general size of accounts receivable, especially doubtful and hopeless.

Составляющей политики предприятия в части управления фондами обращения является формулировка политики инкассации, то есть стратегических нормативов распределения общего объема планируемой выручки на базе расчетных коэффициентов инкассирования, отражающих взаимосвязь моментов отгрузки продукции и ее фактической оплаты.

Инкассационная политика - комплекс мероприятий, направленный на повышения притока денежных средств на предприятие путем ускорения взаиморасчетов, взыскания дебиторской задолженности в полном объеме и в установленный срок.

Она должна быть нацелена на решение следующих задач [1]:

1. минимизацию финансовых рисков, связанных с возможностью убытков от списания безнадежных долгов;
2. снижение потерь от возможного инфляционного обесценения суммы задолженности;
3. уменьшение недополученного дохода в связи с невозможностью активного коммерческого использования суммы задолженности;
4. минимизацию финансовых рисков, связанных с возможным дефицитом денежных средств, находящихся в распоряжении предприятия;
5. выбор методов ускорения востребования долгов;
6. страхование безнадежных долгов и выявление их возможности до предоставления кредита;
7. учет и оформление счетов;
8. ускорение промежутка времени между моментом продажи товара и выпиской счета-фактуры;
9. перепродажа прав на взыскание дебиторской задолженности (факторинг).

Политика взимания платы (инкассации) предусматривает: сроки и формы напоминаний покупателям о дате платежей; условия пролонгирования долга по предоставленному кредиту; обстоятельства возбуждения дела о банкротстве несостоятельных дебиторов.

Инкассационная политика формируется исходя из следующей информации [2]:

- анализ статистических данных за предшествующий период;
- запланированный порядок оплаты по уже известным сделкам, прежде всего по наиболее крупным;
- ориентиры руководства компании в части политики требований к покупателям по оплате отгруженной им продукции.

Как показала практика, существует несколько причин отсутствия оплаты [3]:

- 75% - «забывчивость» персонала (если менеджер забыл отдать счет в бухгалтерию или счет затерялся в бухгалтерии, в этом случае необходимо еще раз выставить счет фирме; если бухгалтер фирмы-покупателя не оплатил счет, так как считает, что он давно оплачен, необходимо еще раз оформить платежные документы);
- 20% - отсутствие денег. В этом случае самым важным является напоминание о долге. Как правило, в данном случае в первую очередь на погашение

- долга ставится тот кредитор, кто больше всех напоминает об этом;
- 4% - принципиальная позиция фирмы - все счета оплачивать чем позже, тем лучше. Способ борьбы с этим - такой же, как и в предыдущем пункте;
- 1% - безнадежная задолженность. В этом случае необходимо предусмотреть в базе данных поле, указывающее, что в будущем с таким клиентом работать нельзя.

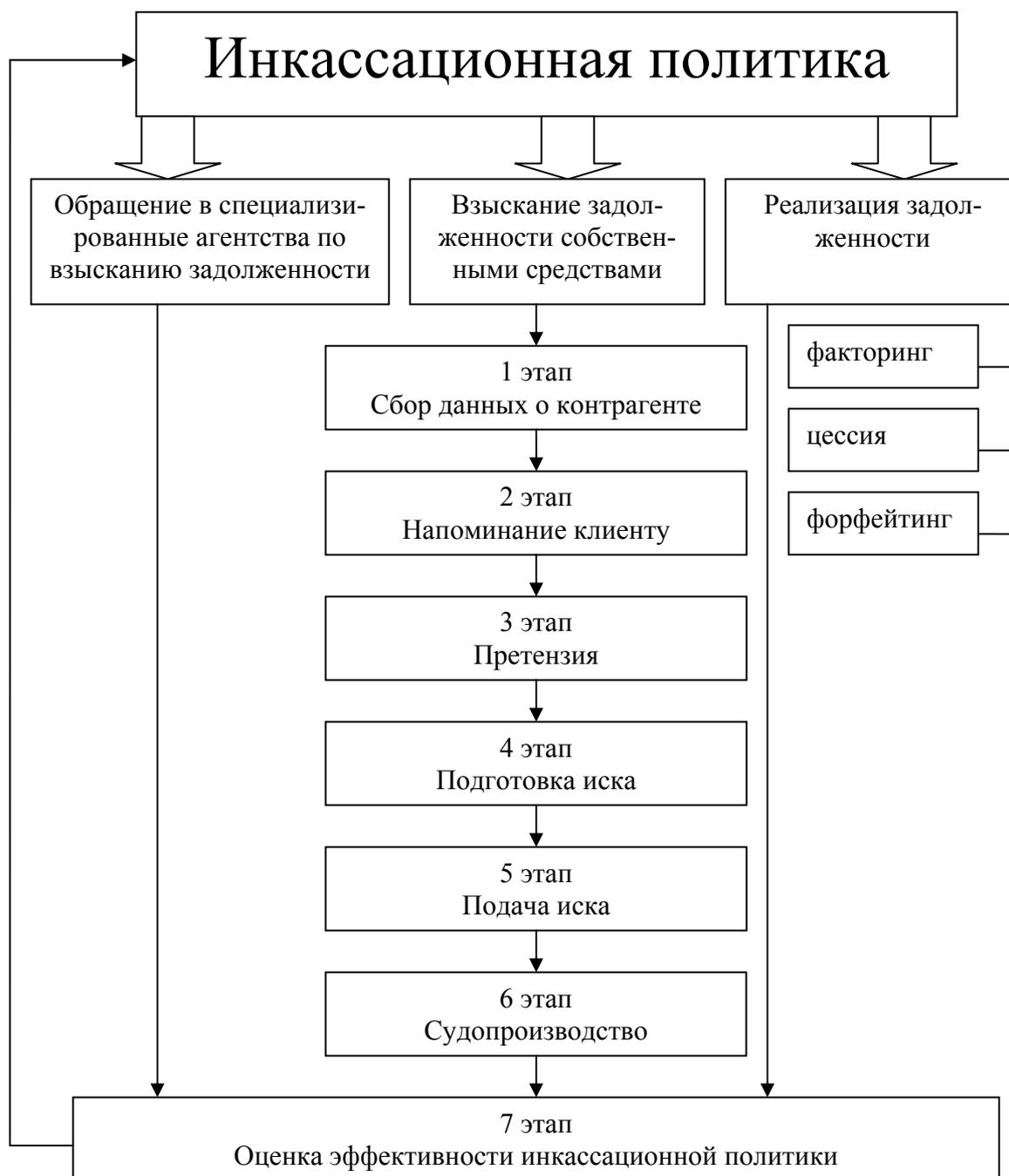


Рис. Последовательность проведения мероприятий по взысканию дебиторской задолженности.

Мероприятия по работе с дебиторами могут включать:

- телефонные переговоры;
- выезды к контрагентам;
- оформление договоров цессии;
- разработка схем погашения задолженности векселями с их последующей реализацией;
- разработка эффективных бартерных схем;
- проработка возможностей обращения в арбитраж.

Последовательность проведения мероприятий по взысканию дебиторской задолженности представлена на рис.

Опыт реформирования российских предприятий показывает, что меры по возврату дебиторской задолженности и ускорению взаиморасчетов, составляющие инкассационную политику, входят в группу наиболее действенных мер повышения эффективности функционирования хозяйствующих субъектов за счет внутренних резервов. Грамотно проводимая инкассационная политика является важным фактором оптимизации фондов обращения: повышения притока денежных средств на предприятие, ускорения взаиморасчетов, снижения общей величины дебиторской задолженности, особенно сомнительной и безнадежной.

Литература: 1. Крейнина, М.Н. Финансовый менеджмент [Текст] / М.Н. Крейнина. - М.: Дело и сервис, 2000. - 304 с. 2. Окулов О.В. Управление дебиторской задолженностью предприятия [Текст] // Банковские услуги, 2002, № 3. С. 31-35. 3. Корсаков, А.В. Оптимизация дебиторской задолженности [Электронный ресурс] / А.В. Корсаков <http://korsakov.adviser.ru>.

УДК 378:371.27+004

КОМПЬЮТЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

Кулешова М.Ф., канд. техн. наук, **Шерстобитов С.И.**, канд. техн. наук, **Никитин В.И.**, канд. техн. наук, **Фисун С.С.** (г. Харьков, Украина)

The system possibilities of a known diagnostics tools standard of educational and professional training of specialists is proposed to use with the aim of efficiency increasing of the computer control of a level and knowledge quality of specialists.

Состояние вопроса. Проблемная задача совершенствования подготовки, переподготовки и повышения квалификация специалистов в современных условиях развития экономики является актуальной, а её реализация предполагает повышение уровня требований к эффективности средств диагностики качества этой подготовки. Известный нам программный продукт [1], позволяющий формировать различные виды тестовых заданий, не включает, например, тестовых заданий, связанных с проверкой умений логически и системно мыслить, а его программная оболочка, предназначенная для дистанционного обучения в Internet'е, пока не имеет необходимого лицензионного обеспечения. Анализ средств диагностики, приведенных в [2, 3, 4], показывает, что наиболее часто используются тестовые задания, которые классифицируются как задания с предлагаемым множеством вариантов ответов, содержащих один верный (не-

верный) ответ. Однако, подобный класс тестовых заданий недостаточно эффективен, поскольку ему присущи невысокие значения показателей валидности и надежности. Кроме того, они не обладают необходимой полнотой системности и универсальности контроля знаний (умений).

В настоящее время перечисленные требования к системе диагностики (тестирования) знаний в значительной мере содержатся в отраслевом «Стандарте» диагностики качества и уровня профессиональной подготовки специалистов [5], рекомендованном МОН Украины.

Задача статьи состоит в изложении опыта кафедр Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (ХНАДУ) по формированию тестовых заданий с учетом требований, содержащихся в «Стандарте» [5] и их реализации с использованием возможностей компьютерной техники.

Решение задачи. Способы формирования тестовых заданий, рекомендованные в [5], сочетают собой различные формы, типы и принципы, создавая многообразие тестовых заданий, удовлетворяющее различным целям диагностики как по уровням, так и качеству образовательно-профессиональной подготовки специалистов.

Так, для тестирования знаний, соответствующих репродуктивному уровню, целесообразно использовать тестовые задания, составленные по типу альтернативного выбора (рис. 1) и тестовые задания открытой формы.

Целями тестирования при этом могут быть:

- «грубая» проверка знаний и их классификация;
- углубленная проверка знаний, их классификация, а также умения ориентироваться в смежных понятиях;
- проверка полноты знаний и умений;
- проверка полноты и глубины знаний и умений.

Тестовые задания по типу восстановления ответных частей (рис. 2) направлены как на тестирование полноты и глубины знаний, так и на способность тестируемого к анализу и синтезу явлений, событий, их логических взаимосвязей и причинно-следственных зависимостей.

Целями тестирования при этом могут быть:

- установление фактов взаимосвязи, знание обозначений, терминологии, формул и т.п.;
- умение выявлять отличительные признаки различных явлений, ситуаций и т.п.;
- проявление глубины знаний, понимание различных аспектов явлений, событий и т.п.;
- понимание причинной зависимости между явлениями.

Каждой перечисленной цели тестирования соответствует свой принцип формирования тестового задания (рис. 1 и 2), что, в конечном итоге, обеспечивает системность средств диагностики.

Унифицированность системы тестовых заданий по «Стандарту» [5] достигается тем, что структуру тестовых заданий (независимо от цели тестирования) всегда составляют три компоненты:

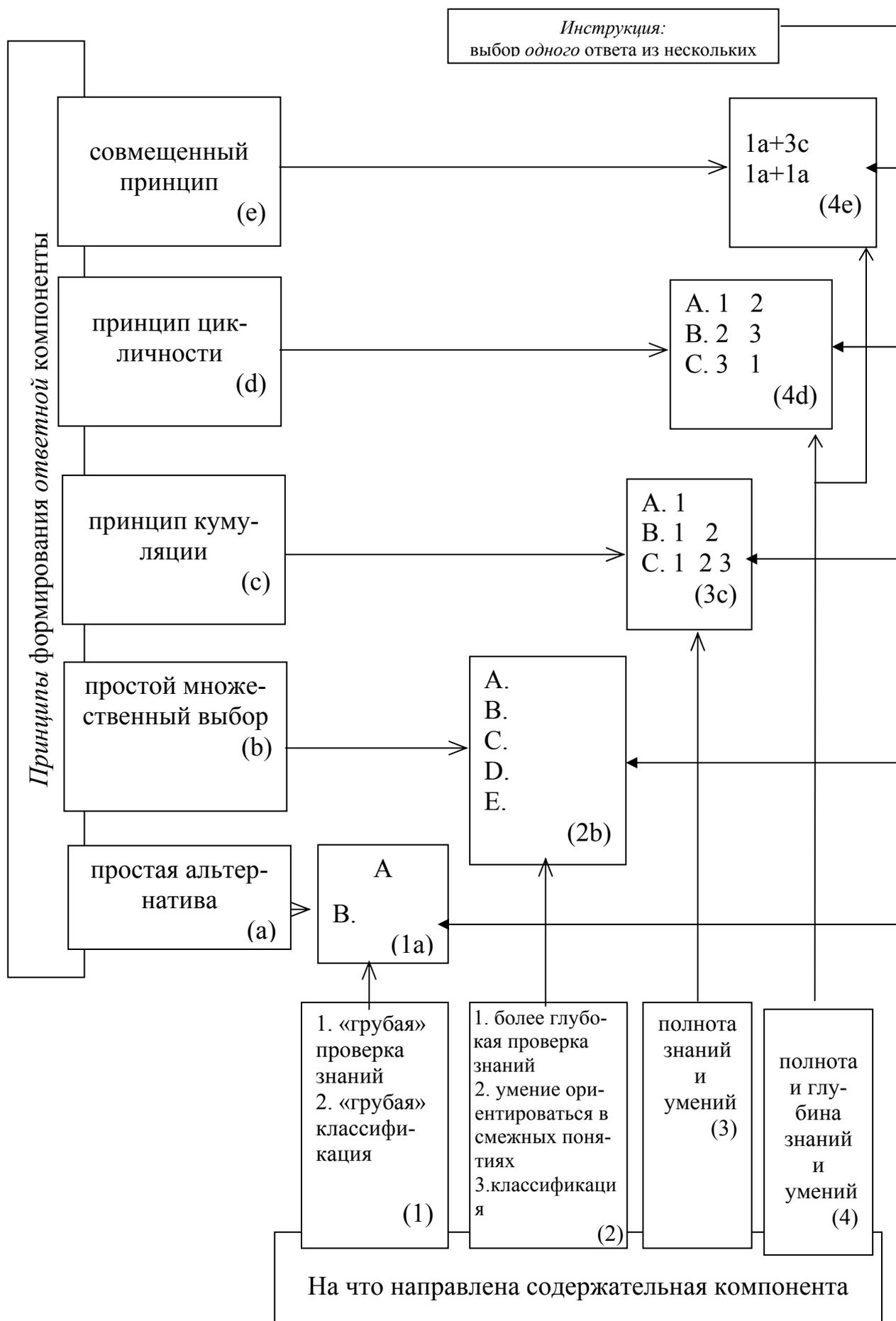


Рис. 1. Структура тестового задания по типу альтернативного выбора (в позициях 3c и 4d – 1, 2, 3 – утверждения).

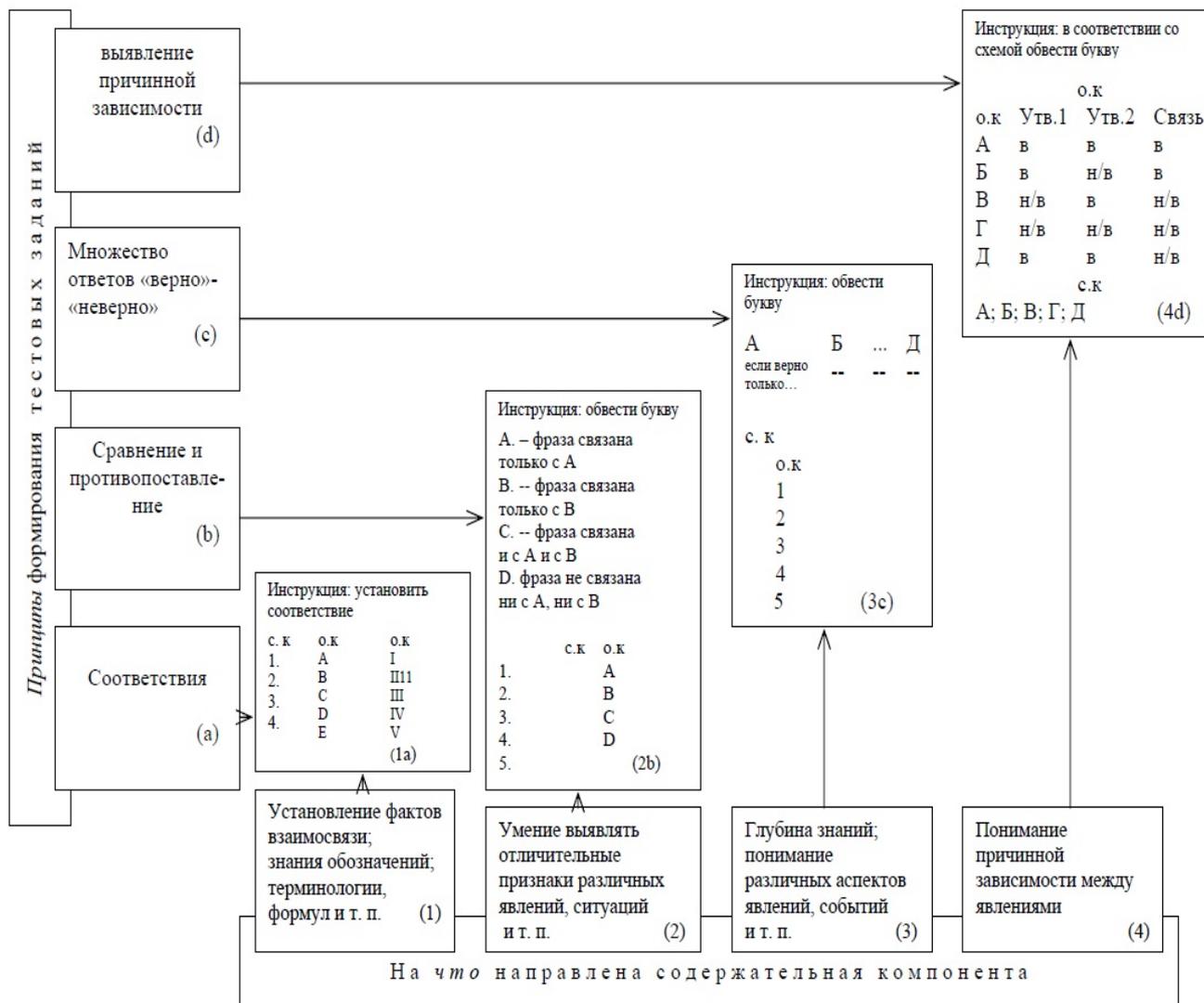


Рис. 2. Структура тестовых заданий по типу *восстановления ответных частей* (условные обозначения: с.к – содержательная компонента; о.к – ответная компонента; в – верно; н/в – неверно).

- инструкция по выполнению тестового задания;
- содержательная компонента;
- ответная компонента (действия тестируемого по реализации тестового задания).

Способы формирования тестовых заданий по «Стандарту» [5] допускают наполнение оболочки тестового задания нужным содержанием из любой отрасли знаний, что делает систему тестирования универсальной.

Обеспечение объективности и оперативности контроля знаний во многом решаются путем использования компьютерных технологий тестирования. Таким образом, компьютеризация стандартизованных средств диагностики становится эффективным средством обеспечения системности, унифицированности, универсальности, объективности и оперативности контроля качества подготовки специалистов.

В ХНАДУ на базе требований «Стандарта» создана и апробирована программа тестирования, реализованная в среде «Visual Basic». Объем памяти для её размещения составляет 5 Мб. Программа предусматривает режимы «тренажа» и итогового контроля знаний. В режиме «тренажа» на экран монитора выводится количество правильных и неправильных ответов тестируемого. В режиме «контроля» предусмотрен учет времени тестирования, вывод на экран результатов тестирования (количество правильных и неправильных ответов), а также балльная оценка (рейтинг) знаний. Программа обеспечивает автоматический перебор вариантов тестовых заданий.

Опыт ХНАДУ по разработке и использованию тестовых заданий в соответствии с требованиями «Стандарта» диагностики изложен в работах [6, 7]. В качестве примеров тестирования знаний использованы учебные дисциплины «Экономика предприятия» и «Теоретическая механика».

Заключение. Использование «Стандарта», как средства диагностики знаний при непосредственной подготовке специалистов в ВУЗах, а также при их переподготовке и повышении квалификации позволит повысить эффективность системы профессиональной подготовки кадров и способность адекватного реагирования заинтересованных сторон (ВУЗ-работодатель) на условия изменения производственной и социально-экономической среды.

Литература: 1. Hot Potatoes, программная оболочка Центра информационных технологий Университета Виктория, Канада. 2. Шахова Н. Компьютерное тестирование в преподавании информационных дисциплин. // Новый коллегіум. 2004. № 5/06. С.53-58. 3. Волков Н.И. , Алексеев А.Н., Алексеев Н.А. Тестовый контроль знаний: учебное пособие.- Сумы: ИТД “Университетская книга”, 2004.-109с. 4. Алексеев А.Н. Дистанционное обучение инженерным специальностям: монография. Сумы: ИТД “Университетская книга”, 2005.-333с. 5. Стандарт вищої освіти. Засоби діагностики рівня освітньо-професійної підготовки. Тести об’єктивного контролю рівня освітньо-професійної підготовки // Наказ Міністерства освіти України № 285 від 31.07.1998 р. м. Київ. 6. Кулешова М.Ф., Шерстобитов С.И., Никитин В.И.. Технология формирования стандартизованных тестовых заданий (Методические рекомендации).// Харьков: ХНАДУ. 2005.-52 с. 7. Кулешова М.Ф., Никитин В.И., Шерстобитов С.И., Фисун С.С. / Опыт компьютеризации стандартизованных средств диагностики уровня знаний в техническом вузе// Новый Коллегіум.2006. № 3, С.28-34.

ДІАГНОСТИКА ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ КУЛЬТУРИ ВИЗНАЧЕНИХ ЦІННІСНИХ ОРІЄНТАЦІЙ ПЕРСОНАЛУ НАУКОВО-ВИРОБНИЧОЇ КОРПОРАЦІЇ

Панасюк Н.О., аспірант (м. Харків, Україна)

The article provides with analysis of development and formation of scientific ideas concerning the problem of enterprises organisational culture. Interpretation of organisational culture concept is given. Definition of the personnel values structure and the dynamics of its development are proposed.

Оптимізація управління трудовими ресурсами є однією із самих актуальних проблем сучасного менеджменту. З переходом до ринку форми і методи управління людьми докорінно змінюються. Істотно перетворюються ціннісні і мотиваційні структури, тобто розуміння того, на які ідеали спиратися, заради чого варто жити, працювати. Людський фактор сьогодні набув першорядного значення, тому проблеми ефективного використання людини праці в якості головної сили й основної діючої особи прогресу вийшли на передній план. Нині найбільші резерви підвищення ефективності ринкового господарювання лежать на шляху удосконалення діяльності персоналу підприємства. Американські спеціалісти в галузі управління Т.Петерс і Р.Уотермен [2, с. 297]]на основі вивчення досвіду 62 процвітаючих фірм прийшли до висновку “продуктивність - від людини”.

Глибокі зміни в структурі і якості робочої сили, у змісті праці, вичерпання резервів зростання ефективності праці за рахунок фізичних можливостей потребують нетрадиційних підходів до посилення активізації праці, щоб привести в дію резервні можливості людини, які пов'язані за визначенням А.М.Колота [1,с.174] з майстерністю, освітою та підготовкою, установками, розвитком трудового потенціалу, прагненням до творчості, самореалізації.

Працюючі на підприємстві, люди перебувають у певному соціальному середовищі, певній соціальній культурі, котра формує їхні погляди, звички, знання практичний досвід. Використання культури в управлінні поведінкою персоналу стає дедалі важливішою та ефективною сучасною тенденцією в менеджменті.

На думку Роберта Брюса Шо [3, с.115]: «Культура організації відноситься до тих неформальних аспектів організаційного життя, що вирішальним образом впливають на діяльність організації”.

Як відмічає у своїй статті В. Катков [4]: “Формування організаційної культури - це спроба конструктивного впливу на соціально-психологічну атмосферу, поведження співробітників. Сучасний менеджмент розглядає організаційну культуру як могутній стратегічний інструмент, що дозволяє орієнтувати всі підрозділи і працівників на загальні цілі”.

З точки зору підходу орієнтації на цілі підприємства Е.Н. Шейн [5, р.9], провідний спеціаліст з управління, визначає організаційна культура, як набір прийомів та правил вирішення проблеми зовнішньої адаптації та внутрішньої інтеграції робітників, правил, які виправдали себе в минулому та підтвердили свою актуальність в теперішнім та є достатньо ефективними, щоб вважатися

цінними, а тому передаватися новим членам у якості правильного образу сприйняття, способу дій та прийняття рішень.

Пізніше, Дж. Мартін [6, с.564] вказала на інші аспекти організаційної культури: “В різних людей, які потрапили в умови певної культури, їх власне сприйняття, спогади, переконання та практичний досвід виявляються різними, тому і їх бачення навіть одного й теж самого прояву культури може не співпадати. Картина або сукупність цих інтерпретацій, а також засоби їхнього перетворення в життя і становлять культуру.”

Французький дослідник організаційної культури Н.Деметр [7, с.338] підкреслює, що культура підприємства – це система уявлень, символів, цінностей та зразків поведінки, що розділяється всіма його членами.

Схоже визначення організаційної культури надають й Дж.Ньюстром та К. Девіс [8, с.98], на їх думку - це набір допущень, переконань, цінностей і норм, що розділяються всіма членами організації.

Російський соціолог С.С.Фролов [9, с.123] вважає, що в цілому, культуру організації можна визначити як сукупність ідей, корпоративних цінностей та норм поведінки, притаманних тільки даній організації та які формуються в ході сумісної діяльності для досягнення спільних цілей.

Вчені-соціологи Радугін А.А. та Радугін К.А. [10, с.43] трактують культуру, з точки зору соціології, як систему колективно поділюваних смислів, символів, цінностей, переконань, зразків та норм поведінки суспільства в цілому або притаманних певній групі людей.

Провідний український економіст М.С. Дороніна [11, с.272], узагальнюючи досвід вивчення організаційної культури, зазначає: “Корпоративна культура – це механізм, який дає змогу упорядкувати соціальні процеси підприємства, і нині він є найбільш конкурентоспроможним чинником забезпечення стабільності його функціонування”.

Організаційна культура та всі її компоненти мають причинно-наслідкові зв'язки між собою. Організаційна культура дозволяє організації досягти своїх цілей найбільш ефективним способом - за менший час і меншим ресурсом - за рахунок узгодженості дій і загальних принципів поведінки в різних ситуаціях (тобто координації зусиль). Ці принципи і моделі поведінки засновані на певних цінностях. Ведучу роль в культурі підприємства відіграють організаційні цінності.

За визначенням С.С.Фролова [9, с.123]: “Корпоративні цінності представляють собою всі навколишні об'єкти (як всередині організації та і поза нею), у відношенні до яких члени організації займають позицію оцінки у відповідності зі своїми потребами та цілями організації”.

Зайцева О.А., Радугін А.А. та Радугін К.А. [7, с.339] відносять до організаційних цінностей предмети, явища та процеси, які направлені на задоволення потреб членів організації та признані в якості таких більшістю членів організації.

В своїй іншій роботі Радугін А.А. та Радугін К.А. [10, с.45] дають наступне визначення ціннісної орієнтації: “Ціннісна установка є своєрідною, випереджаючою програмою діяльності та спілкування, яка зв'язана з можливістю ви-

бору варіантів діяльності та спілкування, являє собою соціально детерміновану схильність соціального суб'єкту до заздалегідь визначеному відношенню до даного об'єкту, речі, людині, явищу, події і тощо.

Ціллю даної роботи є визначення та проведення процедури діагностики організаційної культури, визначення структури ціннісних орієнтацій та їх ієрархії у розвитку персоналу науково-виробничої корпорації за допомогою методу семантичного аналізу відкритих суджень, лінгвістичного інтерв'ювання та анкетування.

Таким чином, цінності – це те, що людина вважає цінним в середовищі, собі та поведінці. Звичайно, цінності представлені у виді змістовних категорій і умовиводів людини, які вона вважає важливими для себе і, тому, спирається на них у своїй щоденній практиці.

Схвалення цінностей організації - це схильність до визначеного, потрібного організації, способу дій, а розмивання цінностей – це будь-який спосіб поведінки, який формує персонал щодо своїх культурних переваг, при відсутності чітко виробленої організаційної культури.

Зміст організаційної культури не є чимось надуманим і випадковим, а виробляється в результаті практичної діяльності, зв'язків, взаємодій і відносин, як відповідь на запити зовнішнього і внутрішнього середовища. Очевидно, що потрібні і спеціальні для кожної організації цінності і норми не утворюються самі по собі, а заздалегідь розробляються групою власників і менеджерів.

Формування ключових цінностей, чи принципів діяльності підприємства, має своєю головною метою створити в навколишнім середовищі й в очах співробітників підприємства визначений образ - привабливий імідж підприємства.

Щоб підвищити ефективність системи управління підприємством, знайти конфліктні зони і способи можливого впливу на дійсне положення справ, було проаналізовано ціннісні орієнтації співробітників НВК .

Для діагностики організаційної культури, виявлення структури цінностей та їх ієрархії було застосовано метод семантичного аналізу відкритих суджень.

Він був проведений за допомогою процедури лінгвістичного інтерв'ювання. Ця процедура полягає в тому, що респондентам (опитуваним) задається відкрите питання, яке направлено на прояснення значення певного поняття, потім виявляються та підсумовуються однакові відповіді. Після узагальнюються близькі за змістом відповіді з ціллю привести їх до загального знаменника, формулюються семантичні ознаки (семи). В нашому випадку , було прояснено зміст таких понять, як “ідеальна організація” та “ідеальний персонал”, “реальна організація” та “реальний персонал”

Отримані в результаті ознаки відображають загальні для працівників установки, правила поведінки, цінності та норми.

Структура цінностей НВК у даний час представлена в такий спосіб (див. рис.1).

Як бачимо, у структурі цінностей робітників НВК перше місце по значимості займають стереотипні (тобто соціально схвалювані) оціночні судження. Це свідчить про:

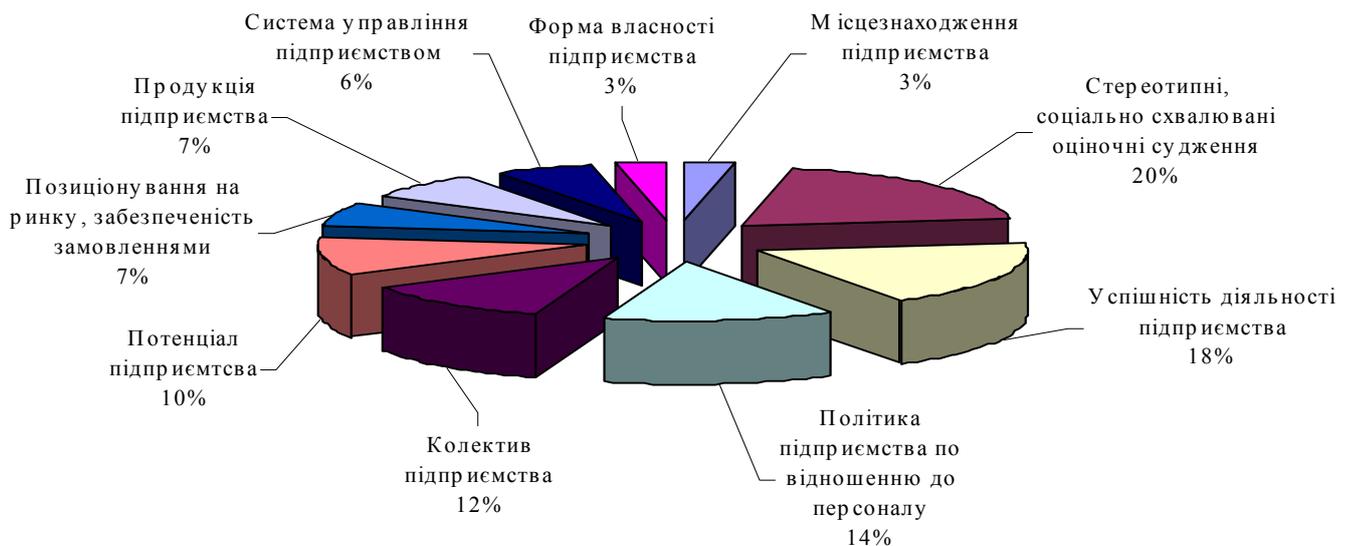


Рис.1. Структура цінностей робітників НВК.

- високу емоційну напругу колективу, викликану погрозою сьогоденному положенню справ, що викликана можливими змінами в майбутньому.
- нестаток набору цінностей, що не дозволяє «бачити» всі перемінні, і, таким чином, зрозуміти те, як улаштована організація. Отже, персонал відстороняється від організаційних цінностей і організації в цілому.
- закритість, дистантність поверхні групи і є показником формальності відповідей.

Далі по важливості для персоналу ідуть цінності успішності діяльності підприємства і політика підприємства стосовно персоналу, що виявляється в моральному і матеріальному стимулюванні, створенні умов для реалізації і розвитку співробітників. Далі для співробітників цінний сам колектив підприємства, тобто такі його характеристики, як згуртованість, професіоналізм.

Також персонал цінує науково-технічний і виробничий потенціал, яким володіє підприємство на дійсний момент, а також власне продукцію, вироблену підприємством і те місце на ринку, що займає ця продукція і підприємство в цілому.

Одне з останніх місць в ієрархії цінностей займає система управління підприємством, що вказує на недостатню увагу до цього аспекту і можливу область появи проблем. Такі формальні ціннісні характеристики як форма власності підприємства і місцезнаходження організації хоч і мають найменшу вагу, але все-таки представлені в структурі цінностей організації.

Дана система цінностей характеризує відношення персоналу до підприємства, яке можна представити як модель життя² рядового робітника, що працює не заради справи, а навпаки, пред'являє до нього вимоги, і успіх справи не є його особистим успіхом. Сенс життя не шукається в роботі, гарне життя по-

² Модель життя — це складна єдність практик, що розглядається як подоба суб'єкта, взаємодіючого з об'єктивним світом довкола нього. Ця єдність також визначає цілі даного суб'єкта, засоби їхнього досягнення, його усвідомлення себе по контрасту зі своїм оточенням і причинні відносини, що, як представляється, існують у цьому оточенні

чинається у вільне від роботи час. Ціль співробітника в даному випадку - одержання заробітку, що дозволяє йому вести осмислене життя у вільний від роботи час. Отже, така модель життя зовсім не прийнятна для ефективної роботи, тому що вона суперечить цілям організації.

Далі розглянемо ідеальну структуру цінностей, що являє собою те, до чого прагнуть співробітники НВК (рис. 2).

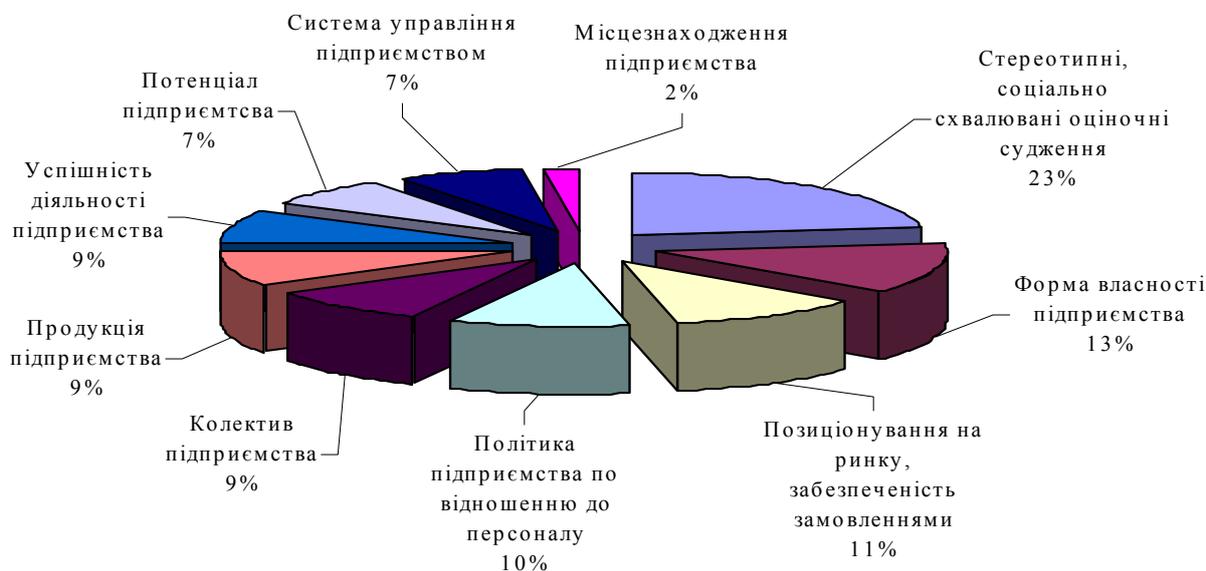


Рис.2. Ідеальна структура цінностей робітників НВК.

Частка соціально схвалюваних оціночних суджень виросла і є найбільшою, що говорить про те, що персонал і надалі не прагне "пізнавати" підприємство. Тому ідеал, до якого прагне персонал, може бути досить. Однак різко висока значимість форми власності свідчить про те, що колектив підприємства зацікавлений у набутті статусу власника.

Далі приблизно на одному рівні по значимості знаходяться цінності позиціонування, політика підприємства стосовно персоналу, колектив підприємства, його продукція й успішність діяльності.

На передостаннім місці по значимості знаходяться такі цінності, як потенціал і система управління підприємством.

Найменш значимою цінністю для персоналу є місцезнаходження підприємства.

Таким чином, ідеальна структура цінностей показує прагнення персоналу, не змінюючи свої цінності і модель життя, змінити свій статус (стати власниками підприємства).

Існує високий рівень відчуженості персоналу від підприємства. Відсутність економічних, ринкових цінностей (багатство, майстерність, справа й тощо) у персоналу й у реальності, і в ідеалі дає можливість стверджувати, що організаційна культура підприємства недостатньо ефективна в умовах ринкової економіки і негативно впливає на ефективність виробництва, і, отже, має потребу в істотних змінах.

З часом структура цінностей схильна змінюватися. Аналіз динаміки змін

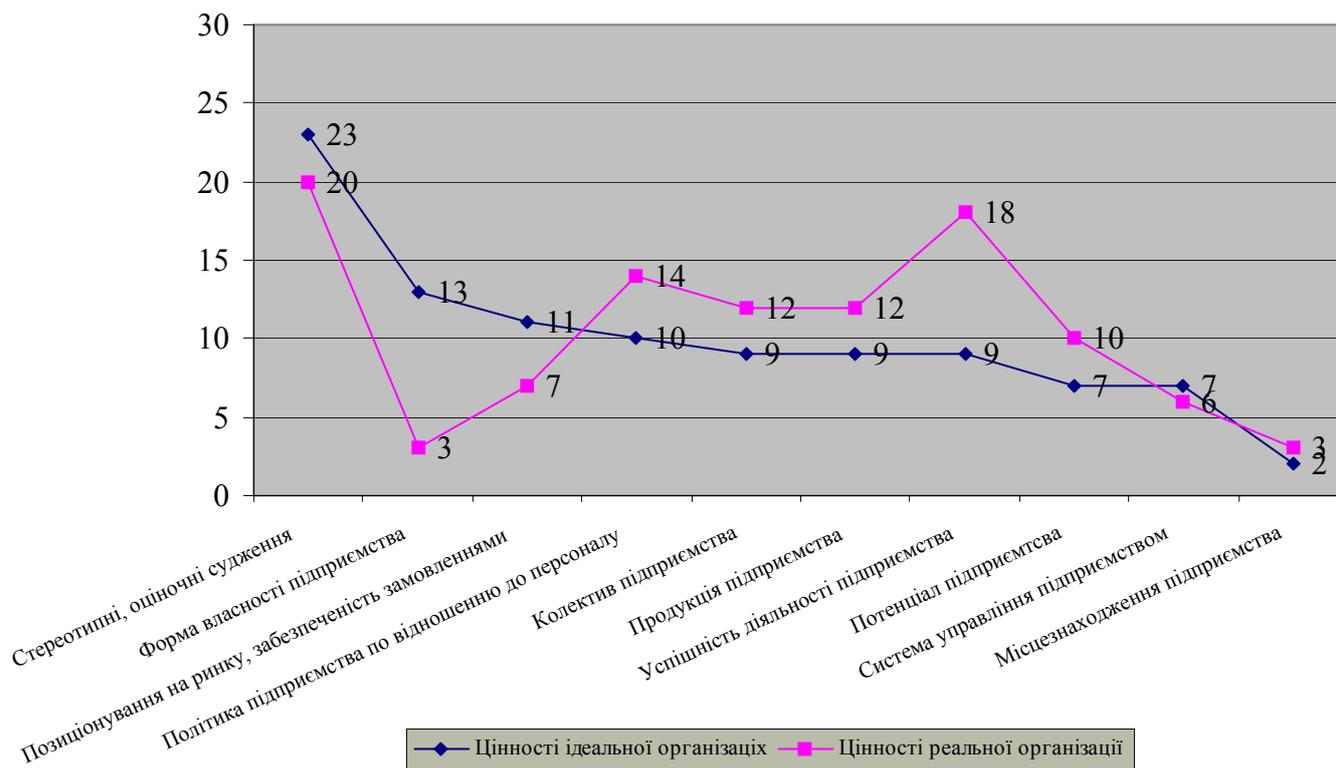


Рис. 3 Динаміки зміни структури цінностей. персоналу.

дозволяє побачити напрямок цих змін. Тенденції змін актуальної структури цінностей робітників НВК представлено на рис.3

Соціально схвалювані, стереотипні оціночні судження, що декларують ідеальність підприємства у даний час, як уже говорилося, свідчить про дистанційованість персоналу від організаційних цінностей і організації в цілому

Значення цінності форми власності буде грати більш важливу роль у майбутньому (причому її значення зростає в багато разів), це зв'язано з намаганнями персоналу реалізуватися як власник підприємства.

Необхідно відзначити, що рівень значимості цінності форми власності буде обумовлювати значимість інших цінностей. У зв'язку зі зростом значимості форми власності здобувають велику значимість:

- цінності позиціонування підприємства на ринку;
- забезпеченості замовленнями на перспективу;
- цінність продукції підприємства (як можливість одержання більшого прибутку).

Передостаннє місце в ієрархії цінностей як реальної, так і ідеальної організації, займає цінність системи управління підприємством. Недостатня увага й оцінювання цього аспекту може привести до виникнення проблем у координації інтеграції підприємства.

Висновками з даного дослідження є наступне.

У статті проведено аналіз розвитку та становлення наукової думки щодо проблеми організаційної культури підприємства, дано трактування поняття “організаційні цінності”, запропоновано та реалізовано процедуру діагностики організаційної культури у частині визначення структури ціннісних орієнтацій

та їх ієрархії у розвитку персоналу науково-виробничої корпорації за допомогою методу семантичного аналізу відкритих суджень, лінгвістичного інтерв'ювання та анкетування.

Подальшою перспективою дослідження у даному напрямку є розробка методики формування внутрішнього іміджу підприємства за допомогою якої можливо досягти однорідності в структурі персоналу, шляхом доведення до відома всіх членів організації цінностей і мети підприємства.

Література: 1. Колот А.М. Мотивація, стимулювання й оцінка персоналу: Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 1998. – 224 с. 2. Питерс Т., Уотермен Р. В поисках эффективного управления: Опыт лучших компаний. – М.: Прогресс, 1986 – 547 с. 3. Роберт Брюс Шо Построение доверия через организационную культуру // Современное управление – 2001.- №9 - С.111-120. 4. Катков В. Формирование организационной культуры на промышленном предприятии // Управление персоналом, 2000 - № 2 - С. 66-70. 5. Schein E.H. Organisational culture and Leadership. – San Francisco: Jossey-Bass, 1985 – 345 p. 6. Лютенс Ф. Организационное поведение: Пер. с англ. 7-го изд. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 692 с. 7. Зайцева О.А., Радугин А.А., Радугин К.А., Рогачева Н.И. Основы менеджмента: Учебное пособие для вузов / Науч. редактор А.А.Радугин. – М.: Центр, 2000. – 432 с. 8. Ньюстром Дж.В., Дэвис К. Организационное поведение/ Перевод с англ. под ред. Ю.Н. Каптуревского – СПб: Издательство «Питер», 2000. – 448 с. 9. Фролов С.С. Социология организаций : Учебник. – М. : Гардарики, 2001. – 384 с. 10. Введение в менеджмент: социология организаций и управления, А.А.Радугин, К.А.Радугин; Воронеж. гос. арх.-строит. акад. – Воронеж: Высшая школа предпринимателей, 1995. – 195 с. 11. Дороніна М.С. Управління економічними та соціальними процесами підприємства. Монографія. – Харків: Вид.ХДЕУ, 2002. – 432 с.

УДК 621.923

ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА

Новіков Ф.В., докт. техн. наук, **Яценко Е.С.** (м. Харків, Україна)

The economic analysis of a level of technological preparation of manufacture is carried ou.

Рішення проблеми підвищення ефективності виробництва й створення конкурентоспроможної машинобудівної продукції вимагає широкого застосування прогресивних наукомістких технологій, що забезпечують істотне підвищення продуктивності праці, поліпшення якості й зниження собівартості виробленої продукції. В основу технологічної підготовки виробництва необхідно покласти умову оптимальної собівартості виробленої продукції, що з урахуванням змінних статей витрат, наприклад, металообробного виробництва математично описується [1]:

$$C = N \cdot \tau \cdot S_1 \cdot k + M \cdot \varphi + S_2 \cdot P \cdot \tau, \quad (1)$$

де N – кількість оброблюваних деталей, шт; M – кількість споживаних інструментів, шт; $\tau = z \cdot \tau_0$ – норма часу на обробку однієї деталі, година; τ_0 – основний час на обробку однієї деталі, година; z – коефіцієнт, що враховує частку допоміжного часу на обробку однієї деталі стосовно основного часу; S_1 – тарифна ставка робітника, грн/година; k_D – коефіцієнт, що враховує всілякі нарахування (податки) на заробітну плату робітника; φ – ціна одного інструмента,

грн; S_2 – вартість одиниці енергії, грн; P – споживана потужність процесу, кВт.

У формулі (1) враховані три основні складові витрати, пов'язані із заробітною платою робітника, вартістю інструментів і споживаної енергії при обробці на верстаті. Перетворимо формулу (1) з урахуванням співвідношень:

$$M = \frac{N \cdot \tau_o}{T}; t_0 = \frac{\mathcal{G}}{Q}; \quad P = E \cdot Q; \quad C_0 = \frac{C}{n_1 \cdot \mathcal{G}}, \quad (2)$$

де T – період стійкості інструмента до його повного зношування, година; \mathcal{G} – об'єм металу, що знімається при обробці з однієї деталі, м³; Q – продуктивність обробки, м³/година; E – енергоємність обробки, Дж/м³ (чи Вт · година/м³); C_0 – вартість знімання одиниці об'єму металу, грн/м³ (питома собівартість обробки).

Тоді

$$C_0 = \frac{S_1 \cdot z \cdot k_D}{Q} + \frac{u}{Q \cdot T} + S_2 \cdot E. \quad (3)$$

Параметр C_0 визначається сумою трьох доданків, які мають цілком конкретний фізичний зміст: $C_{01} = \frac{S_1 \cdot z \cdot k_D}{Q}$ – витрати по заробітній платі, зв'язані зі

зніманням 1 м³ металу; $C_{02} = \frac{u}{Q \cdot T}$ – витрати по інструменту, зв'язані зі зніманням 1 м³ металу; $C_{03} = S_2 \cdot E$ – витрати по електроенергії, зв'язані зі зніманням 1 м³ металу.

Добуток $Q \cdot T$ визначає об'єм металу, що знімається одним інструментом за період його стійкості T . Формула (3) містить постійні (S_1 , S_2 , z , k_D , u) і змінні (Q , T , E) величини. Зменшити C_0 можна за рахунок збільшення Q , $Q \cdot T$ і зменшення E .

Розглянемо приклад розрахунку параметрів C_{01} , C_{02} , C_{03} , C_0 для конкретного технологічного процесу обробки.

При шліфуванні кілець із твердого сплаву торцем алмазного круга на органічній зв'язці досягнута продуктивність обробки $Q = 400$ мм³/хв ($Q = 24 \cdot 10^6$ м³/година). Час роботи круга до його повного зношування дорівнює $T = 0,72$ годин. Енергоємність обробки дорівнює $E = 20 \cdot 10^3$ кВт·година/м³. Значення постійних величин: $S_1 = 5,6$ грн/година; $S_2 = 0,2$ грн/кВт·година; $z = 4$; $k_D = 3$; $u = 60$ грн. Підставляючи вихідні дані у формулу (3), маємо:

$$C_0 = 2,8 \cdot 10^6 + 3,47 \cdot 10^6 + 4 \cdot 10^3 = 6,27 \text{ грн/м}^3.$$

Найбільше значення приймає параметр $C_{02} = 3,47 \cdot 10^6$ грн/м³.

Параметр $C_{03} = 4 \cdot 10^3$ грн/м³ значно менше параметрів C_{01} , C_{02} і тому його в розрахунках можна не враховувати. Очевидно, зменшити питому собівартість обробки C_0 можна в першу чергу за рахунок зменшення доданка C_{02} . Це досягається, наприклад, застосуванням більш зносостійких алмазних кругів на ме-

талевих зв'язках. Експерименти показали, що час роботи такого круга до повного зношування істотно збільшується й дорівнює $T=6$ годин.

Продуктивність Q і енергоємність E обробки при цьому залишаються приблизно тими ж. Ціна алмазного круга на металевій зв'язці більша, ніж алмазного круга на органічній зв'язці й становить $C=90$ грн. З урахуванням вихідних даних параметр C_0 визначиться:

$$C_0 = 2,8 \cdot 10^6 + 0,625 \cdot 10^6 = 3,425 \cdot 10^6 \text{ грн/м}^3.$$

Як бачимо, застосування більш зносостійких алмазних кругів на металевих зв'язках дозволило зменшити доданок C_{02} в 5,55 разів, а питому собівартість обробки C_0 – в 1,83 раза.

У цьому випадку параметр C_0 обумовлений складовою C_{01} , тому що $C_{02} \ll C_{01}$. Тому наступним етапом зменшення C_0 необхідно розглядати зменшення доданка C_{01} за рахунок збільшення продуктивності обробки Q або за рахунок зменшення коефіцієнта z , що визначає частку допоміжного часу обробки стосовно основного часу. Зменшення коефіцієнта z – це автоматизація операції обробки; застосування, наприклад, верстата-автомата, що забезпечує виконання умови $z \rightarrow 0$ ($z < 1$). У цьому випадку доданок $C_{01} \rightarrow 0$, однак при цьому в залежність (3) необхідно ввести новий доданок C_{04} , що враховує витрати на придбання верстата-автомата. Природно, це приведе до збільшення C_0 . Ефект буде досягнутий у тому випадку, якщо сума C_{01} і C_{04} буде менше початкового значення $C_{01} = 2,8 \cdot 10^6$ грн/м³.

З урахуванням доданка C_{04} формула (3) прийме вид:

$$C_0 = \frac{S_1 \cdot z \cdot k_D}{Q} + \frac{u}{Q \cdot T} + S_2 \cdot E + \frac{u_1}{N \cdot \mathcal{G}}, \quad (4)$$

де u_1 – ціна верстата-автомата, грн.

Тут $C_0 = \frac{u_1}{N \cdot \mathcal{G}}$ – витрати по верстату-автомату, зв'язані зі зніманням 1 м³ металу. При високій вартості верстата-автомата зменшити доданок C_{04} можна за рахунок збільшення кількості оброблюваних деталей N і об'єму металу \mathcal{G} , що знімається з оброблюваної деталі, тобто чим більше сумарний об'єм металу, що знімається, $N \cdot \mathcal{G}$, тим менше C_{04} . Отже, придбання верстата-автомата ефективно при великій програмі оброблюваних деталей. При обробці невеликої партії деталей основний шлях зменшення питомої собівартості обробки C_0 складається в зменшенні доданка C_{01} за рахунок збільшення продуктивної обробки Q .

Дослідами встановлено, що зі збільшенням сили притиску алмазного круга до оброблюваної деталі (твердосплавного кільця) продуктивність Q може бути збільшена в 2 рази, тобто до значення $Q=800$ мм³/хв (чи $Q=48 \cdot 10^6$ м³/годин).

Коефіцієнт $z=7$. Стійкість круга при цьому зменшується в 3,5 рази й становить $T=1,71$ годин. Енергоємність обробки E зменшується, однак несуттєво й, отже, доданком C_{03} у формулі (3) можна зневажити. З урахуванням нових вихідних даних, маємо:

$$C_0 = 2,45 \cdot 10^6 + 1,1 \cdot 10^6 = 3,55 \cdot 10^6 \text{ грн/м}^3.$$

Як бачимо, перший доданок C_{01} трохи зменшився (від $2,8 \cdot 10^6$ до $2,45 \cdot 10^6$), однак збільшився другий доданок C_{02} (від $0,625 \cdot 10^6$ до $1,1 \cdot 10^6$), що в остаточному підсумку привело до невеликого збільшення питомої собівартості обробки C_0 (від $3,425 \cdot 10^6$ до $3,55 \cdot 10^6$). Збільшення C_0 відбулося внаслідок відносно великого значення коефіцієнта z . Отже, зменшення основного часу обробки τ_0 за рахунок збільшення продуктивності обробки Q (коли зберігається великий допоміжний час обробки) малоефективно з погляду зниження собівартості обробки.

Із цього можна зробити висновок, що найбільш перспективним напрямком зменшення C_0 необхідно розглядати зменшення коефіцієнта z . Лише при невеликому значенні z , коли зміна (збільшення) продуктивності обробки Q практично не приведе до росту z , з'являється можливість зменшення C_0 за рахунок збільшення Q .

Розглянутий вище приклад є підтвердженням того, що застосування прогресивних наукомістких технологій (якими є, наприклад, технології шліфування алмазними кругами на високоміцних металевих зв'язках з їх безперервним електроерозійним виправленням) виявляється не ефективним (або малоефективним) у зв'язку з низьким рівнем автоматизації й механізації праці, а також у зв'язку із застосуванням застарілого технологічного обладнання, заснованого на «ручній обробці», й ін. Зменшити коефіцієнт z можна також застосуванням нових кінематичних схем обробки партії деталей з більш високою продуктивністю.

По суті, залежність (4) відкриває нові можливості оптимізації технологічних процесів, вибору найбільш ефективних варіантів обробки на основі техніко-економічного аналізу [2, 3].

Аналізуючи доданки C_{01} , C_{02} , C_{03} , C_{04} для різних видів обробки, можна вийти на оптимальні режими різання, характеристики інструментів, устаткування й ін., тобто вийти на проектування оптимальної маршрутної технології механічної обробки.

Література: 1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.4. “Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с. 2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с. 3. Новиков Ф.В., Яценко Е.С., Ковальчук А.Н., Иванов И.Е. Математическая модель определения экономически выгодных режимов резания / Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технічний прогрес і ефективність виробництва. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – № 41. – С. 33-36.

**СТРАТЕГІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНОЮ
ВЗАЄМОДІЄЮ В СИСТЕМІ МАРКЕТИНГУ ПАРТНЕРСЬКИХ ВІДНО-
СИН**

Акулова І.О. (м. Харків, Україна)

Recommendations for creation and use the marketing mechanism of supply chain management is designed. The typology logistical relations is motivated. The particularities of the shaping institutional flap of the interaction are considered. Mechanism of the distribution financial resource between participant logistical systems is offered.

Послідовний перехід до високорозвиненої ринкової економіки викликав потребу поєднання двох новітніх концепцій які, з одного боку, досить широко представлені в економічній літературі, а з іншого не мають необхідного теоретичного обґрунтування. Перша концепція пов'язана з трансформацією й розширенням змісту логістичної системи підприємства до інтегрованих ланцюгів створення вартості, друга – з більш значною переорієнтацією маркетингових систем підприємств на підтримку співпраці та взаємодії, за для задоволення потреб більш вузького кола споживачів. Ці тенденції вимагають забезпечення синхронності й підтримки високих кінцевих результати діяльності всіх учасників товарного руху, що можливо лише на основі методології логістики. Разом з тим, підвищення ролі споживача призвело до потреби поширення належних партнерських взаємин з ним.

За таких умов значно змінюються підходи до розробки стратегії розвитку підприємства. Так маркетингову стратегію ($S_{МПВ}$) в межах концепції маркетингу партнерських відносин (МПВ) можна визначити як набір правил ведення спільної діяльності й адаптації до них власних цілей окремих учасників логістичної системи для ефективного прийняття кооперативних рішень й управління консолідованою цінністю. При цьому діяльність всіх учасників логістичного ланцюга створення вартості повинна бути скоординована таким чином, щоб витримувалися обрані паттерни спільних дій. Зазначений підхід тісно перетинається з концепцією інтегрованого маркетингу, що передбачає послідовне проходження таких фаз як вибір конкретного виду цінності, розроблення чітких характеристик продукту чи послуги, встановлення відповідної для обраної цінності комунікаційної політики. Тут також можна припустити про розширення концепції МПВ до систем спільного зі споживачем створення цінності. Такий підхід передбачає, що виробник з споживачем через індивідуалізований, унікальний для кожного з них досвід спільно творять цінність у точках взаємодії, й отримують додану вартість.

У цьому контексті ключовим аспектом постає ідея про те, що стратегія повинна будуватися не з оглядом на діяльність конкурентів, а на створення незалежно від них певної цінності. Така побудова цінності, її відстеження та вдосконалення дозволить співвіднести стратегії логістичної взаємодії з навчанням спільного зі споживачем інституційного утворення. Завдання маркетингу при цьому значно не змінюється. Основою залишається забезпечення максимально гнучкого й ефективного використання усіх видів ресурсів і можливо-

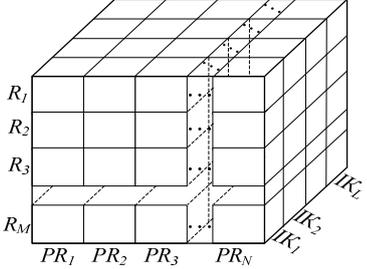
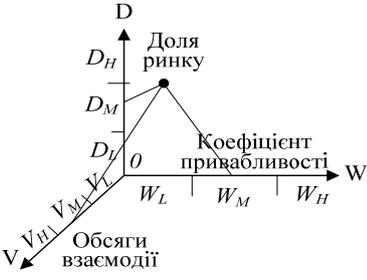
стей, маркетингових інструментів, підприємницької ініціативи, а також науково-виробничого потенціалу підприємства для досягнення цілей. Проте одночасно враховується стратегічна орієнтація на цінність для споживача. Також мож на стверджувати про формування мережі спільних навичок та знань, чи мережі досвіду. Отже, відповідно до концепції МПВ конкурентні переваги підприємства полягатимуть в формуванні зазначених мереж, залучення до них лояльних споживачів й на основі цього розробляти такі програми лояльності, щоб надавати кожному споживачу дійсно унікальну цінність. Водночас слід звернути увагу на необхідність подальшого використання й традиційного логістичного підходу, оскільки саме його принципи будуть забезпечувати фізичне переміщення товарів та послуг, що забезпечують надання цінності.

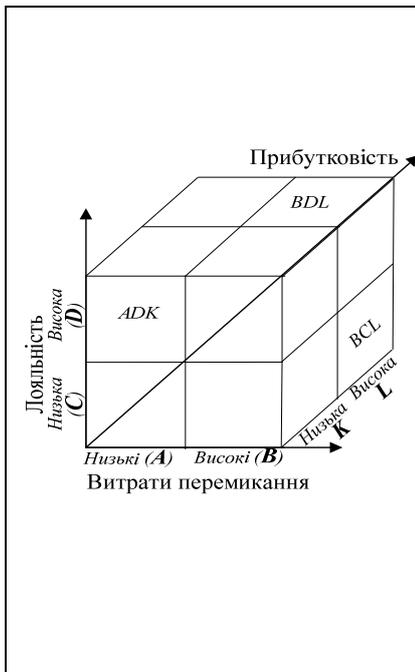
Отже, концепція МПВ, передбачає розгляд маркетингової стратегії як двостороннього процесу взаємодії підприємства й його споживачів, з встановленням потрібних поступок, інституціоналізацією відносин й ініціалізацією ітеративного керованого процесу взаємного навчання. Саме такий підхід дозволить як збалансувати економічні інтереси підприємства й споживачів щодо якості й ціни на товар, умов платежу, сервісу, подання інформації про товар тощо, так і створити підґрунтя для вдосконалення способу доцільної інтеграції підприємства в ринковий бізнес-простір. Відповідно економічні інтереси слід розглядати як набір вигод, який бажає отримати ринковий суб'єкт, вступаючи в економічні відносини з іншими суб'єктами ринку. Отже й інтересу виробника й споживача можна задати відповідними множинами вимог з i елементів ($\{EIB_i\}$ та $\{EIC_i\}$). Таким чином, основою стратегії логістичної взаємодії буде встановлення правил й паттернів дій, щодо узгодження зазначеного набору вигід. В процесі узгодження елементів множин $\{EIB_i\}$ та $\{EIC_i\}$ слід оцінювати їх відповідність елементам обраної підприємством та споживачем бізнес-моделі ($\{БМП\}$ й $\{БМС\}$).

Таблиця 1

Застосування портфельного аналізу в процесі розробки й реалізації стратегії логістичної взаємодії

Матриця (зображення)		Характеристика								
Оцінка гнучкості взаємодії		По відношенню до логістичної взаємодії в межах МПВ можна виділити опції: відстрочення чи очікування (узгодження інтересів через деякий період часу); зміни масштабу (скорочення чи збільшення рівня поступок за проектом); виходу (припинення взаємодії); росту чи покращення (надання додаткових поступок в процесі реалізації проекту); виходу (відмова від реалізації нерентабельних проектів); перемикання (варіювання обсягами й різноманіттям надаваних послуг в просуванні й зміна атрибутів товару); контакту (зростання лояльності в майбутньому періоді)								
Привабливість споживача	<table border="1"> <tr> <td>Висока</td> <td>Опції утримання, очікування</td> <td>Опції покращення, контакту</td> </tr> <tr> <td>Низька</td> <td>Опції зміни масштабу, перемикання</td> <td>Опції виходу, перемикання</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Вартість підтримання опціону</td> </tr> </table>		Висока	Опції утримання, очікування	Опції покращення, контакту	Низька	Опції зміни масштабу, перемикання	Опції виходу, перемикання	Вартість підтримання опціону	
	Висока	Опції утримання, очікування	Опції покращення, контакту							
Низька	Опції зміни масштабу, перемикання	Опції виходу, перемикання								
Вартість підтримання опціону										
Релевантні ресурси (R_M) – сукупність проектів взаємодії зі споживачем		Тривимірна матриця призначена для розподілу релевантних ресурсів між окремими проектами ($\{PR\}$) взаємодії, кожен з яких відповідає окремому споживачу								

<p>(PR_N) – поступки за окремими атрибутами товару (IK_L)"</p>	<p>чи бізнес-процесу. Розглядається як набір окремих площин "$R_M - IK_L$" для попередньо проранжованих за ступенем важливості й необхідності підтримки співпраці проектів. Для більш важливих з них (PR_1, PR_2, \dots) передбачається повне ресурсне забезпечення, в межах заздалегідь визначених поступок в узгодженні інтересів за різними атрибутами товару. Для більш-менш важливих буде вирішуватися оптимізаційна (переважно комбінаторна чи ітераційна) задача балансування рівня поступок (втрата інтересів підприємства) з наявними ресурсами й можливою втратою прибутку. Менш важливі проекти взаємодії (PR_N, PR_{N-1}, \dots) взагалі можуть бути виключені з набору або відкладені на певний термін (за умови прийняття опціонального підходу до організації взаємодії)</p>
	<p>Для верхніх квадрантів ($D_H V_H W_H, D_H V_M W_H, D_M V_H W_H, D_H V_H W_M, D_M V_M W_H, D_M V_H W_M$) слід підтримувати взаємодію, збільшуючи поступки ($\{EIB_j\} < \{EIC_i\}$) й здійснюючи інвестиції в підтримку позиції; інтенсивне зростання якості взаємин; Квадранти ($D_H V_H W_L, D_L V_H W_H, D_H V_L W_H, D_M V_L W_H, D_H V_L W_M, D_H V_M W_M$) передбачають розвиток взаємодій при сприятливих обставинах та стабілізація клієнтської бази; (D_M, V_M, W_M) передбачає вибірковість подальшого розвитку взаємин; Для квадрантів ($D_M V_L W_M, D_H V_L W_L, D_M V_M W_L, D_L V_M W_H, D_L V_M W_M, D_L V_L W_H$) у разі позитивної динаміки стабілізувати параметри, у разі ж негативної – як і для квадрантів ($D_L V_M W_L, D_L V_H W_L, D_M V_L W_L, D_L V_L W_M, D_L V_H W_M, D_M V_H W_L$) ставити перевагу власним інтересам ($\{EIB_j\} > \{EIC_i\}$). Для визначення відповідності процесів слід позиціонувати на D-WC-V ще й підприємство (розбіжності будуть лише в коефіцієнті привабливості). У разі відмінності в квадранті за W, але при $D_H V_H$ чи $D_H V_M$ чи $D_M V_H$ слід адаптуватися до вимог споживача. У разі більш кращого W споживача в решті випадків слід орієнтуватися на обмін знанням</p>
	<p>Споживачі, взаємодія з якими припадає на сектор BDL є найбільш "вигідними" для підприємства через ефективність взаємодії та складність відмовитися від взаємодії. Отже й різниця в узгодженні інтересів може бути переважно на користь підприємства ($(IKП-ІКС) \rightarrow max$). Сегмент ADL також містить лояльних й прибуткових споживачів, проте стратегія взаємодії повинна передбачати більшу ступінь їх задоволення ($(IKП-ІКС) \rightarrow min$). На споживачів з секторів АСК та ВСК слід орієнтуватися в останню чергу, а при ресурсній</p>
<p>Куб лояльності – використовується як додатковий інструмент при категоризуванні споживачів та обґрунтовує паттерни дій. Прибутковість може розглядатися як прогнозне значення для нових клієнтів</p>	<p>Споживачі, взаємодія з якими припадає на сектор BDL є найбільш "вигідними" для підприємства через ефективність взаємодії та складність відмовитися від взаємодії. Отже й різниця в узгодженні інтересів може бути переважно на користь підприємства ($(IKП-ІКС) \rightarrow max$). Сегмент ADL також містить лояльних й прибуткових споживачів, проте стратегія взаємодії повинна передбачати більшу ступінь їх задоволення ($(IKП-ІКС) \rightarrow min$). На споживачів з секторів АСК та ВСК слід орієнтуватися в останню чергу, а при ресурсній</p>



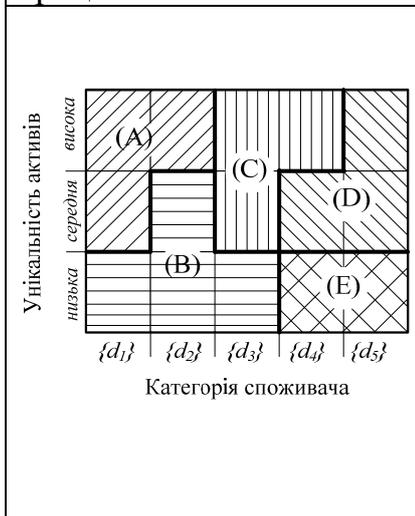
невідповідності за MAL_{92} взагалі припиняти взаємодію. Для споживачів зі значними витратами перемикання на продукцію підприємства (B) слід встановити які саме поступки в інтересах $\{EIB_{ij}\}$ можуть призвести до вирішення про орієнтацію на продукцію підприємства. У разі значних витрат перемикання (сектор BCL) слід в процесі залучення надавати певні поступки ($\Delta IK \rightarrow min$), які після їх переведення в сектор BDL можна зменшувати чи підтримувати на тому ж рівні ($\Delta IK \rightarrow max$). При низьких витратах перемикання (ACL) також слід підвищувати лояльність споживачів, що приносять значну частку прибутку. Споживачів з секторів BDK й ADK слід орієнтувати на збільшення прибутку від взаємодії за рахунок надання переваги інтересам підприємства чи активізації інноваційної діяльності.

Визначення методів координації взаємодії за умови різної пов'язаності акторів

Ступінь зв'язаності	Висока	Взаємне регулювання	Безпосереднє спостереження й категорювання
	Низька	Стандартизовані операції й процедури	Безпосереднє спостереження
		Низька	Висока
Ступінь конфліктності			

Дозволяє обрати метод координації процесів, що відбуваються в мережі логістичної взаємодії. При цьому можна орієнтуватися на наступні методи, що не є взаємовиключаючими: безпосереднє спостереження (утворення ієрархічних структур); стандартизація (інституціоналізація взаємин; вироблення правил, процедур й норм); цільові настанови (взаємне розповсюдження планів); взаємне регулювання (спільне прийняття рішень, що залучає групи в різні форми співробітництва); цінова оптимізація (прийняття оптимальних рішень обмежено раціональними агентами у разі невідповідності $\{EIB_{ij}\} \leftrightarrow \{EIC_{ij}\}$).

Матриця оцінки перспективності взаємодії й потреби зміни процесів логістичної інтеграції



Матриця визначає можливості взаємодії на основі унікальності активів, що наявні у підприємства та цінності продукції, що надається споживачу. На її основі також можна обирати патерни дій по відношенню до конкретних категорій споживачів. Найбільш перспективним для розширення взаємодії є сегмент А, де є взаємна вигода (підприємство надає унікальну цінність, споживач залишається лояльним). Споживачів з сегменту С підприємство прагнуть перевести до сегменту А шляхом підвищення їхньої лояльності. Відповідно для сегменту В підприємство повинно на основі дослідження мереж досвіду розвинути надавану цінність. Сегмент D зацікавлені у взаємодії з підприємством, проте не можуть підтримувати лояльність через минулі контракти або неможливість узгодження інтересів. Наявність споживачів в сегменті Е є скоріше виключенням або характеризується єдиноразовими транзакціями.

<p>Матриця взаємної підтримки стратегічних паттернів взаємодії</p>	<p>Обґрунтування областей виникнення синергетичного та компліментарного ефекту між проектами логістичної взаємодії зі споживачем. У разі наявності спільних вимог споживача (при незначному рівні кастомізації продукту) можливе збільшення рівня поступок інтересами підприємства. Дану матрицю доцільно розробляти у двох варіантах: при визначенні синергії в вимогах до продукту й при встановленні можливості виникнення компліментарного ефекту в процесі просування продукції. Аналогічним чином можна формувати матрицю для всіх складових маркетинг-міксу підприємства, що формується у відповідності з парадигмою 11С маркетингу партнерських відносин</p>																																																	
<p>Проекти взаємодії</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>PR_1</th> <th>PR_2</th> <th>PR_3</th> <th>...</th> <th>PR_N</th> <th>Ітог</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>PR_1</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>...</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>PR_2</th> <td>$\{IK_i\}$</td> <td></td> <td></td> <td>...</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>PR_3</th> <td></td> <td></td> <td>$\{R_N\}$</td> <td>...</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>...</th> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <th>PR_N</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>...</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Ітог</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>...</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PR_1	PR_2	PR_3	...	PR_N	Ітог	PR_1				...			PR_2	$\{IK_i\}$...			PR_3			$\{R_N\}$	PR_N				...			Ітог				...			
	PR_1	PR_2	PR_3	...	PR_N	Ітог																																												
PR_1				...																																														
PR_2	$\{IK_i\}$...																																														
PR_3			$\{R_N\}$...																																														
...																																												
PR_N				...																																														
Ітог				...																																														

Тут додатково слід враховувати виділення корпоративного, функціонального та інструментального рівнів стратегії. Так корпоративний рівень зачіпатиме загальну логіку організації стратегічної взаємодії ($\{БМП\} \leftrightarrow \{БМС\}$). Решта рівнів буде пов'язана з безпосередньою взаємодією з конкретним споживачем (цей рівень за своєю суттю відповідатиме так званим стратегіям бізнес-одиниць ($\{EIB_i\} \leftrightarrow \{EIC_i\}$)). Корпоративний рівень розробки стратегій часто пов'язується з моделями портфельного аналізу. Разом з тим, більшість наявних моделей мають обмежене застосування з точки зору реалізації $S_{МПВ}$. Саме тому автором було розроблено й апробовано декілька нових матриць, представлених в табл. 1.

З точки розу визначення логіки стратегічної орієнтації МПВ діяльність щодо забезпечення логістичної взаємодії пропонується розглядати як управління сукупністю проектів (або як реалізацію потоку проектів). З оглядом на це в основу спільного створення цінності й формування необхідних мереж досвіду можна покласти набір пов'язаних подій. При цьому подія ідентифікується як зміна стану в просторі та часі, що впливає на одну чи більше осіб та обов'язково розглядається через призму її контексту. Таким чином стратегію логістичної взаємодії пропонується представити у вигляді норм та правил, що регламентують управління сукупністю проектів взаємодії зі споживачем та встановлюють правила узгодження інтересів (множин $\{EIB_i\}$ та $\{EIC_i\}$).

УДК 659.1

БРЕНД: СУЩНОСТЬ И РАЗРАБОТКА

Андрюхіна Є.В. (м. Харків, Україна)

Brand: essence and development. The article is devoted to what is branding and why do enterprises need brands. Historical characteristics of brand are brought. There were considered different types of brands and development periods for brand creating. The accent is made at product naming, design and branded style.

Для маркетологов брендинг – это основной способ дифференциации продуктов и инструмент продвижения товаров на рынок. Некоторые заявляют, что брендинг – это «новый культурный язык современного общества, базирующего на рыночных отношениях». В последние годы техника брендинга широко стала использоваться в

деятельности транснациональных корпораций, продвигающих на национальных рынках свои мегабренды. По существу современный рынок – это борьба брендов. Бренд с помощью комплекса маркетинговых коммуникаций внедряют в сознание потребителей, добиваясь ощущения особой ценности. Можно назвать это коммуникативной оболочкой, аурой бренда, элементом интеллектуальной собственности. Есть такое определение интеллектуальной собственности в бренде – «элемент коммуникации, который уникален, запоминаем и неразрывно связан именно с этим брендом и никаким другим». Для рекламодателя создание и усиление индивидуальности торговой марки на рынке повышает ее конкурентоспособность.

Профессиональный брендинг – это многоструктурный, обоснованный, выверенный и контролируемый комплекс по созданию товарной марки, разработке дизайна упаковки, рекламной аргументации, проведению акций по стимулированию сбыта, то есть использование всего арсенала маркетинговых средств коммуникативного воздействия на потребителя. Фактически сегодня идет глобальная борьба за потребителя в двух плоскостях: товарной и коммуникативной.

Брендинг активно применялся в Средние Века, когда цеховые ремесленники помечали свои товары особой маркой. Это стало необходимым, поскольку население росло, и на одной и той же территории появилось больше одного кузнеца, каменщика, сапожника ли плотника. В некоторых старых городах Европы, таких как Зальцбург и Роттенбург, туристы до сих пор могут видеть подлинные железные «торговые знаки», отмечавшие мастерские, где работали «держатели» этих торговых марок. В 1266 английское законодательство официально требовало, чтобы булочники отмечали своим знаком каждую буханку хлеба, чтобы вес каждой буханки соответствовал заявленному. В ранней истории Соединенных Штатов марки часто использовались для идентификации скота (коров, овец), позже стали использоваться для отмечания особого качества товара, представленного владельцем определенной фермы или ранчо.

Однако настоящий расцвет идеи брендинга пришелся на вторую половину двадцатого века, и связано это было с вполне естественными причинами – появлением на рынке большого количества похожих товаров. Развитие технологии оказало на человеческое общество огромное влияние. Во-первых, это выразилось в том, что мы все окружены технически сложными приспособлениями, которыми пользуемся каждый день, имея смутное представление о том, как эта вещь устроена внутри. Даже более того, современные потребители иногда оказываются не в состоянии понять все характеристики покупаемого изделия. Здесь на помощь потребителю приходит бренд, который выделяет из всех характеристик товара те, которые важны для потребителя, и облегчает понимание товара.

Что такое бренд? Бренд – это торговая марка со сложившимся имиджем. Технология по созданию и внедрению бренда получила название брендинг. Бренд – это комплекс впечатлений, которые остаются у покупателя в результате использования товара. Бренд помогает: идентифицировать, т.е. узнать товар при упоминании; отстроиться от конкурентов, т.е. выделить товар из общей массы; создать у потребителей привлекательный образ, вызывающий доверие; сосредоточить различные эмоции, связанные с товаром; принять решение о покупке и подтвердить правильность выбора, т.е. получить удовлетворение от

принятого решения; сформировать группу постоянных покупателей, ассоциирующих с брендом свой образ жизни.

Бренд – это не только торговая марка, состоящая из названия, графического изображения (логотипа) и звуковых символов компании или товара. Понятие бренда более широкое, поскольку в него еще дополнительно входят: сам товар или услуга со всеми его характеристиками; набор ожиданий и ассоциаций, воспринимаемых и приписываемых пользователем товару; информация о потребителе; обещания каких-либо преимуществ, данные автором бренда потребителям.

Бренд происходит, как считают, от латинского «brand» - клеймо, тавро или от скандинавского «brandr» – жечь, выжигать. С древних времен клейма (бренда) удостоивался только высококачественный товар. Клейменный предмет выделялся среди аналогичных, приобретая индивидуальность. Продукция с брендом всегда продавалась по более высокой цене. Бренд добавляет родовому продукту (то есть продукту без бренда) дополнительную ценность. Один из ведущих американских специалистов-маркетологов Питер Дойл описывает бренд как «совокупность, состоящую из продукта, который удовлетворяет функциональным потребностям потребителей, так и из дополнительной ценности, побуждающей покупателей чувствовать большое удовлетворение по поводу того, что данный бренд обладает более высоким качеством и больше подходит им, чем аналогичные бренды, предлагаемые конкурентами».

Понятие торговая марка (товарный знак) является буквальным переводом английского слова «trademark» – любой символ, слово, число, изображение или конструкция, используемые производителем или продавцом для идентификации своих товаров и отличия от однородных товаров других юридических или физических лиц. Иначе говоря, торговая марка (товарный знак) – это сочетание названия какого-либо товара (фонемы) и его графического изображения (графемы).

Очень часто важно модернизировать существующий бренд. Со временем любой продукт морально устаревает. Поэтому нужно не только вовремя вводить «революционно новые формулы», но и модернизировать облик товара. Когда внешне продукт несколько лет подряд не меняется, у него практически нет шансов оставаться на пике потребительского внимания.

Чрезвычайно важна индивидуальность бренда, поскольку она коммуницирует отличительные качества именно этой марки, ее функциональные и эмоциональные. Если говорить о типологии, то, проанализировав ряд источников и мнений исследователей, можно говорить о нижеследующей классификации брендов.

Ведущий бренд («бренд-лидер») – имеет доминирующую долю рынка по объему или стоимости и который является предпочтительным при покупках потребителей. Бренд, стремящийся завоевать место на рынке; бренд, который находится в состоянии становления и разработки, осуществляемой в первую очередь для атаки на бренд конкурента.

Нишевой бренд, занятие ниши – это способ, к которому прибегают главным образом небольшие виды бизнеса для захвата и удержания позиций на рынке. В этом случае выбирается определенный сегмент, предъявляющий особые требования к качеству, обслуживанию и т.д.

Глобальный бренд – это наиболее известный продукт или семейство

продуктов, имеющих общую узнаваемость брендов всегда и везде, когда они появляются на рынке. Кампании по их продвижению осуществляют при помощи унифицированных глобальных коммуникаций, часто поддерживаемых местными агентствами. Индивидуальность и ценности, связанные со стилем жизни бренда, являются в этом случае общими по отношению ко всем глобальным культурам.

Родовой (видовой, нарицательный) бренд – отсутствие торговой марки. То есть у товара есть только название, определяющее его сущность (например: рис, макароны, растительное масло и т.д.)

Для рационального создания и эффективного использования бренда следует учесть средства формирования бренда, присущие определенным этапам.

Разработка бренда – один из важнейших шагов формирования собственной аудитории будущего продукта, товара или услуги. Поэтому очень важно подойти к процессу создания бренда очень ответственно.

Создание бренда – это творчество, основанное на глубоком знании рынка. Процесс создания бренда достаточно сложен, а цена ошибки может составлять просто астрономическую сумму, поэтому, как правило, создание бренда поручают сторонней организации – рекламному агентству или креативной студии – поскольку этот вопрос требует профессионального подхода.

При создании бренда специалисты предлагают всегда помнить о позиционировании товара и о стратегии, разработанной для этого бренда. Не стоит перегружать бренд множеством идей – нужно выбрать одну самую ценную и донести ее до сознания потребителя. Для создания успешного бренда стоит обратить внимание на другие бренды, присутствующие на том же сегменте рынка. Это позволит, во-первых, избежать дублирования уже существующего бренда на рынке, во-вторых, учесть ошибки и просчеты, совершенные конкурентами, в-третьих, может натолкнуть на оригинальную идею.

Создание бренда включает в себя целый комплекс мероприятий: разработка текстового названия для бренда – нейминг; выборка альтернативных названий для бренда; разработка слоганов; разработка бренд-имиджа торговой марки; логотип и визуальные составляющие; разработка персонажа бренда, имидж-герой; дизайн упаковки; дизайн рекламных материалов. Одним из важнейших условий долгой и успешной жизни будущего бренда является грамотно подобранное название компании (товара, услуги). По крайней мере, оно больше распространено и обычно имеет доминирующее значение.

Нейминг (от англ. «to name» – называть, давать имя) – это весьма своеобразная и довольно специфическая область профессиональной деятельности, связанную с имяобразованием. Специальные агентства или их подразделения, или, в конце концов, профессиональные копирайтеры и рекламщики занимаются подбором (поиском, придумыванием) подходящего наименования для всего того, что с точки зрения заказчика нуждается в собственном оригинальном имени. Название, имя торговой марки, как правило, оказывается наиболее заметным и устойчивым элементом взаимосвязи между маркой и потребителем. Оно должно отражать впечатление от марки в одном слове или фразе, кроме того, обеспечивать правовую защиту. Название торговой марки является первым и чаще всего наиболее запоминающимися элементами индивидуальности марки. С учетом

ответственности и потенциальной стоимости названия торговой марки, а также его долговечности, выбор имени требует к себе повышенного внимания, ведь оно должно рассказать о многом, запомниться, быть индивидуальным и значимым.

Цель профессионального нейминга – создание (придумывание) таких имен. Любое имя товара имеет право существовать. Но имя должно работать!

Фирменный стиль является одним из главных рекламных и маркетинговых инструментов любой современной компании. Разработка фирменного стиля подразумевает совокупность и сочетание элементов (определенных графических объектов и шрифтовых решений), которые обеспечивают единство внешнего вида всех объектов, имеющих отношение к фирме (продукции, упаковки товаров, помещений, оборудования, документации, рекламы, одежды и т.п.). Сам фирменный стиль является одним из главных рекламных и маркетинговых инструментов любой современной компании. Фирменный стиль должен способствовать формированию благоприятного имиджа компании, призван усиливать эффективность ее рекламных контактов с потребителями, способствовать росту репутации и известности компании на рынке, вызывать доверие партнеров.

Основной пакет фирменного стиля включает: логотип, торговую марку; текстовый знак; фирменные цвета (цветовая палитра); фирменный шрифт; визитную карточку; фирменный бланк; конверт. К дополнительным элементам фирменного стиля относят также: слоган (девиз), веб-сайт, папка, буклет, плакат, сувенирная продукция, POS-материалы, упаковка (упаковочная бумага, тара), прайс-лист, пакеты, наружная реклама, мультимедийная презентация, все формы наружной рекламы, включая интернет рекламу.

Визитная карточка. Элемент, с которого начинаются деловые контакты. После знакомства идет обмен визитными карточками. На самом деле визитка по своей сути является мини-представительством вашей компании.

Бланк. Это лист бумаги с названием учреждения, фирмы или частично напечатанным текстом, предназначенный для составления документа по определенной форме. Так как письма и другие документы, как правило, обращены второй стороне, то бланк непременно должен отражать специфику вашей компании, а именно фирменный стиль.

Фирменный сайт. В последнее время с развитием Интернета и электронной корреспонденции весьма актуальным стал вопрос о фирменном стиле электронной документации. Например, некоторые компании имеют собственный «бланк электронного письма» (естественно, он виден только в формате html, в обычном текстовом режиме просмотра e-mail все фирменные изыски не читаются). Сам сайт можно делать и позже, запустив его по мере надобности, но готовое дизайнерское решение для сайта, гармонирующее с остальными элементами фирменного стиля, хорошо иметь на руках уже в самом начале.

Следовательно, фирменный стиль служит не только созданию определенного образа, но и формирует некий идеал, выполняющий полезную функцию для престижа фирмы. Поэтому невозможно произвольное создание фирменного стиля. Искусственно спроектированный, в отрыве от объективно существующих характеристик, он не сможет отразить специфики предприятия и может оказаться даже вредным.

Логотип – оригинальное начертание, изображение полного или сокращенного наименования фирмы или товаров фирмы, призванное сделать

более запоминающимся имидж компании. В идеале дизайн логотипа должен выражать основное направление деятельности фирмы.

Графический дизайн – понятие универсальное. В целом дизайн – это процесс выбора и организации графических компонентов с целью достижения определенной цели, которая может быть либо эстетической, либо иметь функциональную подоплеку, а зачастую преследовать обе эти цели. Любой графический дизайн, оперируя невербальными, визуальными символами, может оказывать огромное влияние на аудиторию.

Дизайн упаковки играет очень важную роль для конечного потребителя – именно за счет внешней обертки товара в большинстве случаев покупатель отдает предпочтение товару среди прочих равных. Красивая и интересная упаковка может не только выступать «тарой» для продукта, а служить потребителю еще долгое время, выполняя сторонние функции, неся на себе внешнюю атрибутику того или иного бренда. Дизайн упаковки – один из основных инструментов мотивации совершения покупки. Дизайн этикетки, несмотря на размер и отличие от упаковки, постепенно вырос в отдельную индустрию. Этикетки менее заметны, но в то же время более универсальны. Здесь промышленный дизайн уступает дизайну графическому. Служащие брендовых компаний, предприятий, фирм теперь не просто нанятые работники, они должны жить брендом Сейчас политические партии, группы давления, даже школы и университеты применяют техники брендинга.

УДК 334.75

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ВИТРАТАМИ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Волкова М.В. (г. Харьков, Украина)

in thesis the complex of questions connected to adaptation of the system of management of the expenses at the industrial enterprise in a stable economic conditions is considered.

В умовах ринкової економіки основою діяльності кожного товаровиробника є досягнення максимального прибутку, що є основою для забезпечення розвитку підприємства, поліпшення показників його діяльності, технічного переозброєння та модернізації виробництва, досягнення стійких конкурентних переваг підприємства на ринку. Все це обумовлює важливість аналізу прибутку та управління витратами на підприємстві.

Ефективність функціонування підприємства багато в чому залежить від економічно-грамотного використання усіх видів ресурсів, що обумовлює необхідність поступового переходу до єдиної системи управління витратами (СУВ). Перевагами впровадження такої системи є: забезпечення виробництва конкурентоспроможної продукції за рахунок більш низьких витрат та цін; наявність якісної та достовірної інформації про собівартість окремих видів продукції та їх позиції на ринку в порівнянні з продукцією інших виробників; можливість використання гнучкого ціноутворення; надання об'єктивних даних для упорядкування бюджету підприємства; можливість оцінки діяльності кожного підрозділу підприємства з фінансової точки зору; прийняття ефективних та обґрунтованих управлінських рішень.

Аналіз економічної літератури дозволив виділити декілька основних визначень поняття управління витратами. Так, Ю.С. Ігумнов і К.Ф. Лученко [1] визначають управління витратами як планомірне формування витрат на виробництво та збут продукції й контроль за їх рівнем.

На наш погляд, це визначення необхідно розширити, оскільки управління витратами більше зводиться до розробки та реалізації управлінських рішень, заснованих на використанні об'єктивних економічних законів щодо формування та регулювання витрат підприємства відповідно до його стратегічних та поточних цілей.

Динаміка витрат характеризує споживання усіх видів ресурсів, використання котрих необхідне підприємству для досягнення визначених цілей. В процесі управління витратами здійснюється вибір між альтернативними варіантами стратегічних та поточних управлінських рішень щодо виробництва та реалізації продукції, номенклатури товарів та послуг, ціноутворення та логістики.

Управління витратами – це складний, багатоаспектний та динамічний процес, що включає управлінські дії, ціллю яких є досягнення високого економічного результату діяльності підприємства. Цей підхід розділяє О.П. Градов, який відзначає, що управління витратами не завжди повинне бути спрямоване безпосередньо на економію витрат. Принциповим є забезпечення ефективності цих витрат, тобто одержання прибутку, що реально виправдовує витрати. Саме тому головним в управлінні витратами є запобігання потенційно неефективним витратам [2, с.341].

В ринковій економіці управління витратами повинно означати створення єдиної, раціональної, чітко та безперервно функціонуючої системи з певними цільовими установками та взаємопов'язаними елементами. Само по собі управління витратами є важливою складовою управлінського обліку, а основні її елементи будуть визначатися функціями, що виконує СУВ.

Проте більшість існуючих систем управління витратами визначається рядом недоліків, основні з яких приведені в табл.1.

Їхнє усунення повинне ґрунтуватися на тому, що в процесі функціонування системи управління витратами необхідно забезпечити знання того, де, коли та в яких обсягах витрачаються ресурси підприємства; можливість прогнозування обсягів необхідних додаткових фінансових ресурсів; уміння забезпечити максимально високий рівень віддачі від використання ресурсів. Таким чином управління витратами можна визначити як уміння заощаджувати ресурси та максимізувати віддачу від них.

При формуванні системи управління витратами необхідно враховувати їхні особливості, як економічної категорії. По-перше, це динамізм витрат, те, що вони постійно рухаються та змінюються. Так, у ринкових умовах постійно змінюються ціни на закупні сировину та матеріали, комплектуючі деталі та вироби, тарифи на енергоносії та послуги. Оновлюється продукція, переглядаються норми витрат матеріалів, що відображається на собівартості продукції. Тому витрати у статистиці розглядаються дуже умовно і без відображення їхнього рівня у реальному житті.

По-друге, різноманіття витрат потребує застосування широкого спектра прийомів та методів в управлінні ними, що ускладнюється відсутністю абсолю-

тно точних методів виміру та обліку витрат. Важливу роль відіграє й та обставина, що витрати складно й суперечливо впливають на економічний результат. Наприклад, підвищити прибуток підприємства можна за рахунок зниження поточних витрат на виробництво, що забезпечується підвищенням капітальних витрат на НДОКР, техніку та технологію. Високий прибуток від виробництва продукції нерідко значно скорочується через високі витрати на її утилізацію та ін.

Таблиця 1

Недоліки діючих систем управління витратами

Недоліки діючих систем управління витратами	Наслідки недоліків діючих систем
Відсутні порядок регулювання та урахування сумарних витрат й їх структури на стадіях життєвого циклу продукції.	Неможливо цілеспрямовано впливати на оптимізацію та зниження сумарних витрат.
Здійснюється лише автономне управління комплексом витрат за господарськими одиницям (ланкам) але не за виробами.	Зниження витрат однієї із ланок може призвести до збільшення сумарних витрат; зменшується можливість планування витрат.
Управління реалізується через план, сформований за базовими витратам, згідно критеріям оцінки діяльності конкретної господарської ланки.	Підприємство орієнтуються на виконання плану, не враховуючи реальні можливості зниження витрат за виробами та досягнення науково-технічного прогресу.
На кожній наступній стадії (етапі) не приймаються до уваги економічні розрахунки витрат, виконані на попередніх стадіях.	Можливе завищення сумарних витрат; неточно оцінюється та враховується внесок учасників нововведень в загальні результати; неточно оцінюються результати розвитку.
Відсутня закінчена система поетапного проектування; результати прогнозу не обов'язкові для наступних стадій.	Затягується освоєння економічних параметрів виробу через відсутність послідовності економічних показників проекту за стадіями життєвого циклу виробу.
При атестації економічного рівня та якості продукції майже не враховуються економічні параметри.	Знижується об'єктивність та ефективність оцінки при атестації продукції.
Відсутня стратегія зниження витрат учасниками процесу розвитку; не встановлені контрольні точки оцінки доцільності подальшого здійснення витрат.	Допускається подорожчання витрат на повний життєвий цикл, неточності у визначенні планових завдань по зниженню витрат; можлива розробка проектів не з максимальною ефективністю.
Не визначена структура управління витратами на виріб.	Допускаються втрати ефективності під час зміни стадій життєвого циклу.
Діюча система управління якістю не сповнена економічним змістом.	Знижується ефективність управління витратами у виробництві.

Враховуючи приведені особливості категорії витрат можна сформулювати ряд вимог до формування системи управління витратами, що будуть визначатися особливостями практичної діяльності підприємства, та виділити прин-

ципи управління ними.

Так, оскільки ефективність функціонування підприємства пов'язана з виникненням витрат, це визначає необхідність органічної інтегрованості управління витратами з іншими функціональними системами управління та загальною системою управління підприємством.

Всі управлінські рішення в області ефективного використання ресурсів та організації їхнього обороту тісно взаємозв'язані та прямо або побічно впливають на кінцеві результати фінансової діяльності підприємства. Тому управління витратами повинно розглядатися як комплексна функціональна керуюча система, що забезпечує розробку взаємозалежних управлінських рішень, кожне з яких робить свій внесок у загальну результативність діяльності підприємства.

Проте, навіть найбільш ефективні управлінські рішення в області використання ресурсів та управління витратами, розроблені та використані підприємством у попередньому періоді, не завжди можуть бути повторно застосовні на наступних етапах його господарської діяльності. Насамперед, це пов'язано з особливістю витрат як економічної категорії, змінами внутрішніх умов функціонування підприємства та його зовнішнього оточення. Тому система управління витратами повинна бути високодинамічною та враховувати зміну факторів зовнішнього середовища, потенціалу формування власних фінансових ресурсів, темпів економічного розвитку, форм організації виробничої та фінансової діяльності, фінансового стану та інших параметрів функціонування підприємства.

Крім того, підготовка кожного управлінського рішення в сфері управління витратами, вибору напрямків та форм регулювання їх рівня повинні враховувати альтернативні можливості дій та забезпечувати варіативність підходів до розробки окремих управлінських рішень. При цьому, якими б ефективним не здавалися ті або інші проекти рішень в області управління витратами, вони не повинні вступати в протиріччя з головними цілями діяльності підприємства, стратегічними напрямками його розвитку, оскільки це підриватиме економічну основу ефективного використання ресурсів в майбутньому періоді.

Ефективна система управління витратами, організована з врахуванням наведених вище вимог, створює основу високих темпів розвитку підприємства, досягнення необхідних кінцевих результатів його господарської діяльності та постійного росту його ринкової вартості. Їх перелік може бути розширений, проте без врахування розглянутих вимог не можливо розраховувати на створення ефективної системи управління витратами.

Суб'єктами управління витратами виступають керівники та спеціалісти підприємства та виробничих підрозділів (виробництв, цехів, відділів, дільниць та ін.). Окремі функції та елементи управління витратами виконуються службовцями підприємства безпосередньо або при їхній активній участі. Наприклад, диспетчер впливає на координацію та регулювання виробничого процесу, а отже, на виробничі витрати; бухгалтер веде облік витрат та ін.

В якості об'єктів управління витратами можна розглядати їх абсолютний розмір, структуру та динаміку. Також до об'єктів управління можуть бути віднесені витрати на розробку, виробництво, реалізацію, експлуатацію та утилізацію продукції, або витрати ресурсів, спрямовані на забезпечення

заданого технічного рівня та якості продукції. При цьому на кожній стадії життєвого циклу об'єктами управління стають: витрати, що виникають на даній стадії; витрати наступних стадій, обумовлені якістю робіт на даному етапі; сумарні витрати повного життєвого циклу продукції, включаючи сукупність витрат ресурсів на НДОКР та освоєння виробництва, сумарну вартість випуску та обігу серії продукції, експлуатаційні витрати на певний строк служби виробу.

Варто підкреслити, що система управління витратами повинна впроваджуватися на комплексній основі, забезпечуючи взаємозалежне вирішення поставлених задач. Тільки такий підхід буде сприяти різкому росту економічної ефективності роботи підприємства. При цьому в функціональні обов'язки робітників підприємства необхідно ввести конкретні функції, що забезпечать ощадливе витрачання коштів.

Управління витратами на підприємстві передбачає виконання всіх функцій, властивих управлінню будь-яким об'єктом, розробку (прийняття) та реалізацію рішень, а також контроль за їх виконанням.

Функції управління витратами реалізуються через елементи управлінського циклу: прогнозування та планування, організацію, координацію та регулювання, активізацію та стимулювання виконання, облік та аналіз. Виконання функцій управління в повному обсязі по всім елементам складає цикл впливу управляючої підсистеми (суб'єкт управління) на підсистему управління (об'єкт управління).

Планування, що є однією з головних функцій системи управління витратами, являє собою економічне обґрунтування розміру витрат в плановому періоді для виробництва та збуту промислової продукції підприємства певної кількості та якості. В ході планування витрат необхідно виявити резерви їх зниження, визначити очікуваний розмір витрат ресурсів.

Прогнозування з відносною точністю повинно давати оцінку розміру витрат. Результати прогнозу оптимального співвідношення "витрати – результати" є вихідною базою для розрахунку максимально допустимих витрат в цілому та по окремим стадіям життєвого циклу на перспективу, для визначення кращої структури сумарних витрат та максимально можливих економічних результатів.

Література: 1. Игумнов Ю.С., Лученко К.Ф. Себестоимость и пути ее снижения в промышленности. – К.: Наукова думка, 1986. – 224с. 2. Экономическая стратегия фирмы: Учебное пособие/ Под. ред. А.П. Градова. СПб.: Специальная литература, 1999. – 589 с.

УДК 658.012.32

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМИ ПРОЦЕСАМИ У ВИРОБНИЧІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Зубкова Л.В. (м. Харків, Україна)

Practical, theoretical and methodical basic management aspects of innovation activity of home enterprises are explored in this article. Methodical aspects of management innovation activity are generalised here. There are some strategies of innovation activity management forming algorithm on the first level of home enterprises, diagnostics matrix of innovation-economy enterprise state, type determination matrix of innovation strategy.

Головною складовою системної модернізації промислового комплексу

України у сфері структурної розбудови організаційного механізму управління інноваційними процесами у визначеній перспективі має стати насамперед активізація і підтримка з боку держави інноваційної спрямованості структурних перетворень за рахунок стимулювання розвитку наукомістких і високотехнологічних галузей, особливо машинобудівного комплексу та створення на цій основі умов для техніко-технологічного оновлення виробництва з метою підвищення конкурентоспроможності українських товарів на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Проте деякі важливі аспекти формування та розвитку методичної і практичної бази організації інноваційної діяльності в умовах структурно-інноваційних трансформацій економіки досі не дістали належного висвітлення. Насамперед це стосується дослідження питань формування організаційної структури управління інноваційними процесами в умовах остаточного подолання кризових явищ у розвитку виробництва, реструктуризації організації та управління виробничою діяльністю. Проектування організаційної структури управління підприємством є одним з найбільш складних управлінських завдань. Проектування організаційної структури (ПОС) – це систематична зміна складу, внутрішніх зв'язків і залежностей підсистем, які складають підприємство, та його формальної організаційної структури на основі використання об'єктивних законів організації та у відповідності із перетворенням умов господарювання. ПОС є одним з етапів процесу стратегічного планування господарської діяльності, до складових якого належать: аналіз поточного стану й перспектив розвитку зовнішнього оточення та внутрішніх можливостей підприємства; визначення стратегічних та тактичних цілей; формування стратегії розвитку; визначення принципів, методів і форм ПОС; розробка практичних заходів, рекомендацій щодо формування та удосконалення ОС; формальне закріплення та інституціоналізація змін ОСУ.

Конкретні підходи до створення і удосконалення ОСУ доцільно розглядати у чотирьох основних напрямках: синтез ОС з деяких її первинних елементів (групування функцій, робіт, посад, елементів інформаційного процесу); раціоналізація технології здійснення організаційних процесів; організаційні зміни (застосування соціально-психологічних методів впливу на учасників організації з метою вдосконалення її побудови і функціонування); ситуаційний (типізований) підхід (формування ОС у відповідності до розвитку інших характеристик організаційної системи). Вибір певного напрямку ПОС звичайно здійснюється на основі визначення ознак складності, різноманіття, передбачуваності умов і результатів функціонування об'єкту управління та ін. Проте практичне використання зазначених підходів щодо створення організаційної структури управління інноваційною діяльністю вимагає урахування більш складного комплексу факторів, пов'язаних з різноманітністю інноваційних процесів.

Так, С. Ілляшенко [1, с.50-51] зазначає, що організація інноваційної діяльності (яка ґрунтується на постійних змінах номенклатури виробленої продукції, удосконаленні технологій її виготовлення, методів організації виробництва і збуту відповідно до змін ринкової кон'юнктури) обов'язково має гнучко відповідати принципам формування ОСУ, тобто приймати такі організаційні форми, що були б адекватні конкретним умовам реалізації проектів інноваційного роз-

витку підприємства, дозволяли б повністю реалізувати потенціал їхнього інноваційного розвитку.

І. Гурков та Л. Бун [3, с.330] вважають, що вихідним етапом інноваційної діяльності в цілому та організації управління інноваціями зокрема є визначення пріоритетного напрямку інноваційного розвитку: процесного (технологічного) або продуктового. Неабияке значення при цьому надається реалізації проектного підходу, впровадження якого буде здійснюватися через утворення спеціальних інноваційних комітетів підприємства (ІКП). Головною метою утворення ІКП є максимально повне інформування про можливі інновації усіх без винятку осіб (розробників або виконавців), що можуть бути зацікавлені у впровадженні. Прийняття інноваційних рішень в діяльності ІКП здійснюється за трьома основними системами: колегіальне старшинство; колегіальність погодження; касаційна колегіальність (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика основних систем прийняття рішень в інноваційних комітетах підприємства

Система	Сутність	Переваги	Недоліки
Колегіальне старшинство	Кінцеве рішення приймається керівником ІКП самостійно	Можливість урахування багатьох думок	Складна процедура прийняття рішення, ймовірність зайвого суб'єктивізму
Колегіальність погодження	Рішення приймаються більшістю голосів	Підвищення рівня відповідальності членів комітету за прийняття рішень	Послаблення персонального керівництва інноваційним процесом
Касаційна колегіальність	Рішення приймаються тільки за умови досягнення повного консенсусу	Високий рівень колективної відповідальності за прийняття інноваційних рішень	Значна тривалість процедур прийняття інноваційних рішень

За думкою Ф. Янсена [4, с.146-147], організація інноваційної діяльності має бути насамперед формою органічного поєднання та забезпечення ефективної координації функціональних процесів, які стосуються розробки нових продуктів або видів діяльності, у сферах досліджень, розробок, інженерної підготовки, маркетингу та реалізації нововведень на етапах виробництва та продажу.

Складність факторів і умов інноваційної діяльності знаходить пряме відбиття у розмаїтті завдань управління інноваціями та у наявності великої кількості організаційних форм управління інноваційними процесами. Традиційно організація інноваційної діяльності розглядається як форма забезпечення єдності циклу “наука – техніка – виробництво” (НТВ). При цьому неабияке значення звичайно надавалося забезпеченню високого рівня спеціалізації у виконанні інноваційних робіт на усіх етапах циклу НТВ: фундаментальні та прикладні наукові дослідження, технічні розробки (дослідно-конструкторські, технологічні, проектні, організаційно-економічні) та дослідне виробництво, первинне засво-

ення нововведень (технічне та організаційно-економічне), розповсюдження інновацій, ефективне використання інновацій в діючому виробництві. Таким чином, для кожного з етапів інноваційних робіт вважалось необхідним формування частково відокремлених ОСУ, координація зусиль яких здійснювалось системами управління більш високого рівня. Слід, проте, зазначити, що у багатьох випадках формування складної ієрархічної системи управління інноваціями пов'язано з чималими проблемами, а саме з такими: нестача координації спільних зусиль; низький рівень орієнтації на досягнення загальних результатів засвоєння інновацій; нечіткий розподіл відповідальності за кінцеві результати; низький рівень мотивації працівників, зайво технократична спрямованість інноваційних процесів та ін. Крім того, за думкою автора, вибір типу ОСУ інноваційної діяльності часто носить зайво суб'єктивний характер, обумовлений особистим (прихильним, байдужим або негативним) до певних організаційних форм (механістичних або органічних). Навіть при наданні більш чітких рекомендацій щодо вибору типу ОСУ інноваціями до уваги пропонується приймати досить широкий спектр чинників різної пріоритетності. Так, до складу головних факторів визначення організаційної форми управління інноваційною діяльністю І. Гурков та Л. Бун [3, с.338] відносять наступні: ступінь пріоритетності заходів щодо створення нових продуктів в діяльності підприємства; вимоги щодо оперативності створення нових продуктів; ступінь новизни методів (технології) виробництва нової (або удосконаленої) продукції; ступінь новизни методів (технології) маркетингу та збуту нової (або удосконаленої) продукції; рівень новизни необхідної додаткової підготовки (засвоєння досвіду), яка потрібна фахівцям функціональних підрозділів для роботи на нових ринках збуту; потенційний ефект від впровадження інновацій.

За думкою автора, вибір організаційних форм управління інноваційними процесами має бути прямо обумовленим природою, змістом і характером нововведень, які мають бути реалізовані згідно до обраної стратегії розвитку підприємства. Визначальним фактором визначення типу ОСУ інноваційної діяльності є формування базової інноваційної стратегії (БІС), вибір якої обумовлюється потребами підприємства у певних видах інновацій. Вирішальний вплив на вибір базової інноваційної стратегії підприємства надають ознаки масштабів наслідків впровадження інновацій та предметної спрямованості інновацій.

За ознакою масштабів наслідків впровадження слід чітко відзначити різницю між базовими кардинальними інноваціями та поліпшувачими інноваціями. Встановлення пріоритетності певного типу інновацій в цьому випадку означає вибір певної форми впровадження досягнень науково-технічного прогресу (НТП): революційної (базові кардинальні інновації) або еволюційної (поліпшувачі інновації). Предметна спрямованість інновацій вказує на пріоритетну сферу створення конкурентних переваг та забезпечення стійкої конкурентоспроможності підприємства: ринкову (продуктові інновації, метою впровадження яких є більш досконале задоволення споживчих вимог покупців та активізація попиту на продукцію) або виробничо-технологічну (процесні інновації, спрямовані на підвищення ефективності використання усіх видів ресурсів).

Зіставлення пріоритетів інноваційного розвитку, визначених за наведеними

вище ознаками, дозволяє сформувати площину визначення стратегічних цілей підприємства та стратегій їхнього досягнення. До складу основних базових пріоритетів інноваційного розвитку слід віднести наступні: “пошук ринкової ніші”; “слідування за лідером”; “технологічне лідерство”; створення стратегічних інноваційних альянсів.

Інноваційний пріоритет “пошуку ринкової ніші” передбачає впровадження поліпшуючих продуктових інновацій на основі поглибленої сегментації ринкового попиту та визначення специфічних споживчих вимог чітко відокремлених категорій споживачів. Характерною рисою зазначеної ситуації є обмеженість наявних у підприємства інноваційних ресурсів та чітко визначене прагнення на концентрації цих ресурсів для вирішення найбільш гострих проблем посилення конкурентоспроможності підприємства. Організаційною формою реалізації цієї стратегії насамперед має бути традиційна централізована функціональна ОСУ інноваціями (за побудовою співпадає з існуючою структурою управління підприємством) з використанням елементів програмно-цільового підходу. У межах такої структури управління доцільним є також утворення тимчасових міжгрупових експертних та консультаційних груп, інноваційних комітетів (насамперед, стосовно обговорення маркетингових або дослідно-конструкторських проблем).

Реалізація пріоритету “слідування за лідером” є найбільш притаманною для окремих учасників (як правило, невеликих за розмірами підприємств) ринку досить однорідної за споживчими якостями продукції, характеристики якої не дають можливості для глибинної сегментації. Неможливість зайняття вузької “ринкової ніші” для уникнення жорсткого конкурентного суперництва у поєднанні з обмеженістю наявних інноваційно-інвестиційних ресурсів примушує підприємство у такій ситуації обирати стратегію “копіювання” таких інноваційних рішень більш потужних учасників ринку (“лідерів”), що приймаються для значного підвищення ефективності використання виробничих ресурсів. Вибір стратегії “слідування за лідером” посилює навантаження на інформаційну складову організаційної структури управління інноваціями, а також на окремі операції підготовки виробництва. Виконання зазначених робіт звичайно буде здійснюватися у межах існуючої ОСУ підприємства з виділенням окремих спеціалізованих функцій (збір та обробка науково-технічної і маркетингової інформації, експертиза технічних рішень, підготовка виробництва тощо).

Пріоритетність “технологічного лідерства” передбачає наявність (або реальну можливість отримання) лідируючих ринкових позицій (на описаному для попереднього випадку ринку) через впровадження базових кардинальних інновацій у процесній сфері. Неможливість значного удосконалення або оновлення продукції, яка випускається, стає причиною активізації інноваційного пошуку новітніх (більш економних та ефективних) технологій виробництва та збуту. Організаційною формою такого пошуку звичайно буде складна система відносно автономних науково-дослідних та експериментальних венчурних підрозділів підприємства. Цілком доцільним за такі умови стає використання матричного підходу, децентралізація управління за центрами відповідальності (виділення центрів інвестицій) та ін. Для стратегії “технологічного лідерства” часто стає

притаманним асигнування певних обсягів ресурсів на здійснення фундаментальних наукових досліджень.

Найбільш доходною за сучасні умови розвитку виробництва для підприємства може бути інноваційна стратегія з орієнтацією на створення базових кардинальних інновацій у продуктивній сфері. По суті, повна і успішна реалізація такої стратегії має означати створення та розвиток нового ринку, на якому підприємство-новатор у певний момент стає єдиним виробником-монополістом. Проте реалізація зазначеної стратегії передбачає необхідність інвестування з високою мірою ризику величезних обсягів інвестиційних коштів, відвернення чималих людських та науково-технічних ресурсів. Прагнення до скорочення необхідних інвестиційних витрат (або просто неможливість акумулювання необхідної кількості ресурсів) логічно призводить підприємства до створення складних форм науково-технічної та маркетингової кооперації з іншими учасниками ринку (консорціями, стратегічними альянсами). У деяких випадках система такої кооперації приймає постійний характер інженерних центрів, технологічних парків, наукових парків, технополісів та ін.

Література: 1. Ілляшенко С.М. Управління інноваційним розвитком: проблеми, концепції, методи. Суми: ВТД "Університетська книга", 2003. – 278 с. 2. Уроки організації бізнесу. СПб.: Лениздат, 1994.- 336с. 3. Управление современной компанией: Учебник / Под ред. проф. Б.Мильнера и проф. Ф. Лииса. – М.: ИНФРА-М, 2001. – XVIII, 586 с. 4. Янсен Ф. Эпоха инноваций. М.: ИНФРА-М, 2002. – XII, 308 с.

УДК 658.7

РЕСУРСНА СТРАТЕГІЯ ПІДПРИЄМСТВА

Кожина О.М. (м. Харків, Україна)

Theoretical statements and practical recommendations on the improvement of resource strategic formation process at domestic industrial enterprises have been substantiated and carried out in the scientific work.

Здійснення витрат ресурсів (різноманітних за походженням, матеріально-речовою формою, джерелами та часом залучення) є однією з характерних ознак будь-якого виробничо-господарського процесу на підприємстві. Тому успішність вирішення завдань забезпечення кількісної та якісної збалансованості складу ресурсної бази підприємства, досягнення відповідності структурних, кількісних та якісних параметрів ресурсного потенціалу нагальним потребам здійснення виробничо-технологічних процесів, що, в свою чергу, визначаються існуючими споживчими вимогами щодо корисних властивостей товарів і послуг, прямо обумовлює продуктивність і ефективність господарської діяльності. З цієї точки зору, прогнозування і планування ресурсного забезпечення являє собою одну з найважливіших складових загальної системи управління підприємством.

Вирішення завдань планування забезпечення потреб виробництва у ресурсах певного кількісного та якісного складу здійснюється на двох основних рівнях: стратегічному та поточному (рис.3.1).

На стратегічному рівні головним результатом здійснення планового процесу у сфері ресурсного забезпечення виробничо-господарської діяльності (що

є невід'ємною складовою загального стратегічного планового процесу) стає формування ресурсної стратегії (РС) підприємства.

РС слід віднести до складу операційних стратегій, тобто є сукупністю міжфункціональних управлінських рішень, реалізація яких спрямовується на забезпечення досягнення стратегічних цілей підприємства у певній сфері здійснення виробничо-господарських операцій (у цьому випадку – в межах набору ланцюжків створення нової цінності), а також належний комплекс найбільш загальних правил та процедур прийняття, реалізації, контролю і оцінки ефективності виконання таких рішень. Характерними ознаками РС як стратегічного планового документу функціонального характеру є наступні:

- 1) однорідність функцій, робіт та операцій, які виконуються при реалізації РС, тобто цільова спрямованість стратегії на удосконалення чітко визначених організаційно-економічних та адміністративних аспектів управлінського процесу формування й використання економічних ресурсів;
- 2) тривалий характер прийняття та реалізації стратегічних рішень, передбачених РС, горизонт яких обумовлюється термінами досягнення стратегічних цілей підприємства, а також періодом виконання його загальної стратегії, інших функціональних та операційних стратегій;
- 3) ієрархічний характер розробки та реалізації ресурсної стратегії, тобто підпорядкованість процедур прийняття та виконання стратегічних управлінських рішень у межах РС вимогам функціональних та операційних стратегій більш високого ієрархічного рівня (в даному випадку – виробничої стратегії, маркетингової стратегії, інноваційної стратегії фінансово-інвестиційної стратегії підприємства).

Основними функціональними сферами обґрунтування та реалізації стратегічних рішень, прийняття яких здійснюється у РС, є наступні:

- 1) прогнозування динаміки виникнення, ліквідації або трансформації потреб у ресурсах (у певних складі, обсягах та у часовому діапазоні) на підприємстві з урахуванням інноваційних можливостей і вимог щодо удосконалення технології й організації виробничого процесу;
- 2) встановлення пріоритетів, шляхів і напрямків використання резервів підвищення ефективності використання усіх видів ресурсів, зростання продуктивності виробничої діяльності тощо;
- 3) визначення способів, форм та шляхів організації та управління рухом ресурсних потоків на підприємстві (залучення, переміщення і транспортування, перетворення та відновлення ресурсів);
- 4) формування концепції поведінки підприємства на ринках ресурсів, визначення принципів і пріоритетів взаємодії з учасниками цих ринків;
- 5) обґрунтування вибору організаційно-економічних форм кооперування, інтеграції та співробітництва з іншими суб'єктами господарювання, задіяними у функціонуванні ланцюжку створення нової цінності підприємства (наборі таких ланцюжків);
- 6) розробка орієнтирів поточного планування процесів ресурсного забезпечення діяльності підприємства;
- 7) розробка заходів щодо забезпечення належного рівня якості трудового

життя персоналу як найважливішого різновиду економічних ресурсів підприємства, створення оптимального морально-психологічного клімату в трудовому колективі та у відносинах підприємства з іншими контактними аудиторіями;

- 8) розробка програм підвищення кваліфікації, навчання, профорієнтації, соціальної адаптації, кар'єри і переміщення персоналу підприємства;
- 9) організаційне проектування системи управління продуктивною зайнятістю персоналу підприємства.

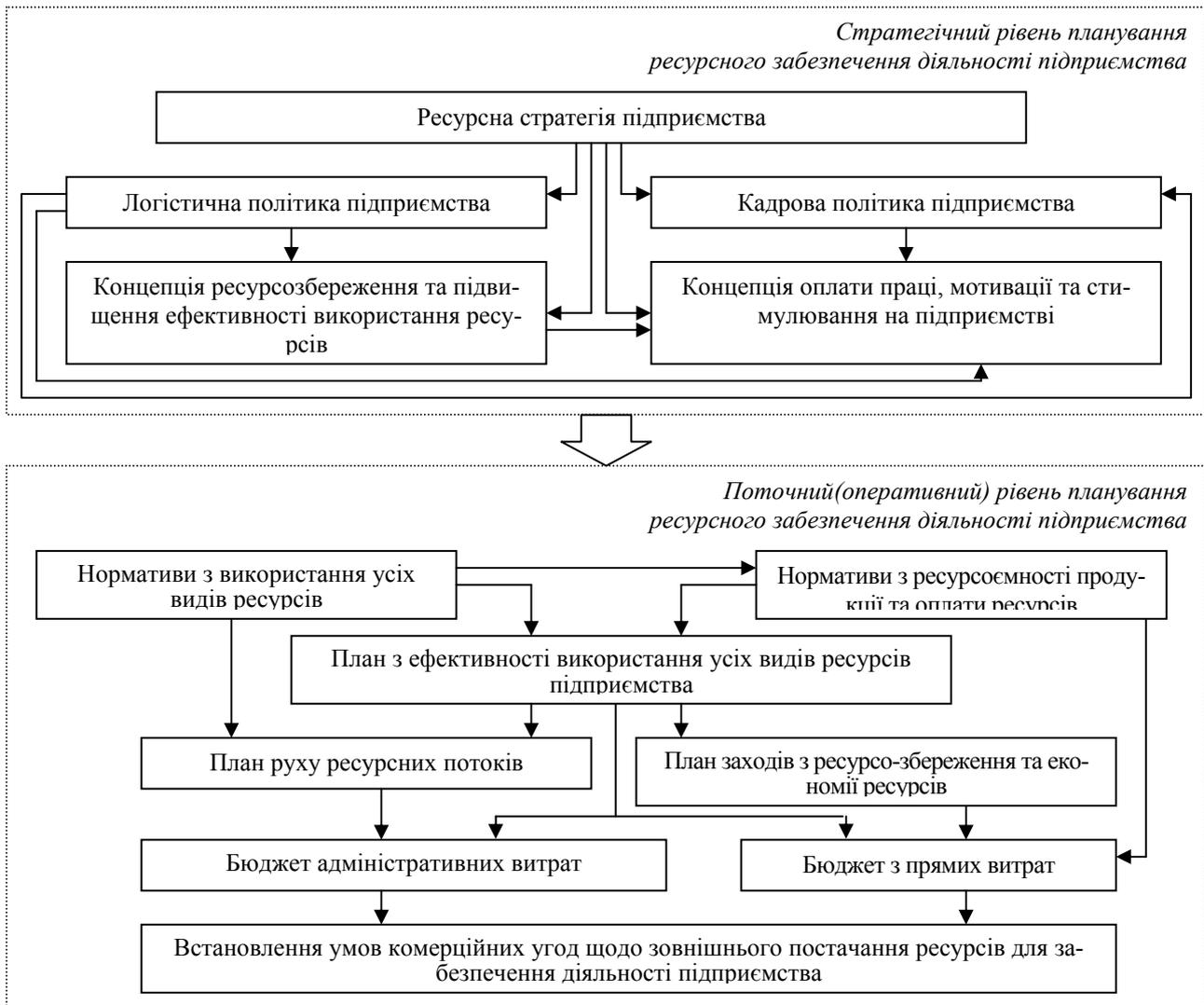


Рис.1. Система планів підприємства в сфері ресурсного забезпечення господарської діяльності підприємства.

Формування певної ресурсної стратегії стає найважливішим чинником формування системи середньострокових та поточних планів підприємства. Довгострокові пріоритети та цільові настанови діяльності підприємства, визначені на стратегічному рівні планування ресурсного забезпечення, являють собою загальну основу для прогнозування та планування поточних потреб підприємства у ресурсах певної якості, кількості й структури. Основним плановим документом такого роду виступає план з ефективності використання усіх ресурсів підприємства. Розробка цього документу здійснюється на основі встановлення пла-

нових показників обсягів звичайної (складається з основної діяльності та операцій, які її забезпечують або виникають внаслідок її проведення) діяльності (на відміну від надзвичайної діяльності, яка є сукупністю господарських та інших операцій, що не здійснюються підприємством регулярно та не виступають джерелом регулярно виникаючих доходів і витрат). Звісно, головним джерелом виникнення потреб підприємства у ресурсах виступає саме основна діяльність, до складу якої належать операційна, інвестиційна, фінансова та інша діяльність. Для промислових підприємств залучення та утримання переважної більшості ресурсів відбуваються саме для здійснення операційної діяльності, тобто основної діяльності підприємства, а також інших видів діяльності, які не є інвестиційною або фінансовою діяльністю.

Таким чином, на стратегічному рівні одним з головних пріоритетів управлінського регулювання процесу формування оптимального ресурсного потенціалу підприємства стає досягнення та тривала підтримка оптимального за кількісними, структурними, якісними параметрами складу виробничих ресурсів, які були б адекватними і достатніми (без надмірності) для забезпечення сталого розвитку виробничого потенціалу підприємства та підвищення ефективності його використання.

При цьому слід підкреслити, що задачею оцінки потреби в ресурсах на етапі стратегічного планування є не точний розрахунок потреби у необхідних ресурсах, а загальна оцінка їхнього впливу на розроблювані плани, що повинна бути швидкою і достатньо точною, дозволяючи тим самим оперативно розробляти різноманітні альтернативні стратегії. Додатково можна відзначити, що ступінь непевності річних планів, що існує на практиці в більшості галузей промисловості, робить точну оцінку сумнівною.

Походження факторів формування ресурсної стратегії підприємства може мати внутрішній або зовнішній характер. Внутрішні фактори обумовлюються наявними у безпосередньому розпорядженні та доступними підприємству ресурсами, зовнішні – його потребами у залученні додаткових обсягів ресурсів при виникненні стратегічної “ресурсної прогалини”, тобто різниці між потрібним та фактичним обсягом доступних ресурсів підприємства. Слід зазначити, що “ресурсна прогалина” в даному випадку являє собою не стільки недостатні обсяги ресурсів, що можуть бути придбані на відкритому ринку за наявні у підприємства кошти (відповідну частку капіталу), скільки перевищення необхідних витрат ресурсів (у вартісному виразі) над фактичним розміром капіталу. Виникнення такого розриву, який ніяким чином не може бути компенсований наявними коштами підприємства, означає, що забезпечення виконання обраних стратегій вимагає необхідності або залучення додаткових внесків учасників підприємства, або включення до підприємства нових учасників. В обох випадках ключовими факторами формування додаткового обсягу ресурсів підприємства є ринкова ситуація на відповідних ресурсних ринках (товарних, фінансовому, ринку праці). Внутрішні фактори формування ресурсної стратегії підприємства переважною мірою пов’язані з необхідністю ресурсного забезпечення досягнення встановлених стратегічних цілей шляхом виконання обраних стратегій розвитку (основної, маркетингової стратегії та страте-

гії збуту продукції; стратегії виробництва; стратегії розвитку персоналу; інноваційної; товарної; цінової стратегії).

Урахування та зіставлення описаних факторів вибору ресурсної стратегії, визначення обсягу стратегічних ресурсів, необхідного для реалізації стратегії розвитку підприємства, встановлення можливостей залучення стратегічних ресурсів із внутрішніх і зовнішніх джерел визначають вибір певної ресурсної стратегії як стратегічного плану залучення та використання ресурсів. Основними етапами обґрунтування вибору ресурсної стратегії підприємства є наступні:

- 1) стратегічний аналіз стану та перспектив розвитку підприємства;
- 2) планування ресурсного забезпечення стратегії розвитку підприємства;
- 3) формування ресурсно-ринкового портфелю (набору) підприємства.

Стрижневим (найбільш складним та відповідальним) елементом процесу розробки ресурсної стратегії підприємства, за думкою автора, виступає процедура визначення обсягу стратегічних ресурсів, необхідного для реалізації стратегії розвитку підприємства.

В ході здійснення даного етапу на підприємстві має бути забезпечено прийнятний (з точки зору сприяння реалізації поставлених цілей та задач) рівень погодженості інтересів усіх учасників ланцюжку створення нової цінності, а також досягнуто належну міру збалансованості ресурсних потоків у межах зазначеного ланцюжку. Вирішення зазначеного завдання додатково ускладнюється наявністю численних стратегічних альтернатив розвитку (існуючих навіть щодо досягнення одного набору цілей), для яких ресурсний потенціал і ресурсна вимушені відігравати двоїсту роль: з одного боку, ресурсна база виступає свого роду набором обмежень, на базі яких здійснюється відбір реальних (з точки зору ресурсної забезпеченості) альтернатив; з іншого боку, ресурсна стратегія має забезпечувати оптимальний (за Парето) розподіл наявного портфелю ресурсів між альтернативними варіантами розвитку підприємства.

Таким чином, ієрархічний порядок формування системи стратегій підприємства обумовлює наявність тісного зв'язку між прийняттям стратегічних рішень економічного та виробничо-технологічного характеру (насамперед у сфері маркетингу, інноваційного і науково-технічного розвитку виробництва, інтенсивності використання ресурсів) та ресурсним забезпеченням господарської діяльності.

УДК 658.2.004.68

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РОЗВИТКОМ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ПІДПРИЄМСТВА

Essence of the notion enterprise material and technical of the base development is theoretically motivated. Scheme of the process of management development material and technical base is designed. Model of the ensuring the strategic correspondence to of the requirements life space operating the enterprise and particularities its internal structured organization is offered

Сучасні умови структурно-інноваційного розвитку економіки України, прискорення змін та ускладнення зовнішнього середовища, підвищення рівня

конкуренції, насичення ринку високотехнологічною й наукомісткою продукцією зумовлюють необхідність забезпечення стабільного економічного зростання національних товаровиробників. Підприємство спроможне досягнути успіху в конкурентній боротьбі лише шляхом реалізації стратегії розвитку, постійно здійснюючи інноваційні процеси у всіх сферах своєї життєдіяльності. Однією з головніших передумов для поширення інноваційної активності є вдосконалення наявної матеріально-технічної бази підприємства (МТБП). В даній статті МТБП пропонується розуміється як сукупність засобів виробництва, що виступають у формі реальних активів підприємства та забезпечують ефективне виконання всіх організаційно виділених бізнес-процесів підприємства. З точки зору організації управління МТБП до її складу можна віднести сукупність матеріальних речових елементів, засобів виробництва, технологій, енергетичне забезпечення, організацію праці, технологічні способи поєднання людини і техніки які використовуються і можуть бути використані у виробничих процесах. Різні аспекти формування й оптимізації використання МТБП розглядалися в працях відомих вітчизняних та зарубіжних вчених-економістів [4, 7, 8], проте низка завдань, пов'язаних з розробкою механізму управління розвитком МТБП динамічно взаємозв'язаного зі зміною умов функціонування підприємства залишається недостатньо розробленою як в теоретичному, так і в практичному аспектах.

Саме тому метою статті постало теоретичне обґрунтування й розробка методичних рекомендацій зі створення й використання системи управління розвитком матеріально-технічної бази підприємства в умовах інноваційних змін інституціональної структури національної економіки. Необхідність вирішення означеного завдання потребує першочергового визначення поняття розвиток МТБП. При цьому слід відзначити значну кількість підходів до трактування розвитку підприємства в цілому, від визначення його Т. Коно як зміну умов існування організації в часі [3] або Р. Акоффом як придбання потенціалу для поліпшення, а не саме реальне поліпшення якості або рівня існування [1], до трактування розвитку як процесу переходу з одного стану в інший, більш досконалий [9, с.593]; необоротної, спрямованої, закономірної зміни матеріальних й ідеальних об'єктів [10, с.561]; зміни об'єкта в напрямку, що забезпечує найбільш повне задоволення власних інтересів і пропонованих ззовні вимог [8, с.17]. Проте всі зазначені трактування відносяться тільки до внутрішнього середовища підприємства. Вони лише описують плин процесу розвитку та не торкаються питань забезпечення відповідності умов внутрішнього середовища (та МТБП зокрема) вимогам ринкового оточення. Також орієнтація на будь-яке з зазначених тлумачень не дозволить врахувати участь підприємства у логістичних ланцюгах створення вартості, виділених в межах кластерно-сітьових структур або великих корпоративних чи холдингових утворень.

Для вирішення такої невідповідності пропонується в процесі визначення розвитку МТБП звернутися до набутків інституціональної теорії. Відповідним теоретичним підґрунтям може стати твердження Т. Веблена про те, що будь який економічний розвиток характеризується причинною взаємодією різних економічних феноменів та факторів, що підсилюють один одного [2] або тлумачення М.В. Махоніної стосовно того, що сукупність інститутів й інституціо-

нальних структур у їхньому взаємозв'язку й взаємодії являє собою інституціональну систему, а спрямована зміна інститутів й інституціональних структур – інституціональний розвиток [5]. Разом з тим, в означених працях не відзначається, які саме зміни маються на увазі. Певне вирішення такої проблеми наведено у працях Д. Норта, який розглядає джерела можливих змін як з точки зору поступових інституціональних змін, що відбуваються на підґрунті недискретних граничних адоптацій інституціональної системи, так і з точки зору теорії революції [6, с. 97-137]. Проте в нього також не подано характеристики процесу змін. У такому випадку доцільне додаткове застосування підходу Б.Л. Кучина, який пропонує розглядати розвиток як сукупну зміну у взаємозв'язку кількісних (збільшення або зменшення числових значень складових частин цілого), якісних і структурних (зміни взаємин складових частин) категорій у системі [4, с.4]. Відповідна схема процесу створення системи управління розвитком матеріально-технічної бази підприємства представлена на рис. 1.

З урахуванням зазначених на рис. 1 положень розвиток МТБП пропонується визначити як взаємопов'язану трансформацію кількісних, якісних та структурних характеристик сукупності засобів виробництва та реальних активів підприємства узгоджену з його корпоративною культурою та пристосовану до потреб інституціональних контрагентів та вимог середовища функціонування. При цьому слід наголосити, що у процесі проектування розвитку МТБП принципово важливо розрізнити розвиток у формі самоорганізації та розвиток, що організується суб'єктом управління з певною метою. Подальше викладання матеріалу статті зорієнтовано саме на моделювання другого типу управління розвитком. Відповідно, організаційне проектування розвитку МТБП підприємства ґрунтуватиметься на моделюванні структурної й функціональної (параметричної) одно- й багатокритеріальної оптимізації. Процедура організаційного проектування при цьому забезпечується послідовними ітераційними переходами від завдання на здійснення трансформаційних процесів до функціонування у сформованому стійкому становищі системи.

Слід зазначити, що наведену на рис. 1 схему умовно можна розділити на дві взаємопов'язані частини. Перша частина моделює обґрунтування необхідності в здійсненні процесів розвитку МТБП, друга – безпосередній плин трансформаційних змін під час розвитку МТБП. Спочатку розглянемо першу частину запропонованої моделі. В її основу покладено розглянуту у [4] концепцію стійкого розвитку підприємства, яка передбачає формування певного стану, у якому підприємство не перебуває поблизу границь адаптивності, а за мірою наближення показників підприємства до прикордонної зони наростає погроза втрати стабільності функціонування. Окрім того за мірою наближення до границь адаптивності зростає невідповідність між вимогами середовища (життєвого простору функціонування підприємства) та особливостями його внутрішньої структуризації в цілому та МТБП зокрема. Зазначена невідповідність вимагає забезпечення перегляду параметрів функціонування та здійснення певних інноваційних змін, які відповідно до сформульованого вище тлумачення і являтимуть собою розвиток МТБП. Відповідно, наведена на рис. 1 схема відображає безліч повторюваних циклів і показує можливість розвитку МТБП в поточному

і довгостроковому періоді.

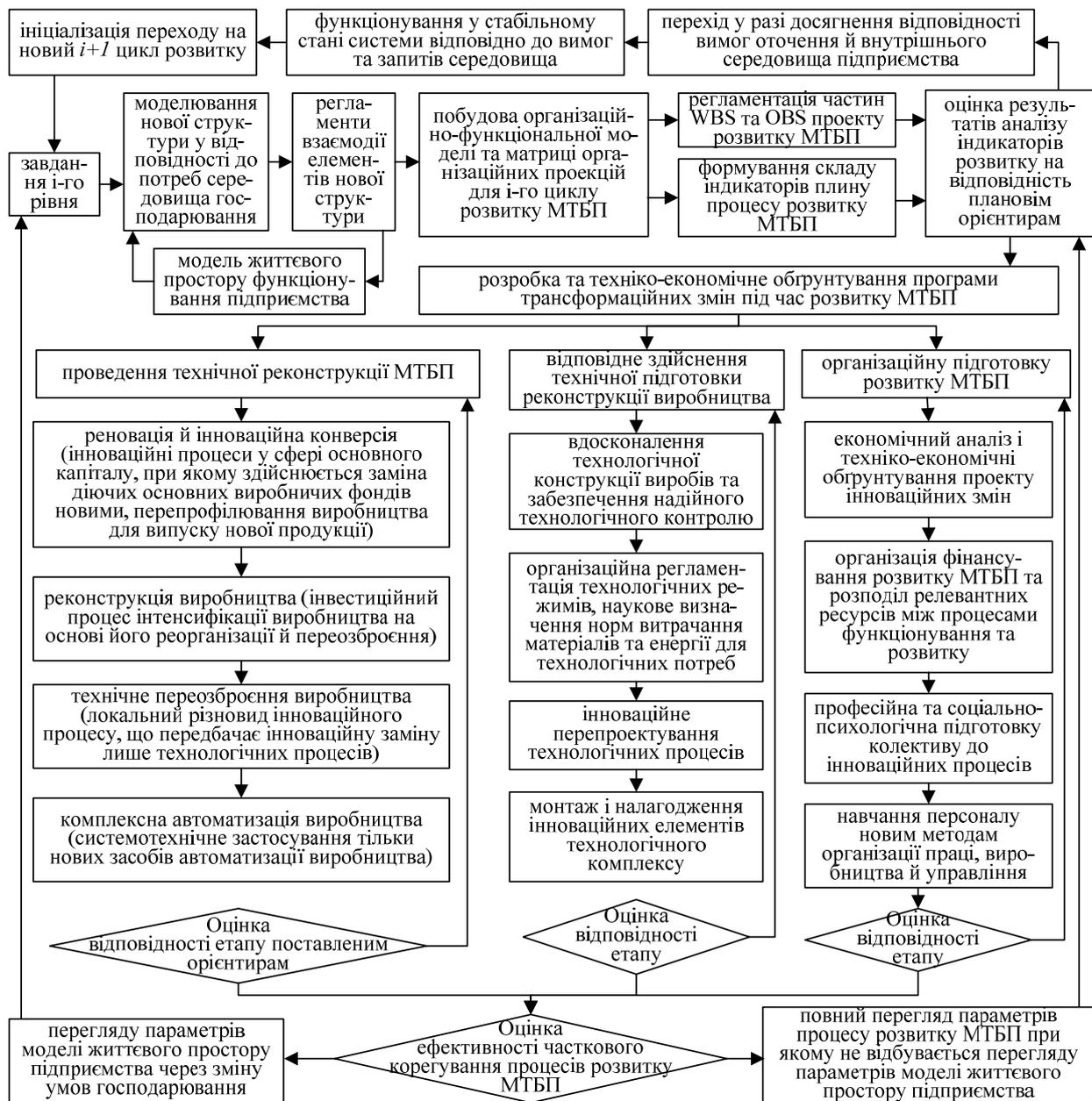


Рис. 1. Принципова схема моделювання розвитку МТБП.

Логіка функціонування другої частини моделі передбачає проведення технічної реконструкції МТБП, відповідне здійснення технічної підготовки реконструкції виробництва та організаційну підготовку розвитку МТБП. Окремо слід зазначити, що модель не передбачає обов'язкового проходження всіх наведених етапів. Далі докладно охарактеризуємо кожен з них.

Так, в основу розвитку МТБП пропонується покласти процеси технічної реконструкції. Дане твердження пов'язане з тим, що технічна реконструкція на відміну від екстенсивних способів розвитку дозволяє вирішувати завдання підготовки виробничих потужностей й організації випуску нової продукції на існуючих виробничих площах. Вона розглядається як інноваційний процес зі створення, поширення й застосування нової продукції й технології, які мають науково-технічну новизну або задовольняють нові суспільні потреби. Іншим важли-

вим елементом розвитку МТБП буде технічна підготовка до реконструкції виробництва та проведення відповідних трансформаційних змін в процесі розвитку. До третього комплексу робіт з розвитку МТБП пропонується віднести організаційну підготовку процесів розвитку у відповідними комплексами робіт.

Слід зазначити, що не завжди відбувається досягнення бажаних результатів продовж однієї ітерації трансформаційних змін. Відповідно до моделі введено дві петлі зворотного зв'язку. Перша – передбачає перегляд окремих етапів формованої програми інноваційних трансформацій. У разі неможливості такого часткового корегування відбувається повний перегляд параметрів процесу розвитку МТБП при якому не відбувається перегляду параметрів моделі життєвого простору підприємства.

Таким чином, в статті розроблено концептуальні основи створення системи управління розвитком МТБП, яка орієнтована на циклічний ітераційний перегляд відповідності наявних у підприємства засобів виробництва та реальних активів вимогам середовища функціонування та потребам контрагентів, з якими підприємство приймає участь в логістичних ланцюгах створення вартості. Разом з тим потребує проведення подальших досліджень практична реалізація представленої на рис. 1 схеми шляхом її перетворення у систему імітаційних моделей для кожного з представлених елементів.

Література: 1. Акофф Р. Планирование будущего корпорации. – М.: Прогресс, 1985. – 328 с. 2. Игнатишин Ю.В. Слияния и поглощения: стратегия, тактика, финансы. – СПб.: Питер, 2005. – 208 с. 3. Коно Т. Стратегия и структура японских предприятий. – М.: Экономика, 1987. – 128 с. 4. Кучин Б.Л., Якушева Е.В. Управление развитием экономических систем: технический прогресс, устойчивость. – М.: Экономика, 1990. – 157 с. 5. Манохина Н.В. Институциональные структуры реальной экономики: теория развития. – Саратов: Изд-во СГСЭУ, 2002. – 244 с. 6. Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. – М.: Фонд экономической книги "НАЧАЛА", 1997. – 180 с. 7. Пономаренко В.С. Стратегічне управління підприємством. – Х.: Ос-нова, 1999. – 620с. 8. Рапопорт В.С. Развитие организационных форм управления техническим прогрессом в промышленности. – М.: Экономика, 1979. – 232 с. 9. Словарь русского языка: в 4-х т. / Под ред. А.П. Евгеньевой. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Русский язык, 1981-1984, Т.3. – 752 с. 10. Философский энциклопедический словарь / Гл. редакция Л.Ф. Ильичев, П.Н. Федосеев. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 840с.

УДК 658.012.32

ІНТЕГРАЦІЙНА СТРАТЕГІЯ АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА

Лучанінов І.А. (г. Харків, Україна)

The thesis is devoted to problems, methodical development, theoretical researches of process of a selection of joint-stock company integration strategy in conditions of uncertain external environment.

Вступ. Активізація інтеграційних процесів є характерною ознакою сучасного етапу світового економічного розвитку. Здійснення цих процесів великою мірою впливає на підвищення конкурентоспроможності підприємств та на зміцнення позиції інтегрованої структури на ринку, сприяє зниженню непродуктивних витрат за рахунок ефекту масштабу, виходу на нові ринки, зниженню ризиків підчас діяльності та ін. Найбільшого поширення інтеграційні процеси на

цей час набувають при здійсненні злиття-поглинання акціонерних товариств (АТ). Стратегічне планування інтеграційних процесів акціонерного товариства є однією з найважливіших складових системи управління розвитком акціонерного товариства.

Методологічні засади планування інтеграційних процесів розглядалися в працях Е.Н. Ленського, Ю.В. Іванова, Б.З. Мільнера, А. Шермана, Р.Акоффа, Б. Гарретта, П. Дюссожа. та ін. Проте, питання визначення сутності інтеграційної стратегії АТ та визначення її місця в системі стратегій акціонерного товариства є не досить дослідженими.

Постановка задачі. Метою дослідження у статті є визначення сутності інтеграційної стратегії акціонерного товариства та її місця в системі стратегій акціонерного товариства.

Для досягнення поставленої мети в роботі використовувалися такі методи дослідження: монографічний – для вивчення теоретичних основ здійснення інтеграційних процесів акціонерних товариств; аналізу і синтезу - для диференціації і узагальнення складу системи стратегій АТ; графічний – для наочного зображення і схематичного представлення теоретичного і методичного матеріалу.

Результати. Здійснення інтеграційних процесів значно впливає на підвищення життєстійкості підприємств та на зміцнення позиції інтегрованої структури на ринку. Також воно сприяє досягненню домінуючого положення на ринку, зниженню витрат за рахунок ефекту масштабу а також за рахунок економії на науково дослідних роботах, виходу на нові ринки, зниженню ризиків під час діяльності, полегшенню проникнення технологічних нововведень а також багато чому іншому. Все це обумовлює те, що навіть у випадках, коли підприємство не притримується стратегії розвитку шляхом інтеграції, окремі частини інтеграційної стратегії як постійного елементу стратегічних планів підприємства, все ж таки включаються до інших стратегій. Тому, дуже важливим є питання формулювання терміну інтеграційної стратегії та визначення її міста у комплексі стратегій підприємства.

Ю.В. Іванов також притримується думки про необхідність відокремлення інтеграційної стратегії в окремий блок. Він визначає сім окремих стратегій акціонерного товариства (рис. 1).

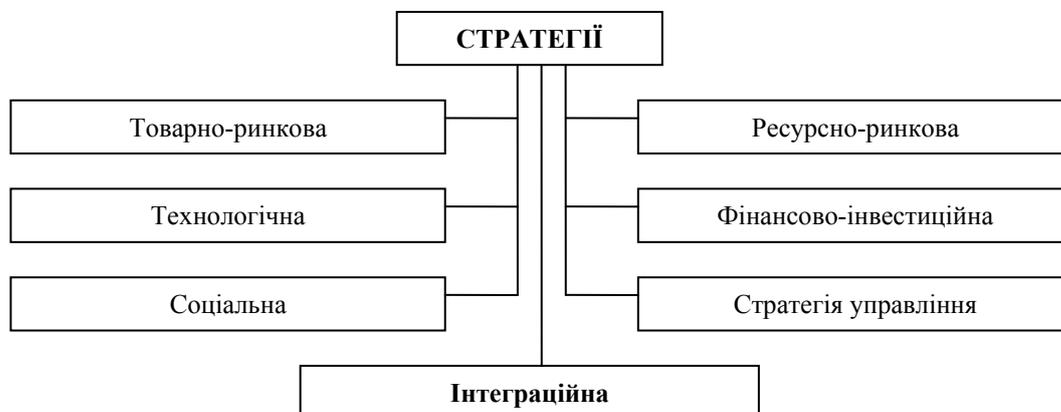


Рис.1. Види стратегій.

Товарно-ринкова стратегія – це набір рішень, що визначає вибір номенклатури, об’єм та якості продукції що виробляється та поведінки підприємства

на товарному ринку в сфері продажу.

Ресурсно-ринкова стратегія передбачає вибір номенклатури, об'єму та якості сировини та півфабрикатів що споживаються та поведінки підприємства в сфері закупівлі.

Технологічна стратегія – це базовий варіант стратегії, що визначає майже всі інші. Вибір технології майже повністю визначає всю подальшу поведінку підприємства.

Інтеграційна стратегія – сукупність рішень, що визначає взаємодію підприємства з іншими підприємствами.

Фінансово-інвестиційна стратегія підприємства – сукупність рішень, яка визначає способи залучення, накопичення та витрат фінансових ресурсів.

Соціальна стратегія – сукупність рішень, що визначає тип та структуру колективу робітників підприємства, а також характер взаємовідносин з акціонерами.

Стратегія управління – сукупність рішень, що визначає характер управління підприємством під час реалізації обраної ним стратегії.

На практиці акціонерне товариство буде реалізовувати одночасно декілька за наведених вище стратегій, проте, майже завжди одній якійсь стратегії буде приділятися більше уваги, ніж іншим. Як ми бачимо, таке поділення стратегій на сім блоків є дуже загальним і не висвітлює всі особливості формування інтеграційної стратегії акціонерного товариства. На думку автора, більш вдалим є поділення стратегій на два блока: операційні та функціональні.

Функціональні стратегії націлені на короткострокові дії, що кожний підрозділ повинен здійснювати для реалізації довгострокової стратегії. Такі стратегії розробляються для ключових напрямків діяльності акціонерного товариства, таких як: маркетинг, фінанси, виробництво, НДОКР, управління персоналом та ін. Для функціональних стратегій строки планування дещо менші, при їх розробці враховується більше специфічних питань. Функціональні стратегії звичайно розробляються на рівні окремих підрозділів акціонерного товариства.

Операційні стратегії, на відміну від функціональних, орієнтовані на більш довгострокові дії, пов'язані з розвитком акціонерного товариства, такі як: методи поведінки АТ на конкурентному ринку та шляхи взаємодії з конкурентами, питання ресурсного забезпечення підприємства на протязі всього життєвого циклу акціонерного товариства та ін. Такі стратегії формуються на акціонерному товаристві після місії та загально корпоративної стратегії АТ. На базі операційних стратегій вже формуються функціональні.

На думку автора, інтеграційну стратегію необхідно віднести до блоку операційних стратегій. Це пов'язано з тим, що її реалізація не пов'язана з конкретним підрозділом а стосується всього підприємства в цілому а має довгострокову перспективу. Місто інтеграційної стратегії, як одного зі шляхів здійснення розвитку акціонерного товариства, наведено на рис.2.

Інтеграційна стратегія АТ – сукупність стратегічних рішень, які визначають різновид та глибину взаємодії АТ з іншими акціонерними товариствами або їх об'єднаннями.

Ю.В. Іванов для характеристики стратегій, що підприємство дотримується, використовує поняття активної та пасивної стратегії. Активна стратегія –

комплекс цілеспрямованих, взаємопов'язаних, свідомо впроваджуваних заходів у повному стратегічному напрямку. Пасивна стратегія – це або повна відсутність стратегії, або несистематизовані спроби впроваджувати певні заходи в обраному напрямку, які звичайно не дають ніяких результатів.

Інтеграційну стратегію також можна розглядати з боку активності чи пасивності. Характеристики, завдяки яким інтеграційну стратегію можна віднести до активної чи пасивної наведені у табл.1.

Таблиця 1

Характеристики активної та пасивної стратегій

Характеристики	Інтеграційна стратегія	
	Активна	Пасивна
Пошук партнерів	Активний постійний	Випадковий одиничний
Ініціатива у пошуку партнерів	Належить підприємству	Належить партнерам
Частота трансформацій	Висока	Низька
Тіснота зв'язків партнерів	Висока та середня	Середня та низька
Рівень трансакційних витрат	Високий	Низький

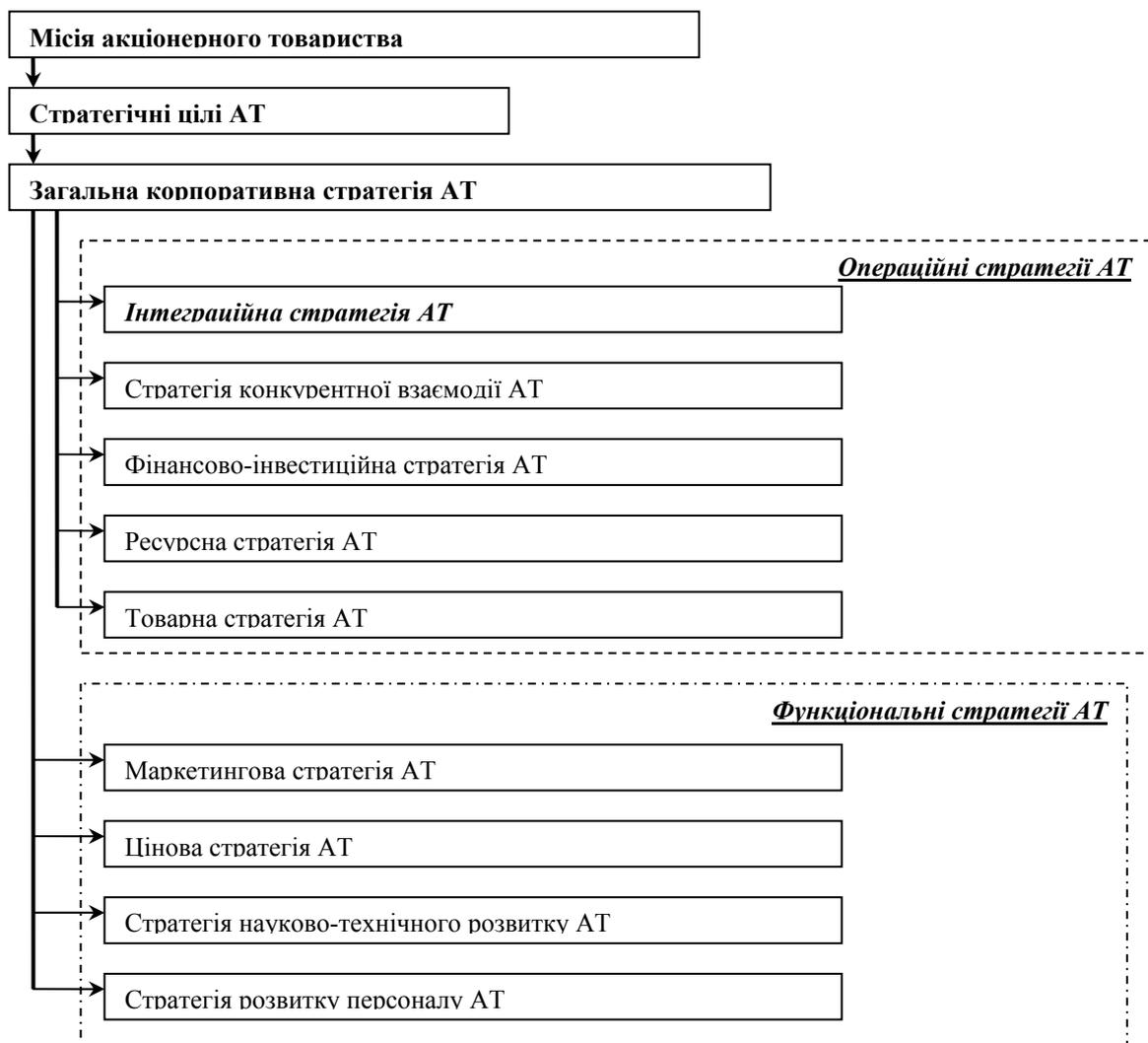


Рис. 2. Система стратегічного планування діяльності підприємства.

Висновки. Таким чином, інтеграційна стратегія АТ – це загальна сукупність стратегічних рішень акціонерного товариства, що визначають різновид та глибину взаємодії акціонерного товариства з іншими підприємствами, акціонерними товариствами або корпоративними інтеграційними об'єднаннями. Інтеграційна стратегія АТ відноситься до блоку операційних стратегій акціонерного товариства завдяки націленості на довгострокову перспективу та впливу результатів її реалізації на акціонерне товариство в цілому.

Напрямки подальших досліджень. На подальше дослідження вимагає безпосередньо процес формування інтеграційної стратегії акціонерного товариства та визначення кандидатів на утворення корпоративних інтеграційних об'єднань у разі вибору інтеграційного шляху розвитку акціонерного товариства.

Література: 1. Акофф Рассел Л. Планирование будущего корпорации: Пер. с англ. – М.: Сирин, 2002. – 256 с. 2. Гарретт Б., Дюссож П. Стратегические альянсы: Пер. С англ. – М.: ИНФРА-М, 2002. – XX, 332 с. 3. Иванов Ю.В. Слияния, поглощения и разделение компаний: стратегия и тактика трансформации бизнеса. – М.: Альпина Паблишер, 2001. – 244 с. 4. Ленский Е.В. Корпоративный бизнес / Под ред. О.Н. Сосковца. – Мн.: "Армита-Маркетинг", 2001. – 480 с. 5. Мильнер Б.З. Теория организации: Учебник. – 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 480с. 6. Sherman, Andrew J. Mergers and acquisitions from A to Z: strategic and practical guidance for small- and middle-market buyers and sellers. – АМАСОМ. – 1998. – 272 p.

УДК 658.114.33

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Ляпун М.М. (м. Харків, Україна)

Economic substantiation of projects of creation diversification integration associations. The article is dedicated to the development of theoretical and methodological bases for defining the essence and content of planning of creation diversification integration associations.

Більшість підприємств розпочинають свою діяльність як невеликі вузкоспеціалізовані підприємства. На початковій стадії їхнього існування асортимент продукції, що випускається, є досить невеликим, власні засоби обмежені, а конкурентні позиції уразливі. Звичайно нове підприємство намагається збільшити обсяг продажів, підвищуючи частку ринку і завойовуючи визнання покупців. Прибуток реінвестується, беруться нові кредити, щоб максимально використовувати можливості росту. Ціна, якість, сервіс і реклама самим ретельним образом підганяються під інтереси покупців. Асортимент продукції, що випускається, розширюється, щоб задовольнити самі різноманітні запити споживачів. До того часу, поки обсяги генерації прибутку на засадах використання потенціалу росту в межах однієї галузі є задовільними, не виникає необхідності проводити диверсифікованість. Але як тільки потенціал для росту починає скорочуватися, стратегічно вірним буде або проведення більш агресивної політики з метою збільшення частки ринку, або диверсифікованість в інші сфери діяльності.

Утворення диверсифікованих об'єднань є досить складним та тривалим процесом, розгортання якого відбувається під впливом численних внутрішніх та

зовнішніх чинників середовища господарювання підприємства. У результаті такого утворення може бути створено інтеграційне об'єднання, яке буде функціонувати ефективно, більш стабільно та прибутково, ніж кожне з різногалузевих виробництв, що утворюють об'єднання окремо. Проте, може скластися така ситуація, коли спеціалісти, що проводили оцінку майбутнього процесу диверсифікації, її економічне обґрунтування, недооцінили витрати на впровадження нових видів діяльності, або переоцінили прибуток від такої диверсифікації та невірною передбачили зростання вартості складових диверсифікованого об'єднання. Результатом цього напевне стане з часом продаж окремих складових та повернення до первозданного стану, та досить великі збитки під час цього. Тому економічне обґрунтування процесу утворення диверсифікованих об'єднань є дуже важливим етапом формування стратегії розвитку підприємства.

Маржинальні витрати на підтримку існування диверсифікованої структури у порівнянні з існуванням окремих частин можуть перевищити всі вигоди від створення об'єднання різногалузевих виробництв. У багато чому це обумовлено тим, що процес контролю за інтегрованою структурою є більш складним ніж контроль над окремими частинами. Завдяки цьому економічне обґрунтування процесів інтеграції є також дуже важливим.

Відмінною рисою процесів диверсифікації є те, що єдиної системи їх обґрунтування не існує. Кожен автор пропонує систему, яка більш підходить до однієї відокремленої ситуації, але зовсім не придатна дати ґрунтовне мотивування щодо потрібності проведення процесу утворення диверсифікованих інтеграційних об'єднань.

Проте, майже усі автори згодні у тому, що питанням першочергової важливості є визначення факторів, що приводять до росту продуктивності та комерційної віддачі диверсифікованої структури. Також досить важливо з'ясувати, що визначає її успіх або невдачу.

З одного боку, концентрація в одній області господарської діяльності (або з невеликою часткою диверсифікованості) має ряд корисних організаційних і управлінських переваг. По-перше, концентрація майже виключає невизначеність у питанні "хто ми і чим ми займаємося". Вся енергія в цьому випадку направляється в один вид бізнесу, і імовірність того, що зусилля вищого керівництва будуть розпорошуватися на багато сфер, практично відсутствует. По-друге, концентрація в одній області припускає наявність серйозних стимулів, що спонукають менеджера боротися за зміцнення конкурентних позицій підприємства в галузі на тривалу перспективу, а не витягати нагального прибутку, забуваючи про довгострокові стратегічні інтереси розвитку. Підприємство може використовувати усі свої організаційні ресурси, щоб піднятися на більш високий рівень у сою сфері. За таких умов простіше виявити найважливіші конкурентні переваги.

З іншого боку, підприємства, зосереджені в одній сфері діяльності, піддані більшому ризику. Такий ризик і полягає в зосередженні всіх зусиль на одному напрямку, тому у випадку, якщо галузь стагнує або по якимось причинам перестає бути такою ж привабливою, підтримка темпів росту утруднюється, а одержання прибутку стає все більш складною задачею. Іноді

зміни в потребах, технологічні нововведення, поява нових товарів-субститутів можуть суттєво підірвати позиції підприємства у ринковій конкуренції.

Таким чином, вирішення питання про напрямки і терміни проведення диверсифікації залежить, з одного боку, від конкурентної позиції підприємства на ринку, а з іншого боку – від можливостей, що залишаються у її базовій галузі. Слід підкреслити, що не існує чітко визначеного моменту, у який підприємства мають проводити диверсифікації. Вони можуть раціонально вибирати різні підходи до питання про диверсифікованість і використовувати їх у різні моменти часу.

Умови, що змушують підприємства приймати рішення про диверсифікованість зводяться до наступного.

1. Звичні для підприємства ринки насичені, попит скорочується.
2. Підприємство має фінансові ресурси, що може інвестувати в інший бізнес.
3. Очевидні можливості для створення ефекту синергії між існуючими і новими напрямками діяльності.
4. Антимонопольне законодавство не дає можливості розвивати виробництво в освоєній галузі.
5. Диверсифікованість дає можливість скоротити рівень податків за рахунок освоєння нових галузей, де існують податкові пільги.
6. Диверсифікованість створює можливість виходу на міжнародні ринки.
7. Диверсифікованість дає можливість розвивати перспективні кооперативні зв'язки з прогресивними (насамперед науково-дослідними) організаціями з метою формування довгострокових конкурентних переваг.

Існує ряд критеріїв по оцінці диверсифікованості, які, зокрема, ґрунтуються на визначенні цілей диверсифікованості переважно в сфері підвищення ринкового курсу акції компанії, що починає спробу диверсифікованості. Досягненню цієї мети можуть служити такі методи аналізу привабливості галузей.

1. Метод “витрат на входження”. Витрати на входження не повинні бути занадто високі, щоб не завдати шкоди потенціалу для одержання прибутку.
2. Додаткові вигоди. Компанія, що здійснює диверсифікованість, повинна прикласти визначені зусилля для створення конкурентної переваги в новій сфері діяльності, чи новий вид діяльності повинний забезпечити визначений потенціал для підтримки конкурентної переваги в поточних справах компанії.

Крім того, галузь має бути просто привабливою з погляду одержання гарного прибутку. Щира привабливість визначається наявністю сприятливих умов для конкуренції і ринкового середовища, що сприяють забезпеченню довгострокової рентабельності. У процесі пошуку варіанта для диверсифікованості компанія може зупинити свій вибір на родинній чи на новій для неї галузі. У першому випадку диверсифікованість проводиться в галузі, що визначається свого роду стратегічною відповідністю. Воно (стратегічна відповідність) існує в тому випадку, коли різні фірми мають досить схоже виробництво, що створює можливість для:

- 1) передачі майстерності і досвіду від однієї компанії до іншої;
- 2) об'єднання різних виробництв у єдину систему з метою зниження витрат

виробництва.

За такі умови, диверсифіцироване підприємство, що використовує внутрішній взаємозв'язок між видами діяльності, що мають схоже виробництво, і бере на озброєння переваги стратегічної відповідності, досягає від спільних дій більшого ефекту, чим у сумі дві компанії могли б одержати, проводячи незалежну політику.

Існування стратегічної відповідності в диверсифікованому підприємстві разом з майстерністю корпоративного керівництва створює при родинній диверсифікованості ефект « $2+2=5$ » і стає базисом для створення конкурентної переваги. Чим більше вигоди, що витягаються зі стратегічної відповідності, тим більше конкурентна перевага, і, отже, родинна диверсифікованість задовольняє вимогам критерію додаткових вигод і збільшує прибутковість акцій компанії.

Зв'язки, засновані на стратегічній відповідності, можуть виявлятися в області технології виробництва, спільних вимог до майстерності персоналу, єдиних джерел матеріальних ресурсів і постачальників, потенціалу для спільного виробництва деталей і компонентів, схожих виробничих методів і управлінського ноу-хау, у використанні однакового підходу до маркетингу і збуту продукції, тих самих оптових чи покупців роздрібних дилерів, потенціалу для спільного послепродажного обслуговування, а також в одержанні ефекту синергії від використання загальної торгової марки. Відповідність може виникати в будь-якій ланці в компанії, що мають схожі ланцюжки цінностей. Подібні відносини дуже важливі, тому що розкривають нові можливості для зниження витрат виробництва, обміну технологіями і навичками і дозволяють витягати інші вигоди зі спільної діяльності.

Ринкова відповідність. Коли окремі ланки різних виробництв збігаються таким чином, що продукція використовується тими самими споживачами, розподіляється через загальні дилерські і роздрібні мережі, якщо маркетинг і просування товарів на ринок здійснюється аналогічними методами, тоді вважається що ці виробництва мають ринкову відповідність. Існує цілий ряд можливостей економії на витратах, що виникають завдяки ринковій відповідності, використанню загальних методів стимулювання продажу, а також спільному використанню дилерських мереж. Така ринкова відповідність звичайна дозволяє фірмі заощаджувати на маркетингу і скорочувати витрати з продажу і розподілу товарів.

Виробнича відповідність. Різні види економічної діяльності мають виробничу відповідність, якщо існує можливість для розподілу сфер діяльності і передачі виробничого досвіду в матеріально-технічному забезпеченні, проведенні наукових досліджень, створенні нових технологій, зборці готової чи продукції в сфері ділового адміністрування. Виробнича відповідність у виділених областях звичайно дозволяє знизити витрати виробництва. Деяка частина економії приходить за рахунок організації крупносерійного виробництва, а інша частина виникає за рахунок можливості зниження вартості виробництва в результаті спільних умов.

Чим вище частка витрат, що приходить на спільну діяльність, тим велика досягається спільна економія і тем значніше конкурентна перевага.

Управлінська відповідність. Даний вид відповідності виникає тоді, коли різні виробничі ланки мають схожі проблеми в організації виробництва,

керуванні чи персоналом в області технології, що дозволяє передавати досвід від однієї ланки іншому.

При диверсифікованості в неспоріднені галузі компанія може розподілити фінансові ризики по багатьом напрямкам, укласти засобу в будь-яке підприємство, що обіцяє одержання фінансової вигоди, а також стабілізувати свої доходи за рахунок участі в галузях з різною циклічністю розвитку. При цьому корпоративні менеджери не дають ніяких установок на пошук стратегічної відповідності між своїм бізнесом і іншими сферами діяльності.

Диверсифікованість у незв'язані галузі може бути приваблива з наступних позицій.

1. Комерційний ризик розсіяний по безлічі різних галузей, що робить компанію менш залежною від проблем, що можуть виникнути в якій-небудь сфері діяльності.
2. Фінансові ресурси компанії можуть бути інвестовані в ту галузь, що має найбільше привабливі перспективи з погляду рентабельності.
3. Внутрішня норма прибутку компанії в цілому помітно стабілізується, оскільки важкі часи в одній галузі частково можуть бути компенсовані за рахунок іншої, тобто циклічні спади в одній галузі врівноважуються циклічними підйомами в іншій.
4. В міру того, як корпоративне керівництво накопичує досвід у визначенні щирої вартості недооцінених компаній, фінансовий стан корпорації і прибутковість її акцій поліпшуються.

Хоча проникнення в галузі, не зв'язані з основними сферами діяльності фірми, найчастіше виглядає дуже привабливим, і при більш низьких первісних витратах стає можливим одержання набагато більших великих прибутків, деякі автори [59, 64] приводять як один з головних недоліків конгломератного злиття (чи злиття в неспоріднену сферу) те, що підвищуються вимоги до керівництва підприємства для прийняття грамотних рішень щодо різних методів ведення справ у відмінних сферах діяльності. Чим більше галузей промисловості, у яких діє підприємство, і чим вони різноманітніше, тим складніше менеджерам контролювати кожне виробництво і виявляти виникаючі проблеми.

Таким чином, складність здійснення процесу обґрунтування вибору шляхів здійснення диверсифікації діяльності підприємства пов'язана з наступними основними особливостями стратегічного розвитку підприємства:

- необхідність визначення економічних вигод та витрат, розрахунок синергетичного ефекту від проведення процесу диверсифікації;
- необхідність виявлення як мотивів диверсифікації, так і напрямків її розвитку;
- утворення під час диверсифікації деяких податкових, правових, кадрових та бухгалтерських проблем;
- необхідність враховувати те, що не всі процеси диверсифікації здійснюються на взаємовигідних та бажаних умовах; під час ворожих поглинань можуть потребуватися значно більші ресурси, ніж під час процесу інтеграції-диверсифікації, що здійснюється на дружніх умовах;
- необхідність аналізувати ринок в цілому, для того щоб передбачити відповідні дії конкурентів.

УДК 681.03:338.22

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРАТЕГІЧНОГО РОЗВИТКУ В УМОВАХ ПАРТНЕРСТВА ПІДПРИЄМСТВ

Пилипенко А.А., канд. економ. наук, (м. Харків, Україна)

System of integrated management association enterprise is considered. Strategy of cluster-network structure development is determined. Particularities of enterprise integrations and adaptation are presented. Main elements managerial systems are determined. The contradictions to organizations of knowledge management are considered.

Розробка й реалізація стратегії розвитку інтеграційних та кластерно-сітьових структур вимагає формування певного інформаційного та обліково-аналітичного забезпечення. Основу цього процесу складатиме тристороннє інформаційне партнерство між підприємством, його споживачами та постачальниками. В умовах прямих і оперативних контактів наявні зв'язки можуть перетворюватися в співробітництво, спрямоване на колективний пошук шляхів підвищення ефективності впродовж логістичного ланцюга створення вартості, а також спільного використання отриманих переваг. При цьому підприємства, що входять до складу кластерно-сітьової структури (КСС), повинні створити систему взаємного моніторингу, допустивши певне коло контрагентів до всіх власних внутрішніх процесів, а також одержавши аналогічне розуміння бізнес-процесів своїх партнерів.

Формована нова інформаційна інфраструктура буде розподіляти можливі конкурентні переваги за рахунок гомогенізації функціонування КСС та розмивання організаційних границь. Комп'ютерні мережі, що дозволяють учасникам КСС краще координувати спільну роботу, стимулюють болем тісне співробітництво, спільне використання інформації про пропозицію та попит, об'єднання процесів і передачу все більшої кількості операцій зовнішнім підрядникам. Зазначені зміни тісно перетинаються з положеннями про наявність трансакційних витрат, оскільки саме їхня мінімізація сприятиме підвищенню продуктивності ККС. Також можна стверджувати про можливість значного зростання ефективності за рахунок тісного співробітництва між учасниками КСС та наголошувати на необхідності широкого поширення інформації між окремими підприємствами, які будуть об'єднуватися у віртуальні мережі. Проте поширення інформаційної взаємодії одночасно створює загрозу стирання відмітних рис окремих підприємств й провокує зниження прибутковості у довгостроковій перспективі. У зв'язку з цим однією з головних стратегічних проблем при інформаційного забезпечення буде проблема захисту конкурентних переваг компанії (більшість з яких так чи інакше пов'язана з контролем над інформацією або унікальними способами її використання) в умовах вільного обміну інформацією в рамках загальної кластерно-сітьової інфраструктури.

Отже основою формування системи реалізації встановлених стратегічних альтернатив буде формування відповідного механізму розподілу й оптимізації вигід від спільної діяльності. Узгодження цього процесу можливе шляхом створення зазначеної системи взаємного моніторингу, яка повинна як забезпечувати

підвищення швидкості інформаційного обміну між учасниками КСС, так і давати змогу координації й контролю за виконанням прийнятих стратегічних рішень. Відповідне ж теоретико-методичне обґрунтування організації процесів інформаційного обміну варто засновувати на використанні контролінгу, що орієнтуватиме суб'єктів управління КСС на виявлення всіх можливостей і небезпек, пов'язаних з досягненням поставленої мети. При цьому контролінг становитиме зворотний зв'язок у контурі системи стратегічного управління кластерно-сітьовою структурою за рахунок вибору організаційного, математичного й інформаційного (технічного, програмного, лінгвістичного) забезпечення, а його основною метою стане інформаційна підтримка управлінських рішень для підвищення їхньої якості. До завдань контролінгу можна віднести навіть вибір найбільш ефективної структури КСС. Разом з тим важливим елементом буде формування відповідної корпоративної інформаційно-аналітичної системи на основі застосування концепції стратегічного обліку.

Відповідно обраної моделі КСС логіка організації обліково-аналітичного забезпечення може бути підпорядкована централізованому, децентралізованому або змішаному підходам. У залежності від цього буде створюватися чи не створюватися єдиний центр прийняття й координації рішень. Відповідно й гнучкість стратегічного управління забезпечуватиметься механізмом зворотного зв'язку, який містить три петлі. Перша (реалізована всередині кожного окремого підприємства учасника КСС) забезпечує корегування поведінки підприємства як системи, при її відхиленні від заданого власним внутрішнім планом стану й за умови, що план не суперечить загальним стратегічним цілям КСС в цілому. Друга призначена для зміни (перегляду) внутрішніх планів і стратегічних орієнтирів підприємств групи, якщо в процесі функціонування організації плани будуть суперечити цілям групи. Третя передбачає корегування цілі існування КСС або перегляд встановлених стратегічних альтернатив. Її наявність обґрунтовується спільною системою цінностей учасників логістичного ланцюга створення доданої вартості. У процесі зворотного зв'язку даного типу можливо, окрім перегляду встановлених цілей, ще й проведення реконфігурації складу учасників кластерно-сітьової структури. Наявність декількох рівнів зворотних зв'язків утворюють передумови прояву синергетичних тенденцій між учасниками КСС та орієнтують їх на саморозвиток. Підґрунтям же для ініціалізації будь-якого з них буде формування переліку облікових номенклатур, які охоплюватимуть всі рівні функціонування КСС – від окремого підприємства до структури в цілому, та розгортання номенклатур процесів вищого рівня на процеси нижчого рівня – як за вертикаллю, так і за горизонталлю.

Формуючи обліково-аналітичне забезпечення для кластерно-сітьової стратегії розвитку, варто враховувати, що в практиці діяльності стратегічних утворень підприємств більшість показників ефективності є похідними від затверджених фінансових бюджетів, тобто від певної структури формування й розподілу ресурсів, а не від процесів. Для цілей же управління важливо виділити такі КРІ, на які можливо забезпечити безпосередній вплив, оскільки тільки в такому випадку можна здійснювати управлінський процес. Отже, слід формувати прозорий ланцюжок делегування відповідальності з планування показників й виконанням

планів, закріплюючи її за певними учасниками КСС. У випадку холдингової організації діяльності КСС через систему бюджетних завдань керуюча компанія визначає, які параметри перебувають у зоні контролю й з якими нормами варто порівнювати отримані фактичні дані. Таким чином, бюджетні завдання – це набір контрольних параметрів, сформованих на основі спільної стратегії. Їх установлюють співробітники керуючої компанії для кожного фінансово залежного підприємства. Причому в складі бюджетних завдань можуть бути присутніми як показники, позначені в стратегічній програмі, так і показники, специфічні тільки для системи бюджетного управління. Потім на основі отриманих бюджетних завдань залежні фірми становлять бюджети, які затверджуються в керуючій компанії. Контрольні показники й бюджети взаємозалежні: кожен контрольний параметр посиляється на конкретний бюджетний показник чи їхню сукупність. Зазначений підхід перетинається з новими розробками, у яких пропонується оцінювати й поширювати синергію між окремими учасниками КСС на основі застосування концепції збалансованих показників BSC. При цьому відбувається зміна клієнтської орієнтації стратегічної карти на перспективу "складової зацікавлених сторін".

Не дивлячись на значну популярність зазначеної концепції, слід відзначити, що запропонована схема управління більш орієнтована на структури органічного типу, які зараз займають переважне положення відносно організацій бюрократичного типу. Складність її реалізації компенсується можливістю впровадження на нестандартних організаційних структурах, які притаманні несиметричним альянсам. При цьому створення центру координації та прийняття рішень відповідає теорії економічної влади, застосування якої представляє собою практичну реалізацію процесу формування означеного вище владного й інформаційного просторів. Успішність або неуспішність використання центру прийняття й координації рішень у поточному управлінні учасниками КСС буде залежати від наявності необхідних умов для підтримки ефективності його роботи, а саме: усвідомлення власниками й керівниками учасників КСС необхідності робити стереотипні управлінські дії відповідно до установлених і змінюваних у заздалегідь обговореному порядку процедурами їхнього виконання; готовність керівників підприємств до сполучення власної підприємницької ініціативи з реалізацією прийнятих у КСС процедур; готовність керівників окремих підприємств відповідати за результати дій, чинених як за власною ініціативою, так і у відповідності з прийнятими консолідованими процедурами; готовність учасників КСС до призначення й допущення до внутрішніх процесів підприємства відповідних менеджерів зі зв'язків. Водночас слід зазначити, що КСС ліквідуються або трансформуються (розпадаються) лише при втраті правил свого існування. Отже головною метою організації обліково-аналітичного забезпечення в даному випадку буде встановлення й формалізація таких правил.

У даному зв'язку особливо важливим є звернення уваги на процедуру формування облікової політики на підприємствах учасників процесів співпраці. У ній повинні брати участь фахівці не тільки бухгалтерської служби, але й інших функціональних підрозділів партнерів. Оскільки навіть фінансовий облік орієнтується на задоволення інформаційних потреб, в процесі формування облікової політики

важливим фактором є усвідомлення відповідальності за вибір методики. Запропонована на рис. 1 модель формування облікової політики підприємства дозволить підвищити ефективність процесу організації інформаційного забезпечення в умовах стратегічного партнерства підприємств.

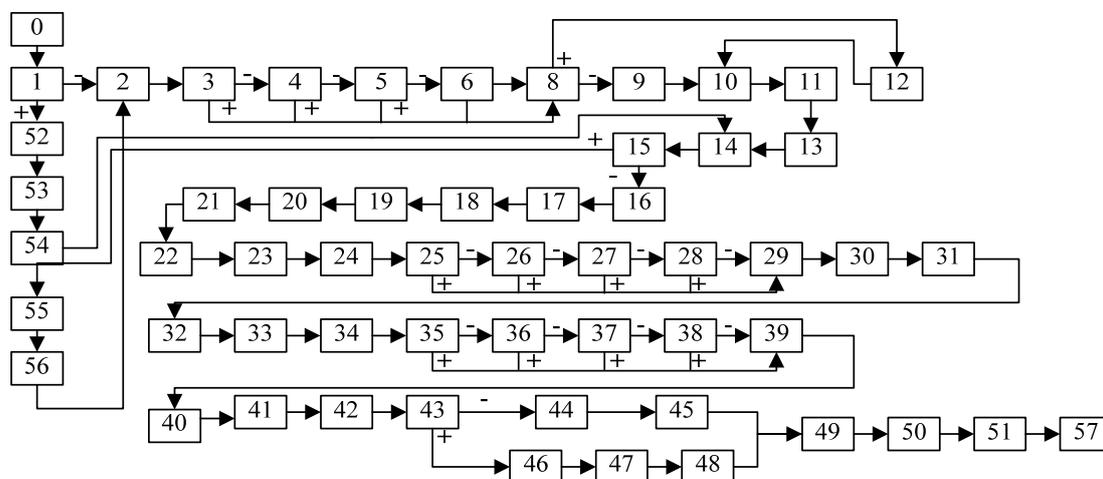


Рис. 1. Модель вибору облікової політики в умовах об'єднання підприємств.

У вузлах графу знаходяться наступні вирішальні правила та обирає дії: 0 – запит на організацію чи модифікацію облікової політики; 1 – визначення необхідності включення питань організації стратегічного обліку до наказу про облікову політику ("+" – пропозиція підходить, "-" – пропозиція відхиляється); 2 – визначення організаційної форми обліку; 3-6 – відповідно абзацам р. III, ст. 8, п.4 Закону України "Про бухгалтерський облік та фінансову звітність" (далі – Закон); 8 – визначення функцій, що можуть бути передані в аутсорсинг; 9 – вибір форми бухгалтерського обліку (Закон, р. III, ст. 8, п. 5); 10, 11 – визначення відповідальності керівника та обов'язків головного бухгалтера (Закон, р. III, ст. 8, п. 6, п. 7); 10 – призначення на посаду; 12 – зменшення переліку облікових функцій на кількість переданих до аутсорсингу; 13 – розробка технології обробки облікової інформації; 14 – формування переліку облікових номенклатур; 15 – необхідність додавання стратегічних даних; 16 – обґрунтування складу первинних документів й обґрунтування відповідних графіків документообігу; 17 – визначення тривалості операційного циклу (П(С)БО 2 "Баланс"); 18 – встановлення порядку взаємодії з податковим обліком; 19 – визначення можливих факторів змін облікової політики; 20 – обґрунтування принципів відображення облікової політики в примітках до фінансової звітності; 21 – обґрунтування окремих елементів наказу про облікову політику. 22 – обґрунтування елемента "Основні засоби": 23 – встановлення строку корисного використання; 24 – визначення методу нарахування зносу; 25–29 – методи відповідно до абзаців п. 26 П(С)БО 7 "Основні засоби"); 30 – встановлення порядку переоцінки; 31 – визначення порядку обліку витрат на ремонт; 32 – обґрунтування елемента "Запаси": 33 – встановлення одиниці обліку запасів; 34 – обґрунтування методу списання запасів при вибутті; 35–38 – вибір методу відповідно п.16 – п.21 П(С)БО 9 "Запаси"; 39 – встановлення порядку оцінки товарів у торгівлі; 40 – встановлення порядку оцінки дебіторської заборгованості; 41 – визначення особливос-

тей розрахунку резерву сумнівних боїв; 42 – встановлення особливостей калькулювання витрат; 43 – визначення доцільності застосування процесних методів калькулювання; 44 – визначення груп витрат; 45 – вибір способу калькулювання; 46 – проведення ABC-аналізу; 47 – розробка процесних меделей калькулювання; 48 – визначення зон моніторингу витрат; 49 – впровадження системи управління витратами; 50 – обґрунтування елемента "Фінансові результати"; 51 – визначення методу розподілу прибутку; 52 – формування бізнес-моделі підприємства; 53 – виділення бізнес-процесів, що підлягають врахуванню в системі обліку; 54 – формування номенклатур стратегічного обліку; 55 – розробка банку еталонних ситуаційних моделей; 56 – формування мережі правил прийняття рішень $\{NN_i\}$; 57 – закріплення обраної схеми облікової політики.

Аналогічним чином може бути організована система управлінського обліку та відповідна управлінська облікова політика. Певні особливості матиме вирішення питання про розробку плану рахунків управлінського обліку та його практичне застосування. У більшості випадків, навіть коли підприємство заявляє про окремий план рахунків управлінського обліку, однаково використовується план рахунків бухгалтерського обліку. Слід зазначити, що створення окремого плану рахунків управлінського обліку не є головною метою постановки обліку, а лише способом одержання й узагальнення інформації. Метою в даному випадку є одержання інформації та звітів для прийняття рішень і контролю їх виконання. Створення й ведення паралельного обліку значно збільшує документообіг, приводить до необхідності створення паралельної "управлінської" бухгалтерії, неможливості знайти взаємозв'язок між показниками різних видів обліку та до значної їх розбіжності. Тому мова повинна йти про Єдиний корпоративний план рахунків управлінського й бухгалтерського обліку в єдиній обліковій політиці управлінського й бухгалтерського обліку, у яких завдання одержання інформації й звітів пропонується вирішити за допомогою доповнення єдиного плану рахунків, рахунками управлінського обліку; доповнення бухгалтерських рахунків субрахунками й аналітиками, що служать цілям управлінського обліку; розробки класифікаторів і довідників (НДІ) до плану рахунків; модернізації (додаткові процедури, оперативність) графіка облікового документообігу для цілей управлінського обліку; опису принципів обліку спільних витрат (калькуляційні системи, рознесення непрямих витрат).

УДК 658.512

ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Пилипенко С.М., канд. економ. наук (м. Харків, Україна)

Particularities of safe development of enterprise are considered. Intercoupling between stability of work, adaptability and safety of development of enterprise is presented. Approaches to planning and optimization of future activity on criterion of safety are motivated. The ways of enterprise logistics processes safety maintenance determined.

Современные условия реформирования экономики, ускорение изменений и усложнение внешнего окружения, рост уровня конкуренции обуславливают

большое значение для предприятий обеспечения безопасности их работы [2, 4, 12]. Вместе с тем, имеющиеся подходы имеют ряд недостатков. Так, рассматривая экономическую безопасность как защиту коммерческой тайны [1], значительное влияние уделено техническим средствам защиты информации, а не экономическим механизмам противодействия угрозам [5, 12]. В [2] основным способом обеспечения экономической безопасности предприятия считается адаптация и приспособление к воздействию внешней среды, без учета возможности противодействия угрозам. Достаточно полное определение экономической безопасности, как состояния наиболее эффективного использования корпоративных ресурсов для избежания угроз и обеспечения стабильного функционирования дано в [4], хотя в нем не отражены аспекты развития предприятия. Более того, в условиях трансформационной экономики проявились такие особенности рынка, как частые и непредсказуемые изменения спроса, появление новых запросов потребителей, сокращение длительности жизненного цикла продукции и времени реагирования на изменения рыночной конъюнктуры, возрастание рисков в процессе реализации товаров, что вызвало возрастание требований к управлению производственной и сбытовой системами предприятия. Их удовлетворение возможно на основе применения логистического подхода. Любая логистическая система включает в себя множество разнородных элементов, функционирование которых находится под влиянием различных факторов и сопряжено с определенным риском. Одним из основных принципов логистики является надежность как на микро- так и на макрологистических уровнях. Это означает, что угрозы безопасности функционирования логистической системы должны быть сведены к минимуму или вообще нейтрализованы. При этом, достаточно широкий круг проблем поддержания безопасности логистических систем практически не нашел отображения в экономической литературе [10, 11], где в основном рассматриваются вопросы управления, планирования, оптимизации или согласования движения материальных и сопутствующих им потоков.

Результаты деятельности предприятия в значительной степени определяются внешней средой, а само предприятие, как открытая система, зависит от среды в отношениях поставок ресурсов, энергии, кадров, а также от потребителей и конкурентов. Эти же факторы и определяют совокупность угроз, направленных на уровень экономической безопасности. Вместе с тем, аналогичные угрозы могут исходить и от предприятия, что вызовет естественную ответную реакцию у его контрагентов и последующее снижение общего уровня безопасности самого предприятия. Экономический механизм каждого отдельно взятого предприятия нацелен на то, чтобы довести до максимума разницу в цене между закупками и реализуемой продукцией. Интегрированный же подход, основанный на использовании логистических цепочек, ориентирован на всех участников процесса поставок (услуг). Существует пять направлений в которых можно добиться повышения эффективности и которые требуют особенного контроля за уровнем угроз: связь с поставщиками, связь с потребителями, технологические, а также логистические процессы внутри одного предприятия, логистические связи между предприятиями в цепочке. В данном аспекте управление без-

опасностью в сущности будет представлять собой процесс регулирования и принятия решений по снижению затрат, повышению производительности и качества продукции и услуг в интегрированной логистической цепочке, обеспечения приемлемого уровня устойчивости ("выживаемости") системы и ее развития (в этом и заключается безопасность всех экономических процессов). Применение критерия безопасности для логистических процессов позволит не только противостоять угрозам среды, но и достичь стратегических целей предприятия, создать эффективный механизм его адаптации к окружению.

Наложение критерия безопасности на логистические операции требует соотнести их с аспектами поддержания процессов развития. Тут следует отметить, что в общем виде развитие рассматривается как процесс перехода из одного состояния в другое, более совершенное [7, с.593] или как необратимое, направленное, закономерное изменение материальных и идеальных объектов [9, с.561]. Процесс развития предполагает качественные и количественные изменения объекта развития в направлении, обеспечивающем наиболее полное удовлетворение собственных интересов и предъявляемых требований извне [6, с.17]. В этом случае возникает необходимость расширения зоны стратегических интересов предприятия и увеличение его жизненного пространства, что связано с угрозами для уровня экономической безопасности. Таким образом, поскольку в результате развития возникает новое качественное состояние объекта, которое выступает как изменение его состава или структуры, проявляются определенные угрозы для уровня экономической безопасности предприятия. В этом случае, при рассмотрении понятия устойчивости необходимо согласиться с [11], где отмечается, что устойчивость – это способность сохранения качественной определенности при изменении структуры системы и функций ее элементов. Устойчивость системы, таким образом, связана с ее стремлением к состоянию равновесия, которое предполагает такое функционирование элементов системы, при котором обеспечивается наивысшая эффективность движения к целям развития.

В то же время, любое явление в развитии природы и общества представляет собой некоторое взаимодействие противоположно направленных сил. Эти силы составляют комплексы, уравнивающие друг друга до тех пор, пока не изменится соотношение между ними и внешней средой, что ведет к нарушению всей системы, к установлению равновесия и обеспечению безопасности на новой основе. Таким образом, деятельность по поддержанию должного уровня безопасности в процессе развития должна стабилизировать движение предприятия в выбранном направлении. При этом возможна относительно последовательная реализация стратегии внутри устойчивых состояний, которые в точке бифуркации переходят в новые состояния. Соответственно, любая динамическая производственная система может характеризоваться равновесными, переходными (процесс изменения во времени параметров системы, имеющий место при переходе ее из одного равновесного состояния в другое) и периодическими (выполнении работ с технологическими и организационными перерывами) процессами. В этом случае большую часть времени предприятие может быть описано как некая устойчивая конфигурация его составных частей, а устойчивым будет со-

стояние равновесия с наличием переходных и периодических процессов. Таким образом, в течение определенного периода своего существования предприятие принимает четко определенные структуру и форму, адекватные установленным требованиям экономической безопасности. Такие периоды стабильности, характеризующиеся различным уровнем устойчивости время от времени прерываются трансформационными процессами, которые также по разному взаимосвязаны с устойчивостью переходных процессов. Такое чередование периодов устойчивого состояния конфигурации и переходного процесса трансформации со временем выстраивается в схематичную последовательность (концепция жизненных циклов организации). Поскольку предприятие стремится поддерживать устойчивость, любой переходный период можно рассматривать как попытку нарушения устойчивости – риск, рискованное действие снижающее уровень экономической безопасности предприятия [8, с.21]. Все периоды жизнедеятельности систем, связанные с неустойчивостью так или иначе являются кризисными, обладают большой неопределенностью и высоким уровнем угроз.

Если на предприятии не определены перспективные направления для развития ему приходится придерживаться принципа поддержания динамического равновесия со своим окружением. Изменения, происходящие в таких организациях, дискретны, но всегда согласуются с общим направлением изменений в их окружении. Поддержание необходимого уровня экономической безопасности в данном случае осуществляется в процессе адаптации путем пошаговых, логически связанных между собой изменений, достаточно хорошо согласующихся с изменениями в окружении. В таких организациях не происходит глубоких изменений, по крайней мере, до тех пор, пока не возникают радикальные и внезапные перемены в их окружении. Другой аспект, который необходимо учесть в процессе обеспечения безопасного развития, связан с революционными изменениями. При этом, необходимо учесть, что обратимые и необратимые процессы, происходящие на предприятии во время развития, порождают два типа различных структур: равновесные и неравновесные. Причем неравновесные структуры за счет притока ресурсов в открытой системе (процесс диссипации) могут сохраняться в пространстве и во времени довольно долго. При таком подходе развитие можно определить как процесс последовательных переходов в иерархической системе диссипативных структур непрерывно возрастающей сложности.

В таком случае предприятие стараясь противостоять тем изменениям, к которым его постоянно подталкивает динамика внешнего окружения, проявляет свойство устойчивости. При этом, несмотря на то, что организационное окружение указывает на особый путь развития предприятия, оно продолжает двигаться ранее намеченным стратегическим курсом. Но постепенно несоответствие внешних условий и способа функционирования предприятия достигает своего критического предела и приводит к организационному кризису. В условиях организационного кризиса, с целью поддержания уровня безопасности, такое предприятие внезапно осуществляет революционные внутренние изменения, выводящие его на совершенно новый уровень развития. Это сопряжено с ломкой старых организационных структур, стереотипов мышления и по-

рядка действий.

Для обеспечения устойчивого роста в [3] считают необходимым поддерживать работу по созданию новых направлений деятельности предприятия. Только таким образом можно подготовить новые механизмы роста к тому моменту, когда действующие перестанут соответствовать требованиям рынка. В соответствии с таким подходом основой механизма обеспечения безопасности развития предприятия будет одновременное решение задач текущего функционирования, зарождающегося бизнеса и отдаленных деловых перспектив. Для этого выделяются три горизонта роста для каждого логистического бизнес-процесса. Чем больше управленческих уровней используют такой подход, тем больше вероятность безопасного функционирования и развития предприятия. Задача обеспечения устойчивого безопасного развития заключается в установлении и поддержании баланса между различными направлениями, т.е. в выделении необходимого количества видов бизнеса в рамках всех горизонтов. Реализация такого подхода должна основываться на том, что любая социально-экономическая система имеет две тенденции своего существования: функционирование (движение в состоянии одного и того же уровня) и развитие (смена состояний, в основе которых лежит невозможность сохранения существующих форм функционирования). В режиме устойчивого функционирования предприятие при решении задач своей экономической безопасности акцентирует главное внимание на поддержании нормального ритма производства и сбыта продукции, на предотвращении материального и/или финансового ущерба, на недопущении несанкционированного доступа к служебной информации и разрушения компьютерных баз данных, на противодействии недобросовестной конкуренции и криминальным проявлениям. В кризисные периоды развития наибольшую опасность для предприятия представляет разрушение его потенциала (производственного, технологического, научно-технического и кадрового), как главного фактора жизнедеятельности предприятия.

Таким образом управление безопасностью будет состоять в постоянном мониторинге за возможными для каждого звена логистической системы угрозами и разработке, в соответствии с концепцией приемлемого риска, ответной реакции. В то же время необходимо учитывать, что цели логистики часто вступают в конфликт с целями маркетинга и производства, что вызывает деструктивные внутренние противоречия и тем самым создает дополнительные угрозы безопасности функционирования логистической системы. Критерием безопасности для разрешения таких внутренних противоречий может стать минимизация интегральных затрат по всем целевым подсистемам логистики. На основе такого критерия возможна разработка стандартных процедур нейтрализации угроз. В качестве примера такой процедуры можно рассмотреть обеспечение безопасности взаимоотношений предприятия с поставщиками ресурсов. Необходимость в этом определяется тем, что предприятие, как любая производственная система неизбежно вовлекаются во взаимоотношения с рынками факторов производства ввиду необходимости использования определенного набора ресурсов, что влечет за собой соответствующие издержки и угрозы. Основой для поддержания достаточного уровня экономической безопасности будет рациональная политика вы-

бора поставщиків і нормалізація наступуючого взаємодіяння з ними. Така політика повинна ґрунтуватися на аналізі ваґности передполагаємих закупок (с точки зору рівня можливих загроз для характеристик виробленої продукції, виробничих витрат, прибутку) і особливостях ринку поставок – обмеженості ринкових можливостей, наявності бар'єрів на шляху проникнення на ринок, характеру ринкової конкуренції. Саме логістична концепція організації управління потоковими процесами в економіці охоплює будь-які сфери діяльності, які мають явні або приховані загрози. Зменшення їх негативного впливу можливо шляхом введення інтегрованої критерії безпеки для всієї логістичної системи і для кожної логістичної операції, що потребує розробки багатьох стандартних процедур нейтралізації загроз зі сторони контрагентів діючих на одному з підприємством життєвому просторі.

Література: 1. Духов В.Е. Економічна розвідка і безпека бізнесу. – Київ: ІМСО МО України, НВФ "Студцентр", 1997. – 176 с.; 2. Козаченко Г.В., Пономарьов В.П., Ляшенко О.М. Економічна безпека підприємства: сутність та механізм забезпечення: Монографія. – К.: Лібра, 2003. – 280 с.; 3. Мердад Баґхай Алхімія росту // <http://www.cfin.ru/management/strategy/plan/alchemy.shtml>; 4. Мунтіян В.І. Економічна безпека України. – Київ: КВІУ, 1999. – 464 с.; 5. Основи економічної безпеки / Під ред. Е.А. Олейнікова. – М., 1997. – 288 с.; 6. Рапопорт В.С. Розвиток організаційних форм управління науково-технічним прогресом в промисловості. – М.: Економіка, 1979. – 232 с.; 7. Словарь російського мови: в 4-х т. / Під ред. А.П. Євгенєвої. – М.: Російський мови, 1981, Т.3. – 752 с.; 8. Управління ризиками (ризикологія) / Буянов В.П., Кирсанов К.А., Михайлов Л.А. – М.: Екзамен, 2002. – 384 с.; 9. Філософський енциклопедический словарь/ Гл. редакція Л.Ф. Ільичев, П.Н. Федосєєв, С.М. Ковалєв, В.Г. Панов. – М.: Сов. енциклопедія, 1983. – 840 с.; 10. Хэнфилд Р. Ніколс Э. Реорганізація ланцюгів поставок.. – М.: Видавничий дім "Вільямс", 2003. – 416 с.; 11. Цыгичко В.И. Руководителю – о прийнятті рішень. – М.: ІНФРА-М, 1996. – 272 с.; 12. Шлыков В.В. Комплексное забезпечення економічної безпеки підприємства. – СПб., 1999. – 138 с.

УДК 658.589

ВЗАЄМОУЗГОДЖЕННЯ ПІДСИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМ РОЗВИТКОМ ПІДПРИЄМСТВА

Писарчук О.В. (м. Харків, Україна)

The place and co-ordination is defined between subsystems of material, financial, information, personnel, innovation provision of development, with management system and department of the enterprise.

Система управління інноваційним розвитком підприємства, являє собою цілісну сукупність взаємопов'язаних елементів. Система управління інноваційним розвитком підприємства є підсистемою системи управління підприємством, її невід'ємною структурною одиницею, незважаючи на багатоваріантність можливих організаційних та управлінських систем.

Для запобігання виникненню дисбалансу і для підвищення ефективності функціонування системи управління інноваційним розвитком підприємства, на нашу думку, спрямування напрямку перетворень системи управління інноваційним розвитком підприємства повинно співпадати з основними ідеями в місії підприємства.

ва, а також необхідно досягти взаємоузгодження цілей всіх зацікавлених сторін. Так, в більшості випадків, всі сторони зацікавлені в розвитку підприємства, але кожен з них, може мати власне уявлення, не тільки про сутність цього явища а й про шляхи, напрямки, методи, ресурси для досягнення бажаного результату.

Таким чином, автор вважає за необхідне виділення, в структурі системи управління інноваційним розвитком підприємства, сукупності елементів, які б забезпечували процеси взаємодії та узгодження між системами різних рівнів. Оскільки, на думку автора, повинно відбуватись постійне функціонування сукупності елементів системи, які забезпечують узгодження та взаємодію системи управління інноваційним розвитком підприємства з системою управління підприємством, а також виступають в ролі буферу, консолідують та адаптують характер впливу великої кількості факторів середовища, що чинять вплив на вхід системи управління інноваційним розвитком. Окрім зазначеного, задачами таких елементів системи стає проведення комплексного аналізу стану підприємства та визначення можливості впровадження інноваційних перетворень, оцінка результатів розвитку, запропонування напрямків удосконалення і змін; визначення оптимального співвідношення, щодо розподілу ресурсів між функціонуванням та розвитком; прогнозування реакції щодо впровадження змін та розробка заходів для попередження можливого опору, мінімізації негативного його впливу та запобігання руйнівній реакції, спричиненої перетвореннями.

Одною з важливих структурних складових в системі управління інноваційним розвитком, без якої неможливо протікання самого процесу розвитку є його забезпечення що призводить до необхідності визначення особливостей функціонування такого структурного елементу.

Впровадження змін, інноваційних перетворень, нововведень, з метою розвитку підприємства, неодмінно потребує ресурсів, витрат, які б забезпечили можливість проведення зазначених дій. Незалежно від обраного напрямку спрямування управлінського впливу, від внутрішніх перетворень до технологічної інновації, від ступеню новизни, глибини перетворень, принципової координальності заходів, продукту, технології виробництва, яка впроваджується, без належного забезпечення впровадження перетворень, через відповідні фінансові, матеріальні, інформаційні, інтелектуальні ресурси, підприємство не тільки не досягне очікуваних результатів, але така непередбачувальність може призвести до значного погіршення існуючого стану і спровокувати виникнення кризової ситуації.

Автором було запропоновано наступні складові забезпечення розвитку підприємства: матеріальне, фінансове, інформаційне, кваліфікаційно-кадрове, інтелектуальне забезпечення розвитку, а також, інноваційне забезпечення розвитку, наукові розробки, які природно виходять з комплексної системи управління підприємством, але, в рамках системи управління інноваційним розвитком вирішують інше коло задач.

Функціонування підсистем, які забезпечують процес розвитку, відбувається в рамках системи управління підприємством незалежно від наявності і спрямованості її стратегії. Так, підсистема управління фінансовим забезпеченням інноваційного розвитку ґрунтується на комплексній системі фінансового забезпечення підприємства і являє його складову частину.

Особливістю функціонування підсистеми управління фінансово-матеріальним забезпеченням розвитку підприємства є її безпосередній вплив на кожну з підсистем системи управління розвитком підприємства. По-перше, проведення будь яких дій з впровадження змін, починаючи від аналізу наявного стану, власних можливостей, визначення напрямку розвитку і до впровадження нововведення, з отриманням економічних, соціальних та інших результатів, потребує витрат певних людських ресурсів, витрат, які необхідно оплачувати. По-друге, впровадження інноваційних перетворень, від продуктової інновації, до застосування принципово-нової технології виробництва, з введенням нового обладнання, будівництво нових виробничих комплексів, безумовно вимагає відповідного фінансового забезпечення. По-третє, проведення внутрішніх перетворень, з вирішення організаційних проблем, або оптимізація асортиментного ряду продукції, також потребує фінансових витрат.

Виходячи зі структури джерел надходження коштів, автор вважає за необхідне наголосити на значимості оптимального розподілу фінансових коштів між операційною та інноваційною діяльністю, за допомогою показника ціни капіталу.

З метою недопущення виникнення кризового становища, а також для забезпечення оптимального використання фінансових ресурсів на підприємстві, пропонується ввести, в рамках аналітичної служби або окремим підрозділом, постійно діючу підсистему моніторингу економічного стану, яка б забезпечувала необхідною аналітичною інформацією, результатами розрахунків систему управління розвитком підприємства, а також загальну систему управління підприємством.

Формування ефективно працюючої, виваженої підсистеми фінансового забезпечення інноваційного розвитку підприємства, чинить значний вплив, як на всі структурні складові підсистеми, так і на систему управління інноваційним розвитком підприємства, в цілому. Автор вважає, що фінансова забезпеченість є однією з найважливіших складових можливості розвитку.

Наступними складовими, які забезпечують можливість впровадження змін, інноваційних перетворень, спрямованих на розвиток підприємства, є інформаційне і інноваційне забезпечення системи управління розвитком підприємства, значимість яких, в останні роки постійно зростає.

Виходячи з особливого статусу інформаційного забезпечення, воно, як і фінансове, інтелектуальне та кадрово-кваліфікаційне забезпечення розвитку, має взаємозв'язки, різного ступеню впливовості, зі всіма структурними елементами системи управління розвитком підприємства.

Прийняття рішень щодо вибору напрямку розвитку, а також на всіх етапах інноваційних перетворень, незалежно від обраного шляху впровадження інновацій, методів, засобів, які використовуються, об'єктивною необхідністю стає наявність відповідної інформаційної бази. Якісне, своєчасне інформаційне забезпечення системи управління розвитком підприємства, дозволяє зменшувати ступінь невизначеності, внаслідок чого, зменшується ризик та зростає міра обґрунтованості прийняття рішень.

З метою забезпечення всіх вимог, які висувуються інформації: повнота, об'єктивність, своєчасність, правдивість, коректність, вичерпність, значимість тощо, на думку автора, не доцільним є створення окремого підрозділу для задо-

волення потреб системи управління розвитком підприємства. Оптимальним, є підбір в загальній, повній, актуальній інформаційній базі, необхідної інформації для потреб системи управління розвитком підприємства.

В інформаційній базі зберігаються відомості про особливості функціонування ринкових і регулюючих механізмів, загальноекономічні, соціальні, екологічні, політичні, правові та інші умови середовища господарювання, сфери виробництва і споживання, фінансово-кредитної і наукової сфер, дані про фактичних та потенційних споживачів, конкурентів, ділових партнерів, конкурентів постачальників та конкурентів покупців тощо.

Значне збільшення обсягів інформації, яку необхідно опрацювати, її накопичення, аналіз з метою підвищення рівня ефективності діяльності підприємства через зростання якості обґрунтування прийняття управлінських рішень, своєчасного реагування на можливості і загрози, що з'являються на ринку. Найбільшої актуальності дане положення концепції набуває для тих шляхів інноваційного розвитку, які передбачають розробку і просування на ринок принципово нових видів товарів, технологій, оскільки високий ступень невизначеності результативності таких проектів вимагає особливо ретельного обґрунтування при прийнятті рішень. При цьому, збільшення витрат на одержання інформації, з метою підвищення визначеності, не завжди будуть компенсовані отриманими вигодами від прийняття рішень. Таким чином, формується проблема визначення необхідного і достатнього обсягу інформаційної бази, а також створення збалансованого інформаційного ресурсу, який відповідає сучасним вимогам.

Обсяг наявної інформації, можливість створення необхідної, а також оперативність її доставки до відповідного підрозділу відіграють значну роль, особливо при взаємодії з підсистемами підбору нововведень та інноваційних розробок.

Взаємодія підсистеми інформаційного забезпечення зі службами маркетингу, дає можливість точніше виявити сховані потреби споживачів, а також успішно діяти по завоюванню ринку та розширенню його меж.

Особливістю інформаційного забезпечення в системі управління інноваційним розвитком підприємства є оперування, в значній мірі, прогнозними даними, припущення та моделювання майбутнього стану середовища. Виконання вимог, що ставляться до якості інформаційного ресурсу, стає запорукою створення можливості формування ефективного функціонуючої системи управління розвитком підприємства. Інформаційне забезпечення є необхідною складовою системи управління розвитком підприємства, від якості функціонування та взаємодії з якою, безпосередньо залежить результативність змін, що впроваджуються, в рамках реалізації стратегії розвитку підприємства.

Особливе місце в системі управління інноваційним розвитком підприємства, займають складові інтелектуального та кадрово-кваліфікаційного забезпечення інноваційного розвитку, якому в попередніх дослідженнях не було приділено уваги в достатній мірі, що, на думку автора, є неприпустимим. З одного боку, рівень кадрово-кваліфікаційного складу повинен відповідати висунутим вимогам, бути достатнім для адекватного сприйняття нових технологій, здатним до швидкого отримання необхідних знань, навичок; постійно нарощувати знання, підвищуючи свій рівень. З іншого боку, зазначена підсистема припус-

кає наявність, в своєму складі, тих, хто спроможний на генерацію ідей, задумів нововведень, доведення їх до рівня технологій, конструкцій, організаційних та управлінських рішень, тобто безпосередньо створює інноваційні розробки, перетворення, нововведення, розробляє та впроваджує поліпшуючі заходи.

Динамізм змін, які відбуваються, постійне прогресуюче зростання як можливостей для підприємства, щодо вибору напрямку, методів, засобів впровадження перетворень, так і вимог, які визначають можливість, готовність підприємства до прийняття нововведення не тільки з техніко-технологічного аспекту, а й точки зору наявності відповідного кадрового забезпечення з необхідним рівнем кваліфікації.

Зміна технологічних укладів, існуючий рівень НТП, постійне впровадження новітніх технологій, високотехнологічного обладнання, з високим рівнем точності, рівень механізації, автоматизації, комп'ютеризації виробничих, управлінських, аналітичних та інших процесів, вимагає високий рівень знань, кваліфікації робітників, які обслуговують, використовують, експлуатують результати наукових, технічних, технологічних досягнень, ставляться вимоги щодо їх інтелектуального рівня.

Об'єктивною необхідністю є створення підсистеми підготовки та перепідготовки працівників, яка за своєю суттю спрямована на майбутнє, на забезпечення відповідності створеного інтелектуального потенціалу, майбутнім вимогам, тобто на розвиток. Безперечно, важним аспектом залишається забезпечення відповідного професійно-кваліфікаційного рівня, вимогам поточного виробництва. Таким чином підсистема управління інтелектуальним та кадрово-кваліфікаційним забезпеченням розвитку входить до структури системи управління підприємством, водночас є підсистемою, яка забезпечує можливість протікання процесу інноваційного розвитку.

Окрім того, в залежності від обраного напрямку розвитку, методів та засобів, стратегії взаємодії з процесом створення та впровадження нововведень, взаємозв'язку з науковими дослідженнями, ступінню наближеності до унікальних наукових результатів, підприємство має можливість самостійного проведення робіт, пов'язаних з інновацією, що вимагає наявності висококваліфікованих, з відповідною технічною, технологічною, науковою, практичною підготовкою, фахівців.

Так, спираючись на наявний інтелектуальний капітал, підприємство має можливість проводити широкий спектр робіт, від експлуатації належним чином, отриманих нововведень, їх адаптації, модифікації, доробки, надання додаткових споживчих властивостей, до співпраці на етапах процесу створення нововведення, а саме, генерації ідей, внесення раціоналізаторських пропозиції, координація дій на прикладному етапі розробки нововведення, з урахуванням особливостей даного підприємства, тощо.

Інноваційний розвиток вимагає не тільки впровадження нововведень та інновацій матеріального характеру, а й постійного розвитку інструментарію системи управління інноваційним розвитком підприємства, через впровадження нових методів, методик, послідовностей, стратегій, механізмів. Таким чином, системі управління інноваційним розвитком підприємства повинна бути притаманна універсальна здібність до власних змін та розвитку.

**ПРОБЛЕМИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У
ПОДАТКОВОМУ ПЛАНУВАННІ НА ПІДПРИЄМСТВІ**

Полонська Ю.М. (м. Харків, Україна)

It is considered the theoretical approaches of substance determination of tax planning at the enterprise. The peculiarities of the decision-making process in tax planning are determined. The expediency of decision support system forming in tax planning at the enterprise is motivated.

На сучасному етапі трансформаційних змін національної економіки однією з цілей розвитку підприємства є підвищення економічної результативності діяльності суб'єкта господарювання. Перш за все, це характеризується збільшенням прибутковості виробництва. На розмір прибутку підприємства, зростання його фінансової стійкості певним чином буде впливати зменшення невиробничих витрат податкового характеру. Отже, необхідність зменшення податкового тиску на підприємство, оптимізації сплати обов'язкових платежів обумовлює впровадження системи податкового планування.

Разом з тим, суперечливість податкової системи України, її нестабільність, з одного боку, та внутрішні чинники на підприємстві (недосконала організаційна структура, відсутність кваліфікованих фахівців, неналежна інформаційна підтримка і т.д.) – з іншого – ускладнюють здійснення процесу прийняття рішень у податковому плануванні на підприємстві.

Питанням організації податкового планування на підприємстві теоретичному й практичному рівнях присвячені роботи вітчизняних та закордонних науковців: Берника В.Р., Бланка І.О., Бризгаліна А.В., Бризгаліна В.В., Вишневського В.П., Веткіна А.С, Головкина А.Н., Єлісеєва А.В., Загороднього А.Г., Іванова Ю.Б., Карпової В.В., Карпова Л.М., Кізими А.Я.[1–10] та інших.

Аналіз досліджень зазначених авторів вказує на неоднозначність підходів до визначення змісту поняття податкового планування. Зокрема, в роботах Іванова Ю.Б. податкове планування трактується як форма реалізації податкової політики, та зорієнтовано на законну оптимізацію господарської діяльності підприємства з точки зору її податкових надходжень [6–8]. Інші дослідники пов'язують податкове планування з мінімізацією податкових зобов'язань [3]. Можна погодитися з думкою, наведеною в роботах [6–9], що в даному випадку неправильним буде застосування терміну «мінімізація оподаткування», тому що остання має більш вузьку сферу застосування (в деяких випадках оптимальним варіантом діяльності підприємства може опинитися й той, який передбачає збільшення абсолютної суми податкових платежів, але при цьому дозволяє знизити загальне податкове навантаження на підприємство). Мінімізацію податкових платежів слід розглядати лише як один з варіантів податкової оптимізації, використання якого можливо лише при встановленні визначених критеріїв та обмежень. На думку Кізими А.Я., податкове планування – це творчий процес, що потребує індивідуального підходу [10]. Деякі фахівці, як стверджує Карпова В.В., прирівнюють заходи щодо законної оптимізації податкових платежів до ухилення від сплати податків [9], але подібне ототожнення абсолютно не припустимо, оскільки в другому випадку порушується основний принцип податкового планування – законність.

Узагальнюючи, необхідно зазначити, що податкове планування в науковій літературі розглядається в наступних аспектах: нове, але об'єктивно обумовлене явище в теорії й практиці сучасного менеджменту та оподаткування; форма реалізації податкової політики; функція податкового менеджменту; творчий процес, що потребує індивідуального підходу; цілеспрямована діяльність з генерування оптимального рішення; підсистема в свержсистемі податкового менеджменту та внутрішньофірмового планування; відкрита соціально-економічна система з існуванням зворотного зв'язку та механізмом саморегулювання.

Разом з тим, на думку автору, в сучасних дослідженнях [1–10] розробка заходів податкового планування ґрунтується на економіко-математичних методах та залишаються мало вивченими соціальні та психологічні аспекти цього питання. Недостатньо приділяється уваги запобіганню та страхуванню від помилок при здійсненні податкової оптимізації на підприємстві, підвищенню зацікавленості виконавців та їх відповідальності за наслідки управлінських рішень у цій сфері.

Думається, що поряд з існуючими підходами до визначення податкового планування на підприємстві його також можна представити як безперервний процес прийняття управлінських рішень, що стосується вибору оптимального рішення в сфері оподаткування із суворим дотриманням вимог податкового законодавства. Процес прийняття рішень у податковому плануванні потрібно ідентифікувати як окремий випадок загального процесу прийняття рішень, спрямованого на ліквідацію проблеми.

Поява проблемної ситуації може бути пов'язана з двома різними фазами управління. В першому випадку стан системи відходить від наміченого (запланованого), що ускладнює досягнення кінцевої мети. У другому випадку проблемна ситуація обумовлена необхідністю досягнення певного стану виробничо-економічної системи, який забезпечує мету, задану особою, що приймає рішення (ОПР).

Базуючись на положеннях теорії прийняття рішень, можна спроектувати склад та етапи процесу прийняття рішень у податковому плануванні, а саме: визначення проблеми; визначення осіб, що приймають рішення (держателів проблеми); збирання інформації; описування й оцінювання альтернатив; вибір оптимальної альтернативи; упровадження; перевірка виконання й оцінювання.

Особливості процесу прийняття рішень у податковому плануванні пов'язані з тим, що оподаткування являє собою складний економічний механізм, що має подвійний характер. В ньому перетинаються інтереси держави, з одного боку, й інтереси самого підприємства та індивідів – з іншого – які в багатьох випадках не співпадають і навіть суперечать один одному.

Отже, оптимізація величини податкових видатків у розрізі основних показників фінансово-господарської діяльності без порушення норм податкового законодавства, є загальною проблемою в сфері податкового планування. Мова йде, як зазначає Іванов Ю.Б. [8], про вибір у рамках податкового планування такого варіанта організації та ведення господарської діяльності суб'єкта господарювання з множини альтернатив, який забезпечує найкращий фінансовий ре-

зультат за рахунок раціональної податкової політики підприємства й ефективного використання податкових інструментів.

Свобода вибору варіанту господарчої діяльності, різні варіанти її здійснення, які призводять до різних податкових наслідків, обумовлюють альтернативність податкового планування [8]. Але, разом з тим, можливість управління в сфері податкового планування витратами податкового характеру досить обмежена, так як правила визначення цих витрат жорстко регламентовані державою.

Необхідно відзначити, що встановлення критеріїв оптимальності є обов'язковим при здійсненні процесу прийняття рішення в податковому плануванні [7]. В кожному конкретному випадку критерії оптимальності та обмеження, у рамках яких повинен знаходитися оптимальний варіант рішення, визначаються самою особою, що приймає рішення. Єдиним загальним обмеженням при будь-яких критеріях оптимальності є чітке дотримання норм законодавства.

Управлінське рішення в податковому плануванні як результат, що з'являється на виході процесу його створення, як підвид управлінського рішення взагалі, мусить відповідати певним вимогам, тобто бути обґрунтованим, правомірним, повним, комплексним, своєчасним, директивним, економічним, ефективним, оптимальним. Але, в першу чергу, рішення в податковому плануванні повинно бути законним, що відповідає основному принципу податкового планування. У відповідності з ним усі методи, прийоми, засоби податкового планування, а також їх документальне супроводження зобов'язано знаходитися виключно в правовому полі, тобто строго відповідати діючому законодавству.

Разом з тим, будь-яке рішення в сфері податкового планування буде обмежено раціональним. Процес прийняття рішення не може бути цілком об'єктивним та формальним, тому що на нього будуть впливати суб'єктивні характеристики ОПР, обмеженість його досвіду та інші чинники. Наприклад, більш лояльний та толерантний керівник може переглянути прийняте рішення під впливом думки проектувальників, трудового колективу, експертів, що є відображенням соціально обумовлених особливостей процесу прийняття рішень.

Узагальнюючи, слід зазначити, що підвищення ефективності управлінських рішень у податковому плануванні пов'язано з максимальним врахуванням дії факторів, що можуть вплинути на ситуацію. Ефективне рішення в податковому плануванні буде забезпечувати покращення фінансової результативності діяльності підприємства, зменшення невиробничих витрат фіскальної спрямованості, також буде враховувати соціально-психологічні характеристики ОПР, колективну поведінку та групове сприйняття проблемної ситуації.

З метою надання допомоги ОПР у виборі ефективного рішення в сфері планування фінансової діяльності підприємства та оподаткування пропонується впровадити систему підтримки прийняття рішень у податковому плануванні (СППР ПП). Ця система представляє собою інтеграцію елементів та підсистем, метою якої є розширення можливостей ОПР у постановці та вирішенні певних завдань, розв'язанні проблемних ситуацій на різних рівнях управління у податковому плануванні та при застосуванні різних форм реалізації податкової політики (податкового планування, бюджетування податків, розрахунку поточних

платежів).

При розробці СППР ПП необхідно враховувати сукупність сучасних підходів до створення та застосування систем підтримки прийняття рішень. За методологічну основу побудови СППР ПП пропонується прийняти концепцію системи управління (суб'єкт-об'єктних відносин) кібернетики. На відміну від більшості існуючих СППР, що протиставляються творцю рішення, СППР ПП, навпаки, являє собою симбіоз суб'єкта управління (ОПР), об'єкта управління (податкового планування) та саме підтримки, прикладними інструментами якої буде комплекс формалізованих методів прийняття рішень, інформаційне та програмне забезпечення, база фінансових моделей. Підтримка прийняття рішень у податковому плануванні спирається на управлінські та суспільні науки з врахуванням психологічних аспектів функціонування індивіда як учасника процесу податкової оптимізації (береться до уваги притаманна конкретній людині майстерність управління, особливості когнітивних процесів, особистісні якості та ін.).

СППР ПП – це динамічна система з існуванням зворотного зв'язку, що складається з трьох компонентів, – припускає існування внутрішніх підсистем: підтримки як самостійної підсистеми, підсистеми «суб'єкт – об'єкт», підсистеми «суб'єкт – підтримка». Взаємодія елементів останньої підсистеми буде здійснюватися в процесі прийняття рішення в податковому плануванні за наступними напрямками : врахування біологічних, психологічних, соціальних особливостей індивіда – ОПР; розширення його природних здібностей ; підтримка взаємодії ОПР з колективом.

Структурним елементом підсистеми підтримки будуть виступати команда працівників, що безпосередньо займаються податковою оптимізацією. Ними можуть бути співробітники податкового департаменту, залучені працівники, експерти, аналітики.

Теоретичне обґрунтування стабільності та ефективності функціонування СППР ПП на підприємстві пропонується базувати на основі концепції управлінського циклу (функцій управління). Організаційне забезпечення в процесі прийняття рішень у податковому плануванні повинно включати організацію інформаційної підтримки, документообігу, раціональної взаємодії між підрозділами суб'єкта господарювання на кожному етапі процесу прийняття рішень у податковому плануванні. Поряд з цим необхідна розробка методичного підходу до здійснення мотивації працівників, що залучені до податкового планування, а також надання методичних рекомендацій щодо супроводження та контролю функціонування СППР ПП.

Слід зазначити, що підтримка прийняття управлінських рішень забезпечить захист від впливу та втручання системної дії факторів внутрішнього та зовнішнього середовища на процес прийняття рішень у податковому плануванні. Одним з таких факторів може бути ризик, тому що рішення, які відносяться до сфери податкового планування, як правило, приймаються в умовах невизначеності. Отже, підтримка прийняття рішень зобов'язана включати технологію оцінки та управління ризиками у податковому плануванні на підприємстві.

Виходячи з вищевикладеного, необхідно зробити висновок, що для на-

дання допомоги ОПР у виборі ефективного рішення у податковому плануванні необхідна розробка та впровадження СППР ПП. Запропонована система забезпечить підвищення якості управлінських рішень, зменшить трудомісткість та кількість помилок у податковому плануванні та стане одним із стимулюючих чинників зацікавленості виконавців в реалізації заходів податкового планування. Подальшим кроком дослідження буде більш детальне вивчення складових системи підтримки прийняття рішень у податковому плануванні у взаємодії, розробка функціональної схеми СППР ПП та заходів щодо організаційної та мотиваційної підтримки процесу прийняття рішень.

Література: 1. Бланк И.А. Основы финансового менеджмента. Т.1. – К.: Ника-центр, 1999. – 512 с. 2. Бланк И.А. Управление прибылью. – К.: Ника-центр, 1988. – 544с. 3. Брызгалин А.В., Берник В.Р., Головкин А.Н., Брызгалин В.В. Методы налоговой оптимизации. – М.: Аналитика-Прес, 2001. – 176 с. 4. Вишневыи В.П., Веткии А.С. Уход от уплаты налогов: теория и практика: Монографія. – Донецк: НАН України. Ин-т економики пром-сти, 2003. – 228 с. 5. Загородній А.Г., Єлісеєв А.В. Податки та податкове планування підприємницької діяльності: Монографія. – Львів: Центр Бізнес-Сервісу, 2003. – 152 с. 6. Иванов Ю.Б., Карпова В.В., Карпов Л.Н. Налоговое планирование: принципы, методы, инструментарий: Монография.- – Х.: ИД «Инжэк», 2006. – 272 с. 7. Иванов Ю. Оптимизация в налоговом планировании.// Сборник систематизированного законодательства . – 2005. – вып.9. – С.13-19. 8. Иванов Ю. Суть, принципы и методы налогового планирования.// Сборник систематизированного законодательства. – 2005. – вып.9. – С.7-13. 9. Карпова В.В. Формування системи податкового планування на підприємстві. Дис. ...канд. екон. наук. – Харків, 2005. – 260 с. 10. Кізима А.Я. Податкове планування у системі податкового менеджменту// Фінанси України. – 2003. – №2. – С.15-20.

УДК 658.012.32

ІНСТИТУЦІОНАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

Попов О.Є., канд. екон. наук (Україна, м. Харків)

Considered maintenance of corporate relations and definite entry list of the institutional maintenance of corporate management.

Управління корпоративним розвитком акціонерного товариства (АТ) відбувається в умовах постійного зіткнення інтересів різних учасників корпоративних відносин, тобто груп осіб, інтереси яких пов'язані з діяльністю товариства та які зацікавлені в певних результатах його роботи. Найбільш впливовими учасниками корпоративних відносин (КВ) є власники, вище керівництво (топ-менеджмент) АТ, персонал акціонерного товариства, постачальники, споживачі, центральні та місцеві органи державної влади, громадськість та ін.

Корпоративне управління є процесом формування та реалізації на основі балансу інтересів власників товариства та інших учасників корпоративних відносин управлінських дій вищих органів управління АТ для забезпечення максимально можливого прибутку від його діяльності. Корпоративне управління здійснюється загальними зборами акціонерів, радою акціонерів (спостережною радою), ревізійною комісією, правлінням та іншими виконавчими органами товариства для вирішення фінансово-економічних, правових, організаційних, кадрових, технологічних проблем розвитку АТ. Проте управлінські рішення, що

приймаються на вищому рівні управління АТ, та наслідки цих рішень найчастіше далеко виходять за межі корпорації та безпосередньо торкаються інтересів більшості учасників корпоративних відносин. Тому метою корпоративного управління є визначення балансу інтересів та забезпечення дотримання законних прав учасників корпоративних відносин в процесі управління діяльністю акціонерного товариства.

Інституціональне забезпечення корпоративного управління здійснюється шляхом формування та розвитку системи корпоративного управління. Загалом, увага до організаційно-правового боку корпоративних відносин є однією з найважливіших особливостей корпоративного управління, з приводу якої в учених існують різні думки та погляди.

Характерною особливістю акціонерної форми організації підприємництва є створення та розвиток в ході корпоративної співпраці осіб, зацікавлених у корпорації, особливого виду корпоративних відносин. При цьому слід зазначити, що соціально-економічна природа, стан і тенденції розвитку корпоративних відносин вирішальною мірою визначають успіх корпоративного співробітництва, а значить – ефективність функціонування корпорації у цілому. Проте до цього часу питання вивчення змісту КВ у економічній та навіть у правовій науках не дістало достатнього висвітлення, що в першу чергу обумовлюється складністю та різноманіттям корпоративних відносин як об'єкту дослідження.

Основними учасниками КВ у АТ є акціонери; вище керівництво; найменший персонал; кредитори; споживачі; постачальники; територіальні громади та органи місцевого самоврядування; контактні громадські аудиторії; держава. Кожній з зазначених груп притаманним є різноманіття інтересів і цілей у корпоративному співробітництві.

Одним з головних факторів, що обумовлюють стабільність корпоративних відносин та ступень захисту інтересів їх учасників за будь-яку СКУ, є правила і норми взаємовідносин між акціонерами та вищим керівництвом акціонерного товариства. Належне корпоративне управління має забезпечити високий ступінь погодженості прагнень власників та найманих ними вищих керівників, від чого великою мірою залежатиме можливість досягнення корпорацією задовільних фінансових результатів. Проте саме ці результати в однаковій мірі є джерелом задоволення інтересів акціонерів та вищих керівників АТ, тобто можуть ставати приводом для виникнення корпоративних конфліктів. Різносторонність прагнень зазначених учасників корпоративних відносин та обмежені можливості для повного задоволення їхніх інтересів обумовлюють виникнення між ними численних протиріч економічного характеру. Необхідність урегулювання таких конфліктів, забезпечення сталого співробітництва учасників корпорації призводить до необхідності формування відповідних механізмів погодження інтересів акціонерів та вищого керівництва акціонерного товариства. Найбільш розповсюдженими формами такого погодження є адміністративні (здійснення вибіркового контролю поточної діяльності вищих керівників або особисте втручання акціонерів до управління корпорацією) та економічні (удосконалення форм і систем оплати праці вищого керівництва, використання складних форм стимулювання, таких як участь персоналу у прибутках АТ, на-

дання керівникам та іншим найманим працівникам акціонерного товариства часток в акціонерному капіталі, використання адміністративних опціонів тощо).

Таким чином, складність та різноманіття корпоративних відносин, притаманні акціонерній формі організації підприємницької діяльності, обумовлюють необхідність обов'язкової розбудови не менш складного та різноманітного (відповідно до вимог закону необхідного різноманіття управлінської підсистеми в системі управління) механізму управлінського регулювання КВ – корпоративного управління (КУ).

Система корпоративного управління є інституціональним утворенням, до складових якого належать правила, норми корпоративного управління та структури, що втілюють ці правила на міжнародному, національному та корпоративному рівнях.

З нашої точки зору, система корпоративного управління (СКУ) є сукупністю правил формування та діяльності вищих органів управління акціонерних товариств, що визначаються міжнародними й національними нормативно-правовими актами, етичними нормами та виконання яких забезпечується уповноваженими організаціями та установами. Таким чином, СКУ складається з інституціональних правил поведінки та інституціональних структур, які створюють ці правила та контролюють їхнє виконання.

Інституціональні правила поведінки учасників корпоративних відносин поділяються на нормативні (закони та підзаконні акти) та позанормативні правила, які, в свою чергу можуть бути формальними (ринкові угоди, корпоративні кодекси та інші внутрішні корпоративні документи) і неформальними (норми ділового співробітництва та корпоративної культури).

Нормативні інституціональні правила встановлюються державою, виходячи з інтересів суспільства загалом (принаймні так, як держава розуміє ці інтереси). Прагнення учасників корпоративних відносин беруться до уваги при визначенні нормативних правил лише тою мірою, якою їхні інтереси відповідають уявленню держави про суспільне благо, або в межах впливу, що можуть надати певні учасники корпоративних відносин на прийняття зазначених законотворчих рішень.

Позанормативні інституціональні правила встановлюються учасниками корпоративних відносин для визначення принципів та форм саморегулювання цих відносин. При цьому, на відмінність від законів та підзаконних актів, прийняття позанормативних правил завжди є результатом консенсусу між зацікавленими учасниками корпоративних відносин. Виникнення формальних (документально зафіксованих) позанормативних правил є необхідним у тому випадку, коли порушення цих правил будь-яким учасником здатне привести до значних збитків потерпілої сторони. Формальні позанормативні правила обов'язково повинні відповідати вимогам законодавчих актів. Загалом ці правила уточнюють і розвивають ті аспекти регулювання корпоративних відносин, які держава залишає на розсуд власне учасників корпоративних відносин. Формальні позанормативні правила можуть діяти у межах однієї корпорації (статут, корпоративний кодекс, порядок призначення ради директорів, розподілу прибутку та ін.) або стосуватися відносин різних корпорацій (ринкові угоди, кодек-

си професійних об'єднань).

Неформальні позанормативні правила являють собою неписані традиції регулювання корпоративних відносин, що за довгі часи устоялися у певній їхній сфері. Встановлення таких правил відбувається у результаті остаточного погодження інтересів більшості учасників корпоративних відносин, без згоди з якими участь у корпоративних відносинах на загальних підставах буде неможливою. В більшості випадків недотримання або незгода з традиціями корпоративної культури та ділового співробітництва для певного учасника корпоративних відносин означатиме неможливість здійснення будь-яких угод або значні додаткові витрати, які будуть пов'язані з необхідністю переконання інших учасників у спроможності дотримуватися прийнятих норм поведінки. Неформальні правила можуть регулювати корпоративні відносини як всередині однієї корпорації, та і далеко за її межами.

Позанормативні правила також можуть мати приватний та загальний характер. Приватні правила (такі як ринкові угоди) регулюють стосунки між окремими визначеними учасниками корпоративних відносин і не повинні підтримуватися іншими учасниками. В разі незгоди із загальними правилами (наприклад, правила участі у біржових торгах акціями) порушник може втратити можливість приймати участь у певних корпоративних угодах.

Інституціональні структури СКУ поділяються на учасників корпоративних відносин та складові інфраструктури корпоративного управління. До складових інфраструктури корпоративного управління належать організації, установи та підприємства, які забезпечують існування корпоративних відносин і зацікавлені в розвитку цих відносин загалом. Таким чином, до сфери інтересів складових інфраструктури корпоративного управління належить активна діяльність усіх учасників корпоративних відносин, а не результати роботи однієї певної корпорації. Основними складовими інфраструктури корпоративного управління є депозитарії, фондові біржі, професійні учасники фондового ринку та їхні об'єднання.

Формування та розвиток системи корпоративного управління відбувається на трьох рівнях – на суспільному, у сфері корпоративних відносин та у межах акціонерних товариств.

На суспільному рівні визначаються пріоритети діяльності корпорацій з точки зору держави й громадськості, створюються правові засади функціонування системи корпоративного управління, визначаються механізми державного регулювання корпоративних відносин та способи судового вирішення конфліктів і протиріч інтересів їхніх учасників. Активну участь у формуванні системи корпоративного управління приймають міжнародні державні та неурядові організації й об'єднання, державні та місцеві органи влади, населення певних регіонів і суспільство загалом. Регулюючий вплив на суспільному рівні приймає вигляд формальних нормативних (з боку держави) та неформальних позанормативних (з боку суспільства) інституціональних правил. Для створення належного корпоративного управління дуже важливим є збіг суспільних та державних правил регулювання корпоративних відносин.

На наступному рівні, у сфері корпоративних відносин, більшого значення

набувають формальні позанормативні інституціональні правила, за допомогою яких уточнюються та конкретизуються громадсько-державні норми корпоративного управління. Саме на цьому рівні відбувається формування структури колективної власності та визначаються загальні риси того балансу впливу, що існуватиме в окремих корпораціях. В сфері корпоративних відносин здійснюється також практичне втілення правових норм корпоративного управління, які було сформовано на суспільному рівні, та, навпаки, потреби врегулювання певних суперечливих питань у корпоративних відносинах призводить до необхідності коректування державою нормативних правил. Функціонування системи корпоративного управління на цьому рівні забезпечується через діяльність учасників корпоративних відносин і складових інфраструктури корпоративного управління. При цьому особливу роль відіграють професійні галузеві та міжгалузеві їхні об'єднання, дії яких дають змогу оперативно ліквідувати “пропуски ринку” або зменшити втрати від їхнього виникнення.

Корпоративні відносини в акціонерних товариствах (власне корпоративне управління) регламентуються внутрішніми позанормативними правилами, які визначаються їхніми власниками та керівництвом у межах норм, встановлених на попередніх рівнях. Саме у межах акціонерного товариства найбільшого значення набувають неформальні позанормативні правила (особливості корпоративної культури, які є властивими для певної корпорації), що обов'язково слід брати до уваги іншим учасникам корпоративних відносин. Неприйняття різниці у культурних нормах дуже часто постає непереборною перешкодою для розвитку тісного ділового співробітництва при утворенні інтеграційних структур, здійсненні стратегічних інвестицій та у багатьох інших випадках.

В залежності від впливовості різних учасників корпоративних відносин, інших інституціональних структур і від змісту інституціональних правил в світовій практиці корпоративного управління визначають чотири основні групи національних систем корпоративного управління: інсайдерів (переважний вплив в корпоративному управлінні належить “внутрішнім” учасникам, насамперед, вищому керівництву корпорації); аутсайдерів (власники приймають активну участь в управлінні АТ); перехресного володіння акціями (постачальники, споживачі або навіть конкуренти володіють значними частками у статутних фондах один одного) та змішані (поєднують окремі ознаки інших систем).

В цілому трьохрівнева структура надає системі корпоративного управління стійкого характеру, а суттєві зміни цієї системи можуть відбуватися лише під тиском значних соціальних та макроекономічних перетворень. Найбільш легко при цьому піддаються зміні формальні позанормативні правила у сфері корпоративних відносин, за ними – суспільно-державні норми корпоративного управління. Відносно стійкішими є особливості корпоративної культури окремих акціонерних товариств та складових інфраструктури корпоративних відносин, які у звичайних умовах досить повільно адаптуються до змін вимог корпоративного управління. Найбільш консервативними є традиції ділового співробітництва у сфері корпоративних відносин, розвиток яких йде слідом за змінами усіх інших складових системи корпоративного управління.

Особливості формування та розвитку системи корпоративного управління

в Україні в цілому пов'язані з процесами ринкового реформування економіки, насамперед – з корпоратизацією та приватизацією державних підприємств. Внаслідок цих процесів в Україні виникли певні риси системи корпоративного управління змішаного типу, у якій на цей час існують ознаки систем аутсайдерів, інсайдерів та перехресного володіння акціями. Але обов'язковою умовою підвищення ефективності корпоративних відносин, активізації інвестиційних процесів в економіці є остаточне формування національної системи корпоративного управління, структура якої повинна повністю відповідати пріоритетам соціально-економічного розвитку України.

УДК 658.124

ОПТИМІЗАЦІЯ ПОСТАЧАЛЬНИЦЬКО-ЗБУТОВОГО ПРОЦЕСУ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ВИТРАТАМИ ПІДПРИЄМСТВА

Поспєлов О.М. (м. Харків, Україна)

The particularities of management expenses enterprises are considered. Structure of the problem-solving area is designed. Separation of the sidebar of management expenses in managerial system development is motivated. Composition of the standard procedures of the regulation level expenses is offered.

У сучасних умовах ринкового реформування економіки успіх діяльності кожного товаровиробника визначається ефективністю виробництва. Вона в першу чергу обумовлюється ступенем задоволення потреб суспільства з найменшими витратами. У той же час, основою і причиною діяльності будь-якого підприємства є прибуток, який також багато в чому залежить від розміру витрат на виробництво. Він є основним інструментом, що обумовлює можливості розвитку підприємства. Надання підприємству права вибору найкращого, з погляду його потреб, варіанту управління витратами, викликає необхідність вивчення розробок у даній області, зокрема формування відповідних фінансових механізмів. Необхідність розробки таких механізмів визначається об'єктивною потребою подолання кризових явищ у національній економіці, рішення проблем вдосконалення внутрішнього стану підприємства що потребує безупинного пошуку нових форм і методів господарювання, більш дієвих організаційних структур, методів управління процесами виробництва, розробки нової ринкової поведінки, спрямованої на стабілізацію витрат і подальший економічний ріст. Управління витратами можна визначити як планомірне формування витрат на виробництво та збут продукції й контроль за їх величиною. Створення системи управління витратами (СУЗ) ґрунтується на можливості погодженого впливу на витрати та якість товарів, що розроблюються, споживаються й освоюються на кожній стадії життєвого циклу продукції. Вона являє собою систему принципів і методів розробки і реалізації управлінських рішень, спрямованих на забезпечення ефективності витрат, тобто одержання прибутку, що реально виправдує ці витрати.

Створення дієвої СУЗ потребує розглядати підприємство в постійному взаємозв'язку з постачальниками виробничих ресурсів і споживачами готової продукції. В умовах зростаючої конкуренції успіх будь-якого підприємства за-

лежить від адекватного та своєчасного реагування на постійні зміни в зовнішньому середовищі. Разом з тим, в умовах насиченості ринку закупівлі, проведені підприємством, можуть зробити значний вплив на ріст його прибутку поряд із продажем продукції. Необхідно також відзначити, що витрати, які виникають у сфері постачання й розподілу, дуже великі й у деяких випадках порівнянні з витратами у виробничій сфері. Саме тому розробку ресурсної стратегії пропонується здійснювати на основі застосування концепції зон стратегічних ресурсів (ЗСР). З точки зору ресурсної стратегії для кожної позиції товарного асортименту потрібно враховувати, які ресурси й у якому співвідношенні повинні бути застосовані й у якому ступені може бути здійснена їхня заміна. Коли необхідна кількість ресурсів доступна, проблема складається з пошуку шляхів ефективного їх використання. Ресурси необхідні не тільки для реалізації продукції у визначений період, але і для поповнення або створення запасів ресурсів чи товарів. У цьому зв'язку актуалізується питання забезпечення взаємодії з постачальниками ресурсів, що потребує оцінювання значної кількості чинників, що впливають на управлінські рішення щодо формування набору зон стратегічних ресурсів. Так підприємство, що бажає в процесі реалізації стратегії розвитку розширити асортимент реалізованих товарів, зштовхується з проблемою вибору нового товару і пов'язаної з цим проблемою вибору постачальників і мінімізацією ризику при виборі своєї стратегії на ринку чинників виробництва. Вирішення означеної проблеми пропонується здійснювати на основі встановлення партнерської взаємодії з відібраними постачальниками або формуванні оптимального набору постачальників ресурсів. Окрім того, для моделювання взаємодії з постачальником пропонується застосування методології програмних агентів. Відповідно до якої на основі теорії числення предикатів з використанням метамови опису предикатів можливо побудувати логістичну інформаційної системи підприємства у вигляді мультиагентної системи, що складається з програмних агентів двох типів: функціональних та інформаційних.

Для розгляду функцій та взаємодії агентів використовуються такі поняття, як види діяльності, дії, ресурси, стани та час. Діяльність кожного агента складається з набору дій: використання, споживання, відпуск – та виробництво. Будь-який вид діяльності агента вимагає конкретних ресурсів. Функціонування будь-якого виробничого підприємства пов'язано з плануванням (складанням графіків виробничих процесів, диспетчеруванням виробничих процесів тощо. При представленні підприємства у вигляді сукупності логістичних ланцюгів, управління якими здійснюється програмними агентами, діяльність програмних агентів повинна бути пов'язана з розподілом та контролем наявності ресурсів і орієнтована на складання, узгодження та диспетчерування виробничих розкладів (графіків) з урахуванням ресурсних та часових обмежень.

Залучення постачальника у відносини з підприємством проходить через серію природних етапів, які починаються з формальних відносин непов'язаних сторін. Проте зростання швидкості ринкової взаємодії в поєднанні з необхідністю постійного впровадження інновацій вимагає встановлення більш тісних взаємин майже до утягнення постачальника до попереднього обговорення проєкту. Проте таке залучення вимагає певної організаційної регламентації та від-

повідного узгодження технологічних питань. Таке узгодження пропонується за-сновувати на укладенні союз із основними постачальниками, щоб у його рамках займатися спільними розробками. Що ж стосується команд, то постачальники тепер уже готові створювати в рамках проектів багатофункціональні (комплексні) команди, націлені на споживача. Для забезпечення поставок і закупівель характерно постійне виникнення всякого роду проблем і непорозумінь, особливо спочатку, коли відносини ще тільки складаються. Тому важливо якомога раніше створити адекватні механізми реагування на такі труднощі. Один з них – спеціальні ради з аналізу матеріалів і комплектуючих (РАМ), яка функціонує у межах системи менеджменту якості (СМЯ) підприємства, при необхідності на різних ієрархічних рівнях. Немаловажну роль у процесі управління закупівлями грає контроль і управління якістю постачань ресурсів. Від цього у великому ступені залежать витрати підприємства на матеріальні ресурси. Зниження витрат у першу чергу пов'язано з якістю вхідних ресурсів й оцінкою повноти їхньої відповідності потребам виробництва. Все це збільшує актуальність функції контролю в постачаннях матеріальних ресурсів. Такі контрольні функції в циклі постачань зображені на рис. 3. Поява будь-якої невідповідності вимагає його ідентифікації для вироблення відповідного коригувального впливу. Тому поряд із РАМ створюється ще й рада з коригувальних впливів (РКВ) – внутрішній орган, уповноважений вищим керівництвом організації. І вже РКВ у кожному конкретному випадку створює команду коригувальних впливів (ККВ), склад, повноваження й час роботи якої визначаються конкретною ситуацією. По завершенні планової роботи з коригувального впливу РКВ оцінює її результати й, у випадку успіху, ККВ розпускається.

Політика вибору постачальників повинна ґрунтуватися на аналізі важливості гаданих закупівель (із погляду їхнього потенційного впливу на характеристики виробленої продукції, скорочення виробничих витрат, прибутку) і особливостях ринку постачань (обмеженість ринкових можливостей, наявність бар'єрів на шляху проникнення на ринок, характер ринкової конкуренції). У загальному виді вибір постачальників, на нашу думку, може бути побудований як двохступінчата процедура, із попереднім формуванням критеріїв оцінки і вибору постачальників й сортуванням їх за категоріями. Звідси випливає, що управління роботою з постачальниками може бути подане у вигляді таких кроків: формування стратегії управління постачаннями; визначення, оцінка і вибір найкращих постачальників; моніторинг діяльності постачальників. Основу процесу вибору постачальників повинні складати певні базові критерії, за допомогою яких відбуватиметься ранжування постачальників. Їхнє застосування дозволить створити попередній перелік, що буде деталізуватися при проведенні більш докладного аналізу. Найбільш поширеним підходом до оцінки постачальників є застосування експертних методів й бальної оцінки. У такому випадку доцільно використання поданих в табл. 1 лінгвістичних змінних, загальною кількістю m , для яких n експертів нададуть бальну оцінку $(b_{ij}, i=1..m; j=1..n)$ прояву i -го критерію. Бажано також ввести коефіцієнт важливості кожного i -го критерію (r_i) або задати однакову значущість показників $(r_i=1/N)$. У такому випадку загаль-

на оцінку думок експертів ($\bar{b} = 1/n \times \sum_{i=1}^m r_i \sum_{j=1}^n b_{ij}$) характеризуватиме, як ступень

інтеграції окремого підприємства до ринку, так і міру убудованості й інтегрованості цілого логістичного ланцюга створення вартості. Бальну оцінку пропонується проводити у відповідності до наступних параметрів: оцінка готовності постачальника до співробітництва; відповідність систем управління підприємства й постачальника; ефективність й прибутковість роботи постачальника; синергія діяльності та комплементарний ефект; стан СМК на підприємстві постачальника; стабільність якості закупленої продукції; реакція постачальника на претензії до якості продукції; стабільність обсягів і строків поставки; зацікавленість постачальника в розвиненні взаємин

Всіх постачальників, що відповідають базовим критеріям, на нашу думку, доцільно розподілити відповідно до певних категорій. Результати такого розподілу дозволять правильно вибрати методи, застосовувані при роботі з постачальниками. До найбільш важливих з них відносять сертифікацію постачальників, партнерство (альянс) із постачальниками й рейтингування постачальників. Крім цього необхідно сформулювати ряд вимог до процесу формування постачальників. На нашу думку, основними з них будуть: стабільність і конкурентноздатність групи постачальників; оптимальна їхня вертикальна інтеграція; розподіл закупівель серед кваліфікованих постачальників; забезпечення максимального впливу на обраних постачальників; організація співробітництва не з одним, а з декількома постачальниками ресурсів однієї групи; наявність резервних страхових фондів; наявність гнучкої структури підприємства, що дозволяє ефективно змінювати її профіль; наявність налагодженої збутової мережі від постачальників ресурсів до підприємства.

Участь означених служб РАМ й РКВ дозволяє контролювати рівень прогресивності необхідних ресурсів та висувати вимоги до пошуку і вибору постачальників. При цьому, на наш погляд, варто намагатися формувати партнерські відношення із тим постачальником, що краще усіх задовольняє вимоги підприємства. При встановленні партнерських відношень із постачальником виробниче підприємство може надати йому конкретну допомогу у питаннях якості, зниження витрат й скороченні тривалості операційного циклу. Основні переваги партнерських взаємин полягатимуть у скороченні рівня запасів, зменшенні ціни й обсягів закупівель, поліпшення якості, спрощення процесу замовлень, скорочення числа постачальників.

З оглядом на це подальші дослідження пропонується зосередити на розробка рекомендацій щодо відбору кандидатів на розвиток партнерських взаємин з постачальником. Більш дієвим підходом у даному випадку вважається застосування методу генетичних алгоритмів (ГА). Задача відбору постачальника у такому випадку полягатиме у оптимізації деякого набору чітких параметрів, які необхідні для здійснення ефективного інтеграційного процесу. Невизначеність та нечіткість цих параметрів обумовлює необхідність віднесення цієї задачі до класу нечітких множин. Завдяки тому, що такі параметри досить важко чітко вимірити та визначити, ця задача відноситься до складу нечітких множин. Такі пара-

метри відносяться до різних сфер діяльності підприємства, вимірюються різними способами, та складно формалізуються. Результатом роботи ГА є визначення постачальника, що має кращий набір генів у хромосомах для забезпечення подальшого розвитку партнерських відносин та максимізації цільової функції. Результатом також буде певний кращий набір генів. ГА випадковим образом генерує початкову популяцію. Робота ГА являє собою ітераційний процес, що продовжується, поки не виконається задане число поколінь або інший критерій зупинки. В кожному поколінні реалізується відбір пропорційно пристосованості, кросинговер та мутація. Спочатку, пропорційний відбір призначає кожному постачальнику ("особині") імовірність $P_s(i)$, що визначається як відношення її пристосованості до сумарної пристосованості популяції:
$$P_s(i) = f(i) / \sum_{i=1}^n f(i)$$

Надалі відбувається відбір (із заміщенням) n особин для подальшої генетичної обробки, відповідно до величини $P_s(i)$. При такому відборі члени популяції з більш високою пристосованістю з більшою імовірністю будуть вибиратися, ніж інші особини, тобто будуть відбиратися такі постачальники, набір генів котрих максимізує цільову функцію майбутнього союзу. Після відбору n обраних особин випадковим чином розбиваються на $n/2$ пари. Для кожної пари з ймовірністю $1-P_s$ застосовується кросинговер. Незмінені особини, в свою чергу, переходять на стадію мутації. Якщо кросинговер відбувається, отримані нащадки заміняють собою батьків і переходять до мутації. Популяція, отримана після мутації записується поверх старої і цим цикл одного покоління завершується.

Для використання методу ГА щодо відбору кандидатів на утворення партнерських відносин можна виділити перелік основних хромосом: розвинута збутова мережа постачальника нижче вздовж логістичного ланцюга створення вартості; тривалість циклу поставки; інфраструктура постачальника така, що об'єднання може призвести до виникнення ефекту масштабу; технологія, що може бути використана для впровадження нових, видів продукції; результати оцінки СУЗ; система обробки замовлень; інформація, яка є у постачальника, що може бути використана для подальшого спільного розвитку; політика гарантійного обслуговування; рівень технічної підтримки; прибутковість роботи постачальника; сукупний показник рентабельності; сукупна ліквідність постачальника. Таким чином, експерти формують певний перелік оптимальних генів хромосом, що необхідно мати відібраному постачальнику. Слід зауважити, що значення генів обмежено вимогами тільки конкретних стратегій. Підчас планування ситуації, коли має місце певне об'єднання декількох стратегій, необхідно групувати також вимоги до значення генів майбутніх кандидатів.

Отже, підвищення ефективності діяльності підприємства, як виробничої системи, вимагає розподілу існуючий запас ресурсів й грошових коштів таким чином, щоб жодний їхній перерозподіл не зміг збільшити виробництво одного товару без зменшення виробництва іншого. Крім цього, економічна система повинна використовувати свої ресурси в такій ефективній комбінації, що знаходиться в точній відповідності з її виробничими можливостями, бажаннями по реалізації продукції. Реалізація СУЗ на підприємстві потребує значних організацій-

них зусиль, що обумовлює необхідність виділення спеціальної підсистеми (підрозділу) в організаційній структурі підприємства. Її дії повинні полягати в раннім виявленні несподіваних змін у рівні витрат і швидкому їхньому регулюванні. Швидке реагування на зміни в рівні витрат можна забезпечити розробивши стандартні механізми, які можна умовно розділити на три групи: механізми регулювання рівня витрат, управління ефективністю діяльності, регулювання прибутку і податкових платежів. До стандартних механізмів, що можуть застосовуватися для регулювання рівня витрат, окрім управління постачальницько-збутовим процесом можна віднести переформування кошторису витрат у процесі поточного планування, прогнозування нового рівня витрат, нейтралізація конфліктів на основі мінімізації інтегральних витрат, регулювання витрат на якість, раціоналізація використання оборотних коштів, перерозподіл наявних ресурсів, зміна схеми погашення витрат на НДОКР тощо.

УДК 658.012.32

ОРГАНІЗАЦІЯ РЕГІОНАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИМ РОЗВИТКОМ ТЕРИТОРІЙ

Романькова О.П. (м. Харків, Україна)

This thesis deals with the working out of theoretical bases for the development of priorities, choice of means and sources for regional development in Ukraine. The economic essence, role and value, a structure of the authorities management of regional development have been investigated.

Складові територіальної соціально-економічної структури регіону розрізняються за ознаками масштабу, статусу або внутрішньої побудови господарчого комплексу регіону. Масштаб та статус є основою адміністративно-територіального підходу до визначення регіональної структури економіки на рівні автономної республіки, області, району, міста. Групування територій за ознакою однорідності внутрішньої структури господарчого комплексу використовується при поділі економічних регіонів за територіально-виробничим або територіально-господарчим принципом.

Обидва підходи відбивають специфічні характеристики регіонів, на території яких функціонують певні соціально-економічні комплекси. Ці характеристики обов'язково слід враховувати в поточному управлінні територією, в процесі розробки та реалізації стратегії її розвитку. Але завершена система планування та управління існує лише в регіональних господарчих комплексах, які створено на базі адміністративно-територіального поділу. Формування саме такої системи зумовлено об'єктивними географічними, історичними, демографічними, політичними причинами.

Крім того, внутрішня структура господарчих комплексів регіонів не є досить стійкою характеристикою, такою як адміністративно-територіальний поділ. Господарчі комплекси постійно розвиваються та змінюються відповідно до появи нових ринків, технологій виробництва, перетворення інтересів економічно активних груп населення та інших факторів. Адміністративно-територіальний поділ, навпаки, проводиться у відповідності до територіальних

пропорцій і оптимального розміщення виробничих сил, тобто більш стійких та стабільних ознак. Тому важливими перевагами адміністративно-територіального підходу до регіонального управління економікою є також можливість забезпечення стабільності державного устрою, підвищення керованості соціально-економічними процесами в регіонах, оптимізація витрат на державне управління.

Адміністративно-територіальний підхід до визначення економічних регіонів набув найбільшого рівня розвитку за умов централізованого управління економікою, в якій безумовно домінувала державна форма власності. Управління розвитком територій відбувалося за деталізованими загальнодержавними планами, обов'язковими до виконання на всіх рівнях відповідальності. В цих умовах кожен регіон був, з одного боку, досить самостійним виробничо-територіальним комплексом з відповідною системою органів державної влади, управління та планування, а з іншого боку, залишався невід'ємною частиною єдиного народногосподарчого комплексу та був пов'язаний тісними економічними зв'язками з іншими регіонами. Протиріччя між адміністративно-територіальним і господарчо-територіальним поділом якщо й виникали, то й вирішувалися центральними органами державної влади.

Але поруч з деякими перевагами для тотального державного регулювання економічних процесів були характерні суттєві вади й недоліки, які особливо загострилися в умовах прискорення змін середовища господарювання підприємств, швидкого розвитку науки та технології, глобалізації світової економіки. Внаслідок економічної неефективності централізованого державного управління економікою, в практику господарювання в Україні повернулися плюралізм форм власності, самостійність і відповідальність економічних суб'єктів за прийняття та реалізацію управлінських рішень.

В цих умовах протиріччя між адміністративно-територіальним і територіально-господарчим підходом до управління стратегічним та поточним соціально-економічним розвитком регіонів різко посилювалися. Підприємства, які розташовані на території регіонів, перестали бути частинами народногосподарчого комплексу з єдиним власником та розпорядником в особі органів центральної або місцевої державної влади. Сучасні власники складових господарчого комплексу понад усе зацікавлені в прибутковості та стабільному фінансовому становищі підприємств, які їм належать. В той же час економічні інтереси нових власників найчастіше виходять за межі окремої адміністративної одиниці, тобто можуть суттєво відрізнятися від прагнень та інтересів населення регіону. Неминуче зіткнення інтересів може привести до виникнення та загострення протиріч, погіршення соціально-економічного становища в регіоні.

Існуючі протиріччя між адміністративно-територіальним підходом до регіонального управління економікою відносно легко вирішуються на рівні поточного управління при пошуку компромісів між зацікавленими групами впливу або з використанням адміністративних та економічних важелів впливу з боку державної влади. З цієї точки зору особливу актуальність на цей час набуває необхідність формування та розвитку досконалих організаційних форм погодження інтересів усіх учасників процесу територіального соціально-

економічного розвитку (центральної та місцевих органів державної влади, місцевого самоврядування, населення, підприємців та ін.).

За думкою В.Ф. Савченко [2], формування єдиної цілісної моделі регіонального розвитку держави відбувається на трьох основних рівнях:

- загальнодержавному, де на основі зіставлення погодженого впливу макроекономічних факторів (тобто загальних тенденцій розвитку податкової системи, бюджету, інфляції, іноземних інвестицій, конверсії, поточного рівня кадрового потенціалу) визначаються основні положення національної регіональної політики;
- регіональному (оцінка рівня стратегічного потенціалу великих територіальних об'єктів та визначення пріоритетних напрямків використання природних багатств та людських ресурсів, розвитку промислового та сільськогосподарського виробництва);
- на місцевому рівні, де визначаються компетенція, права, обов'язки та сфера відповідальності органів місцевого самоврядування та виконавчої влади на нижчих територіальних рівнях управлінської ієрархії.

Відмінності в застосуванні цих моделей пов'язані з різними концептуальними загальнотеоретичними доктринами, що, у свою чергу, обумовлено особливостями історичного розвитку й менталітетом національних суспільних угруповань, різницями у державно-адміністративному ладі, макроекономічним типом національної економіки й т.д.

Поважний А., Коломієць А. [1, с.41] зазначають, що вирішення складних економічних й екологічних проблем вимагає пошуку нових технологій управління регіоном. У якості однієї з таких технологій може бути використаний ситуаційний центр (СЦ), або візіонаріум. Ефективність СЦ полягає в тому, що він дозволяє підключити до активної роботи із прийняття рішень резерви образного, асоціативного мислення. Подання ж інформації у вигляді образів створює ефект "стиску" інформації, забезпечуючи узагальнене сприйняття реальних подій. Проте сам по собі СЦ як технічно оснащена кімната для прийняття рішень ще не забезпечує високої ефективності керування. Особливе значення має система менеджменту, у рамках якої функціонує СЦ. Саме характеристики системи менеджменту задають тип первинної й вторинної інформації, спосіб її обробки й фільтрації й, нарешті, визначають характер взаємодії фахівців, що забезпечують роботу СЦ.

Дієвою формою поглиблення економічних реформ на регіональному рівні, підтримки розвитку підприємництва й становлення ринкової інфраструктури, Шангіна Н. [3, с.43-44] вважає утворення Координаційної ради по формуванню мережі регіональних агентств розвитку. Стратегічною метою кожного агентства є економічний розвиток даної території, створення умов для забезпечення матеріального добробуту населення, затвердження принципів соціального партнерств; громадського життя. Переслідуючи цю стратегічну мету, регіональний агент повинен вживати заходів до стимулювання економічної діяльності в регіоні завдяки створенню нових робочих місць, використанню місцевого потенціалу підвищенню привабливості регіону для інвесторів. Основні цілі, поставлені перед регіональними агентствами, обумовлюють вид їхньої діяльності. Для стратегічних агентств - це утворення інформаційних банків даних, дослі-

дження секторальних і загальних соціально-економічних факторів, сприяння реалізації інтересів регіону національному й міжнародному рівнях, забезпечення корисної інформації підприємств малого й середнього бізнесу, допомога у вивченні внутрішнього потенціалу. Операційні агентства здійснюють функції управління міжсекторальними проектами розвитку, секторальні – для сприяння певному виду діяльності в регіоні, зайнятості, культурі, роздрібній торгівлі й ін.

Іншим новітнім напрямком удосконалення управління регіональним соціально-економічним розвитком на цей час стає корпоратизація територіальних общин для розробки спеціального механізму реалізації інноваційних технологій для соціального й економічного захисту інтересів широких верств суспільства. Територіальні утворення стають основною ланкою управління, ефективність розвитку яких у значній мірі визначається системою керування ними. Пошуки ефективної структури корпоративного управління неминуче обумовлюють необхідність вивчення ролі й місця регіонального управління. Політичне й корпоративне керування також є елементом загального процесу керування розвитком територій і може бути організовано різними способами. Конкретні форми організації - результат історичних процесів, що відображають специфічні для кожного регіону економічні й культурні фактори. Згодом процес інституціоналізації приводить до затвердження правил економічної взаємодії й оформленню стандартів ділової активності (ініціативи, чесності, діловитості й т.ін.).

Світова практика напрацювала цілу низку різноманітних інструментів регіонального та місцевого розвитку. Серед них — і законодавчі та нормативні акти; і формалізовані процедури, призначені для сприяння регіональному розвитку.

Виділяють наступні види інструментів розвитку.

1. Фінансові інструменти: безпосередні дотації, м'які кредити (із зниженими або із субсидованими відсотковими ставками): податкові концесії; субсидії для підприємців; опосередковані банківські гарантії; участь капіталом; надання гарантій банкам.
2. Розвиток технічної інфраструктури.
3. Розвиток інституціональної інфраструктури розвитку, щоспрямована, перш за все, на доступ до інформації, порад і консультацій, на навчання, дослідження та передачу технологій і інновацій:
4. Нематеріальні інструменти, а тому числі інструменти планування, що спираються на аналіз ситуацій і методику стратегічного планування.

У Концепції державної регіональної політики України серед заходів забезпечення реалізації державної регіональної політики передбачено, що на першому етапі реалізації Концепції в Україні мають бути створені Національне агентство з питань регіональної політики та місцевого самоврядування і мережа регіональних агентств розвитку. Агентства розвитку у багатьох країнах існують як на національному, так і на регіональному та місцевому рівнях.

Агентство розвитку (АР), - інституція, завданням якої є сприяння і допомога розвитку у широкому розумінні цього поняття. Тобто під розвитком розумітимемо зростання господарського потенціалу та конкурентоспроможності

певної території, а також рівня та якості життя її жителів. Сучасне поняття розвитку вбирає концепцію збалансованості, тобто суспільно-економічного розвитку без завдання шкоди навколишньому середовищу. Якщо агентство діє у межах регіону, то мова йде про агентство регіонального розвитку - АРР. Якщо дія агентства обмежена частиною території регіону чи територією якогось поселення (місто або селище), то кажуть про агентства місцевого чи міського розвитку - АМР.

АР мають суттєвий інноваційний потенціал, який полягає в тому, що АР є механізмом впровадження нового типу відносин між органами влади (державної і самоврядної) і представниками невіддільних кіл (бізнес, громадськість). Агентства розвитку є для України якісно новою інституціональною формою управління і сприяння розвитку територій, тобто новою управлінською інновацією. Виходячи з цього, політику створення і впровадження АР слід вважати інноваційною політикою. Взагалі, управлінська інновація для регіону чи міста - це будь-яке організаційне рішення, система чи процедура, що суттєво відрізняється від практики, що склалася, і вперше використовується в даному регіоні чи місті. При цьому інноваційна політика взагалі і в нашому випадку - конкретно є складним процесом, що завжди супроводжується ризиками і визначається багатьма вихідними передумовами психологічного, культурного, організаційного, фінансового, економічного і соціального характеру. Ефективність функціонування АР базується на поєднанні кращих рис адміністративних методів органів влади з ініціативністю і енергією неурядового сектору. Наведемо основні риси організаційно-функціональної моделі АР (як для створюваних за урядовою, так і за неурядовою ініціативою), які, на наш погляд, повинні мати ці структури, виходячи із аналізу процесу їх становлення в Україні і досвіду інших держав.

1. АР має неурядовий характер, хоча і діє у тісній співпраці з центральними і місцевими органами державної влади і самоврядування;
2. Серед засновників АР потрібно мати впливовий на його території орган влади;
3. Метою діяльності АР повинно бути всіляке сприяння розвитку, а не отримання прибутку (хоча для господарської стабільності свого існування АР можуть створювати прибуткові організації);
4. АР має відкритий характер і діє прозоро;
5. Керівні органи АР формуються на паритетних засадах засновниками із застосуванням демократичних процедур і узгоджень.

Урахування зазначених особливостей при створенні агент регіонального розвитку безумовно сприятиме оптимізації організаційно-економічного механізму управління соціально-економічним розвитком територій.

Література: 1. Поважний А., Коломієць А. Формування регіонального ситуаційного центру: забезпечення необхідними видами ресурсів // Економіка України, 2003. – №3 – с.41–45. 2. Савченко В.Ф. Держава і регіон: регулювання соціально-економічного розвитку. К.: “Знання”, 1999. – 1014 с. 3. Шангіна Н. Утворення регіональної ринкової інфраструктури // Економіка України, 2000. – №11 – с.43–45.

**СТРУКТУРА МЕХАНІЗМУ КОРПОРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ У
АКЦІОНЕРНОМУ ТОВАРИСТВІ**

Філіповіч Т. Г. (м. Харків, Україна)

Considered maintenance of corporate control over joint-stock company. Are explored the structure of the mechanism of the corporate control over joint-stock company. Is proved an use necessity of competition distribution methods of corporate control in incorporated society.

Одноосібний вплив певного акціонера або групи акціонерів на процес та результат прийняття стратегічних рішень створює бар'єри щодо виникнення можливості впливу інших учасників, але з другого боку – створює умови щодо виникнення дисбалансу інтересів в процесі управлінської діяльності. Дисбаланс інтересів учасників корпоративних відносин (КВ) може виникати безпосередньо в процесі управлінської діяльності, навіть при умові конвергенції інтересів на стадії формування корпоративних взаємовідносин. Це пояснюється відсутністю або недостатньою довіри між учасниками, або наявністю випадків відкритого порушення прав певної групи учасників КВ. Об'єктивною причиною виникнення суперечності інтересів є недосконалість механізму забезпечення розвитку корпоративних відносин, однією з важливіших складових якого є механізм корпоративного контролю. Головною метою механізму корпоративного контролю є формування такого співвідношення впливу учасників, що буде максимально забезпечувати інтереси учасників при мінімальних витратах, що пов'язані з врегулюванням корпоративних конфліктів.

Механізм корпоративного контролю представляє собою сукупність принципів та форм корпоративних відносин, інструментів, методів та засобів досягнення цілей, що визначаються на основі досягнення компромісу між інтересами та очікуваннями учасників з врахуванням впливу факторів зовнішнього та внутрішнього середовища.

Вихідним елементом формування механізму корпоративного контролю є інтереси учасників корпоративних відносин. Ступінь узгодженості інтересів учасників визначає характер корпоративних відносин та є основою щодо подальшої реалізації всіх наступних етапів стратегічної діяльності АТ. Схематично структуру механізму корпоративного контролю зображено на рис. 1.

До суб'єктів корпоративного контролю належать ті учасники корпоративних відносин, що володіють певними правами участі в управлінському процесі або процесі прийняття стратегічних рішень, а також визначеними інструментами впливу на поведінку інших учасників.

Отримання корпоративного контролю окремими учасниками корпоративних відносин здійснюється або за рахунок найбільшої частки акцій в акціонерному капіталі в порівнянні з іншими акціонерами, або за рахунок інших майнових прав у вигляді права вимоги боргу. Можливість отримання певного ступеню корпоративного контролю можливо також за рахунок немайнових цінностей, таких як володіння специфічними знаннями, наявність вигідних комунікаційних зв'язків із зовнішніми внутрішньодержавними або міжнародними організаціями й ін.

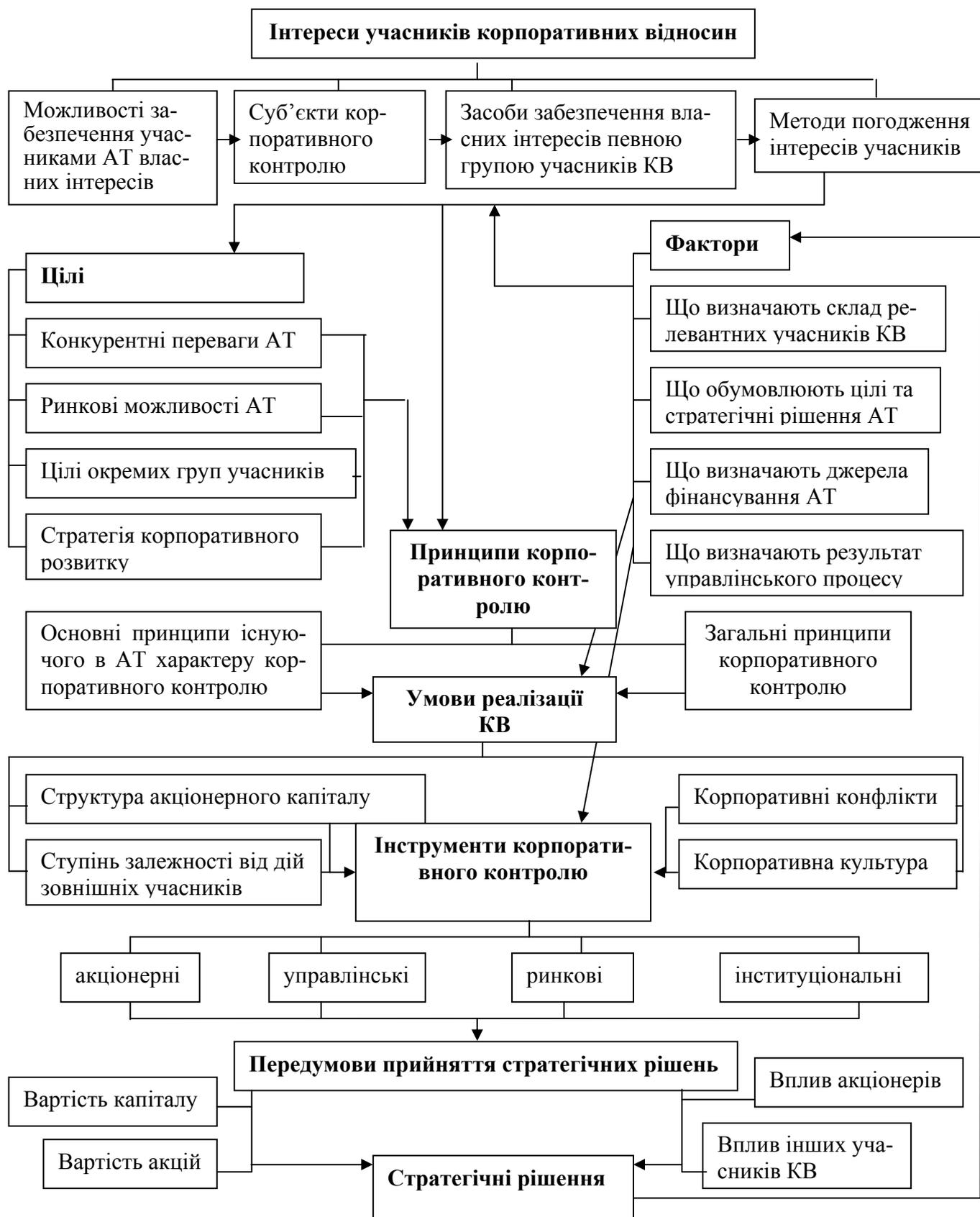


Рис.1. Механізм корпоративного контролю.

Наявність суб'єкту корпоративного контролю на стадії формування корпоративних відносин визначає засоби забезпечення інтересів певною групою учасників та методи погодження інтересів всіх учасників. Тому на даному етапі формування корпоративного контролю важливим є уточнення, обговорення та

фіксування повноважень та обов'язків учасників КВ, планових результатів управлінської діяльності в відповідних внутрішніх документах АТ.

Першочерговим завданням є відокремлення груп учасників за інтересами. Таке відокремлення приділяє увагу засобам забезпечення власних інтересів певною групою учасників та дозволяє своєчасно попередити імовірні корпоративні конфлікти, які є наслідком зіткнення дій різних груп учасників. Домінування інтересів певної групи учасників визначає пріоритетні методи погодження інтересів учасників. Характер таких методів полягає у ступені колективності вибору загальної цілі АТ. В процесі вибору методів погодження інтересів учасників відбувається розподіл ролей між акціонерами, органами вищого управління та існуючими релевантними зовнішніми учасниками. Результативність погодження інтересів залежить від наявності локальних цілей учасників та відкритості характеру процесу вибору загальної мети АТ. Методи погодження інтересів учасників характеризують неформальну сторону корпоративних відносин, тому, також визначають вибір пріоритетних принципів корпоративних контролю.

Ступінь узгодженості інтересів учасників КВ створює умови щодо вибору загальної мети АТ. Сукупність намірів, цілей та завдань, що визначають стратегічні пріоритети корпоративних відносин та цілі їх учасників, загальні принципи та механізми з'ясування інтересів учасників КВ, правила та методи прийняття управлінських рішень стосовно досягнення стратегічних цілей представляють собою **стратегію корпоративного розвитку АТ**. В процесі формування та реалізації стратегії корпоративного розвитку корпоративний контроль знаходить своє проявлення на стадії визначення загальної суми необхідних для реалізації стратегічних рішень фінансових ресурсів та джерел їх покриття. Вибір джерел фінансування, попередній розподіл повноважень визначає релевантні групи учасників КВ, забезпечення очікувань яких впливають на подальший розвиток корпоративних відносин та стратегічний розвиток діяльності АТ. Узгодженість очікувань релевантних груп та менш значних за впливом груп учасників знаходить своє відображення на стратегії корпоративного контролю, емісійній та дивідендній політиці АТ.

Стратегія корпоративного контролю спрямована на забезпечення відповідності результатів організації управлінської діяльності вимогам учасників корпоративних відносин. Формування стратегії корпоративного контролю обумовлює характер дивідендної та емісійної політики. З метою формування корпоративного контролю емісійна політика АТ буде спрямована на збереження або коректування структури капіталу шляхом додаткової емісії акцій з метою оптимізації впливу учасників КВ. Тому, з одного боку формування емісійної політики залежить від мети корпоративного контролю (збереження або перерозподіл існуючого співвідношення впливу учасників КВ), а з другого – забезпечує стратегію корпоративного контролю.

Реалізацією стратегії корпоративного контролю є розподіл повноважень між органами вищого керівництва, основним завданням чого є досягнення такого співвідношення незалежності управління та контролю над діями виконавчих органів, що відповідає умовам співробітництва учасників КВ, які було прийнято на стадії формування КВ. Ефективність від такого співвідношення залежить від якості комунікативного зв'язку між органами вищого керівництва та полягає у мінімальному рівні витрат, що пов'язано з виникненням корпоратив-

них конфліктів не тільки між акціонерами та вищим керівництвом, а серед органів вищого керівництва та окремих їх членів. Зміст кожної клітини означає основні завдання та повноваження органу управління (по горизонталі) стосовно відповідного органу управління в АТ (по вертикалі). Загальні збори акціонерів, спостережна рада та виконавчий орган представлені багатомірною кількістю членів, що можуть належати до груп учасників КВ, інтереси яких суперечать між собою. Тому, реалізація повноважень членів даних органів управління потребує згоди стосовно прийняття певного рішення, перш за все, всередині відповідного органу управління. Удосконалення взаємовідносин між членами АТ полягає в приведенні у відповідність можливостей АТ щодо забезпечення загальної цілі АТ, у розробці методичних підходів до процесу прийняття стратегічних рішень і повинно здійснюватися з урахуванням інтересів всіх груп учасників КВ.

Забезпечення взаємозв'язку між органами управління потребує формування та дотримання принципів корпоративного контролю, що створює умови щодо забезпечення ефективності корпоративного управління в умовах різних факторів впливу. Вплив певних факторів обумовлює характер корпоративного контролю, тому, формальність прийнятих норм та правил поведінки значно знижує гнучкість та адаптивність існуючої системи управління зовнішній середі підприємства. На особливу увагу в процесі забезпечення дотримання принципів корпоративного управління у АТ заслуговують процедури формування стратегії корпоративного контролю та формування системи моніторингу корпоративного контролю. На етапі формування стратегії корпоративного контролю основним завданням корпоративного управління є складання плану дій щодо подолання розривів між потенціальним характером корпоративних відносин, що сприяє знаходженню балансу інтересів учасників, та фактичним станом, який характеризується суперечністю дій учасників, існуванням певних корпоративних конфліктів. Система моніторингу корпоративного контролю, є засобом контролю результатів управлінської діяльності та результатів впливу учасників корпоративних відносин. Оцінка типу та характеру корпоративного контролю сприяє прозорості взаємовідносин між учасниками КВ та стимулює їх щодо досягнення відповідності інтересів релевантних груп учасників інтересам інших учасників.

УДК 658.012.32

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ СЕГМЕНТАЦІЇ ТОВАРНОГО РИНКУ

Яхкінд В.П. (м. Харків, Україна)

The thesis deals with the problem of improvement of management mechanisms in the enterprises of industrial complex. In this work there is a methodical basis of information supply of an enterprise as well as the assessment of capacity of the commodity market.

Аналіз і оцінка стану міжнародних ринків тісно пов'язані з визначенням їх привабливості та конкурентних переваг, якими може скористатися підприємство на цих ринках. Привабливість того чи іншого сегменту ринку розглядається як сукупність факторів, які визначають стратегічний успіх підприємства, що виходить на цей ринок. Проте, на такі фактори, особливо коли вони пов'язані з міжнародним середовищем, підприємство практично не може впливати. Водно-

час, на фактори, що характеризують відносні конкурентні переваги, підприємство може вплинути. Оцінка привабливості і конкурентних переваг здійснюється в процесі сегментування ринку. Класичний маркетинг передбачає традиційну схему обробки результатів маркетингового дослідження, яке засновано на простому відборі цільових ринків.

Найбільш перспективним буде ринок, що має максимальну кількість балів. Аналіз за допомогою аддитивної оцінки актуальний у тих випадках, коли кількість досліджуваних ринків невелика або коли для розробки маркетингової стратегії достатньо одержати лише узагальнену оцінку. В інших випадках такий аналіз є обмеженим, оскільки він не враховує внутрішньогрупові варіації.

У той же час, будь-якому підприємству доводиться проводити роботу з вибору із безлічі потенційних ринків таких, які для нього найпривабливіші, на яких з найменшими витратами можна досягти комерційного й фінансового успіху. Саме це й обумовлює необхідність проведення більш детального аналізу. Крім того, аналогічну роботу періодично корисно виконувати ще й для тих ринків, на яких підприємство вже досить давно реалізує свої товари (послуги). У результаті вивчення ринків проводиться їх упорядкування, а саме вишикування ринків закордонних країн у послідовності зменшення інтересів підприємства до цих ринків (в залежності від умов реалізації на них товарів).

У загальному вигляді можна виділити три типи задач класифікації ринків, які можуть бути вирішені різними методами (табл. 1). На практиці найчастіше вирішується задача ранжирування ринків за яким-небудь одним показником, тому що застосовані для її рішення методи найбільш тривіальні. У той же час досить простим і ефективним серед методів, які розглянуті у табл.1, є метод 2.2, який розглядає характеристики ринків у якості критерії. Основою для проведення ранжирування ринків є ряд критеріїв, таких як місткість ринку; частка ринку; обсяги інвестицій у галузях, які споживають товари, вироблені підприємством; величина валового внутрішнього продукту (ВВП) на душу населення; технічний рівень виробів-аналогів та їх ціни; географічне положення ринку; величина митних зборів; тенденції росту чи зменшення відповідного сегменту зарубіжного ринку; достатність ресурсів для підтримки присутності підприємства на обраному ринку; шанси на успіх у конкурентній боротьбі (наскільки конкуренти готові поступитися обраним сегментом світового ринку); прибутковість роботи на конкретному ринку; доступність каналів збуту (можливості підприємства розробити дієву стратегію просування товару) тощо.

Практика маркетингових досліджень показує, що дані про місткість ринку тих чи інших товарів та про частку, яку займають окремі виробники, викликають найбільший інтерес у товаровиробників. Вони необхідні як для розширення позицій підприємства, яке вже займає стійкі позиції на ринку, так і для підприємств, які тільки планують розпочати ринкові операції. Вивчення місткості та попиту на ринку передбачає визначення обсягу продажів на виділеному ринку певної марки чи сукупності марок товару за конкретний період часу. При цьому можливе застосування різних методів, порівняльна характеристика яких представлена в табл.2.

Місткість ринку (E_{ji}), являє собою обсяг (кількість) споживаних (реалізованих) на ньому товарів при найсприятливіших умовах за визначений проміжок часу (в основному за рік). Вона розраховується, як правило, у фізичному та вар-

тісному вираженні, за допомогою одного з представлених у табл.2 способів. Чим більше обсяг реалізації товару, аналогічного або близького за характеристиками до пропонованого підприємством, тим вище імовірність його продажу на даному ринку. Якщо кількість аналізованих ринків N , то ранжирування буде виглядати, як $E_{j1} \geq E_{j2} \geq \dots \geq E_{jN}$, з найбільш привабливим ринком $j1$.

Таблиця 1

Задачі класифікації товарних ринків і методи їх рішення

№	Клас завдань	Методи рішення
1.	Ранжирування ринків за однією найважливішою характеристикою	1.1. Метод сортування (розташування ринків в порядку зростання (зменшення) обраної характеристики.
2.	Ранжирування ринків за деякою ознакою, яка не може бути оцінено безпосередньо, наприклад за привабливістю для виробника	2.1. методи одномірного шкалювання: – метод таксонометричного показника; – метод ранжирування бальних оцінок; – метод парних порівнянь; – метод медіани Кемені. 2.2. Методи, засновані на інтерпретації показників, що характеризують ринки, як критеріїв (в просторі критеріїв будується скалярна функція, що виставляє кожному ринку оцінку його "якості")
3.	Розбивка всієї сукупності ринків на групи (наприклад, групу найпривабливіших, групу перспективних і групу безперспективних ринків)	3.1. Методи кластерного аналізу: – метод проток; – метод дендритів; – ієрархічна класифікація 3.2. Оптимізаційні методи

Місткість ринку тісно пов'язана з попитом (C_{ji}). Чим більше попит на даний товар, тим більше місткість ринку, і навпаки. Якщо місткість ринку визначає його можливість спожити (поглинути) товар, то попит означає бажання й можливість покупців купити товар, тобто можливість підприємства-експортера продати на даному ринку свій товар. Таким чином, обсяг попиту може перевищувати місткість ринку, оскільки товар може бути не весь спожитий на даному ринку, але вивезений в інші країни. Попит і місткість ринку можуть бути активними, реальними і потенційними.

Визначаючи місткість і попит на ринку, підприємство, що виходить на закордонний ринок, не вправі розраховувати на їх задоволення у повному обсязі. До уваги також варто брати також й присутність підприємств конкурентів. Тому важливо також мати дані про власну частку на цільовому ринку (якщо підприємство вже присутнє на ньому) й зробити розрахунок можливої частки на ринку в майбутньому (при виході на ринок чи при оцінці результатів майбутньої своєї діяльності). Частка i -го ринку (d_i) може бути розрахована як відношення обсягу реалізації (O_i) товару на i -м ринку в одиниці часу до його ємності ($d_i = O_i / E_i \times 100\%$). Відповідно чим вище частка ринку підприємства, тим більше сприятлива ситуація складається для нього на ринку. Ранжирування за даним показником буде представлено як $d_{j1} \geq d_{j2} \geq \dots \geq d_{jN}$, т.ін. $d_{j1} = \{max d_1, d_2, \dots d_N\}$.

Дуже важливим показником при вивченні ринку є співвідношення попиту та пропозиції по конкретному товару, оскільки воно багато в чому визначає рівень цін та характер ринку. Аналіз пропозиції базується на вивченні таких показників як: склад підприємств-продавців за ознакою географічного розташування; склад підприємств-продавців за ознакою технічного способу виготовлення продукції; асортимент продукції, що випускається підприємствами досліджуваної галузі промисловості; показники пропозиції продукції на ринку; обсяги виробництва продукції (може використовуватися як кількісна характеристика можливих обсягів реалізації продукції).

Розглянуті методичні засади сегментації товарних ринків дозволяють окреслити напрямки розвитку маркетингової діяльності підприємства, визначити пріоритетні ринки для початку товарної експансії. У той же час немаловажне значення має детальний аналіз ринків збуту. Глибина і напрямки досліджень у великій мері залежить від характеру діяльності підприємства, його продукції, ступеня диверсифікованості продукції, розмірів капіталу і рівня доходів. Масштаб проведення досліджень визначається також цілями і стратегією підприємства. Крім цього в процесі розробки маркетингової стратегії обов'язково слід враховувати ще й певне коло додаткових показників, основними з яких буде ступінь конкурентоспроможності продукції, яку випускає підприємство та його можливості щодо задоволення платоспроможного попиту споживачів. Саме це положення обумовлює необхідність подальшого проведення більш глибокого аналізу.

Таблиця 2

Порівняння методик визначення ємності ринку

Метод	Характеристика	Переваги	Недоліки
Аналіз вторинної інформації	Включає в себе аналіз усієї документації, яка може містити відомості про потрібний зовнішній ринок та може бути корисною в маркетинговій діяльності: статистичні дані, дані органів управління, огляди ринку, спеціалізовані журнали, дані Internet і т.ін. При цьому, інформація частіше за все виявляється неповною, досить складною для практичного використання та, найчастіше, сумнівного ступеня вірогідності	Один з найдешевших способів оцінки місткості ринку. Більш швидкий спосіб у порівнянні з проведенням польових досліджень	Уривчастість одержуваної інформації, висока узагальненість даних й відсутність конкретності, не завжди ясний спосіб її отримання
Вивчення ринку з позицій виробництва і реалізації продукції	Включає дослідження підприємств виробників, оптової і роздрібною торгівлі. Інформація, отримана з цього джерела, дозволяє визначити реальні обсяги збуту, представленість виробників й торгових марок. Таке дослідження проводиться більш швидко. При цьому необхідно врахувати як точність і вірогідність інформації, наданої продавцями, так і репрезентативність опитаної вибірки продавців усієї генеральної їх сукупності (усієї маси діючих на ринку торгових точок, що продають продукцію)	У порівнянні з вивченням споживачів більш швидкий і дешевий спосіб. Дозволяє виявити думку продавців про систему збутової діяльності виробників	Складність збирання інформації. Часті відмовлення. Можливість надання неточної, свідомо помилкової інформації продавцями

Витрати і поводження споживачів	Досліджуються або витрати, які зробили споживачі, або частота покупок й обсяги продукції, що купується, спільно з середньою роздрібною ціною продажу або норми витрати даного товару. Дослідження дозволяє оцінити ставлення споживачів до тієї або іншої марки, обсяги разової покупки, частоту придбання товару, очікувану ціну на товар, ступінь розрізнення і лояльності до брендів, мотивацію вибору марки товару й т.ін. Вірогідність інформації залежить від того, наскільки правильно й правдиво покупці відтворять дані про своє споживання	Дослідження всього асортименту продукції, широта одержуваної інформації. Можливість визначення широкого кола оцінок споживачами виробників та їх діяльності	Більш тривалі строк проведення дослідження. Складність перевірки правдивості інформації, отриманої від споживачів. Більш витратний метод
На основі норм споживання	Цей підхід використовується, як правило, для продовольчих товарів, сировини та видаткових матеріалів. Статистичною основою для розрахунків служать річні норми споживання на одного мешканця й загальна чисельність населення. Підсумкова цифра ємності виходить шляхом перемноження норми споживання на одного мешканця й загальної чисельності населення	Дешевий та швидкий спосіб, ідеальний для попередньої оцінки місткості закордонного ринку	Один з самих неточних методів розрахунку. Не дозволяє оцінити місткість ринку за асортиментними позиціям
Визначення місткості ринку на основі "приведення" обсягів продажу	Застосовується, якщо відома місткість одного закордонного ринку. Саме вона є основою для розрахунку місткості іншого ринку шляхом коректування її за допомогою коефіцієнтів приведення. Подібну методику розрахунку використовують підприємства, що мають значний досвід на окремих географічних ринках. В розрахунках використовуються дані про реальний обсяг реалізації продукції та фактори, що визначають продажі. За допомогою останніх визначаються коефіцієнти приведення продажів одного ринку до іншого (коефіцієнти приведення чисельності населення, середньої заробітної плати, урбанізації, ціни, особливості споживання і т.ін.)	Найдешевший й достатньо швидкий спосіб визначення місткості ринку. Дозволяє обійти-ся тільки внутрішньою маркетинговою інформацією, підключивши безкоштовні зовнішні джерела	Виходять дуже приблизні дані, не враховується багато специфічних особливостей досліджуваного ринку. Спосіб доступний за умови наявності точної та значної статистичної вибірки

УДК 658.52.011.56

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОРРЕКЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Тихенко В.Н., канд. техн. наук, Жеглова В.М.

(г. Одесса, Украина)

The features of a design of electrohydraulic system are considered which is used for increase of accuracy of processing on turning machine tools. The micromovings of a cutter are carried out at the expense of deformation of tool post, which is executed as an elastic element.

Одним из наиболее эффективных способов повышения точности операций металлообработки является применение различного рода адаптивных и корректирующих систем. Реализовать функцию управления точностью обработки можно с помощью любого элемента технологической системы, однако наиболее удобно для этих целей использовать режущий инструмент (или узел, несущий инструмент), так как он осуществляет основную функцию технологической системы, а его стоимость в большинстве случаев не превышает 1% от общей стоимости входящего в нее оборудования. Современный подход к созданию сверхпрецизионного оборудования базируется на использовании мехатроники – синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими, гидравлическими и компьютерными компонентами, что обеспечивает проектирование и производство качественно новых станков с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.

Поскольку обычные звенья станков часто не отвечают указанным требованиям (из-за наличия стыков и сил трения в них появляются нелинейности и гистерезис характеристик), создают специальные звенья, чаще всего упругие, и встраивают их в состав мехатронных устройств. Упругое звено в определенных пределах имеет прямолинейную зависимость механического перемещения от действия силы. Поэтому разработки специальных упругих звеньев должны сводиться к тому, чтобы получить конструкцию устройства безгистерезисной. Встроенные упругие элементы не должны сокращать возможностей станка, снижать жесткость и виброустойчивость технологической системы. Чтобы жесткость упругих элементов не вносила заметных изменений в баланс упругих перемещений технологической системы, как правило, эта жесткость должна быть не менее чем на порядок выше жесткости наиболее податливых элементов технологической системы.

При разработке конструкции мехатронных устройств из типовых деталей или в процессе формирования конфигурации новых деталей возникает необходимость определения деформаций и напряжений в их элементах с учетом геометрических параметров деталей и реальных нагрузок.

С целью компенсации погрешностей при тонком растачивании в Одесском национальном политехническом университете разработана и исследована шпиндельная головка отделочно-расточного станка с гидравлической системой управления траекторией вращения резца борштанги [1, 2].

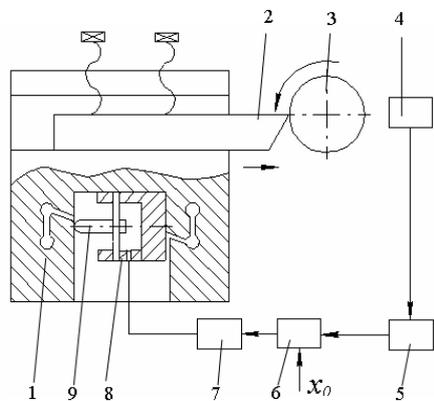


Рис. 1. Схема электрогидравлической системы коррекции положения вершины токарного резца.

Значительно снизить гистерезис и повысить повторяемость (воспроизводимость) микроперемещения резца оказалось возможным при введении дополнительной обратной связи по давлению в регулируемой полости фланца борштанги. Аналогичный подход использовался при разработке электрогидравлической системы коррекции положения вершины токарного резца (рис. 1).

В верхней части упругого элемента 1 рез-

цедержателя, который выполнен в виде параллелограмма, закреплен резец 2. Действительный размер обрабатываемой детали 3 в плоскости, проходящей через вершину резца перпендикулярно оси детали, измеряется при помощи бесконтактного датчика 4. Сигнал от датчика поступает на усилитель 5, а затем на сравнивающее устройство 6, где сравнивается с величиной задающего сигнала x_0 . Результирующий сигнал от сравнивающего устройства приходит на электрогидравлический усилитель 7, который управляет величиной давления в полости мембранного гидроцилиндра 8. Воздействие корпуса гидроцилиндра и его штока 9 на внутренние плоскости упругого элемента вызывает смещение

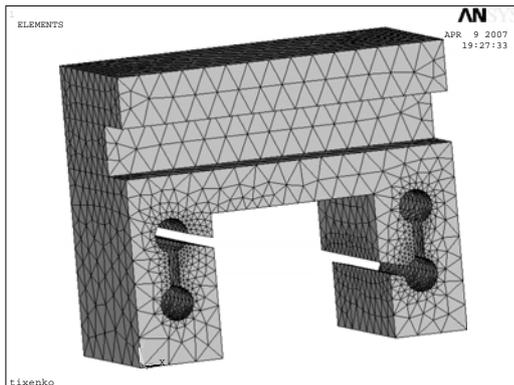


Рис. 2. Модель упругого элемента резцедержателя с разбиением на конечные элементы.

резца (в направлении к обрабатываемой детали или от нее). В электрогидравлическом усилителе выполнена дополнительная обратная связь по давлению в полости гидроцилиндра (на схеме не показана).

На следующем этапе определялись зависимости перемещений упругого элемента от давления в полости гидроцилиндра. Кроме того, следовало оценить напряжения, которые возникают в элементе в результате действия нагрузок. Для этого использовался метод конечных элементов и программный комплекс ANSYS (рис. 2). Результаты моделирования пока-

зывают возможность получения стабильных перемещений на уровне микрометров, что позволяет осуществлять коррекцию положения вершины резца при токарной обработке.

Литература: 1. Линчевский П.А., Джугурян Т.Г., Тихенко В.Н. Расширение функциональных возможностей гидроприводов отделочно-расточных станков // Збірник наукових праць Кіровоградського держ. техн. ун-ту. – Кіровоград. 2003. Вип. 13. – С. 98–103. 2. Тихенко В.Н., Жеглова В.М. Компьютерное моделирование упругих деформаций борштанги привода микроперемещений отделочно-расточного станка // Труды Одес. политехн. ун-та. – Одесса. 2005. Вып. 2(24). – С. 57 – 60.

УДК 621.375.8

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

Мосьпан В.Н., Посмих Ю.Г. (г. Днепропетровск, Украина)

In work experience of use of laser technics in various branches is described: aviation, exact mechanical engineering, etc. Application of laser technics for the decision of problems{tasks} of operative manufacture of experimental batches of products and increases of a commercial crop of manufacture allows to provide the minimal thermal influence

Физико-техническая лаборатория (г. Днепропетровск) имеет в своем распоряжении три лазерные установки с твердотельными кристаллическими излучателями и ЧПУ на аэростатических опорах с линейными двигателями по координатам, что является прекрасной базой для решения задач высокоточного

производства и специализируется на разработке и применении лазерных технологий для цветных, нержавеющей, черных металлов и керамики.

Направленность наших работ: прецизионный крой, перфорация капиллярных отверстий, изготовление плоских и цилиндрических фильтров с капиллярными отверстиями или просечками. Точность изготавливаемых деталей – до 10 мкм, а с модернизацией возможно и до 1 мкм. Диаметр производимых капиллярных отверстий 50–200 мкм. Расстояние между соседними просечками для фильтров составляет 300 мкм. Качество реза зависит от скорости перемещения лазерного луча и применения технологических газов (кислорода, азота, гелия и др.).

Опыт применения лазерных технологических комплексов показал, что эту технику выгодно применять для оперативного производства опытных экземпляров изделий, опытных партий, мелких серий. В этом случае опытное изделие стоит в несколько раз ниже, чем изготовленное традиционным способом. Время изготовления изделия, после получения чертежа, составляет в среднем 2–4 смены, вместо 2–3 месяцев. Такие сроки изготовления изделий существенно сказываются на динамичном освоении выпуска новой техники, развитии производства. При этом появляется возможность быстрой реакции на потребности рынка и технической модернизации изделий. В технологической подготовке производства исключается создание большого инструментального парка, что ведет к экономии финансовых и материальных ресурсов, высвобождению производственных площадей.

Применение лазерной технологии меняет культуру производства, позволяет улучшить технологичность и качество сборки готовых изделий за счет точного изготовления и отличной повторяемости изготавливаемых деталей. Следует указать на следующие преимущества лазерной обработки: возможность обработки упрочненных деталей любой твердости с минимальным термическим воздействием; сохранение магнитных свойств электротехнических сталей в изделии на 10–15%, а в некоторых случаях до 80%, выше чем при штамповке; улучшается технология балансировки изделия; возможность обработки материалов толщин от миллиметровых до микронных.

Лаборатория принимает заказы на изготовление изделий методом лазерной резки из черного, нержавеющей и цветного металлов, керамики, изготовление плоских, цилиндрических фильтров с капиллярными отверстиями или просечками. Поставляет лазерные технологические комплексы. Запросы на выполнение заказов принимаются по телефону: 8-056-370-01-85, электронная почта E-mail: ftlab@ukr.net

СОДЕРЖАНИЕ

1. Научные концепции развития технологии машиностроения, механической и физико - технической обработки

Поздравляем. К 75-летию академика Национальной академии наук Украины Новикова Николая Васильевича.....	3
Поздравляем. К 65-летию Заслуженного деятеля науки и техники Украины, доктора технических наук, профессора Проволоцкого Александра Евдокимовича	6
Новиков Ф.В., Яценко С.М. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов.	8
Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Экспериментальные исследования параметров точности механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона в условиях массового производства.	20
Якимов А.В., Лебедев В.Г., Якимов А.А. Определение условий возникновения параметрического резонанса при прерывистом шлифовании.....	30
Лебедев В.Г., Якимов А.А. Определение геометрических параметров прерывистых кругов, обеспечивающих требуемую степень понижения температуры.....	36
Лавриненко В.И., Пасичный О.О., Сытник Б.В. Особенности формирования микропрофиля поверхности при использовании кругов из СТМ со специальным режущим слоем.	40
Крюк А.Г., Браташевский А.Ю., Дудко П.Д. Научно-технический прогресс, информация и проблемы подготовки менеджеров в условиях начала XXI века.....	43
Ларшин В.П., Лищенко Н.В., Якимов А.В. Определение глубины резания при шлифовании.....	45
Ларшин В.П., Гречиха А.А. Анализ эффективности применения твердых технологических смазок.	51
Лебедев В.Г., Якимов А.А. Определение времени теплового насыщения.	53
Якимов А.А., Якимова О.А., Мищенко А.Н. Метод повышения производительности зубошлифовальных станков МААГ.....	55
Шкурупий В.Г. Изменение шероховатости поверхности в процессе длительного хранения или эксплуатации в условиях воздействия светового потока.....	60
Подкорытов А.Н., Савельева Е.В., Исмаилова Н.П. Параметрическое моделирование тел спиралевидной формы в системе AUTODESK INVENTOR.....	64
Подкорытов А.М., Исмаилова Н.П., Савельева О.В., Математична та комп'ютерна модель спряжених криволінійних поверхонь з точечним контактом.....	67
Карпусь В.Е., Миненко Д.А. Выбор наиболее выгодных периодов стойкости с учетом надежности инструментов.	70
Михайлин С.М., Худобин Л.В., Веткасов Н.И. Технологическая эффективность шлифования кругами, изготовленными по СВЧ-технологии.	73
Ямников А.С., Маликов А.А., Золотухина О.Л. Конструкции взаимозаменяемых зуборезных резцов.	76

Маликов А.А. Новая технологическая схема обработки цилиндрических зубчатых колес.....	79
Артамонов В.Д. Управление процессами зубонарезания цилиндрических колес резцовыми головками.....	83
Троицкий Д.И., Губарев П.В. Автоматизированная оценка материалоемкости на ранних этапах жизненного цикла изделия.....	89
Ямникова О.А., Балашева Ю.В. Автоматизация выбора схемы базирования при обработке точением.....	94
Дударев А.С., Свищёв В.И. Теоретическое определение силовых показателей при сверлении углепластиков.....	97
Новиков Г.В. Оптимизация параметров режимов шлифования.....	99
Макурин Н.С., Тютюнник В.В. Оптимизация специализации структуры производственного подразделения.....	109
Макурин Н.С., Тютюнник В.В. Математическое описание технологического процесса изготовления изделия.....	116
Хавин Г.Л. Износ инструмента и критерии затупления при механической обработке стеклопластиков.....	102
Клещев Г.М. Геометрическая и математическая модели адаптивного процесса в интегрированном промышленном комплексе.....	123
Чистяк В.Г., Воробьев Ю.А. Пневмоимпульсные лепальные молотки в импульсных технологиях.....	128
Новиков С.Г., Малыхин В.В., Новиков Ф.В. Модель взаимодействия алмазных зерен с органической связкой круга при шлифовании.....	134
Новиков Г.В., Малыхин В.В. Исследования параметров силовой напряженности абразивной обработки.....	140
Дудин А.Т., Новиков Ф.В. Конструкторское обеспечение новых технологий шлифования.....	154
Гасанов М.И., Новиков Ф.В. Повышение эффективности процесса круглого внутреннего алмазного шлифования твердосплавных вставок.....	168
Матюха П.Г., Стрелков В.Б., Цокур В.П. Влияние времени обработки на коэффициент шлифования твердого сплава ВК15.....	173
Новиков Г.В., Дитиненко С.А. Определение условий повышения точности и производительности механической обработки.....	180
Макаров В.Ф., Чигодаев Н.Е., Токарев Д.И., Туктамышев В.Р. Исследование и моделирование процесса хрупкого разрушения твердосплавных протяжек при протягивании жаропрочных сплавов.....	185
Ларшин В.П., Гречиха А.А. Технология формообразования деталей машин в компьютерных системах проектирования.....	187
Рибалко А.П., Ларшин В.П. Особенности програмування токарної обробки у комп'ютерній системі ЧПК "Flex NC".....	191
Ларшин В.П. Компьютерное моделирование и исследование зоны контакта при профильном шлифовании.....	194
Ларшин В.П. Компьютерные методы творчества при создании технических систем.....	199
Фесенко А.В. Использование кавитации при обработке СОЖ.....	202

Карпусь В.Е., Котляр А.В. Анализ интенсивности формообразования стержневым инструментом.	205
Карпусь В.Е., Иванов В.А. Основные положения выбора установочно-зажимных приспособлений для станков с ЧПУ.	208
Погрібний М.А., Сизий Ю.А., Волков О.О. Вплив чистової шліфувальної обробки після ТФО на структуру сталі 65Г.	212
Савченко Н.Ф., Соломяный А.У., Павиченко В.П. Необходимость и особенность проектирования энергоемких высокобезопасных импульсных устройств для технологии машиностроения.	218
Сурду Н.В., Телегин А.В. Усовершенствование кинематики процесса глубинного шлифования.	224
Сурду Н.В., Телегин А.В. Высокопроизводительное шлифование плоских поверхностей.	227
Шаповалов В.А. Технология изготовления косозубых зубчатых колес методом порошковой металлургии.	229
Новиков Ф.В., Рябенков И.А., Кленов О.С. Глубинное алмазное шлифование быстрорежущей стали.	232
Ковальчук А.Н. Исследование параметров точности обработки при круглом врезном шлифовании.	236
Руднев А.В. Качество поверхностного слоя пластин АТПМ после алмазно-искрового шлифования.	247
Гуцаленко Ю.Г. Геометрическая интерпретация работоспособности алмазных зерен в шлифовальных кругах и её практическое использование.	251
Ботвинников Б., Прокофьев А.В. Наноабразивная обработка супергладких ювенильных металлических поверхностей.	255
Ибрагимов И.М., Перфилова Е.А. Применение экологичности наноразмерной обработки деталей машин.	256
Иванайский А.В., Костоньяро А. Технология турбоабразивной обработки заготовок в кавитирующей СОЖ.	257
Ломаев В.И. Фракталы в размерной обработке деталей из композитов.	259
Польцер Г., Свириденко Д.С. Особенности процесса износа инструмента при нанолезвийной обработке.	261
Громов В. В., Забара А. С. Анализ и построение кинематики резьборезного привода подач с суммирующей винтовой передачей.	262
Бондарь В.И., Гусарев В.С., Панов Л.И. Оборудование автоматизированной сборки и монтажа изделий.	265
Фадеев А.А. Дискретное представление образующей фрезеруемого паза концевой фрезой.	269
2. Прогрессивные технологии, оборудование, инструменты и технологические системы	
Кириченко Л.Р., Борисевич В.К., Савченко Н.Ф. Научная школа профессора Пихтовникова Ростислава Вячеславовича.	271
Скобло Т.С., Коломиец В.В., Ридный В.Ф., Ридный Р.В. Влияние режимов нанесения и доли зольных добавок во флюс на твердость покрытия. ...	277

Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Поздняков Н.Г. Анализ качества закаленных гильз цилиндров по отклонениям коэрцитивной силы.	281
Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Марченко М.В. Определение измерительного процесса при замере коэрцитивной силы во втулках цилиндров на стабильность средних размеров и размахов.	285
Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Пасько Н.С. Исследование качества чугуна с шаровидным графитом введением шлакообразующих смесей.	289
Тришевский О.И. Расширение возможностей валковой формовки для получения длинномерных замкнутых продольных гофров.	293
Шестиалтынов В.К., Спольник А.И., Власенко В.Г. Дозиметр радиоактивной загрязненности продуктов в условиях повышенного фона окружающей среды.	298
Золотарев В.М., Карпушенко В.П., Золотарев В.В., Науменко А.А. Транспорт электрических зарядов коаксиальным слоем диэлектрика, движущегося через область ионизированного газа.	300
Спольник А.И., Волчок И.В. Влияние структурного состояния аустенитных сталей на их кинетические характеристики.	304
Лалазарова Н.А., Путятин Л.И., Нестеренко Е.А., Проскурня Н.А. Выбор материала и термической обработки для ножей бульдозеров.	306
Гладкий И.П., Мощенок В.И., Глушкова Д.Б., Тарабанова В.П., Черняева А.В. Характер трещинообразования в деталях машин в процессе эксплуатации.	311
Аксенова С.И., Земляной В.Б. Склонность к замедленному разрушению и электронная фрактография цементированной стали 07Х3ГНМ.	315
Подобедов В.В., Сатановський Є.А., Каракуркчі Д.А., Грязева Г.В. Про способи вирішення задачі дистанційного визначення радіоактивного забруднення.	318
Подобедов В.В., Сатановський Є.А., Каракуркчі Д.А., Статінов О.В. Про методи знешкодження токсичних викидів.	322
Малютин Э.С., Подобедов В.В., Гета С.И. Использование осадков центральных очистных сооружений в формовочных и стержневых смесях.	327
Бабай Н.П., Любченко А.П., Мельничук Н.С. Моющее средство для обезжиривания деталей.	328
Цюрюпа В.Н. Хромирование титановых сплавов.	329
Лобанов В.К., Пашкова Г.И. Упрочнение высокопрочного чугуна путем применения комбинированных методов.	331
Подобедов В.В., Лобанов В.К., Гаркушенко В.А., Кислицын В.П. Оценка склонности к хрупким разрушениям материала деталей ответственного назначения с помощью испытаний на статический изгиб.	333
Чуйкова Е.В., Лобанов В.К., Аксенова С.И. Влияние термической обработки на свойства сплава АЛ-25, закристаллизованного под давлением.	338
Гладкий И.П., Мощенок В.И., Глушкова Д.Б., Тарабанова В.П., Мищенко Л.Д. Связь между структурными изменениями и характером разрушения отливок турбин после эксплуатации.	342
Спольник А.И., Калиберда Л.М., Уклеина Е.Г., Чегорян М.А. Измере-	

ние концентрации растворов.....	345
Ефименко Н.Г. Водопроницаемость металла сварных швов ОЦК сталей, микролегированных иттрием.	348
Батыгин Ю.В., Лавинский В.И., Сериков Г.С., Чаплыгин Е.А. Возможности магнитно-импульсной технологии для рихтовки кузовных элементов автомобилей.	352
Браташевський О.Ю., Польотов В.А., Полякова А.Г., Горбачова Л.В. Оптимізація складу сталі і розробка технології термічної обробки різальних елементів силосозбирального комбайну “Марал”.....	356
Истомин А.Е., Киприч С.В., Колиушко Д.Г., Обруч И.В., Петков А.А. Визуализация в программном комплексе для расчета молниезащиты объектов.	360
Киприч С.В., Колиушко Д.Г., Петков А.А. Особенности нормативной базы для расчета молниезащиты.	364
Муштай В.С. Результаты полевых испытаний процесса распределения минеральных удобрений по глубине при локальном внесении.	367
Семенов В.Г. Цивілізація без нафти: стан та перспективи розвитку виробництва та застосування в Україні екологічно чистого біодизельного палива.	370
Колесникова К.В., Коць Н.А., Прокопович И.В., Прокопович О.И. Управление технологическими параметрами непрерывного литья медной катанки.	375
Вакуленко К.В., Казак И.Б., Кунченко Ю.В., Мацевитый В.М. Адгезионная и когезионная прочность многослойных вакуумно-плазменных покрытий....	376
Можарова Н.М. Исследование свойств двухслойных прокатных валков с рабочим слоем из высокохромистого чугуна.....	380
Власовец В.М. Исследование свойств стали 45 в состоянии поставки для изготовления деталей сельскохозяйственной техники.	384
Бондаренко С.И., Гладкий И.П. Повышение эксплуатационных свойств чугунов, работающих в условиях гидроабразивного износа.....	388
Борисевич В.К., Бахмет А.Г., Третьяк В.В. Влияние упрочнения и изменения толщины заготовки на максимальное напряжение при обжиге.....	392
Жовноватюк Я.С. К вопросу технологии электрогидравлической штамповки листовых конических деталей с нагревом.....	396
Третьяк В.В., Серикова Е.И., Бахмет А.Г. Возможности использования объектного подхода в заготовительно-штамповочном производстве на базе ресурсосберегающих технологий.	401
3. Динамика и прочность машин, проблемы математики, механики и управления	
Морачковский О.К., Ромашов Ю.В. Новые постановки задач ползучести лопаток турбомашин.	404
Бондарь С.В., Лавинский В.И. Термоустойчивость элементов конструкций... ..	410
Автономова Л.В., Анацкий Ю.П., Лавинский В.И. Оценка динамической прочности корпуса крупногабаритного ДВС.....	413
Степанов М.С., Степунин В.И., Назаренко С.А. Белозеров А.В. Анализ деформации корпуса однокаскадного золотникового гидрораспределителя.	416

Воробьев Ю.С., Гошкодеря В.П., Цыба А.Н. Особенности колебаний системы диск–лопатки–полки.	421
Воробьев Ю.С., Приймаков Г.А. Коэффициент динамичности силовых волновых зубчатых передач.	423
Воробьев Ю.С., Чернобрышко М.В., Ярышко А.В., Степанченко Д.И. Обработка результатов экспериментального исследования ударного нагружения цилиндрической оболочки.	425
Воробьев Ю.С., Стороженко М.А. Анализ влияния повреждений пакетов лопаток на локализацию вибрационных напряжений.	427
Милешкин М.Б., Библик И.В., Алексеева А.М. Влияние коррозионной поврежденности поверхности лопаток паровых турбин на усталостную долговечность.	430
Бабак Т.Г., Хавин Г.Л. Принцип комбинирования различных типов пластин в теплообменном аппарате.	432
Невзорова М.В., Малыхин В.В., Новиков С.Г. Способ отображения многомерных объектов на плоскость.	438
Марковчин В.Л., Малыхин В.В., Лунева Т.Н., Гордиенко В.В. Конвейеризация марковских алгоритмов для решения задач растеризации.	441
Соколов В.С., Малыхин В.В., Новиков С.Г., Соколова О.В. О поведении подмагниченного волчка в магнитном поле.	446
Марковчин В.Л. Продукционный алгоритм растеризации отрезков прямых и окружностей.	449
Ильин С.И., Довгаль В.М., Малыхин В.В. Концепция реализации хаотических автоматов.	454
Дегтярев С.А., Гордиенко В.В., Новиков С.Г. Метод криптографии на основе упорядочения и хаотической транспозиции.	457
Гапонов В.С., Гайдамака А.В. Об одной особенности функционирования высокоскоростных подшипников качения.	463
Автономова Л.В., Анацкий Ю.П., Лавинский В.И. Влияние структурно-технологических особенностей на динамические характеристики корпуса крупногабаритного ДВС.	467
Бирюков О.В., Лавинский Д.В., Соболев В.Н. Методы расчета на прочность составных матриц пресс-форм.	470
Гапонов В.С., Музыкин Ю.Д., Столбовой А.С. Реализация модели модифицированного ротатбельного центрального композиционного плана.	476
Гапонов В.С., Столбовой А.С., Музыкин Ю.Д. О влиянии режимов нагружения редукторов прокатного оборудования на долговечность.	480
Мац В.И., Наумов А.И. Динамический анализ системы “Двигатель винтовой компрессор” газоперекачивающей станции НД-24/Т20.	483
Симсон Э.А., Назаренко С.А., Трохман М.В., Марусенко С.И. Анализ чувствительности динамических характеристик элементов лопаточных машин.	489
Симсон Э.А., Назаренко С.А., Зенкевич Ю.А., Зюзин А.Ю. Анализ чувствительности динамических характеристик элементов ультразвуковых систем.	493

Бондарь С.В., Васюков Д.В., Лавинский В.И. Новые возможности компьютерных технологий на этапе проектирования современных конструкций.....	497
Свиргун О.А., Столбовой А.С., Свиргун В.П. О повышении точности расчетов гидродинамических подшипников скольжения.....	500
Довгаль В.И., Гордиенко В.В., Ильин И.В., Ильин С.И., Пузына Р.А. Проблема обработки хаотических процессов и пути ее решения.....	503
Довгаль В.М., Щекин Я.В. Программная реализация процессов симуляции программ для микроконтроллеров.....	509
Тютюнов Д.Н., Бойцова Е.А., Корольков О.Ф., Усикова Н.Ю., Евдокимов А.Н. Вариант вычисления логарифмической функции в точке с помощью экспоненты.....	511
Пучков С.Ю. Определение жесткости гидростатического узла соединения пространственного вибростенда.....	514
Чугай А.М. Оптимизация при компоновке энергомашиностроительного оборудования.	516
Проволоцкий А.Е., Кадильникова Т.М. Методика организации технического диагностирования машин.....	518
Бажанов О.І., Дащенко О.Ф., Панкратов М.М. Оптимізація параметрів полігона для прискорених ресурсних випробувань мобільних машин.....	522
Шатохин В.М., Зайцев А.И., Шаповалов А.В. О моделировании переходных режимов в приводе турбонаддува с гидрообъемной передачей для дизелей типа 6ТД.....	525
Шатохин В.М., Зайцев А.И., Кутовая О.В. Синтез параметров нелинейной модели машинного агрегата с дизелем 3ТД-4.	532
Гусев Ю.Б., Слободяник В.А., Ткачук Н.А., Танченко А.Ю. Исследование причин сверхнормативного износа реборд колес грейферной тележки мостового крана-перегрузателя и его динамических характеристик.....	540
Барчан Е.Н., Ткачук Н.А., Грабовский А.В. Моделирование динамических процессов инерционной выбивной решетки с использованием современных САПР.....	546

4. Экономика и организация производства

Орлов П.А. Ефективність впровадження й сертифікації систем менеджменту якості за стандартом ISO 9001:2000.....	552
Савченко Н.Ф., Крюк А.Г., Воликов В.В. Некоторые проблемы торговых посреднических услуг на рынках интеллектуального продукта.....	556
Тимофеев В.Н. К вопросу оценки временной эффективности инвестиционных процессов в производственной сфере.	560
Тимофеев Д.В. Динамические аспекты оценки конкурентоспособности техники на стадии проектирования.....	563
Смоловик Р.Ф., Линник Е.И., Тимофеев В.Н. Особенности отраслевых стратегий развития в условиях глобализации экономических систем.....	566
Паперовський В.Б. Особливості інвентаризації об'єктів інтелектуальної власності при реалізації інвестиційного проекту.....	568
Мищенко А.Н. Значение закона управления качеством для хозяйственно-	

го механізму.	572
Савченко М.М. Деякі аспекти формування кадрового потенціалу персоналу підприємства.	574
Смирнова Г.А. Особенности профессионально-трудовой социализации учащихся средних специальных учебных учреждений в переходный период к новым социально-экономическим условиям.	577
Мальцева А.А. (г. Курск, Россия). Подходы к формированию инкассационной политики предприятия.	580
Кульшова М.Ф., Шерстобитов С.И., Никитин В.И., Фисун С.С. Компьютерная диагностика профессиональной подготовки специалистов.	583
Панасюк Н.О. Діагностика організаційної культури визначених ціннісних орієнтацій персоналу науково-виробничої корпорації.	588
Новіков Ф.В., Яценко Е.С. Економічний аналіз рівня технологічної підготовки виробництва.	594
Акулова І.О. Стратегічні аспекти управління логістичною взаємодією в системі маркетингу партнерських відносин.	598
Андрюхіна Є.В. Бренд: суть і розробка.	602
Волкова М.В. Система управління витратами промислового підприємства.	607
Зубкова Л.В. Організаційно-економічні аспекти управління інноваційними процесами у виробничій діяльності підприємства.	611
Кожина О.М. Ресурсна стратегія підприємства.	616
Литвиненко А.О. Формування системи управління розвитком матеріально-технічної бази підприємства.	620
Лучанінов І.А. Інтеграційна стратегія акціонерного товариства.	624
Ляпун М.М. Економічні аспекти диверсифікації діяльності підприємства. ...	628
Пилипенко А.А. Особливості організації інформаційного забезпечення стратегічного розвитку в умовах партнерства підприємств.	633
Пилипенко С.М. Организация управления экономической безопасностью развития предприятия.	637
Писарчук О.В. Взаємоузгодження підсистем забезпечення системи управління інноваційним розвитком підприємства.	642
Полонська Ю.М. Проблеми прийняття управлінських рішень у податковому плануванні на підприємстві.	647
Попов О.Є. Інституціональне забезпечення корпоративного управління.	651
Поспєлов О.М. Оптимізація постачальницько-збутового процесу в системі управління витратами підприємства.	656
Романькова О.П. Організація регіонального управління соціально-економічним розвитком територій.	661
Філіповіч Т.Г. Структура механізму корпоративного контролю у акціонерному товаристві.	666
Яхкінд В.П. Методичні засади сегментації товарного ринку.	669
Тихенко В.Н., Жеглова В.М. Электрогидравлическая система коррекции положения инструмента при токарной обработке.	673
Мосьпан В.Н., Посмих Ю.Г. Опыт применения лазерной техники в производстве.	675

© Харьковская научно-производственная
корпорация "ФЭД", 2008

Научное издание

Труды 13-й Международной научно-технической конференции

Физические и компьютерные технологии

19–20 апреля 2007 года, г. Харьков

Составили: Новиков Федор Васильевич
Якимов Александр Васильевич

Ответственный за выпуск
Фадеев В.А.

Оформление оригинал-макета
Бондарь Н.Б., Новиков Д.Ф.

Подписано к печати 23.03.2007. Формат 60x90 1/16
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 42,6. Уч.-изл. л. 35,5
Тираж 300. Заказ № 751

Отпечатано в типографии завода "ФЭД". 61023, г. Харьков, ул. Сумская, 132