

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. СЕМЕНА КУЗНЕЦА
АССОЦИАЦИЯ ТЕХНОЛОГОВ-МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИМ. В.Н. БАКУЛЯ НАН УКРАИНЫ
ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ
КАФЕДРА ЮНЕСКО «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
АДАПТАЦИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К ПРОБЛЕМАМ
ПЕРСПЕКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ И ОБЩЕСТВЕННОГО ПРОГРЕССА»
ГВУЗ «ПРИАЗОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
ЛУЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ООО ХК «МИКРОН»
ООО «ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ВАРИУС»
ПАО ОДЕССКИЙ КАБЕЛЬНЫЙ ЗАВОД «ОДЕСКАБЕЛЬ»
ООО «ИМПЕРИЯ МЕТАЛЛОВ»

НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

*Материалы международной научно-технической
конференции*

23-25 сентября 2020 года

Одесса – 2020

Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: Материалы международной научно-технической конференции, 23-25 сентября 2020 г., г. Одесса – Одесса, ОНПУ: 2020. – 192 с.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

1. Перспективные технологии и производственные процессы будущего.
2. Современные ресурсосберегающие технологии.
3. Микро- и нанотехнологии в промышленности.
4. Высокопроизводительные инструменты и процессы в материалообработке.
5. Автоматизация технологических процессов в машиностроении и энергетике.
6. Метрологическое обеспечение новых и нетрадиционных технологий.
7. Экологическо-энергетические нетрадиционные технологии и перспективные направления их развития.
8. Технологическая динамика.
9. Методологические вопросы высшего образования в области новых технологий.
10. Новые технологии производственной безопасности.

Материалы представлены в авторской редакции.

К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА ЯКИМОВА АЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬЕВИЧА



16 марта 2020 года исполнилось 95 лет со дня рождения выдающегося ученого-технолога, теплофизика, механика и материаловеда, Заслуженного деятеля науки Украины, Лауреата Государственной премии Украины, академика Инженерной Академии Наук Украины, почетного профессора НТУУ "Киевский политехнический институт", доктора технических наук, профессора Одесского национального политехнического университета, основателя всемирно известной научной технологической школы **ЯКИМОВА АЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬЕВИЧА**. Его имя хорошо известно у нас в стране и за ее пределами. Он при жизни был признан классиком технологической науки, занял достойное место в ряду выдающихся ученых-технологов – основоположников современной науки о технологии машиностроения. Разработанный под его руководством метод прерывистого шлифования является и в настоящее время одним из наиболее эффективных методов высококачественной и высокопроизводительной обработки деталей машин, изготовленных из труднообрабатываемых материалов. Метод получил широкое применение во всех отраслях промышленного производства, в особенности в авиационном производстве, поскольку исключал прижоги и микротрещины на обрабатываемых поверхностях деталей, обеспечивал повышение производительности обработки. При этом исчезала потребность в правке шлифовального круга – он постоянно самозатачивался в процессе шлифования и обладал высокой режущей способностью. Это вызывало большой интерес производителей к разработанному методу прерывистого шлифования. Александр Васильевич умело руководил развитием этого чудо-метода и практическим применением, решая все новые и новые задачи по расширению его технологических возможностей.

Александр Васильевич подготовил более 50 кандидатов и докторов технических наук, многие из которых стали видными учеными, руководителями научных направлений и крупных промышленных производств, наполнили теорию и практику технологии машиностроения новыми решениями. Александр Васильевич – автор более 400 научных трудов (монографии, учебники, учебные пособия) и около 100 авторских свидетельств на изобретения и патентов.



Созданная Александром Васильевичем научная технологическая школа всегда находилась на острие развития технологической науки и создания новых технологий. Подготовленные им монографии и учебники по технологии машиностроения всегда отличались высочайшим уровнем научных технологических решений и большим практическим опытом воплощения их в жизнь.

Александр Васильевич был большим энтузиастом развития технологической науки, был очень трудолюбив, и это передавалось нам – его ученикам, которые и сейчас верны традициям своего Учителя.

Александр Васильевич родился и вырос в замечательной семье, где очень любили труд и знания, мужественно защищали свою Родину от немецко-фашистских захватчиков в годы Великой Отечественной войны, становились Героями войны, а в мирное время с таким же упорством учились и работали на благо своего народа. Все это с детства передалось Александру Васильевичу – он всегда добивался поставленных целей в учебе, работе, науке и общественной жизни.



Александр Васильевич был очень талантливым человеком. Его тянуло к получению новых знаний и творческой деятельности. Он много учился и работал. После окончания Московского авиационного института его пригласили в аспирантуру как наиболее подготовленного и талантливого выпускника, и он с честью справился с поставленными задачами: подготовил и защитил кандидатскую диссертацию. При этом показал себя высококвалифицированным специалистом, способным ставить и решать сложные научно-практические задачи. Так он вошел в большую науку, стал научным руководителем аспирантов. Лишь за несколько лет работы в Пермском политехническом институте подготовил шесть кандидатов технических наук. Причем, диссертационные работы были выполнены не в свойственном для технологии машиностроения стиле, а на основе но-

вых фундаментальных физико-математических решений о формировании параметров теплового процесса и параметров качества обработанной поверхности при шлифовании.

Работая в Пермском политехническом институте заведующим кафедрой «Технология машиностроения», Александр Васильевич своими научными разработками сумел заинтересовать многих специалистов с разных кафедр, в результате чего сформировался научный коллектив его последователей, ставший основой научной технологической школы профессора Якимова А.В.

В Одесском политехническом институте, куда в 1974 году Александр Васильевич перешел на работу заведующим кафедрой «Технология машиностроения», его научная технологическая школа получила дальнейшее развитие – в нее вошел большой отряд аспирантов и докторантов, защитивших диссертации уже в Одесском политехническом институте. В Одессе Александр Васильевич сумел наиболее полно раскрыть свой могучий талант и накопленный за многие годы работы в производстве, науке и образовании практический опыт. Здесь им написано много монографий, учебников, учебных пособий, статей, получено до 100 авторских свидетельств на изобретения. Руководимая им кафедра тесно сотрудничала с различными предприятиями и организациями, занимаясь разработкой и внедрением в производство новых технологий, оборудования, инструментов. В Одесском политехническом институте его детище – прерывистое шлифование – получило новое дыхание и широко внедрялось на предприятиях, а аспиранты защищали по этой тематике диссертационные работы.

Александр Васильевич очень любил науку, с большим уважением и заботой относился к своим ученикам. Для него наука и образование были целью жизни. Александр Васильевич постоянно участвовал в различных научно-технических конференциях и семинарах. Много сил и времени уделял организации их проведения в стенах Одесского политехнического института, куда с интересом приезжали ученые, специалисты и аспиранты со всех уголков нашей большой страны, чтобы увидеть и услышать новые технологические идеи этого замечательного и удивительного человека, каким был профессор Якимов Александр Васильевич. Особенно интересовала участников конференций и семинаров родная для Александра Васильевича тема шлифования, поскольку в то время изучению этого метода обработки уделялось очень большое внимание. В результате Одесский политехнический институт стал одним из самых привлекательных центров технологической науки.

С таким же интересом Александр Васильевич сумел организовать и проводил ежегодные научно-технические конференции в индустриальном городе Харькове на знаменитом Харьковском машиностроительном заводе «ФЭД», выпускающем современную авиационную технику. Конференции помогли мобилизовать ученых и специалистов после длительного застоя науки и производства в тяжелые для страны 1990-е годы. Под научным руководством Якимова Александра Васильевича было подготовлено и опубликовано 10-томное коллективное издание «Физико-математическая теория процессов обработки материалов и тех-

нологии машиностроения»». В нем отражены научные технологические достижения прошлых столетий и сформулированы научные концепции дальнейшего развития процессов обработки материалов и технологии машиностроения.



10-томное научное издание «Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения»

Том 1. Механика резания материалов (Новиков Ф.В., Якимов А.В., Новиков Г.В., Якимов А.А., Остафьев В.А., Кривошапка Ю.Н., Фадеев В.А., Ткаченко В.П., Мазур Н.П., Малыхин В.В., Иноземцев К.А., 2002 г. – 580 с.).

Том 2. Теплофизика резания материалов (Новиков Ф.В., Якимов А.В., Новиков Г.В., Якимов А.А., Остафьев В.А., Кривошапка Ю.Н., Усов А.В., Лебедев В.Г., Худобин Л.В., Хусаинов А.Ш., Ларшин В.П., Сизый Ю.А., Слободяник П.Т., 2003 г. – 625 с.).

Том 3. Резание материалов лезвийными инструментами (Новиков Ф.В., Якимов А.В., Новиков Г.В., Фадеев В.А., Зубарь В.П., Коломиец В.В., Кривошапка Ю.Н., Карюк Г.Г., Бочко А.В., Ямников А.С., Валиков Е.Н., Гнатюк А.П., Айрикян А.Л., 2003 г. – 546 с.).

Том 4. Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов (Новиков Ф.В., Якимов А.В., Новиков Г.В., Якимов А.А., Кривошапка Ю.Н., Ткаченко В.П., Рыбицкий В.А., Новоселов Ю.К., Проволоцкий А.Е., Негруб С.Л., Матюха П.Г., 2002 г. – 802 с.).

Том 5. Обработка металлов методами пластического деформирования (Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Крюк А.Г., Чистяк В.Г., Савченко Н.Ф., Морачковский О.К., Бреславский Д.В., Кривошапка Ю.Н., Лавинский В.И., Мовшович А.Я., Буденный М.М., Тришевский О.И., Плеснецов Ю.А., Юрченко А.А., 2004 г. – 522 с.).

Том 6. Качество обработки деталей машин (Новиков Ф.В., Якимов А.В., Новиков Г.В., Якимов А.А., Ларшин В.П., Лавриненко В.И., Новоселов Ю.К., Каинов Д.А., Коломиец В.В., Кривошапка Ю.Н., Дудко П.Д., Шкурупий В.Г., Браташевский А.Ю., Ткаченко В.П., Гуцаленко Ю.Г., 2003 г. – 716 с.).

Том 7. Точность обработки деталей машин (Новиков Ф.В., Якимов А.В., Новиков Г.В., Якимов А.А., Ларшин В.П., Фадеев В.А., Кривошапка Ю.Н., Дитиненко С.А., Оборский Г.А., Тонконогий В.М., Слободяник П.Т., 2004 г. – 546 с.).

Том 8. Оптимизация технологических процессов в машиностроении (Новиков Ф.В., Якимов А.В., Новиков Г.В., Якимов А.А., Ларшин В.П., Кривошапка Ю.Н., Проволоцкий А.Е., Ясев А.Г., Лапшин С.П., Малыхин В.В., Шелковой А.Н., 2004 г. – 509 с.).

Том 9. Проектирование технологических процессов в машиностроении (Новиков Ф.В., Якимов А.В., Якимов А.А., Ларшин В.П., Чумный Ю.И., Кривошапка Ю.Н., Емельянов С.Г., Куц В.В., Гуцаленко Ю.Г., 2005 г. – 584 с.).

Том 10. Концепции развития технологии машиностроения (Новиков Ф.В., Якимов А.В., Новиков Г.В., Якимов А.А., Ларшин В.П., Шепелев А.А., Лавриненко В.И., Кривошапка Ю.Н., Ковальчук А.Н., Яценко С.М., Шкурупий В.Г., Тигарев В.Н., 2005 г. – 565 с.).

Цель издания – новый физико-математический взгляд на проблемы механической, физико-технической обработки и технологии машиностроения; вооружение специалистов и ученых-технологов новыми фундаментальными знаниями для создания наукоемких технологий. В авторский коллектив издания вошли ведущие ученые-технологи и специалисты предприятий. Издание носит энциклопедический характер и охватывает все основные теоретические и практические вопросы, относящиеся к специальностям технологии машиностроения; механической и физико-технической обработки материалов.



*Коллектив кафедры «Технология машиностроения»
Одесского национального политехнического университета в день
88-летия профессора Якимов А. В. (15.03.2013 г.)*

Александр Васильевич очень любил авиацию. Весь его большой уральский род был связан с авиацией. В начале войны он работал старшим мастером на моторостроительном заводе в Перми. Его отец – Якимов Василий Иванович – почти всю жизнь проработал военпредом на этом же заводе. Ближайшие родственники руководили крупными авиационными и космическими предприятиями. Во время войны, будучи курсантом военных авиационных училищ, и зная, как часто жизнь летчика зависит от технического состояния самолета, Александр Васильевич всю дальнейшую жизнь посвятил улучшению качества изготовления деталей авиационных двигателей самолетов. Для этого он занимался разработкой новых технологий, их внедрением в производство и популяризацией необходимости качественного изготовления, как авиационных двигателей, так и любой другой продукции. Этому учил он студентов, аспирантов и заводских специалистов.

Об успехах Александра Васильевича в научной и педагогической деятельности в периодической печати написано немало работ. В них отмечается большой вклад Александра Васильевича в создание научных основ технологии машиностроения, в организацию подготовки высококвалифицированных кадров для промышленного производства. Так, в Перми в 1976 году вышла в свет книга Живописцева В. П. «Пермь – город науки», в которой значительное внимание уделено кафедре «Технология машиностроения» Пермского политехнического института, которой тогда руководил профессор Якимов А.В.

В последние годы вышла серия книг о жизненном и творческом пути профессора Якимова Александра Васильевича:

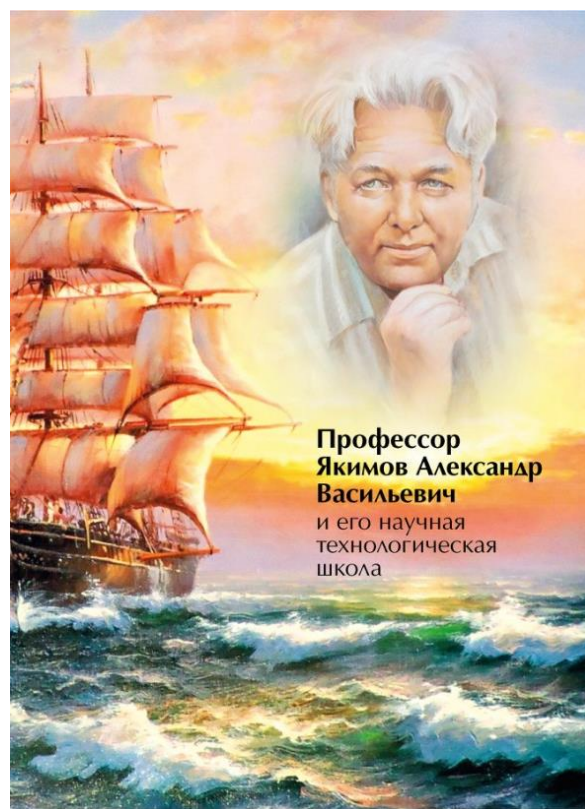
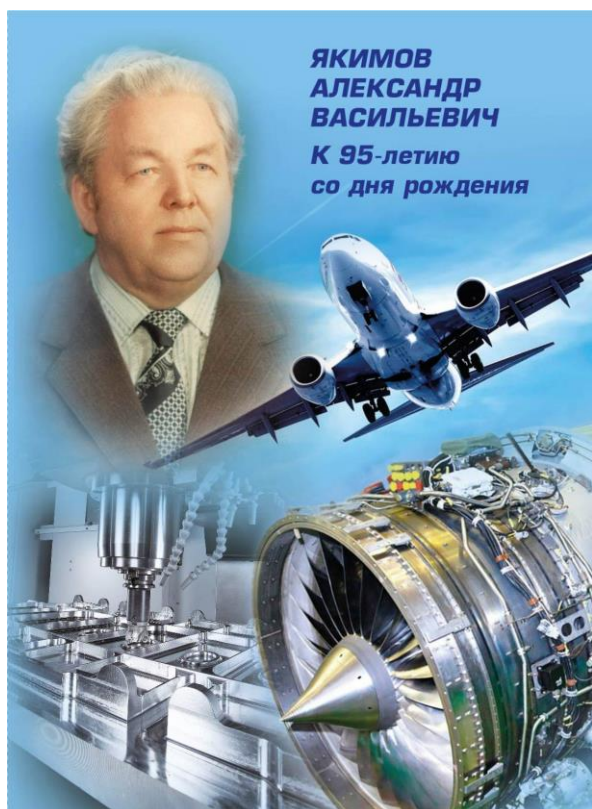
Технологии производства: проблемы и решения: монография / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх, С.А. Дитиненко, А.Г. Крюк, Н.Ф. Савченко, В.Г. Шкурупий, В.И. Полянский, И.А. Рябенков, Д.Ф. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 536 с.

Профессор Якимов Александр Васильевич и его научная технологическая школа / Под общей редакцией проф. Ф.В. Новикова. – Днепр: ЛИРА, 2019. – 296 с.

Якимов Александр Васильевич. К 95-летию со дня рождения: научно-информационное издание / Под редакцией Ф.В. Новикова и А.А. Якимова. – Днепр: ЛИРА, 2020. – 292 с.

Технологи и технологии: научно-информационное издание / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх, С.А. Дитиненко, Д.Ф. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2020. – 352 с.

Профессор Якимов Александр Васильевич: страницы жизни: научно-информационное издание / Под редакцией Ф.В. Новикова, А.А. Якимова, В.А. Жовтобрюха. – Днепр: ЛИРА, 2020. – 396 с.





В этих книгах довольно подробно представлены этапы жизни и творческой деятельности Александра Васильевича:

Родился Александр Васильевич 16 марта 1925 г. в городе Чёрмоз Пермской области в семье рабочего, в 1939 г. окончил семилетнюю школу.

1939–1942 гг. – учащийся Пермского механического техникума.

1942–1943 гг. – студент Ленинградского военно-механического института.

1943–1944 гг. – курсант Челябинского училища штурманов авиации дальнего действия.

1944–1945 гг. – курсант Рязанской высшей школы штурманов авиации дальнего действия.

1945 г. – награжден медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне».

1946–1952 гг. – конструктор Пермского моторостроительного завода им. Я. М. Свердлова.

1952 г. – окончил Московский авиационный институт по специальности инженер-механик.

1952–1956 гг. – аспирант кафедры «Производство авиадвигателей» Московского авиационного института.

1956 г. – защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Исследование жесткости зубошлифовальных станков типа МААГ».

1956–1958 гг. – старший преподаватель кафедры «Станки и инструменты» Запорожского машиностроительного института.

1957–1960 гг. – Депутат исполкома Совета депутатов трудящихся г. Запорожья.

1958–1961 гг. – доцент кафедры «Станки и инструменты» Запорожского машиностроительного института; декан механико-технологического факультета Запорожского машиностроительного института.

1961–1963 гг. – доцент кафедры «Станки и инструменты» Пермского политехнического института.

1963–1965 гг. – декан механико-технологического факультета Пермского политехнического института.

1963–1974 гг. – заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Пермского политехнического института.

1965 г. – награжден медалью «Двадцать лет победы в Великой отечественной войне 1941–1945 гг.».

1970 г. – защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Технологические основы процесса шлифования кругами с прерывистой рабочей поверхностью».

1972 г. – присвоено ученое звание профессора.

1973 г. – награжден Почетной грамотой Верховного Совета РСФСР.

1974–1990 гг. – заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Одесского политехнического института.

1976 г. – награжден медалью «Тридцать лет победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

1978 г. – награжден Знаком «Победитель социалистического соревнования» и грамотой «Активный изобретатель».

1980–1985 гг. – член комитета по присуждению Государственных премий при Совете Министров УССР.

1982 г. – присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Украинской ССР».

1984 г. – награжден Дипломом ВДНХ УССР 1-ой степени.

1985 г. – награжден медалью «Сорок лет победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

1986 г. – Лауреат Государственной премии Украинской ССР в области науки и техники.

1986–1989 гг. – член экспертного совета Высшей аттестационной комиссии УССР.

1987–1989 гг. – декан механико-технологического факультета Одесского политехнического института.

1988, 1990, 1998, 2000 – награжден Почетными грамотами Министерства высшего образования Украинской ССР.

1991–1993 гг. – председатель Специализированного Совета по присуждению ученых степеней Высшей аттестационной комиссии.

1995 г. – академик Инженерной Академии Украины.

2000 г. – почетный профессор Киевского политехнического университета.

За особые заслуги в работе Александр Васильевич был отмечен знаком «За отличные успехи в работе» в области высшего образования.

С 1995 по 1998 гг. был председателем Специализированного Совета по присуждению ученых степеней при Одесском государственном политехническом университете, а с 1998 года и до последних дней своей жизни – был членом этого Совета.

Александр Васильевич был и остается кумиром для своих учеников. Своим настойчивым стремлением к достижению поставленных целей он всегда наполнял сердца творческой молодежи желанием к установлению истины в проводимых исследованиях, получению новых результатов и их практической реализации. Своими работами он обогатил наши научно-технические знания, раскрыл многие тайны поведения металлов при их механической обработке и, особенно, в условиях высокотемпературного воздействия. Предложенный научный подход к управлению тепловыми процессами при шлифовании получил широкое практическое применение и стал одним из основных атрибутов теплофизики механической обработки и научных основ технологии машиностроения.

Александр Васильевич обладал незаурядными энциклопедическими техническими и технологическими знаниями. Он привнес в ВУЗы свой богатый заводской конструкторско-технологический опыт, который очень помогал преподавателям, аспирантам и студентам осваивать гранит науки, готовить дипломные и диссертационные работы и умело их защищать. Александр Васильевич на протяжении всей своей жизни щедро делился с творческой молодежью своим огромным багажом знаний, накопленным в производстве и науке.

Александр Васильевич прожил большую и интересную жизнь. До последних дней он был предан своему любимому делу – НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИЮ, ПРОИЗВОДСТВУ. Писал интересные научные статьи и книги, консультировал своих учеников, которые постоянно поддерживали с ним связь и получали от него ценные советы.

Александр Васильевич навсегда останется в нашей памяти образцом силы духа, патриотизма, профессионализма и преданности любимому делу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
2. Качество изготовления зубчатых колес / А.В. Якимов, Л.П. Смирнов, Ю.А. Бояршинов и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
3. Управление процессом шлифования / А.В. Якимов, А.Н. Паршаков, В.И. Свирщев, В.П. Ларшин. – К.: Техніка, 1983. – 184 с.
4. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
5. Якимов А.В. Прерывистое шлифование. – К.; О.: Вища школа, 1986. – 175с.
6. Технология автоматизированного шлифования / А.В. Якимов, В.П. Ларшин. – К: О-во «Знание» Укр. ССР, 1988. – 15 с.
7. Теплофизика механической обработки: учебное пособие / А.В. Якимов, П.Т. Слободяник, А.В. Усов. – К.; Одесса: Лыбидь, 1991. – 240 с.

8. Обоснование маршрута обработки и размерный анализ технологических процессов: учебное пособие / А.В. Якимов, П.А. Линчевский, А.А. Якимов. – К.: УМК ВО, 1993. – 125 с.
9. Технология автоматизированного машиностроения: учебник / А.В. Якимов, В.С. Гусарев, А.А. Якимов, П.А. Линчевский. – К.: УМК ВО, 1993. – 440 с.
10. Технологія автоматизованого машинобудування: підручник / О.В. Якимов, В.С. Гусарев, О.О. Якимов, П.А. Лінчевський. – К.: ІСДО, 1994. – 400 с.
11. Високопродуктивна обробка абразивно-алмазними інструментами: навчальний посібник / О.В. Якимов, Ф.В. Новіков, О.О. Якимов. – К.: Техніка, 1993. – 152 с.
12. Високопродуктивне шліфування: навчальний посібник / О.В. Якимов, Ф.В. Новіков, Г.В. Новіков, О.О. Якимов. – К.: ІСДО, 1995. – 180 с.
13. Оптимизация технологических процессов в машиностроении: учебное пособие / А.В. Якимов, В.П. Ларшин, А.А. Якимов, Б.О. Ткаченко, Н.И. Решетнев. – К., 1995. – 105 с.
14. Теория и прогрессивные технологии глубинного алмазного шлифования: учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А.А. Якимов. – Харьков, 1995. – 102 с.
15. Алмазная обработка: учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А.А. Якимов. – Киев: ІСДО, 1996. – 167 с.
16. Теоретические основы интегрированных технологических систем: учебное пособие: В 5 кн. / Под общ. ред. А.В. Якимова. – Одесса: ОГПУ, 1997.
17. Тепловые и механические процессы при резании металлов: учебное пособие / Ф.В. Новиков, А.А. Якимов, С.Г. Зимин, Г.В. Новиков, В.А. Вайсман. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 179 с.
18. Тепловые процессы при обычном и прерывистом шлифовании: учебное пособие / А.В. Якимов, Б.О. Ткаченко, С.Г. Зимин, А.А. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков. – Одесса: ОГПУ, 1998. – 272 с.
19. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов, Г.В. Новиков. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.
20. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов, Г.В. Новиков, Б.С. Серов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.
21. Теплофізика механічної обробки: підручник / О.В. Якимов, О.В. Усов, П.Т. Слободяник, Д.В. Іоргачев. – Одеса: Астропринт, 2000. – 256 с.
22. Технология машиностроения: учебник / А.В. Якимов, В.Н. Царюк, А.А. Якимов, Г.А. Оборский, В.П. Ларшин, А.В. Самойленко. – Одесса: Астропринт, 2001. – 608 с.
23. Технология машиностроения: учебник / А.В. Якимов, А.А. Якимов, В.П. Ларшин, В.И. Свирцев. – Пермь, 2002. – 563 с.
24. Теоретические основы технологии машиностроения: учебник / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов, Г.В. Новиков, Н.И. Решетнев. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 491 с.

25. Технологія машино- та приладобудування: підручник / О.В. Якимов, В.І. Марчук, П.А. Лінчевський, О.О. Якимов, В. П. Ларшин. – Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2005. – 712 с.

26. Технологія машино- та двигунобудування: підручник / О.В. Якимов, Ф.В. Новіков, В.М. Тонконогий, О.О. Якимов, Г.О. Оборський, В.П. Ларшин, Г.В. Новіков, Ю.М. Кривошапка. – Одеса: ОНПУ, 2005. – 720 с.

27. Технологические процессы изготовления высокоточных деталей гидро- и пневмоаппаратуры: учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Е.В. Грисенко, В.П. Ларшин, А.А. Якимов, Г.В. Новиков; Под общ. ред. проф. А.В. Якимова. – Одесса: ОНПУ, 2006. – 328 с.

28. Технологія автоматизованого машинобудування: підручник / О.В. Якимов, В.С. Гусарев, О. О. Якимов, П.А. Лінчевський, Ф.В. Новіков, Г.В. Новіков, В.П. Ларшин. – Одеса: ОНПУ, 2005. – 410 с.

29. Технология машиностроения: учебник / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, П.А. Линчевский, В.П. Ларшин, Е.В. Грисенко, А.А. Якимов, А.В. Фадеев, Г.В. Новиков. – Одесса: ОНПУ, 2012. – 693 с.

Анділахай А. А.

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»
Мариуполь, Украина

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ

Дальнейшим развитием струйно-абразивной обработки [1] следует рассматривать технологию абразивной обработки затопленными струями. В этом случае абразивные зерна присоединяются к струям сжатого воздуха за пределами сопел. Это защищает сопла от износа, в результате решается проблема стабильности обработки при обеспечении высококачественного поверхностного слоя обрабатываемой поверхности. В связи с этим работа посвящена обоснованию условий уменьшения шероховатости поверхности при абразивной обработке затопленными струями на основе экспериментальных исследований закономерностей образования микросрезов на поверхностях деталей.

Шероховатость поверхности после абразивной обработки затопленными струями главным образом зависит от исходной шероховатости; скорости, и размера абразивных зерен; времени обработки [2]. При этом имеют место две стадии формирования микрорельефа поверхности. На первой стадии происходит удаление наиболее выступающих неровностей, а на второй стадии – формирование однородного по всем направлениям микрорельефа поверхности. Микрорельеф поверхности представляет собой совокупность следов (лунок), оставляемых на поверхности абразивными зернами, причем расположение лунок носит

случайный характер [3]. Формирование микрорельефа поверхности происходит в течение вполне определенного времени (10...25 мин обработки), а затем процесс стабилизируется, и микрорельеф поверхности не изменяется. Соответственно не изменяются и параметры шероховатости поверхности. Подтверждением тому являются результаты экспериментальных исследований, приведенные на рис. 1.

С течением времени обработки τ высота микронеровностей (параметр шероховатости поверхности R_a) первоначально увеличивается, а затем стабилизируется и остается неизменным. Причем, данная закономерность справедлива для различных значений исходной шероховатости поверхности $R_{a.исх}$, изменяющихся в пределах 0,5...1,0 мкм. Как следует из рис. 1, чем меньше исходная шероховатость поверхности $R_{a.исх}$, тем меньше шероховатость поверхности R_a , образуемая в процессе обработки. При этом исходная шероховатость поверхности $R_{a.исх}$ фактически не влияет на время обработки, при котором наступает стабилизация шероховатости поверхности R_a . В данном случае наибольшее значение шероховатости поверхности $R_a=1,8$ мкм образуется приблизительно за 15 мин обработки. Таким образом, экспериментально установлено, что одна и та же шероховатость поверхности может быть получена при различных значениях исходной шероховатости поверхности $R_{a.исх}$.

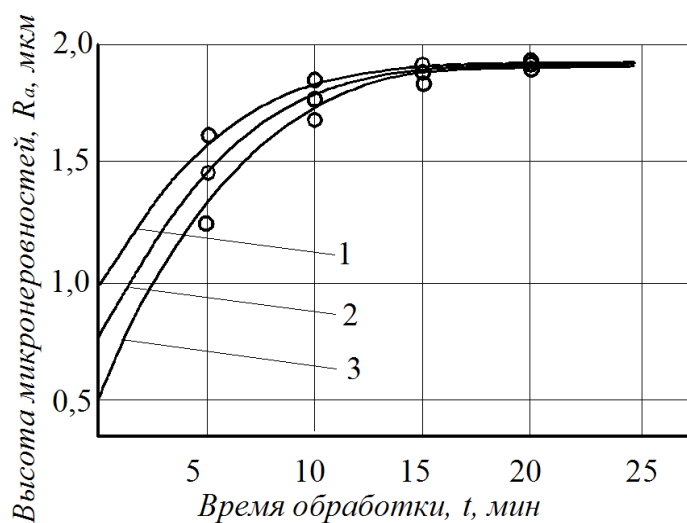


Рисунок 1 – Зависимость шероховатости поверхностей образцов от времени обработки при исходной шероховатости:

1 – $R_{a.исх} = 1,0$ мкм; 2 – $R_{a.исх} = 0,75$ мкм; 3 – $R_{a.исх} = 0,5$ мкм; абразив 63С (карбид кремния зеленый) зернистость 63

Как следует из рис. 2, с увеличением исходной шероховатости поверхности в пределах $R_{a.исх}=1,0...1,5$ мкм также имеет место увеличение шероховатости поверхности R_a с течением времени обработки τ , а затем ее стабилизация во времени. Наибольшая шероховатость поверхности равна $R_a=1,8$ мкм и фактически не зависит от исходной шероховатости поверхности $R_{a.исх}$, что соответствует предыдущему случаю (рис. 1). Однако время обработки до стабилизации шероховатости поверхности увеличивается до 25 мин (рис. 2).

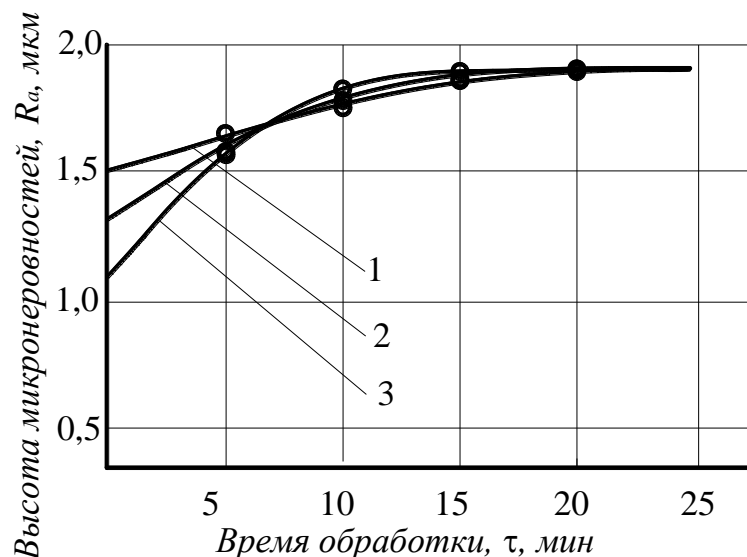


Рисунок 2 – Зависимость шероховатости поверхностей образцов от времени обработки при увеличении исходной шероховатости:

1 – $R_{a.исх} = 1,5$ мкм; 2 – $R_{a.исх} = 1,25$ мкм; 3 – $R_{a.исх} = 1,0$ мкм

Следовательно, чем выше исходная шероховатости поверхности $R_{a.исх}$, тем больше время, необходимое для обеспечения стабилизации микрорельефа обработанной поверхности. Таким образом, экспериментально установлены зависимости шероховатости поверхности от времени обработки при различной исходной шероховатости $R_{a.исх}$, а также определено время, необходимое для обеспечения стабилизации микрорельефа обработанной поверхности. Параметры обработки: абразивный материал – шлифзерно 63С (карбид кремния зеленый) зернистостью 40П (400 мкм); давление сжатого воздуха перед соплом 0,5 МПа; количество абразивного материала 0,18 л; объем воды в рабочей камере 3 л.

На основе полученных экспериментальных данных можно заключить, что при формировании шероховатости возможны три случая: в процессе обработки исходная шероховатость поверхности увеличивается; формируется новый микрорельеф без изменения показателя исходной шероховатости; шероховатость поверхности в процессе обработки уменьшается. Очевидно, возникновение того или иного случая зависит от высоты неровностей исходной поверхности, размеров лунок, оставляемых абразивными зёрнами, количества зёрен, контактирующих с обрабатываемой поверхностью, а также от времени, необходимого для формирования нового микрорельефа. Таким образом, реальные технологические особенности процесса формирования микрорельефа позволяют представить его в виде последовательности единичных актов контактного взаимодействия на элементарном участке обрабатываемой поверхности. Каждый единичный акт контактного взаимодействия вызывает определенные изменения на обрабатываемой поверхности. Происходит деформация выступов профиля, удаление материала из лунки, в окрестности точки контакта формируется новый микрорельеф поверхности. На рис. 3 приведена фотография единичных контактов взаимодействия абразивных зёрен с обрабатываемой поверхностью, т.е. реальный процесс

формирования шероховатости поверхности происходит в течение вполне определенного промежутка времени.

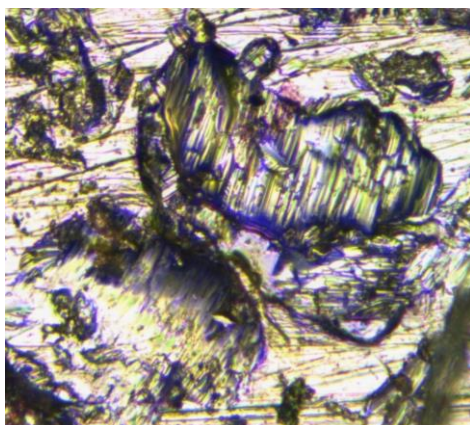


Рисунок 3 – Фотография единичного следа абразивного зерна на поверхности латунного образца. $\times 625$

На рис. 4 приведены графики изменения высоты микронеровностей поверхности R_{max} по мере увеличения времени обработки τ для более широкого диапазона значений исходной шероховатости. Как видно, высота микронеровностей поверхности R_{max} в первоначальный момент обработки претерпевает изменения (уменьшение или увеличение в зависимости от исходной шероховатости), а затем стабилизируется во времени, принимая значения $R_{max}=5,6 \dots 5,8$ мкм. Образцы с большей высотой микронеровностей дают крутую кривую уменьшения высоты микронеровностей, а с меньшей высотой микронеровностей – пологую кривую увеличения высоты микронеровностей.

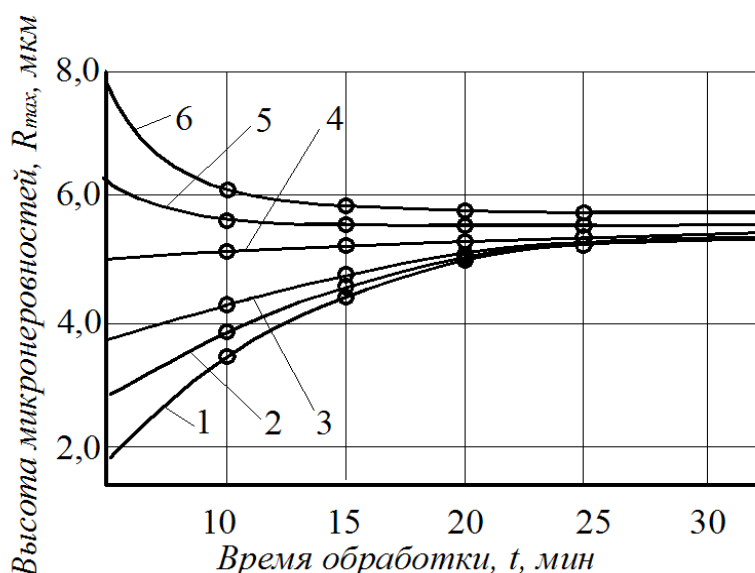


Рисунок 4 – Изменение высоты микронеровностей поверхности R_{max} с течением времени обработки τ в зависимости от исходной шероховатости R_{max} : 1 – 1,6 мкм; 2 – 3,0 мкм; 3 – 3,6 мкм; 4 – 5,0 мкм; 5 – 6,4 мкм; 6 – 8 мкм. Условия обработки: шлифзерно 63С; зернистость абразива 63П (630 мкм); угол наклона осей сопел к горизонту 15° ; давление сжатого воздуха 0,5 МПа

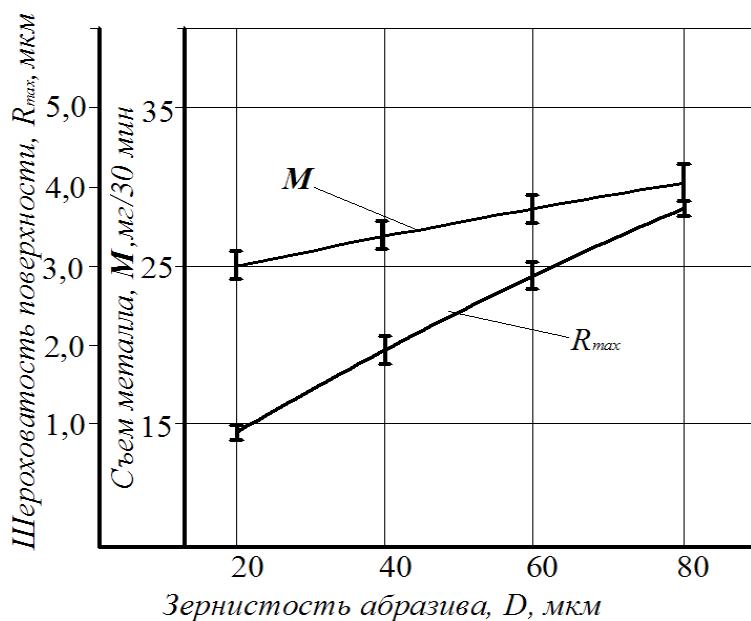


Рисунок 5 – Зависимость шероховатости поверхности R_{max} и съема металла M от зернистости абразива б3С (карбид кремния зеленый) при исходной шероховатости $R_{max} = 0,8$ мкм (глянцевая поверхность)

С целью выявления закономерностей формирования микрорельефа, полученного в результате абразивной обработки затопленными струями, выполнены экспериментальные исследования по установлению влияния зернистости абразива на съем металла и шероховатость поверхности (рис. 5, рис. 6) для различных значений исходной шероховатости.

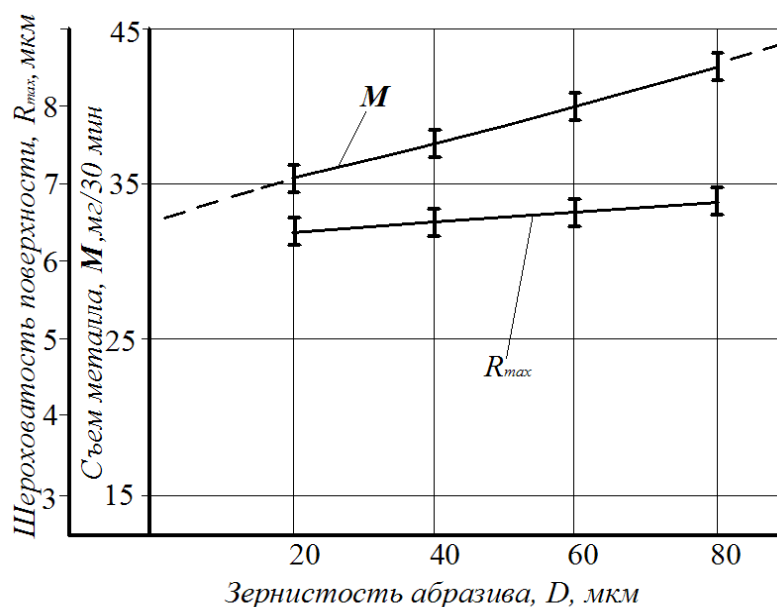


Рисунок 6 – Зависимость шероховатости поверхности R_{max} и съема металла M от зернистости абразива б3С (карбид кремния зеленый) при исходной шероховатости $R_{max} = 6,3$ мкм

Из приведенных рисунков вытекает, что имеет место слабовыраженное влияние зернистости абразива на съем металла и шероховатость поверхности.

Вместе с тем, абсолютная величина съема металла увеличилась в среднем на 24 %. Это обусловлено тем, что с увеличением зернистости абразива увеличивается количество полных микросрезов, которые представляют собой неглубокие следы, но покрывают бóльшую часть площади обрабатываемой поверхности. Таким образом, экспериментально определена шероховатость поверхности при абразивной обработке затопленными струями. Установлено, что с течением времени обработки она стабилизируется на одном уровне независимо от исходной шероховатости поверхности. При исходной шероховатости $Ra=0,5...1,5$ мм и зернистости абразива 40 стабилизация шероховатости поверхности происходит на уровне $Ra =0,8-1,25$ мкм в течение 15...25 мин. Следовательно, формирование шероховатости поверхности при абразивной обработке затопленными струями длится в течении 15...25 мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. – К.: Техника, 1989. – 177 с.
2. Андилахай А.А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А.А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с.
3. Андилахай А.А. Теоретические и экспериментальные исследования динамики струйно-абразивной обработки / А.А. Андилахай, Ф.В. Новиков // Вісник Приазовського держ. техн. ун-ту: зб. наук. праць. – Серія : Технічні науки. – Мариуполь : ПДТУ, 2010. – Вип. 20. – С. 206–212.

*Бабак Т.Г., Демірський О.В.,
Пономаренко Є.Д., Хавін Г.Л.
НТУ «ХП», Харків, Україна*

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РЕКТИФІКАЦІЇ СУМІШІ АЦЕТОН-БЕНЗОЛ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Сучасні хімічні підприємства є великими споживачами енергоресурсів всіх видів. Значна частка витрат теплової енергії припадає на розділення рідких сумішей як при отриманні чистих готових продуктів, так і на стадіях підготовки сировини. Серед існуючих методів розділення рідких бінарних сумішей (кристалізація, перегонка, мембранне розділення та ін.) процеси перегонки є одними з найбільш енергоємних. Проте в переважній більшості випадків дистиляція або ректифікація є єдиними методами, що забезпечують якість продукції та високу продуктивність. При цьому багаторазова конденсація пари з одночасним випарову-

ванням рідини і утворенням пари нового складу робить процес ректифікації значно більш ефективним, ніж інші процеси перегонки. Тому енергозбереження в процесах ректифікації є актуальним.

Зниження енергетичних витрат процесу в цілому з використанням пінч-аналізу призводить до зменшення собівартості вихідної продукції, підвищує рентабельність виробництва, а також покращує екологічний стан навколишнього середовища.

Удосконалення регенерації тепла безпосередньо пов'язано з оптимізацією і реконструкцією теплообмінних систем. Вибір оптимального варіанту (тобто пов'язаного з найменшими витратами на додаткову площу поверхні теплообміну і на структурні зміни мережі) з безлічі альтернатив є важливою складовою частиною проектування. Для реконструкції теплообмінних систем застосовують методи пінч-аналізу, який заснований на термодинамічному аналізі системи технологічних потоків, а для економічної оптимізації використовує немонотонну залежність загальної річної вартості експлуатації проекту від найменшого температурного напору на теплообмінному обладнанні. Застосування пінч-аналізу дозволяє домогтися істотної фінансової економії за рахунок мінімізації використання зовнішніх енергоносіїв шляхом максимального застосування рекуперації теплоти в рамках даної енерготехнологічної системи. При цьому даний підхід дозволяє мінімізувати теплообмінну поверхню і кількість теплообмінних одиниць, оптимізувати перепад тиску в мережі і розміщення силових установок, мінімізувати кількість стічних вод і емісію вуглекислого газу. У разі модернізації існуючих виробництв пінч-технології дозволяють максимально використовувати вже встановлене обладнання в нових робочих мережах, що знижує інвестиції в реконструкцію. Більш того, методами пінч-аналізу можливо визначити вартісний компроміс між усіма названими факторами і капітальними вкладеннями при заданому терміні окупності, якому і мав задовольняти остаточний проект. Відзначимо ще дві дуже важливі властивості, які є невід'ємною частиною пінч-аналізу. Перше – це можливість встановлення цілей проектування перед початком самого проектування. Другою важливою властивістю є можливість інтегрування процесів в межах великого виробничо-територіального комплексу. У підсумку ми можемо підготувати інвестиційні плани, визначити цільові значення енергоспоживання і зниження емісії шкідливих речовин як для існуючих процесів, так і для проєктованих.

Розглядається процес розділення суміші ацетон-бензол. Енерго-функціональна схема ректифікаційної установки зображена на рис. 1.

Продуктивність по початковій суміші складає 3,5 кг/с. Масові долі низькокиплячого компонента, ацетону, в початковій суміші \bar{x}_F , дистилляті \bar{x}_P та кубовому залишку \bar{x}_W дорівнюють відповідно 0,5; 0,95; 0,02. Температура початкової суміші на вході $t_{FП} = 20^\circ\text{C}$, кінцева температура дистилляту та кубового залишку $t_{PK} = t_{WK} = 40^\circ\text{C}$. Флегмове число $R = 2,68$.

В процесі, що вивчається, було виділено технологічні потоки, які потребують нагріву або охолодження: початкова суміш (F), дистилят (P), кубовий залишок (W), потік пари з верху колони (G) та потік суміші, що випаровується в кубовому кип'ятильнику (куб). Після розрахунку теплового та матеріальних балансів з використанням довідникових даних результати екстракції даних процесу було зведено у потокову таблицю (табл. 1). Тут T_s – початкова температура, або температура постачання; T_t – кінцева, або цільова температура; g – масова витрата; c – питома теплоємність; r – питома теплота пароутворення; $CP = g \cdot c$ – потокова теплоємність; ΔH – тепловміст, або потокова ентальпія, як прийнято в термінах пінч-аналізу.

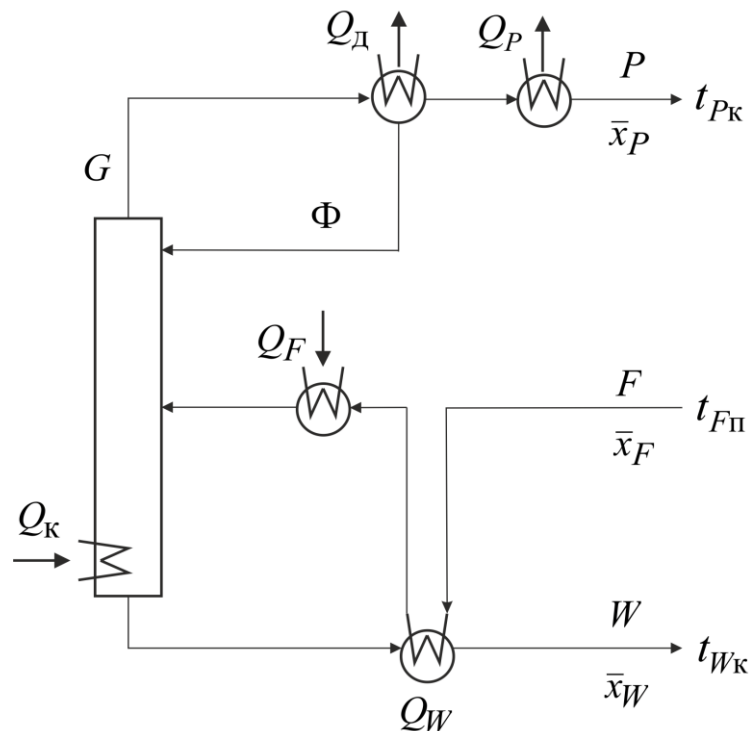


Рисунок 1 – Енерго-функціональна схема ректифікаційної установки розділення суміші ацетон-бензол

На енерго-функціональній схемі (рис. 1) розміщено такі теплообмінники : кубовий випарник з навантаженням $Q_K = 3385,81$ кВт, дефлегматор з навантаженням $Q_D = 3354,75$ кВт, охолоджувач дистиляту з навантаженням $Q_P = 69,1$ кВт, рекуперативний теплообмінник з навантаженням $Q_W = 123,17$ кВт та підігрівач вхідної суміші з навантаженням $Q_F = \Delta H_F - Q_W = 180$ кВт. Тобто для підігріву початкової суміші на вході використовується надлишок тепла потоку кубового залишку і, таким чином, потужність рекуперації складає 123,17 кВт.

Таблиця 1 – Таблиця даних потоків процесу ректифікації суміші ацетон-бензол

№	Потік	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$g, \text{кг/с}$	$c, \text{кДж/}$ $(\text{кг}\cdot\text{К})$	$r, \text{кДж/кг}$	$CP, \text{кВт/К}$	$\Delta H, \text{кВт}$
1	P	гарячий	57,1	40	1,806	2,237	–	4,041	69,1
2	W	гарячий	79,1	40	1,694	1,806	–	3,15	123,17
3	G	гарячий	57,1	57,1	6,648	–	398,09	–	3354,75
4	F	холодний	20	62,9	3,5	2,019	–	7,067	303,17
5	куб	холодний	79,1	79,1	6,648	–	–	–	3385,81

Вибір ΔT_{\min} та проектування мережі теплообмінників з максимальною рекуперацією енергії. Для рішення цієї задачі було використано правила пінч-аналізу. Було обрано значення $\Delta T_{\min} = 8^\circ\text{C}$, що відповідає з одного боку процесу, що розглядається, з іншого – може бути реалізовано при використанні пластинчатих теплообмінників, що плануються для встановлення.

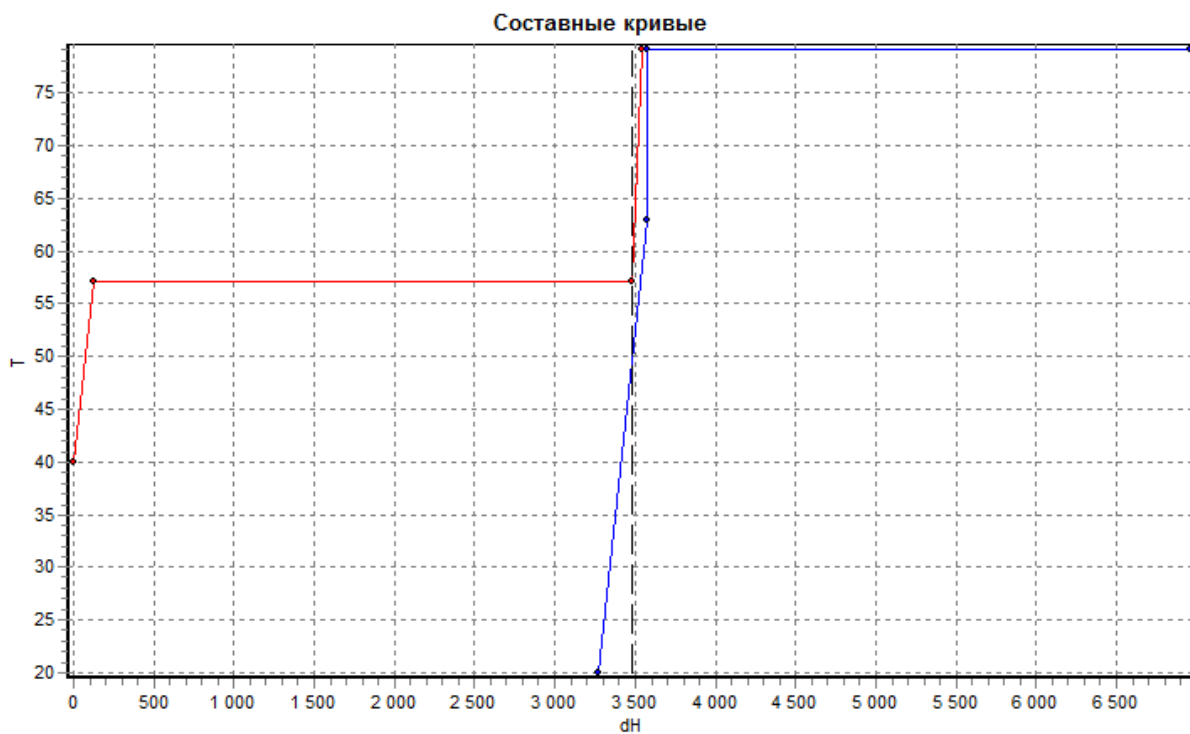


Рисунок 2 – Складені криві для $\Delta T_{\min} = 8^\circ\text{C}$

На рис. 2 показано розташування складених кривих на температурно-ентальпійній діаграмі таким чином, щоб мінімальна відстань між ними по температурній осі дорівнювала $\Delta T_{\min} = 8^\circ\text{C}$. При цьому мінімальна потрібна потужність гарячих утиліт (зовнішніх енергоносіїв) $Q_{H \min}$ склала 3414,03 кВт, холодних утиліт $Q_{C \min} = 3272,07$ кВт, потужність рекуперації $Q_{rec} = 274,95$ кВт.

В загальному випадку існують ступені свободи при розташуванні теплообмінного обладнання при обов'язковому досягненні енергетичних цілей. Було запропоновано два варіанти розміщення теплообмінного обладнання (рис. 3а, 3б). Якщо в області вище пінча ситуація однозначна, то нижче пінча підігрів по-

чаткової суміші за рахунок тепла конденсації пари зверху колони можна запровадити на вході в області більш низьких температур або області пінча. В першому варіанті є потреба в розщепленні потоку початкової суміші, аби не порушувати $\Delta T_{\min} = 8^{\circ}\text{C}$. В обох варіантах досягаються цільові значення споживання зовнішніх утиліт та потужності рекуперації.

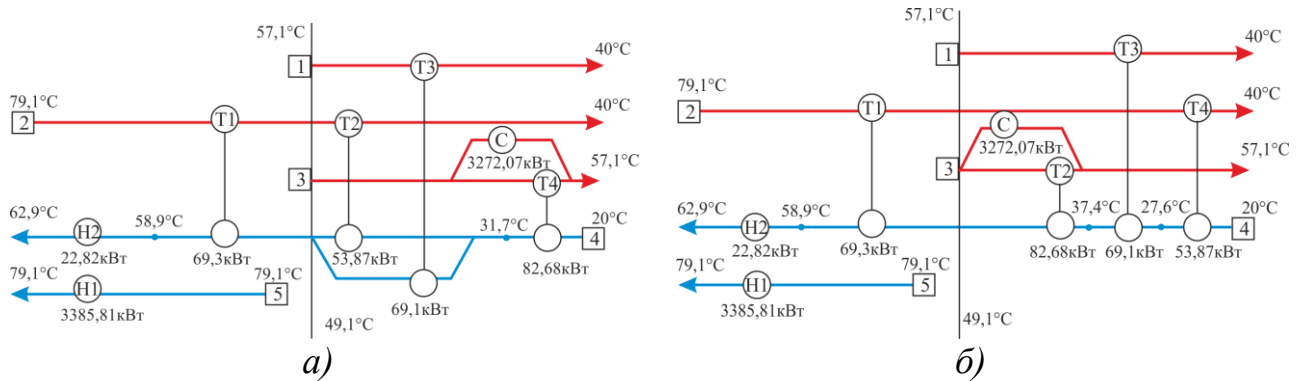


Рисунок 3 – Сіткова діаграма розміщення теплообмінного обладнання: варіант 1 – (а), варіант 2 – (б)

Підбір теплообмінного обладнання. На основі отриманих сіткових діаграм з розташованими теплообмінниками було проведено підбір теплообмінного обладнання. Треба зазначити, що кубовий кип'ятильник не потребує заміни, тому що для потоку куба не має відповідних партнерів для теплової інтеграції. Також залишено існуючий дефлегматор, який буде працювати на зниженому навантаженні. На інші позиції було підібрано теплообмінне обладнання виробництва фірми Alfa Laval з використанням прикладного пакету CAS 2000. Результати підбору наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Характеристики теплообмінного обладнання, що пропонується до встановлення

Позиція	Варіант 1				Варіант 2			
	Навантаження, кВт	Тип пластини	Площа поверхні, м ²	Кількість пластин	Навантаження, кВт	Тип пластини	Площа поверхні, м ²	Кількість пластин
H2	28,23	T5M	2,184	26	28,23	T5M	2,184	26
T1	69,3	T5M	3,276	39	69,3	T5M	3,276	39
T2	53,87	T5B	3,475	39	82,68	T5M	2,856	34
T3	69,1	T5B	4,01	45	69,1	T5M	2,772	33
T4	82,68	T5M	2,184	26	53,87	T5M	2,352	28

Економічний аналіз. В табл. 3 наводиться порівняння потужності гарячих та холодних утиліт та рекуперації в існуючому проекті та в проекті, запропонованому в доповіді.

Таблиця 3 – Порівняння енергетичних характеристик існуючого та запропонованого проекту

Проект	Потужність, кВт		
	Холодні утиліти	Гарячі утиліти	Рекуперація
Існуючий	3423,85	3565,81	123,17
Що пропонується	3272,07	3414,03	274,95

Таким чином економія потужності енергоносіїв складає 151,78 кВт.

Обчислення витрат на теплообмінне обладнання дало такі результати: вартість теплообмінників з урахування ПДВ у варіанті 1 складає 444607 грн., у варіанті 2 – 438322 грн. Тому для економічного аналізу обираємо варіант 2.

З урахуванням вартості природного газу вкладення коштів на реконструкцію забезпечить річний прибуток 350484 грн. та термін окупності два роки.

Висновки

1. Аналіз існуючого процесу за допомогою складених кривих технологічних потоків показав недостатню ефективність організації процесу рекуперації енергії.

2. Використання принципів пінч-аналізу дає можливість підвищити енергоефективність хіміко-технологічної системи.

3. З урахуванням того, що варіантів розміщення теплообмінного обладнання, кожний з котрих забезпечує досягнення енергетичних цілей, може бути декілька, треба їх розглянути з метою вибору найбільш доцільного з економічної точки зору.

4. Модернізація ректифікаційної установки, що пропонується дозволить знизити загальне споживання енергії зовнішніх утиліт приблизно на 5%.

5. Для підвищення енергоефективності використовується сучасне пластичне теплообмінне обладнання.

Буц Ю.В.
Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, Харьков, Украина
Крайнюк О.В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Харьков, Украина

ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ З ВІДНОВЛЕННЯ ЯКОСТЕЙ ТА ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ЕКОСИСТЕМ ПІСЛЯ УРАЖЕННЯ ПОЖЕЖАМИ

Ґрунт, що зазнав впливу пірогенного чинника, тривалий час не відновлюється, а рослинність на місцях пожеж з'являється лише через довготривалий період, тому повне природне відновлення екосистеми може зайняти кілька десятиліть. Отже, насамперед, треба всі зусилля спрямувати на відновлення якостей ґрунту та покращення його властивостей.

Перед тим як почати виконувати відновлювальні роботи, слід створити і обдумати план відновлення. В основному він виконується на підставі наявних санітарно-гігієнічних, лісогосподарських, водогосподарських та інших норм і стандартів, беручи в особливу увагу природні і кліматичні умови, а також місцезнаходження порушеної земельної ділянки.

Технологічні заходи включають в себе і деякий ряд витрат, які виконуються для проведення відновлювальних робіт:

- виконання проектно-вишукувальних робіт, включаючи польові дослідження;
- виконання державного екологічного дослідження (моніторингу);
- очищення постраждалої ділянки від пошкоджених дерев;
- рекультивація родючості ґрунтів відновлювальних територій, що передбачені проектуванням відновлення, в залежності від характерних особливостей ушкоджень ділянок і подальшого застосування відновлювальних територій.

Передусім, слід провести моніторинг ураженої пожежею ділянки, незалежно чи це степова екосистема, водно-болотні угіддя чи лісовий масив і лише потім проводити рекультивацію постраждалих від природних пожеж ділянок [1].

Рекультивація – це комплекс спеціальних заходів, спрямованих на відновлення господарської цінності і продуктивності земель. Відсутність такої роботи призводить:

- до руйнування верхнього родючого шару ґрунту;
- утворенню нових, штучно створених форм рельєфу, не характерних для даної місцевості;
- зникнення з ареалу звичних видів фауни і флори;
- зміни гідрологічного режиму території;
- забруднення продуктами горіння;

- акумуляції важких металів та інших токсичних компонентів, що надходять у ґрунт із золою [2].

Рекультивацию лісових ділянок слід проводити у декілька етапів (рис. 1), а також наводимо головні принципи рекультивации (рис. 2).

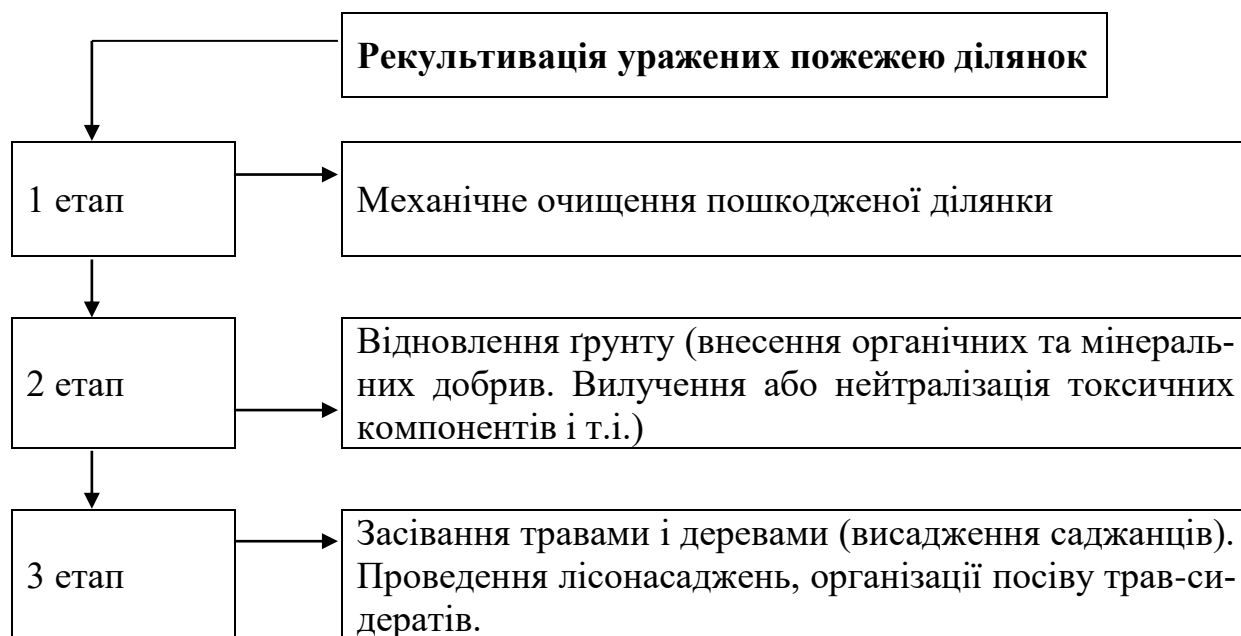


Рисунок 1 – Етапи рекультивации екосистем, що зазнали впливу пірогенного чинника

Відновлення екосистем – процес тривалий і досить трудомісткий, тим більше в умовах техногенного навантаження. Він може проводитися протягом декількох років або навіть десятиліть. При цьому процедуру рекультивации можна розділити на три етапи: підготовчий, технічний і біологічний.

Підготовчий етап полягає в опрацюванні фактичного обсягу робіт, обґрунтування інвестиційної складової.

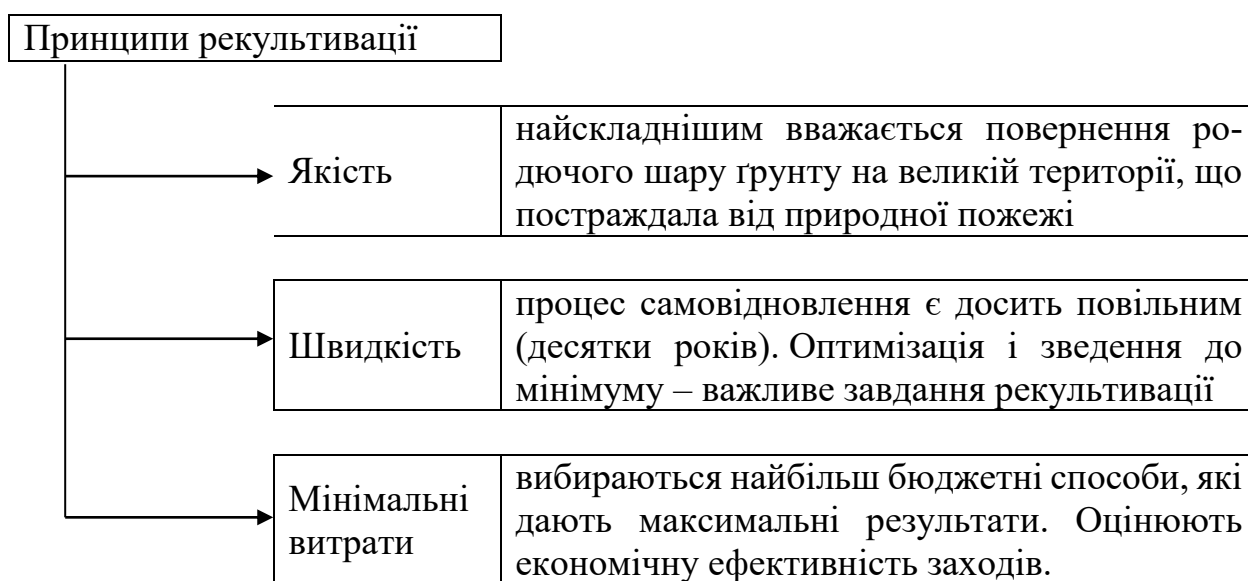


Рисунок 2 – Головні принципи рекультивации ґрунтів, пошкоджених при впливі пірогенного чинника

Технічний етап є головною частиною всіх проведених заходів, які виконуються для підготовки земель до їх подальшого застосування. У даній галузі роботи ведуться за деякими складовими: теплотехнічні, гідротехнічні, хімічні.

Біологічна рекультивація земель являє собою, комплекс заходів, у якому беруть участь агротехнічні та фітомеліоративні процеси, саме вони повертають біохімічні, агрофізичні і агрохімічні характеристики ґрунту. У частині біологічної рекультивації мається на увазі проведення комплексу дій, спрямованих на поліпшення структури відновлюваних земель. Серед них застосовується: озеленення; меліорація земель; біологічне очищення ґрунту; лісопосадкова діяльність і т.і. [2].

ЛІТЕРАТУРА

1. Буц Ю.В. Науково-методологічні основи релаксії екогеосистем при техногенному навантаженні пірогенного походження: дис. докт. техн. наук, спец: 21.06.01 – екологічна безпека / Ю.В. Буц. – Суми. – 2020. – 399 с.

2. Зайдельман Ф.Р. Проблема защиты осушаемых торфяных почв от пожаров и ее решение / Ф. Р. Зайдельман // Почвоведение. – 2011. – № 8. – С. 1000–1009.

Варюхно В.В., Довгаль А.Г., Курбет Л.В., Євсюков Є.Ю.
Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХОНЬ

Представлений пристрій відноситься до механічної очистки поверхні виробів і конструкцій, а саме, для очистки металевих опор ліній електропередач, мостів і може знайти застосування при підготовці поверхні таких конструкцій до фарбування та поверхневого зміцнення і т. д.

Метою створення приладу є підвищення продуктивності і економічності процесу очистки поверхонь.

Поставлена мета досягається в результаті того, що в запропонованому пристрої ширина зони обробки змінюється за допомогою регуляторів ширини щілини, а швидкість витікання магнітоабразивних частинок є регульованою за рахунок змінення режиму збудження статора з магнітним полем (рис. 1). Крім того, в пристрої передбачено повторне багатократне використання магнітоабразивних частинок після їх відділення від немагнітних продуктів очистки в сепараторі з електромагнітним вловлювачем і транспортером повернення частинок в бункер живлення.

Даний пристрій відрізняється від відомих нам аналогічних пристроїв [1] [2] наступними конструктивними відмінностями:

1) ширина щілини, яка призначена для витікання магнітоабразивних частинок, виконана змінною за рахунок бокових регуляторів, положення яких фіксується у відповідності з необхідною шириною зони обробки;

2) швидкість витікання магнітоабразивних частинок виконана змінною за допомогою регулятора частоти опорного генератора, який викликає зміну частоти переключення обмоток статора з магнітним полем;

3) на вході в бункер-вловлювач магнітоабразивних частинок встановлений електромагніт для відхилення траєкторії руху феромагнітних частинок і відділення їх від немагнітних продуктів очистки.

Пристрій складається (рис. 1 та 2) з: бункера-вловлювача 1, шнекового транспортера 2, електромагніта 3, обмоток статора магнітного поля 4, щілини 5 (через яку виходять абразивні частинки), регуляторів ширини щілини 6, бункера живлення 7, електронного блоку збудження обмоток статорів 8, опорного генератора 9 і гвинтів 10 (для змінення положення регуляторів ширини щілини).

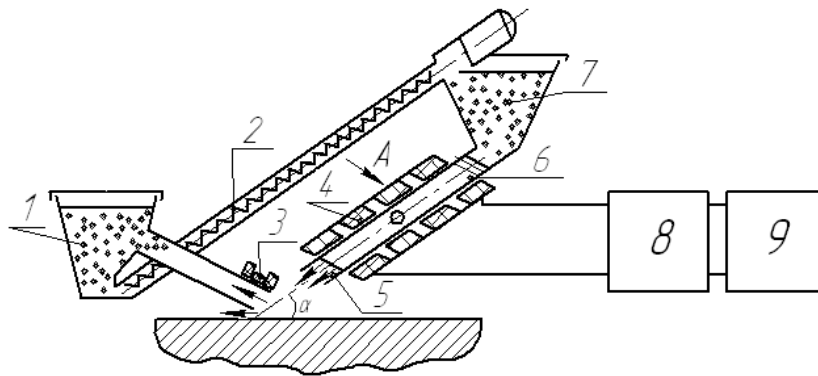


Рисунок 1. – Електромеханічний пристрій для очистки поверхонь.

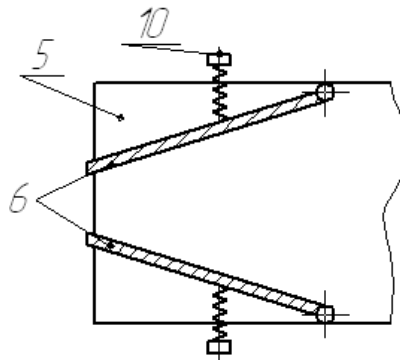


Рисунок 2. – Регулятори ширини щілини електромеханічного пристрою.

Бункер - вловлювач 1 виконаний конічним, має сопло з електромагнітом 3 і з'єднаний з бункером живлення 7 за допомогою шнекового транспортера 2.

Бункер живлення 7 також виконаний конічним і має в своїй основі плоску витягнуту щілину 5, яка виконана із зносостійкої кераміки. Навколо щілини розташовані обмотки статора магнітного поля 4, всередині якої шарнірно закріплені два регулятори ширини щілини 6. Положення регуляторів 6 може змінюватись за допомогою гвинтів 10. Обмотки статора 4 з'єднані з блоком збудження

8, який підключає їх послідовно до джерела електричного струму, частота цього підключення регулюється опорним генератором 9.

Кут ухилу вісі плоскої щілини 5 змінюється по відношенню до поверхні обробки у межах від 45° до 60° , за рахунок регулювальних передач за умовною висотою і задніх роликів опор.

При дослідженні пристрою на нахилених поверхнях, положення бункерів може бути змінено за рахунок шарнірного закріплення у основи.

Керування опорним генератором 9 зблоковано з приводом шнекового транспортера 2 так, що зі збільшенням швидкості висипання магнітно-абразивного порошку зі щілини 5 збільшується швидкість його транспортування з бункера - вловлювача 1 в бункер - живлення 7.

Працює пристрій наступним чином (принцип роботи пристрою).

У бункери 1 та 7 засипають магнітно-абразивний порошок. За допомогою регуляторів 6 встановлюють необхідну ширину зони обробки, установку під'єднують до джерела електричного струму.

Розмішують установку на оброблюваній поверхні, вмикають електроживлення установки і керуючи опорним генератором 9, встановлюють визначену швидкість текучого магнітного поля статора з обмотками 4 на корпусі плоскої щілини 5. Під дією текучого магнітного поля феромагнітні частинки магнітно-абразивного порошку прискорюються у корпусі плоскої щілини 5 і потрапляють на оброблювану поверхню. Після співудару з поверхнею магнітно-абразивні частинки під дією магнітного поля електромагніту 3 вловлювача відхиляють траєкторію свого руху вгору, потрапляючи до сопла вловлювача. У той же час немагнітні продукти очистки продовжують первинний рух повз сопло уловлювача. Потрапивши до бункера - вловлювача 1 магнітно-абразивний порошок транспортується шнековим транспортером 2 у бункер живлення 7 і весь цикл повторюється знову.

Пристрій має наступні переваги:

- забезпечує багаторазове використання магнітно-абразивного порошку у процесі очистки поверхонь;
- має більшу продуктивність очистки за рахунок більшої ширини зони обробки;
- має менші витрати енергії завдяки відсутності її втрат при перетворенні одного виду енергії в інший;
- дозволяє регулювати швидкість магнітно-абразивних частинок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Козлов Ю.С. Очистка изделий в машиностроении / Ю.С. Козлов, О.Н. Кузнецов, А.Ф. Тельнов. – М: Машиностроение, 1982. – 264 с.
2. Вракин В.С, Савченко В.И., Франчук Г.М., Хижко В.Д. Применение аэрозольных потоков для очистки поверхностей при ремонте авиационной техники / В.С. Вракин, В.И. Савченко, Г.М. Франчук, В.Д. Хижко // Вопросы совершенствования технологии ремонта воздушных судов – Киев: КНИГА, 1988 – С. 73–77.

ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ МАССИВОВ ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Разработка компьютеризированных систем экологического мониторинга объектов различного масштаба является актуальным направлением в современных экологических исследованиях и в практической деятельности по охране окружающей среды и здоровья населения. Весьма актуальна эта задача для пространственно рассредоточенных объектов, отличающихся рядом признаков, такими как: распределенность на большой территории; сложность организации регулярного контроля и обслуживания; непрерывный режим работы в условиях агрессивной окружающей среды; большие капитальные и эксплуатационные затраты на создание и использование.

В работе приведен анализ информационных технологий обработки массивов данных экологического мониторинга природных и техногенных объектов различного масштаба в геоинформационных системах.

Известно, что традиционные методы сбора и обработки массива данных при эксплуатации систем экологического мониторинга не позволяют без применения современных компьютерных информационных технологий получать достоверную оперативную информацию, проводить моделирование уровня техногенных нагрузок на компоненты природной среды, делать экспертные и прогноз-ные оценки для принятия оптимальных управленческих решений. В последние годы одним из основных направлений развития систем экологического мониторинга стало использование перспективных информационных технологий, новейших программных разработок и многофункциональных средства анализа, именуемых ГИС. Современную геоинформационную систему можно определить как совокупность аппаратно-программных средств, географических и семантических данных, предназначенную для получения, хранения, обработки, анализа и визуализации пространственно-распределенной информации. Главное преимущество ГИС заключено в наборе средств создания и объединения баз данных с возможностями их географического анализа и наглядной визуализации в виде разных карт, графиков, диаграмм, прямой привязке друг к другу всех атрибутивных и графических данных [1]. В ГИС используются различные методы преобразования информации: в заданную систему координат, классификация объектов мониторинга по их атрибутам, генерализация, пространственные моделирование и интерполяция. Для классификации пространственных данных по используемым показателям широко используют методы классификации и кластеризации.

При автоматизированном анализе изображений, в частности мультиспектральных данных, применяют алгоритмы контролируемой и неконтролируемой классификации.

Мониторинг изменений в экологических системах требует использования алгоритмических процедур выявления динамических изменений (карт динамики) Подобные процедуры основаны на методах классификации и оверлейных ГИС-технологиях. Для этих целей применяют композиции разновременных снимков, алгебру изображений, сопоставление результатов классификаций равно временных снимков и т. д. Для реализации системы принятия решений при мониторинге природных и техногенных объектов различного масштаба используют аппарат теории нечетких множеств.

В компьютеризированных системах экологического мониторинга становится возможным проведение дистанционной генерализации – геометрического и спектрального обобщения изображения на снимках, определяемого комплексом технических факторов и природными особенностями среды. При этом интегрируются (синтезируются) спектральные и геометрические характеристики объектов, а изменение детальности изображения приводит к перестройке его структуры. В частности автоматическая (логико-машинная) генерализация проявляется в формализованном отборе, сглаживании и фильтрации изображения в соответствии с заданными формальными критериями.

Важной составляющей современных информационных технологий обработки массивов данных экологического мониторинга стало применение интеллектуальных систем на основе нечеткой логики при анализе экологических ситуаций в геоинформационных системах. Известно, что задачи улучшения экологии включают решение множества сложных, нелинейных задач, трудно формализуемых и требующих знаний по многим аспектам экологии, включая мониторинг окружающей среды. Современные средства экологического мониторинга и обеспечивающие их информационно-управляющие системы представляют собой сложные многофункциональные многорежимные распределенные системы, в которых осуществляется совместная обработка сложноорганизованных данных и знаний. Наиболее поразительным свойством человеческого интеллекта является его способность принимать правильные решения в обстановке неполной и нечеткой информации. Поэтому современные автоматизированные мониторинговые системы должны рассматриваться как системы, которые по этим свойствам приближаются к человеку, и которые помогают ему влиять на состояние среды. Они должны разрабатываться на основе современных информационных технологий, которые обеспечили бы им существенное повышение уровня информационной и интеллектуальной поддержки.

Главное преимущество ГИС заключено в наборе средств создания и объединения баз данных с возможностями их географического анализа и наглядной визуализации в виде карт, графиков, диаграмм, прямой привязке друг к другу всех атрибутивных и графических данных. Современные экологические ГИС позволяют работать с картами различных экологических слоев и автоматически строить карту качественной оценки опасности окружающей среды. Этот процесс

требует высокой квалификации эксперта. Поэтому существует необходимость в автоматизации процесса принятия решений и моделирование процессов приближенных рассуждений человека становится центральным направлением автоматизации деятельности лица, принимающего решения на основе анализа экологической обстановки. Системы экологического мониторинга, основанные на ГИС, можно рассматривать как интеллектуальные системы, основанные на знаниях человека. Для этого существующая ГИС была дополнена подсистемой принятия решений. Актуальность рассмотрения такого класса систем обусловлена их способностью к накоплению и обобщению знаний, к выработке гипотез, прогнозу и принятию решений [2].

При решении экологических задач возникают ситуации, когда-либо отсутствуют необходимые датчики первичной информации, либо существующие средства измерений не обеспечивают получение требуемой информации в темпе с процессом, либо в наличии имеется лишь качественная информация об объекте управления. В таких ситуациях необходимо иметь информационные технологии, обеспечивающие принятие решений, которые позволяли бы получить требуемую информацию на основе компьютерной обработки качественной или нечеткой информации об объекте. Методика и программное обеспечение для создания требуемой модели системы экологического мониторинга основаны на нечеткой математике и базируются на методе анализа иерархий и теории нечетких множеств, у которых основная часть информации, необходимая для построения модели, является качественной или нечеткой. Для выбора четкого значения функции управления применяется метод весов. Для реализации системы принятия решений может быть использован аппарат теории нечетких множеств. В качестве математической модели слабо формализованных задач выступают нечеткие алгоритмы управления, позволяющие получать приближенные решения, не худшие, чем при использовании точных методов. С помощью нечетких множеств можно создавать методы и алгоритмы способные моделировать приемы принятия решений человеком в ходе решения различных задач. В частности, можно осуществлять классификацию, на основе которой строится система принятия решений. Методы теории нечетких множеств позволяют: а) учитывать различного рода неопределенности и неточности, вносимые субъектом и процессами управления, и формализовать словесную информацию человека о задаче; б) существенно уменьшить число исходных элементов модели процесса управления и извлечь полезную информацию для построения алгоритма управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Global Earth Observation System of Systems (GEOSS), 2007-2009 Work Plan: Toward Convergence. – 2006. – 38 p.
2. Берштейн Л. С. Гибридная экспертная система с вычислительным модулем для прогноза экологических ситуаций / Л. С. Берштейн, А. Н. Целых // Интеллектуальные системы – 96 : труды международного симпозиума. – Москва. – 1996. – С. 96–97.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ВИБРОГАСИТЕЛЕЙ ПРИ ТОНКОМ РАСТАЧИВАНИИ ЖЕСТКАМИ БОРШТАНГАМИ

Исследования динамических взаимодействий при высокоточном финишном растачивании являются весьма актуальными. Низкий уровень вибраций обеспечивает высокую производительность и точность технологической системы, обеспечивая ее динамическое качество. Для уменьшения уровня колебаний отделочно-расточных станков широко используются специальные конструктивные устройства-поглотители колебаний (демпферы), присоединяемые к упругой системе станка. Конструктивный анализ моделей демпферов и динамических гасителей колебаний приведены в [1, 2, 3].

Встраиваемые в консольную борштангу виброгасители должны размещаться в специальной полости (либо перед резцом, либо за резцом). Оптимальная настройка виброгасителей обеспечивается размерами полости. В этом исследовании использовались виброгасители с демпфированием, состоящие из шести дисков из твердого сплава.

Эффективность виброгашения можно оценивать путем сравнения амплитуд A_0 и A_T колебаний объекта до установки гасящего устройства и с установленным гасящим устройством. Отношение названных амплитуд для частоты колебаний ω является коэффициентом гашения $K_3(\omega) = A_0/A_T$. Гашение колебаний является эффективным, если $K_3(\omega) > 1$.

В нашей работе для определения эффективности виброгасителя использовались значения радиального износа резцов на одинаковых путях резания в условиях растачивания жесткими консольными борштангами отверстий в коротких деталях, установленных в жесткие приспособления.

Исследования показали рациональность применения динамического виброгасителя с затуханием не только для борштанг с большим значением отношения длины к диаметру, но и для жестких борштанг с $L/D = 2$. Обнаруженное нами существенное уменьшение уровня вибраций (даже на жестких борштангах) позволило высказать предположение о том, что применение динамического виброгасителя на борштангах с малым значением отношения $L/D = 2$ должно привести к повышению стойкости режущего инструмента. Возникающие в процессе резания колебания борштанги могут привести к повышению температуры в зоне резания и, кроме того, создать переменные нагрузки, разрушающие инструмент. Высокая частота колебаний жестких борштанг приводит к тому, что работа трения и динамические перегрузки инструмента могут принимать достаточно большие значения даже при малых амплитудах вибраций.

Тонкая расточка, для исследования влияния динамического виброгасителя на размерный износ резцов, оснащённых сплавом ВКЗ и Т30К4, производилась борштангами диаметром 16 мм на алмазно-расточном станке модели 2А715.

В таблице приведены результаты измерения размерного износа резцов при обработке стали 45 без виброгасителя и с виброгасителем.

Таблица 1 – Результаты измерений размерного износа резцов

Номера резцов	Без виброгасителя				С виброгасителем	
	1	2	3	4	2	3
Путь резания (м)	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Износ резца (мкм)	11	9	9	11	5	6,5

Как видно из приведенной таблицы при работе с виброгасителем происходит существенное уменьшение износа резцов. Однако, при сопоставлении данных об интенсивности износа отдельных резцов сталкиваемся с тем, что даже при одинаковых условиях резания графики износа не совпадают, что объясняется неоднородностью поведения различных экземпляров резцов одного типа при одинаковых условиях резания. Для исключения этого обстоятельства сравнивалась интенсивность износа одного и того же резца при последовательной работе его с виброгасителем и без виброгасителя.

Приведенные результаты экспериментов показывают, что уменьшение уровня вибраций улучшает качество обработанной поверхности и значительно увеличивается стойкость режущего инструмента в среднем для стали – в 2,5 раза, для чугуна – в 5 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копелев Ю.Ф., Оргиян А.А., Кобелев В.М. Параметрические колебания металлорежущих станков. / Под общей редакцией Копелева Ю.Ф. – Одесса: Печатный дом, ОНПУ, 2007. – 352 с. ISBN 978-966-389-103-3.
2. Оргиян О.А. Налагодження віброгасителів для борштанг, які обробляють переривчасту поверхню // Наук. пр. Одес. держ. акад. харч. технологій. – 1999. – Вип. 20. – С. 297-300.
3. Ривин Е.И., Лапин Ю.Э. Демпферы и динамические гасители колебаний металлорежущих станков. М.: НИИМАШ, 1988.– 52 с.
4. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебное пособие. – 3-е изд. – СПб.: Лань, 2010. – 512 с.
5. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА ИЗДЕЛИЙ

Техническое применение автоматической сортировки деталей находит свое место при выполнении селективной сборки, когда осуществляется обеспечение необходимого сопряжения подбором пары деталей.

1. Классификация сортирующих автоматов

1. По способу распределения штучных объектов:

- а) под действием собственного веса;
- б) принудительно.

2. По системе направляющих устройств:

- а) неподвижных наклонных плоскостей;
- б) подвижных с заслонками.

3. По способу перемещения контролирующего объекта в измерительной позиции:

- а) непрерывно;
- б) с остановками.

4. По системе привода в приборе:

- а) механического;
- б) пневматического;
- в) электрического.

5. По системе преобразования:

- а) прямого;
- б) следящего;
- в) развертывающего.

2. Сортировочные автоматы прямого преобразования.

Сортировочные автоматы прямого преобразования могут выполняться с механическими измеряющими элементами или с электрическими датчиками размера.

Эти автоматы применяют для контроля и сортировки шариков и роликов подшипников, с параметрами диаметра от 3 до 36 мм и по длине от 6 до 36 мм. Наименьший интервал сортировки составляет 0,003 мм. Производительность автоматов достигает 4000 шт./час.

Электрические автоматы. Электрические сортировочные автоматы прямого преобразования строятся на сочетании электрических датчиков размера с исполнительными сортирующими органами (рис. 1).

Измерительные цепи преобразователей могут быть построены по каскадному, дифференциальному и смешанному принципам. Выбор типа автомата зависит от требований, определяемых ее размером, точностью, количеством групп

сортировки контролируемой детали, стабильностью и повторяемостью параметров преобразователя.

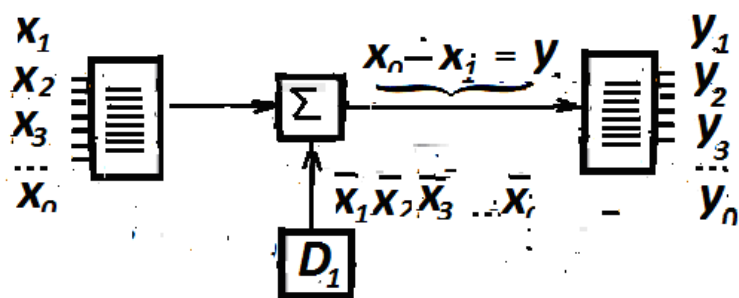


Рисунок 1 – Контрольно-сортирующий автомат прямого преобразования

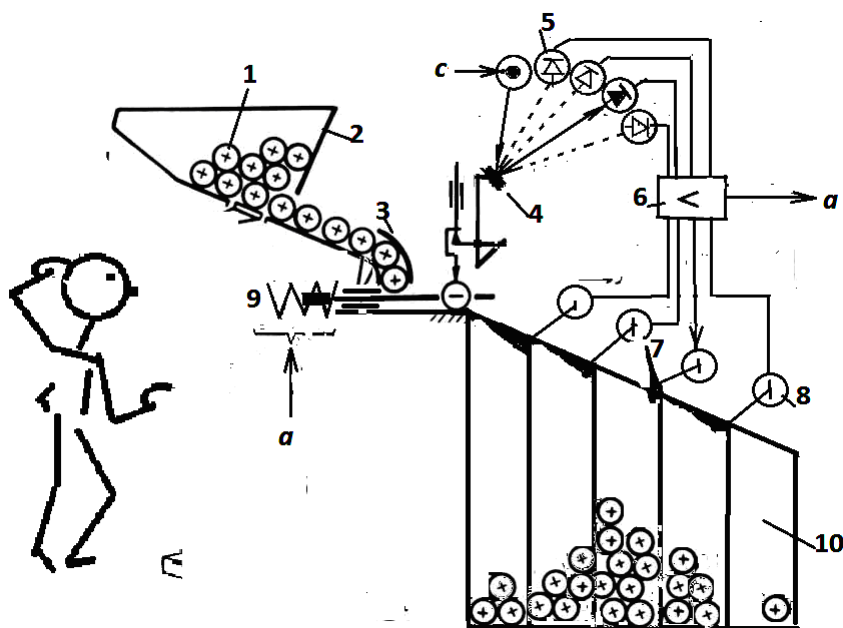


Рисунок 2 – Контрольно-сортирующий автомат (прямого действия):
 1 – деталь, 2 – бункер, 3 – лоток, 4 – фото-датчик, 5 – светодиод,
 6 – контроллер, 7 – заслонка, 8 – микродвигатель, 9 – выбрасыватель,
 10 – приемник с ячейками и рассортированными деталями

Контролируемая деталь 1 из бункера 2 подается по лотку 3 на измерительную позицию, в которой установлен фотоэлектрический датчик 4. При засветке лучом светодиода 5 подается сигнал на открытие заслонки ячейки приемника, после чего срабатывает выбрасыватель 9 и деталь направляется в ячейку 3-й группы деталей приемника. Если фотодиоды датчика не засвечены, то заслонки автомата в положении «закрыто». В этом случае деталь скатывается в последнюю открытую ячейку. Туда попадают не кондиционные детали. Использование вместо фотоэлектрического датчика, датчика другой конструкции не меняет принципа построения сортировочного автомата простого преобразования.

3. Сортировочные автоматы следящего преобразования

Сортировочные автоматы следящего преобразования строятся на основе электрического датчика размера со следящим приводом компенсатора и исполнительного сортирующего органа, связанного с ним обратной связью. Рассмотрим типичный случай наличия обратной связи между электрическим датчиком и исполнительным электродвигателем на примере автомата К-37.

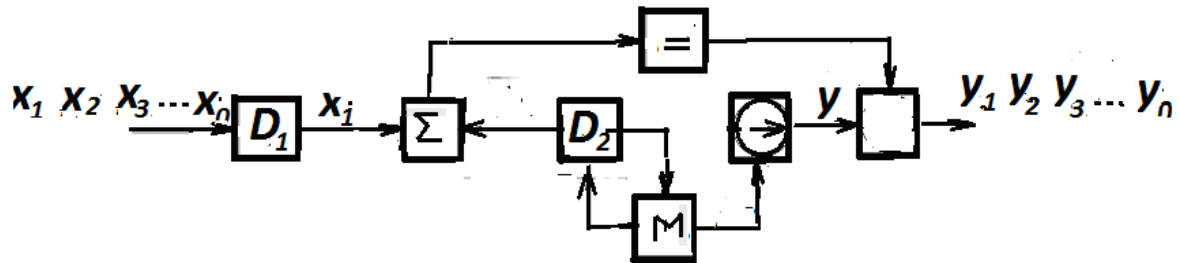


Рисунок 3 – Сортировочные автоматы следящего преобразования

Автомат предназначен для контроля игл форсунки по геометрической форме и сортировки их на 50 групп по диаметру через 2 мкм. Автомат состоит из бункера для загрузки деталей, питателя, подающего деталь на измерительную позицию для контроля диаметра, и узла сортировки деталей на 50 групп.

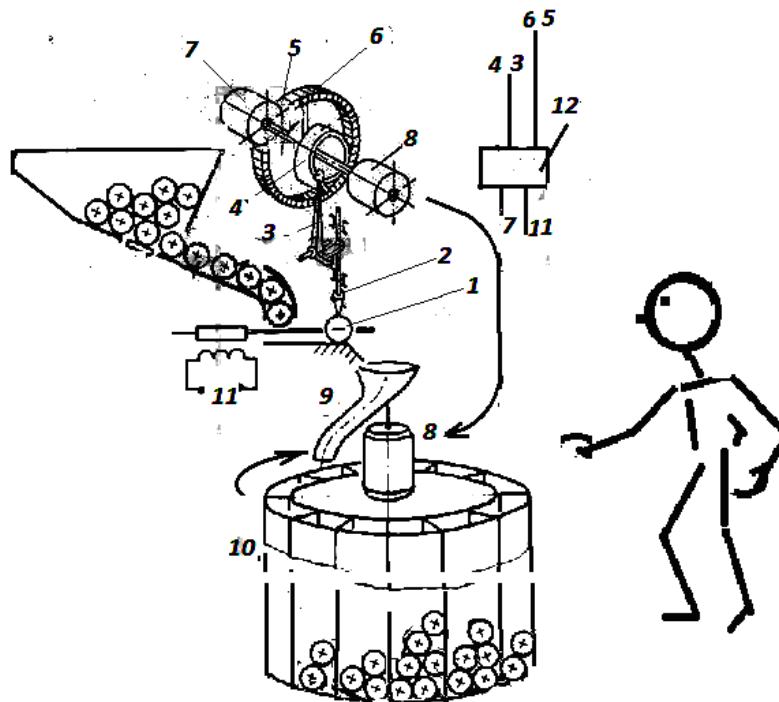


Рисунок 4 – Контрольно-сортирующий автомат (следящего действия): 1 – измерительная позиция, 2 – датчик, 3 – контакт датчика, 4 – контактное кольцо-компенсатор, 5 – кольцевой резистор, 6 – контактор, 7 – мотор, 8 – сельсин (Д) – сельсин (П), 9 – распределитель, 10 – бункер сортированных деталей, 11 – сбрасыватель, 12 – контроллер

Исполнительным органом автомата является пара сельсинов, включенных по трансформаторной схеме. После того, как деталь остановилась на измерительной позиции, чувствительный шток 2 передвигает рычаг 3, несущий контакт,

устанавливаясь в положение, соответствующее контролируемому размеру, включается электродвигатель 7 датчика 2И-29. Электродвигатель 7 приводит во вращение торцевой кулачок 4 с равномерным подъемом образующей, рассчитанный на сортировку деталей через 2 мкм.

Вращение торцевого контактного кулачка 4 идет в сторону нарастания высоты спирали, в результате чего происходит замыкание электрической цепи, включается по команде контроллера 12 механизм сбрасывания детали, которая через направляющую воронку попадает в соответствующую ячейку. Положение кулачка контакта синхронизируется с позицией направляющей воронки с помощью сельсинов 8-8. После сброса детали контакты датчика размыкаются, включается электродвигатель на реверс, возвращая кулачок датчика и воронку в начальное положение. Автомат такой конструкции производит контроль размера деталей с сортировкой на 25 – 30 групп с интервалом 4 – 8 мкм.

4. Сортирующие автоматы развертывающего преобразования

Схему сортировочного автомата с развертывающим преобразованием можно представить, как логическое продолжение рассмотренной схемы автомата следящего преобразования, в отличие от которой в данном случае двигатель и с ним вся система компенсации не реверсирует, а непрерывно продолжает развертывание, образуя связь между сортирующим органом и датчиком размера. Такие автоматы строятся на основе электрического компенсационного датчика размера с непрерывной разверткой в элементы компенсирующего звена цепи согласования.

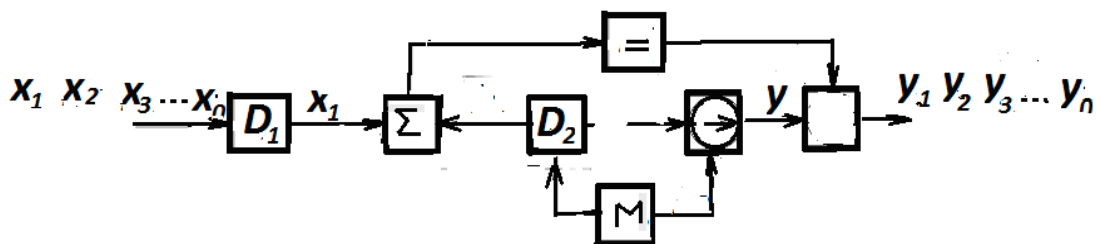


Рисунок 5 – Контрольно-сортирующий автомат развертывающего преобразования

В автомате для многодиапазонной сортировки роликов применен емкостный датчик размера. Он включен в резонансный мост электрической схемы с элементом компенсации. В качестве компенсатора сигнала в мосте применен конденсатор переменной емкости. Для изменения емкости компенсатора использована поворотная пластина компенсирующего конденсатора, которая приводится во вращение развертывающим электродвигателем. Резонансный мост находится в равновесии, если подвижная пластина измерительного датчика-конденсатора 3 располагается точно посередине между неподвижными пластинами. При этом положении размер контролируемого изделия равен заданной величине. Генератор 1 звуковой частоты питает резонансный мост 2, в два плеча которого включены половины дифференциального конденсатора 3 емкостного датчика размера контролируемого изделия 4.

При отклонении размера детали от заданной величины в диагонали моста между точками «а» и «б» возникает напряжение. Для приведения моста в баланс служит компенсирующий конденсатор 5, включенный параллельно измерительному конденсатору 3. Компенсирующий конденсатор имеет поворотную пластину, которая при балансе резонансного моста занимает симметричное положение относительно двух неподвижных пластин.

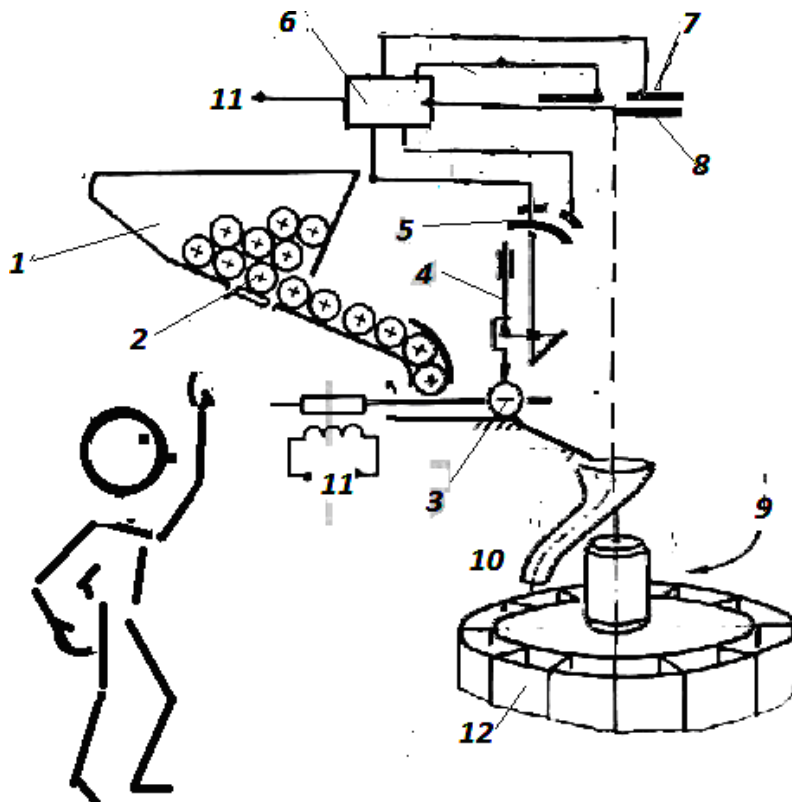


Рисунок 6 – Контрольно-сортирующий автомат (развертывающего преобразования): 1 – бункер, 2 – детали, подлежащие сортировке, 3 – измерительная позиция, 4 – датчик, 5 – подвижная пластина датчика, 6 – контроллер, 7 – емкостной автокомпенсатор, 8 – вращающаяся пластина конденсатора-компенсатора, 9 – мотор, 10 – распределитель, 11 – сбрасыватель, 12 – бункер распределенных деталей

Если размер детали отклонился от заданного, то мост выйдет из баланса. Для приведения моста в баланс поворотная пластина компенсирующего конденсатора поворачивается на определенный угол, знак которого определяется знаком отклонения размера. Поворотная пластина компенсирующего конденсатора непрерывно вращается с постоянной скоростью, поэтому мост будет проходить положение баланса один раз за один оборот пластины. В момент баланса моста блок управления выдает команду на сброс ролика в направляющую воронку. В результате этого ролик попадает в определенную ячейку бункера распределенных деталей, что достигается благодаря синхронной связи подвижной пластины компенсирующего конденсатора и воронки распределителя.

Устройство подобного типа применяется для сортировки изделий электронной промышленности и в подшипниковом производстве для контроля и сортировки шариков, роликов подшипников на 30 – 40 групп с размерным интервалом сортировки в 4 – 5 мкм и производительностью 600 штук в минуту.

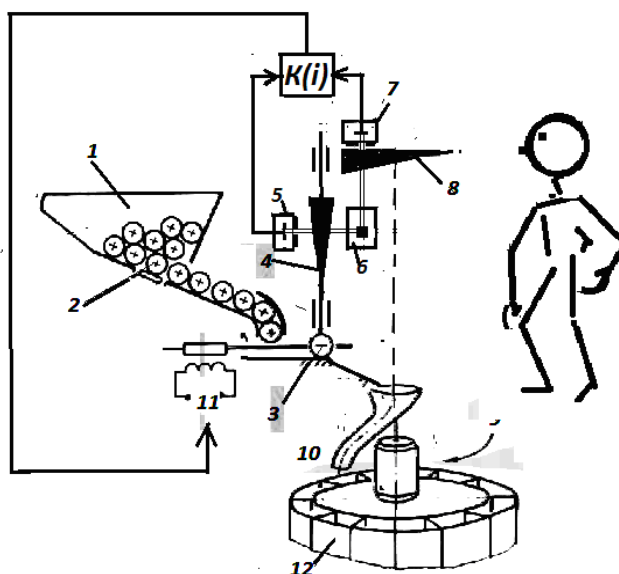


Рисунок 7 – Контрольно сортирующий автомат развертывающего преобразования: 1 – бункер, 2 – детали, подлежащие сортировке, 3 – измерительная позиция, 4 – датчик, 5 – приемник излучения (датчика), 6 – источник излучения, 7 – приемник излучения (автокомпенсатора), 8 – вращающаяся пластина компенсатора, 9 – мотор, 10 – распределитель, 11 – сбрасыватель, 12 – бункер распределенных деталей

Новый вариант сортирующего автомата имеет датчик излучения. Измерительный штوك датчика 4 снабжен экраном переменного сечения. При измерении его положение определяется размером изделия. Экран пропустит поток излучения в приемник излучения 5 величину излучения 6, пропорционально измеряемому размеру. Такой же экран 8 имеет компенсатор, который приводится во вращение мотором 9 синхронно с распределительной воронкой 10. Экран компенсатора также имеет переменное сечение. Поток излучения, проходя через экран, изменяет свою величину, которую проходит в приемник 7 через экран компенсатора 8. Мотор вращает экран компенсатора и воронку распределителя в одном направлении. При совпадении сигналов от приемника излучения датчика и приемника излучения компенсатора контроллер подает команду на сброс детали через воронку в ячейку приемного бункера. Устройство применяется для сортировки шариков, роликов подшипников и плунжеров топливных насосов на 50 групп с размерным интервалом сортировки в 2 – 4 мкм и производительностью 1000 – 1200 штук в минуту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добрынин Е.М. Приборы автоматического контроля размеров в машиностроении / Е.М. Добрынин. – М.: Машгиз, 1960. – 302 с.

2. Жовтобрюх В.А. Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ / В.А. Жовтобрюх, Ф.В. Новиков. – Днепр: Лира, 2019. – 480 с.

3. Педь Е.И. Приборы автоматизации измерений / Е.И. Педь. – М.: Высшая школа, 1984. – 368 с.

Гусарев В.С., Наддачин В.Б.

Одесский национальный политехнический университет
Одесса, Украина

ОЧЕРЕДЬ ОБЪЕКТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПОТОКЕ ГПС

Гибкими производственными системами «ГПС» называются автоматические комплексы, которые состоят из станков с ЧПУ, промышленных роботов и магазинов-накопителей для хранения заготовок и обработанных частично или полностью изделий. ГПС допускают возможность беспереналадочного выпуска большой номенклатуры деталей в одном потоке. Возникает вопрос: зачем необходимо создавать производство со смешанной номенклатурой изделий в одном потоке? Это объясняется удобством организации сборочного процесса, куда поступают сборочные комплекты с обрабатывающих линий.

В свою очередь обрабатывающие линии становятся компактными из-за применения многооперационных станков типа «обрабатывающий центр» (ОЦ). Это способствует развитию малых форм организации производств и сферы малого бизнеса в машиностроении. Именно обработка деталей комплектами позволила применить групповую технологию на станках ОЦ с ЧПУ. Групповая технология предусматривает максимальную загрузку таких станков при одновременном сокращении их количества. Как указывал проф. Митрофанов С. П., особую значимость в этой технологии приобретают станки с ЧПУ, организованные в системы, управляемые ЭВМ [1, 2].

Использование общих принципов групповой обработки в ГПС приводит к появлению структурного программирования и планирования запуска деталей на обработку в строго определенном порядке [3, 4]. Существует мнение, что если в системе применяются станки с ЧПУ, да еще управляемые ЭВМ, широкое разнообразие деталей может поступать на обработку в систему в произвольном порядке. К такому мнению необходимо подходить с некоторой осторожностью [5]. Рассмотрим возможные варианты использования ОЦ для обработки серии ТО с различной сложностью в операционных действиях. Для этого проведем виртуальный эксперимент.

Пусть мы имеем серию из четырех деталей (для примера):

$$abcd \longrightarrow t_1=100, \quad abc \longrightarrow t_2=50, \quad ab \longrightarrow t_3=20, \quad a \longrightarrow t_4=10.$$

Детали серии имеют разную сложность и, естественно, разное время обработки. Они обладают разной «станкоемкостью» в силу сложности их процесса обработки.

Возникает вопрос, в каком порядке производить запуск деталей на обработку? Этот вопрос не из теории массового обслуживания [7], потому что нет случайного потока деталей на обслуживание (обработку) детали станком. Он здесь планируется. Время обслуживания здесь величина не случайная, а известная и детерминированная. К тому же вопрос о порядке запуска вроде ни к чему, ведь ОЦ так или иначе будет загружен полностью на $\Sigma T = 180$ единиц времени (ев). Среднее время выпуска одной детали $T(i) = \Sigma T/n = 180/4 = 45$ ев.

Рассмотрим запуск объектов на обработку в произвольном порядке очереди.

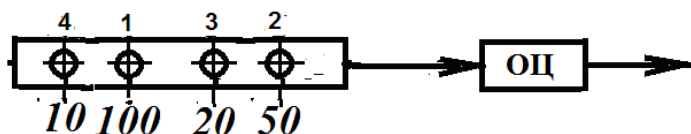


Рисунок 1 – «Произвольный» порядок ТО в очереди на обслуживание в ГПС

Вторая деталь идет на обработку первой $T(2) = (t_m + t_0) = 50$, т.к. $t_0 = 0$.

Третья – второй $T(3) = (t_m + t_0) = (20 + 50) = 70$.

Первая – третьей $T(1) = (t_m + t_0) = (100 + 20 + 50) = 170$.

Четвертая – четвертой $T(4) = (t_m + t_0) = (10 + 100 + 20 + 50) = 180$.

Суммарное время прохождения серии деталей через систему $\Sigma T(n) = 470$.

Среднее время прохождения детали $\Sigma T(i)/n = 470/4 = 117,5$ ев.

Рассмотрим запуск объектов на обработку в порядке очереди 1, 2, 3, 4.

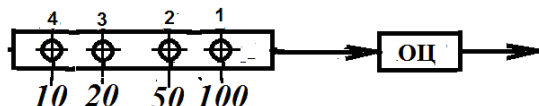


Рисунок 2 – «Прямой» порядок очереди ТО на обслуживание в ГПС

Здесь на обработку поступают детали разной сложности (станкоемкости): $t(1) = 100$, $t(2) = 50$, $t(3) = 20$, $t(4) = 10$.

Однако если учесть время, которое детали находятся в очереди на обработку (обслуживание) ГПС, то картина меняется. Общее время:

$$T(i) = (t_m + t_0),$$

где t_m – время обработки; t_0 – время ожидания.

Первая деталь обрабатывается без ожидания в очереди:

$$T(1) = (t_m + t_0), \text{ при } t_0 = 0, T(1) = (t_m) = 100.$$

Вторая – $T(2) = (t_m + t_0) = (50 + 100) = 150$.

Третья – $T(3) = (t_m + t_0) = (20 + 50 + 100) = 170$.

Четвертая – $T(4) = (t_m + t_0) = (10 + 20 + 50 + 100) = 180$.

Суммарное время прохождения серии деталей через систему $\Sigma T(n) = 600$.

Среднее время детали $\Sigma T(i)/n = 600/4 = 150$ ев.

Если построить детали в очередь в обратном порядке 4, 3, 2, 1.

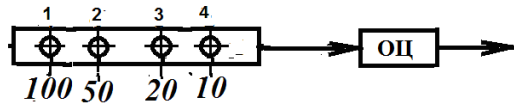


Рисунок 3 – «Обратный» порядок ТО в очереди на обслуживание ГПС

Четвертая деталь идет на обработку первой $T(4) = (t_m + t_0) = 10$, т.к. $t_0 = 0$.

Третья – второй $T(3) = (t_m + t_0) = (20 + 10) = 30$.

Вторая – третьей $T(2) = (t_m + t_0) = (50 + 20 + 10) = 80$.

Первая – четвертой $T(1) = (t_m + t_0) = (100 + 50 + 20 + 10) = 180$.

Суммарное время прохождения серии деталей через систему $\Sigma T(n) = 300$.

Среднее время детали $\Sigma T(i)/n = 300/4 = 75$ е.в.

Как видно из нашего виртуального эксперимента, мы нашли оптимальное расписание запуска технологических объектов из серии по критерию минимума времени:

$$\bar{T}_{min} = \frac{\left(\sum_{i=1}^m t_i(o) + \sum_{i=1}^m t_i(s) \right)}{m}$$

при $t_1(o) < t_2(o) < \dots < t_m(o)$

Из нашего виртуального эксперимента напрашивается вывод: построение очереди при запуске серии деталей на обработку в ГПС (обслуживание) в дискретном регулярном потоке следует планировать от простого ТО к сложному:

$$a \rightarrow t_4 = 10, ab \rightarrow t_3 = 20, abc \rightarrow t_2 = 50, abcd \rightarrow t_1 = 100.$$

Однако продолжим изучать другие производственные случаи. Пусть комплект деталей состоит из двух серий. Они поступает на обработку в контейнере (таре) целиком, а не отдельными сериями, как было в рассмотренных выше случаях. Процесс выполняется следующим образом. Из контейнера берутся детали первой серии и обрабатываются согласно оптимальному расписанию (рис. 2), после чего обрабатываются детали второй серии.

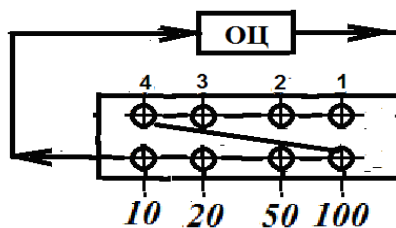


Рисунок 4 – Последовательная обработка двух серий

Преимущество такого запуска сначала первой серии, а затем второй в программном планировании, т.к. программа запуска и, следовательно, обработки повторяются и не требуют перепрограммирования запуска.

Среднее время нахождения детали в системе из любой серии будет:

$$\bar{T}_{min} = \frac{n \left(\sum_{i=1}^m t_i(o) + \sum_{i=1}^m t_i(s) \right)}{m}$$

при $t_1(o) < t_2(o) < \dots < t_m(o)$

где n – число серий, m – число деталей в серии, $t_i(o)$ – время обработки, $t_i(s)$ – ожидание в очереди T_{min} – среднее время обслуживания (обработки) детали.

Возможен вариант запуска деталей одного типа из каждой серии парами.

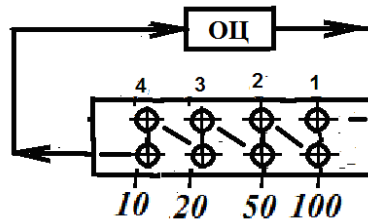


Рисунок 5 – Схема запуска деталей из двух серий парно последовательно

Схема обработки деталей попарно не позволяет использовать пакет программ запуска и поэтому должна быть скорректирована, что не всегда удобно.

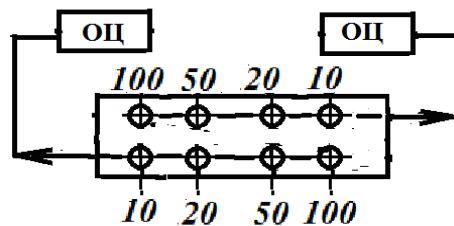


Рисунок 6 – Параллельный запуск на обработку деталей из первой и второй серии

Данная схема с двумя ОЦ и общим магазином обеспечивает решение нескольких организационно-технических задач:

- независимость функционирования ОЦ,
- независимость наладки и переналадки ОЦ,
- независимое управление ОЦ,
- возможность использования пакета программ запуска,
- допускает оптимальное планирование времени выпуска деталей.

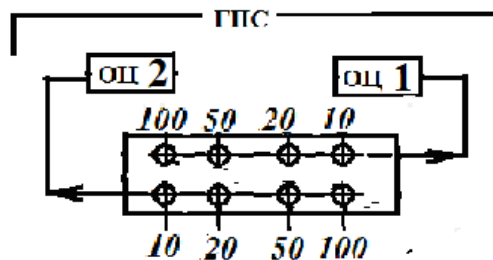


Рисунок 7 – Схема ГПС с общим магазином и ОЦ

При использовании отдельно стоящего магазина-склада и загрузки ОЦ с помощью промышленного робота время ожидания может увеличиться от 2 до

5 % к общему времени. Общее время $T(i) = \Sigma T(i) = 320$ ед. Среднее время параллельной работы несколько уменьшится $T(i) = n \Sigma T(i) / 2n = 40$ ед.

Особенность такой организации ГПС требует придания каждому модулю ГПС дополнительного устройства. Конструктивно это может быть робот-перегрузчик, отдельно стоящий, или поворотный стол станка с приспособлением для выполнения операции перегрузки деталей. Примерная схема такой ГПС представлена на рис. 8.

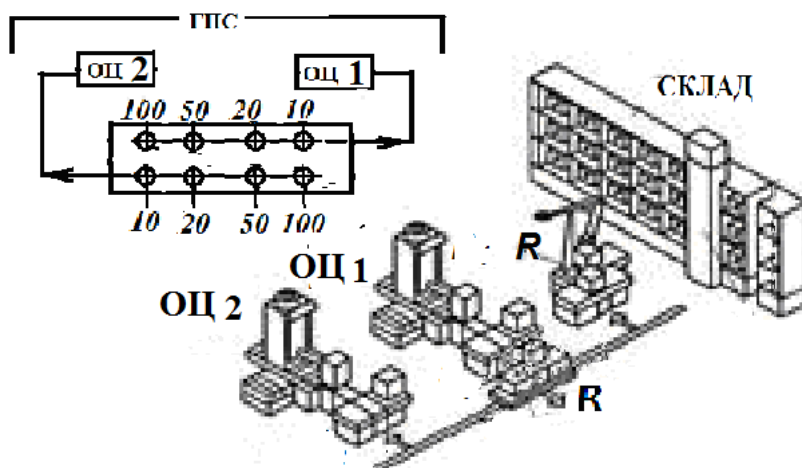


Рисунок 8 – Схема ГПС с общим магазином, робот-каром (Rk) для транспортировки контейнера с перегружаемыми деталями

Использование общих принципов построения ГПС групповой обработки приводит к появлению определенной структурной избыточности как в технологических средствах, так и в элементах автоматизации. ГПС, которые созданы к настоящему времени в разных странах, весьма разнообразны как по своей масштабности, так и по уровню автоматизации. При проектировании ГПС возникают определенные трудности в представлении взаимодействия станков, роботов, транспортной и складской систем. Разрешение этих сложностей позволяет метод структурного анализа схем [5, 6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства в 2-х томах / С.П. Митрофанов. – М.–Л.: Машиностроение, 1999. – т. 1. – 526 с.; т. 2. – 437с.
2. Митрофанов С.П. Организация группового производства / С. П. Митрофанов. 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1983. – 407 с.
3. Жовтобрюх В.А. Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ / В.А. Жовтобрюх, Ф.В. Новиков. – Днепр: Лира, 2019. – 480 с.
4. Новиков Ф.В. Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки / Ф. В. Новиков. – Днепр: Лира, 2018. – 400 с.

5. Гусарев В.С. Структуры гибких производственных систем / В. С. Гусарев // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. Зб. наукових праць. – Одеса: ОНПУ, Наука і техніка, 2015. – Вип. 3(8). – С. 143–150.

6. Гусарев В.С. Модели процессов, алгоритмы, структуры технологических машин / В.С. Гусарев. – Одесса: Печатный дом, 2018. – 227 с.

7. Козырев Ю.Г. Гибкие производственные системы. Справочник: справочное издание / Ю.Г. Козырев. – М.: КНОРУС, 2017. – 364 с.

Гуцаленко Ю.Г., Руднев О.В., Стрельчук Р.М.
НТУ «ХП», Харків, Україна

АЛМАЗНО-ІСКРОВЕ ШЛІФУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТВЕРДИХ МАСТИЛ ЯК ВІДПОВІДЬ ЕКОЛОГІЧНИМ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИМ ВИКЛИКАМ СУЧАСНОСТІ

У галузях, що визначають техніко-технологічну конкурентоспроможність развитих країн, широко використовуються деталі, висока функціональність яких є наслідком підвищеної твердості та зносостійкості матеріалів виготовлення, тобто важкооброблюваних. Головною комплексною проблемою у виготовленні деталей з таких матеріалів є одночасне забезпечення технологічної продуктивності, функціональної якості та екологічної чистоти технологій.

Загальноприйнятим технологічним прийомом щодо точного фінішного шліфування важкооброблюваних деталей є застосування струменевого поливу змащувально-охолоджувачами технологічними засобами (ЗОТЗ) на водяній або масляній рідинній основі [1]. В промислових країнах світу використовується величезна кількість рідких ЗОТЗ, наприклад в Німеччині і США до 110 і 250 млн. літрів на рік відповідно. Але міжконтинентальний масштаб проблеми забезпеченості чистою прісною водою величезних територій в азіатському, африканському, австралійському, американському регіонах глобально стимулює скорочення споживання води в промислових цілях як перманентний тренд науково-технічного розвитку нашої цивілізації [2], в тому числі стосовно ЗОТЗ при механічній обробці – від мінімізації подачі, наприклад у вигляді порційних мікродоз, і до повної відмови [3].

ЗОТЗ є джерелом досить високих виробничих витрат, пов'язаних з її приготуванням, транспортуванням, експлуатацією систем подачі в зону обробки, регенерацією, рекуперацією і утилізацією. За даними швейцарської фірми «Mikron SA Aqno» [4] витрати на ЗОТЗ в розрахунку на один верстат складають в середньому від 50 до 300 доларів США в день з урахуванням повної вартості систем подачі ЗОТЗ в зону обробки, підтримки її стану в нормальному вигляді.

Аналіз активності фірм та наукових центрів показує, що у світі ведеться інтенсивний пошук ефективних технологічних прийомів переходу на мало- та

безводні технології механічної обробки відповідно глобальному екологічному виклику проблемою питної води. Проблематика систем охолодження в процесах шліфування матеріалів актуалізована сучасною європейською технологічною платформою Industry 4.0 (M.Winter, Німеччина [1]) і розглядається в єдності технічного, економічного та екологічного розвитку (E.Benedicto (Іспанія), D.Carou (Ірландія) і M.Rubio (Португалія) [3]).

У Китаї і США формуються уявлення про термодинамічний механізм процесів шліфування в умовах мінімального охолодження і змащування (M.Yang та ін. [5]). На скінчено-елементних моделях (M.Nadad і A.Sharbati, Іран [6]) досліджується тепловідведення із зони різання з використанням мінімального рідинного змащення альтернативно конвенціональним підходам. Розвиваються нетрадиційні включення шліфувального круга в схему подачі охолоджуючих агентів при процесуванні важкооброблюваних матеріалів (S.Toyoukawa та ін., Японія [7]). Розглядаються різні тверді альтернативи рідинним засобам, які є мастильно-охолоджуючими і очищують робочу поверхню шліфувального круга, аж до твердої води (сухого льоду) – Yu.Ohta та ін., Японія [8].

Нові можливості комплексної оптимізації операцій шліфування матеріалів високої твердості в країнах з проблемою прісної води зв'язуються з удосконаленням повітряного охолодження (B.Voswell та ін., Австралія та Індонезія [9]). Повітряний потік як охолоджуючу середу при різанні матеріалів пропонується попередньо активувати іонізацією (М.Ш.Мигранов та ін., Росія [10]). Регіональні культури ощадливості чистої води і глобальний характер цієї проблеми стимулюють також міжнародне науково-технічне співробітництво в розробках і дослідженні техніки мінімального змащування як життєздатної альтернативи звичайному поливу (B.Sen та ін. [11], Індія, Бангладеш, Польща і Великобританія).

Перспективні підходи до розробки та розвитку екологічно орієнтованих процесів продуктивного алмазного шліфування важкооброблюваних матеріалів включають застосування безводної обробки з твердими мастилами (ТМ) і мінімального рідинного охолодження (M.Winter, Німеччина [1]), проте відома інформація про відповідну дослідницьку практику у провідних наукових школах найбільш економічно розвинених країн (США, Великобританія, Німеччина, Китай, Японія) та інших, по-перше, фрагментарна і не достатня для розробки технологічних інструкцій і рекомендацій промисловості; по-друге, дозволяє стверджувати про відсутність таких досліджень стосовно найбільш прогресивних електрофізичних методів алмазно-абразивної обробки, крім деякого досвіду АІШ в НТУ «ХП» з вивченням мікрогеометричної спадковості процесу на твердих сплавах (А.К.Агу і М.Д.Узунян [12], Нігерія і Україна).

Центральним задумом [12] є використання переваг алмазного шліфування з розвінутим ріжучим рельєфом робочої поверхні круга з позицій теплового навантаження зони різання і тому меншої залежності від інтенсивного застосування ЗОТЗ, за звичайною практикою – струменевим поливом, можливості переходу шляхом застосування ТМ до конкурентних у світі за глобальним трендом зменшення витрат води у промисловості безводних технологій алмазно-абразив-

ної обробки, вирішення на цій основі комплексної проблеми технологічної продуктивності, функціональної якості та екологічної чистоти алмазного шліфування важкооброблюваних матеріалів.

Дослідження авторів стосовно процесів алмазного шліфування з ініціацією електричних розрядів та без електричного току в зоні обробки [13, 14] дозволяють виходити з тем менш значних теплофізичних наслідків інженерії обробленої поверхні, чем більш розвинутий ріжучий рельєфом робочої поверхні круга і стабільніша підтримка його розвинутості у час шліфування. Наслідком цього є значно менша залежність продуктивності та якості процесів алмазного шліфування від ЗОТС.

З позицій очистки робочої поверхні круга від продуктів стружкоутворення по ходу обробки важливою є електрофізична за природою значною мірою еквівалентність безводних процесів АПШ процесам алмазного шліфування з функцією струйної очистки робочої поверхні круга та її промивки від продуктів стружкоутворення за реалізацією схеми подання ЗОТЗ поливом.

З позицій зниження теплової напруженості в зоні обробки важливою є значною мірою трибологічна за природою еквівалентність безводних процесів алмазно-іскрового шліфування з використанням ТМ процесам алмазного шліфування зі струйним поливом ЗОТЗ.

Серед відмінних рис шліфування з ТМ значущими виділимо також такі:

- тверде змащування робочої поверхні алмазного шліфувального круга може розглядатися як покриття з високою швидкістю зношування, яке поновлюється за певним технологічним регламентом, тобто у функції певного захисного бар'єру між зв'язкою круга та поверхнею обробки, как варіант – діелектричного;

- використання ТМ в бар'єрному розгляді між зв'язкою круга та поверхнею обробки створює передумови для вибіркової, в зонах контактної виборки мастил, а тому більш функціонально ефективної електророзрядної автоорганізації ріжучого рельєфу, підвищує режимні комбінаторні можливості в управлінні розвинутою ріжучого рельєфу в процесах АПШ;

- використання ТМ при алмазному шліфуванні стримує втрату остроти ріжучими зернами та водночас з прямо слідуючим з цього підвищенням ресурсу працездатності алмазних кругів сприяє більш вираженій шорсткості оброблюваної поверхні;

- використання ТМ при алмазному шліфуванні суттєво розширює можливості управління інженерією поверхневого слоя під обробкою через варіювання складом, інтенсивністю та структурою циклу подачі твердого мастила, а при АПШ – також і сумісно з управлінням подачі електрики в зону різання.

Таким чином, подальше досягнення прогресу у вирішенні комплексної проблеми технологічної, якісної та екологічної функціональності фінішного формоутворення важкооброблюваних матеріалів зв'язується нами з використанням методу АПШ із застосуванням ТМ одночасно ініціації електророзрядних фізичних ефектів в зоні різання додатково механічному зніманню припуску.

Перевага такої технічної ідеології полягає у тому, що їх використання не потребує значних фінансових затрат, а навпаки обіцяє очікувати заощадження

коштів на підготовку та реалізацію операцій шліфування і при цьому отримати значний екологічний ефект без зниження технологічної продуктивності і функціональної якості алмазно-абразивної обробки важкооброблюваних матеріалів, зокрема з ряду інструментальних твердосплавних та надтвердих, який за дослідно-експериментальним та виробничим досвідом є найбільш ефективним у застосуванні АІШ.

Цю презентацію і продовження робіт за цим напрямком автори присвячують пам'яті свого вчителя науки про різання матеріалів та його засновника – доктора технічних наук професора Узуняна Матвія Даниловича.

ЛІТЕРАТУРА

1. Winter, M. (2016) Eco-efficiency of Grinding Processes and Systems. Springer AG Switzerland, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25205-6>.
2. The Global Risk Report 2019, 14th Ed. Geneva, World Economic Forum, http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2019.pdf.
3. Benedicto, E., et al. (2017) Technical, economic and environmental review of the lubrication/cooling. *Procedia Eng.* 184: 99-116, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.075>.
4. Micron Annual Report 2018 (2018). Biel, Micron Holding AG, https://www.mikron.com/fileadmin/user_upload/01mikron_group/reports/2018/Mikron_AnnualReport2018_WEB.pdf.
5. Yang, M., et al. (2018) Thermodynamic mechanism of nanofluid minimum quantity lubrication cooling grinding and temperature field models. Ch. in: *Microfluidics and Nanofluidics*. London, IntechOpen, 61-81, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74969>.
6. Hadad, M., & A. Sharbati (2016) Thermal aspects of environmentally friendly-MQL grinding process. *Procedia CIRP* 40: 509-515, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.125>.
7. Toyokawa, S., et al. (2019) Surface characteristics with curved grinding of a titanium alloy with coolant supplied from the inner side of the grinding wheel. *Key Eng. Mater.* 825: 84-91, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.825.84>.
8. Ohta, Yu., et al. (2017) Efficiency investigation of removal of loading carbon chips on wheel surface using dry ice blasting. *Key Eng. Mater.* 749: 124-129, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.749.124>.
9. Boswell, B., et al. (2016) Grinding using cold air cooling. *Lect. Notes Eng. Comput. Sci.* 2: 680-687, <http://hdl.handle.net/20.500.11937/51540>.
10. Мигранов, М.Ш. Применение сухого электростатического охлаждения при резании труднообрабатываемых материалов / М.Ш. Мигранов, В.Р. Мухаммадеев, А.Ф. Садыков // *Вестник УГАТУ*. – 2018. – № 4. – С. 12-18.
11. Sen, B., et al. (2019) Eco-friendly cutting fluids in minimum quantity lubrication assisted machining: a review on the perception of sustainable manufacturing. *Int. J. Pr. Eng. Man.-GT*. Publ. online: 15 Oct. 2019, <https://doi.org/10.1007/s40684-019-00158-6>.

12. Агу, А.К. Исследование шероховатости поверхности при алмазно-искровом шлифовании твёрдых сплавов с применением технологии минимальной смазки / А.К. Агу, М.Д. Узунян // Резание и инструменты в технологических системах. – 2017. – Вып. 87 – С. 12-17.

13. Гуцаленко, Ю.Г. Алмазно-искровое шлифование материалов высокой функциональности [Электрон. ресурс] / Ю.Г. Гуцаленко. – Х.: Курсор, НТУ «ХПИ», 2016. – 272 с. – <http://web.kpi.kharkov.ua/cutting/dsghfm-monograph.pdf>.

14. Агу, А.К. Шлифование твердых сплавов с применением технологии минимальной смазки [Электрон. ресурс] / А.К. Агу, М.Д. Узунян, А.В. Руднев. – 2018. – 140 с. – <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/38752>.

*Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К., Степанова И.И.
НТУ «ХПИ», Харьков, Украина*

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПОКРЫТИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ

Востребованность технологий микродугового оксидирования (МДО) и их исследований стимулируется появлением новых перспектив эффективного формирования и использования покрытий [1]. Сегодняшний интерес к исследованию диэлектрических свойств микродуговых оксидных покрытий на алюминиевых сплавах связан с инструментальным применением таких сплавов в корпусах алмазных шлифовальных кругов, которые требуют электрической защиты в высокопроизводительных машиностроительных технологиях с прямым токоподводом к зоне обработки [2].

Экспериментальные образцы изготавливали из деформируемых алюминиевых сплавов Д16Т (1360) и АК6 (2124) ГОСТ 4784-97 (ISO 209-1), полученных листовым (Д16Т) и прутковым (АК6) прокатом.

В идентичных условиях покрытия формировали на образцах двух типоразмеров – прямоугольный 20x15x1,5 мм и круглый Ø 30 мм, толщиной 5 мм. Информацию снимали путем измерения соответствующих показателей в пяти точках со стороны образца.

Исследовали два электрических режима микродугового оксидирования, получивших наиболее широкое распространение в современных технологиях, – анодный гальваностатический (ГС) и режим произвольно падающей мощности (ППМ) на анодно-катодном (переменном) токе. Реализацию процессов осуществляли соответственно с помощью трансформаторного и конденсаторного источников тока.

В режиме ППМ оценивали влияние времени процесса МДО (1 и 2 часа) в разных электролитах на электрофизические характеристики покрытий. Начальная плотность тока составляла 20 А/дм².

В рамках исследования ГС режима изучали влияние плотности анодного тока на диэлектрические свойства сформированных покрытий МДО. Плотность тока составляла 5; 7,5; 10 и 15 А/дм². Время электролиза определяли, исходя из принципа протекания через электролизер одинакового количества электричества в каждом эксперименте.

На основании литературных данных и результатов собственных предварительных экспериментов в качестве исследуемых были выбраны три электролита щелочно-силикатной группы: 1-й (0:12) – силикатный раствор – 12 г/л ЖС (ЖС – технический раствор натриевого жидкого стекла с удельным весом 1,4 г/см³); 2-й и 3-й (2:12 и 1:6) – щелочно-силикатные растворы – 2 г/л КОН + 12 г/л ЖС (2:12) и более разбавленный: 1 г/л КОН + 6 г/л ЖС (1:6).

В качестве основных показателей электроизоляционных свойств были приняты удельное объемное сопротивление ρ_v и электрическая прочность E . Измерение объемного сопротивления проводили на тераомметре Е6-13 при рабочем напряжении 100 В.

Напряжение пробоя определяли на переменном токе (50 Гц) с помощью лабораторной установки, в состав которой входили высоковольтный трансформатор, защитное сопротивление 5 кОм и устройство для плавного регулирования напряжения. Измерение проводили со стороны высокого напряжения.

Анализ толщин слоев МДО, сформированных в режиме ППМ, показывает (табл. 1), что их величина прогнозированно зависит от состава электролитов и длительности электролиза, причем фактор времени является определяющим. В общем случае толщина покрытий на Д16Т больше, чем на АК6. Преимущество увеличивается по мере перехода к более агрессивным электролитам, содержащим едкую щелочь – от 25...30% в растворе 0:12 до 80...90% в растворе 2:12. Вероятная причина такого различия – различная скорость травления интерметаллидов, входящих в сплавы [3].

Толщина слоев МДО, полученных в ГС режиме, фактически не зависит от плотности тока, но реагирует на состав электролита. Аналогично с режимом ППМ: минимальная толщина покрытий (29 мкм) образуется в разбавленном щелочно-силикатном растворе 1:6, максимальная (37 мкм) – в растворе 2:12 (табл. 1).

Таблица 1 – Толщина покрытий МДО на деформируемых сплавах в различных условиях электролиза, мкм

Марка сплава	Состав электролита																	
	0:12			2:12			1:6			0:12			2:12			1:6		
	Режим ППМ, начальная плотность тока 20 А/дм ² : время электролиза, час.						Режим ГС, (время электролиза) x (плотность тока)=200 А·мин/дм ² : плотность тока, А/дм ²											
	1	2	1	2	1	2	5	15	5	15	5	15						
Д16Т	80	150	100	210	70	170	42	43	44	45	36	38						
АК6	60	120	55	120	40	90	33	34	37	37	30	29						

Очевидно (табл. 1), что именно силикатная составляющая играет определяющую роль в скорости наращивания слоев МДО.

Последующие измерения показателей диэлектрических характеристик покрытий, удельного объемного сопротивления (ρ_v) и электрической прочности (E) свидетельствуют (рис. 1) о преимущественном влиянии толщины на их величины. В частности, увеличение времени оксидирования в 2 раза, а соответственно и толщины, на сплаве АК6 привело к ухудшению показателя ρ_v в 4–5 раз во всех растворах электролитов (см. рис. 1, а). Менее выразительно этот эффект проявился на сплаве Д16Т – соответственное уменьшение составило 1,9–2,5 раза (см. рис. 1, б).

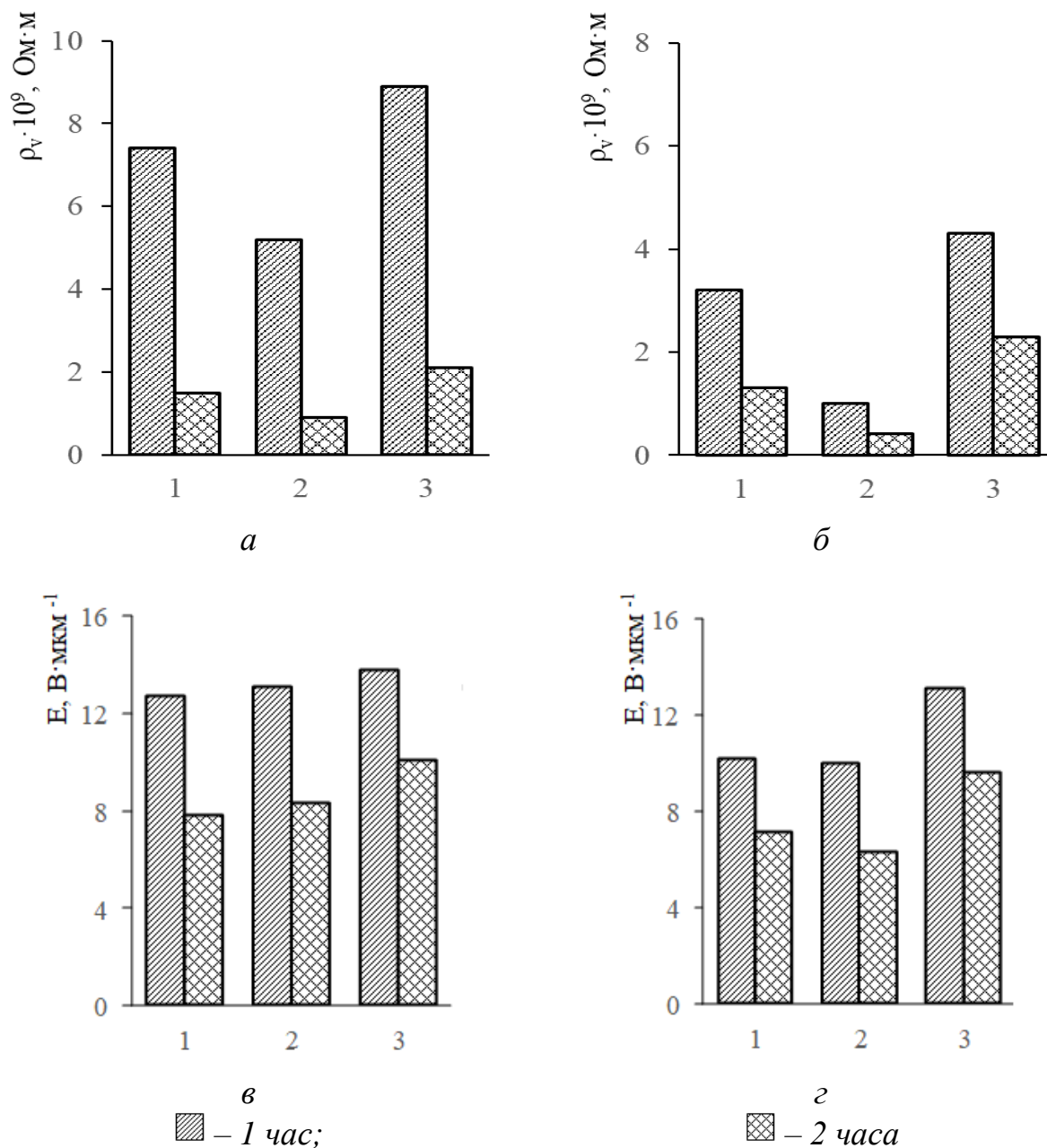


Рисунок 1 – Зависимость удельного объемного сопротивления (а, б) и электрической прочности (в, г) покрытий МДО от времени оксидирования сплавов АК6 (а, в) и Д16Т (б, г) в режиме ППМ в разных электролитах: 1 – 0:12; 2 – 2:12; 3 – 1:6.

Факт ухудшения диэлектрических свойств покрытий МДО с ростом толщины можно объяснить увеличивающейся неоднородностью фазово-структурного состава, появлением в его составе муллитов, силлиманитов и других фаз, отличающихся меньшими, чем у Al_2O_3 , показателями ρ_v , улучшением условий для миграции и диффузии ионов щелочных металлов (K^+ и Na^+) под действием температуры, «захватом» токопроводящих ионов в композитную пористую структуру оксидного слоя [4].

Лучшие показатели ρ_v на обоих сплавах обеспечивают покрытия, сформированные в щелочно-силикатном электролите 1:6, наиболее низкие – в 1,7–4 раза в растворе 2:12.

В общем случае полученные в течение 1 ч покрытия в диапазоне толщин 40...60 мкм на сплаве АК6 и 70...100 мкм на сплаве Д16Т характеризуются высокими показателями удельного объемного сопротивления (в диапазоне $(1...9) \cdot 10^9$ Ом·м), но относительное преимущество по этому показателю (в 2–2,5 раза) имеют слои МДО на АК6.

Электрическая прочность покрытий E (см. рис. 1 в, г), как и удельное сопротивление ρ_v , однозначно уменьшаются с ростом их толщины, хотя общее напряжение пробоя при этом увеличивается. Последнее связано с уменьшением открытой пористости и сквозных дефектов, которые являются «слабым местом», поскольку электрическая прочность воздуха в них составляет всего 3 В/мкм. Причины ухудшения E с увеличением роста толщины покрытий те же, что приводят к ухудшению ρ_v – неоднородность, наличие в составе, кроме оксидов алюминия различных структур (α , γ), муллитов, силлиманитов и других соединений с более низкими диэлектрическими свойствами.

Показатель E в меньшей степени, чем ρ_v зависит от марки сплава и состава электролита, но незначительное преимущество на 10...30% наблюдается у покрытий МДО, сформированных в растворе 1:6 – значение E на них достигает 13...14 В/мкм.

Оба электрофизических показателя (в большей степени ρ_v) зависят от состава электролита. Можно констатировать, что для режима ППМ лучшие диэлектрические свойства имеют покрытия, сформированные в растворе 1:6, относительно наихудшие – в растворе 2:12 (рис. 1).

Анализ диэлектрических свойств покрытий, полученных в режиме ГС, для обоих сплавов, АК6 (рис. 2 а, в) и Д16Т (рис. 2 б, г), позволяет отметить тенденцию его уменьшения с ростом плотности тока j . Это может быть связано с увеличением пористости, что характерно для ГС режимов, и насыщением композитного покрытия элементами электролита.

Более значимо проявляется различие между ρ_v покрытий, сформированных в режиме ГС в разных электролитах. Лучший результат получен в растворе жидкого стекла 0:12, худший в 1,6–1,9 раза – в растворе 2:12.

Данные результаты качественно коррелируются со значениями формовочного напряжения, которое устанавливалось в конце процесса МДО в каждом растворе независимо от плотности тока. Соответственно наибольшее напряжение наблюдалось в силикатном (0:12) электролите – 560 В на АК6 и 580 В на Д16Т,

наименьшее – в щелочно-силикатном (2:12) – 520 В на обоих сплавах. Одной из вероятных причин ухудшения показателя ρ_v в растворе 2:12 может быть уже отмеченная выше в анализе результатов на режиме ППМ повышенная концентрация в нем ионов щелочных металлов, приводящая к относительно большому обогащению ими состава покрытия.

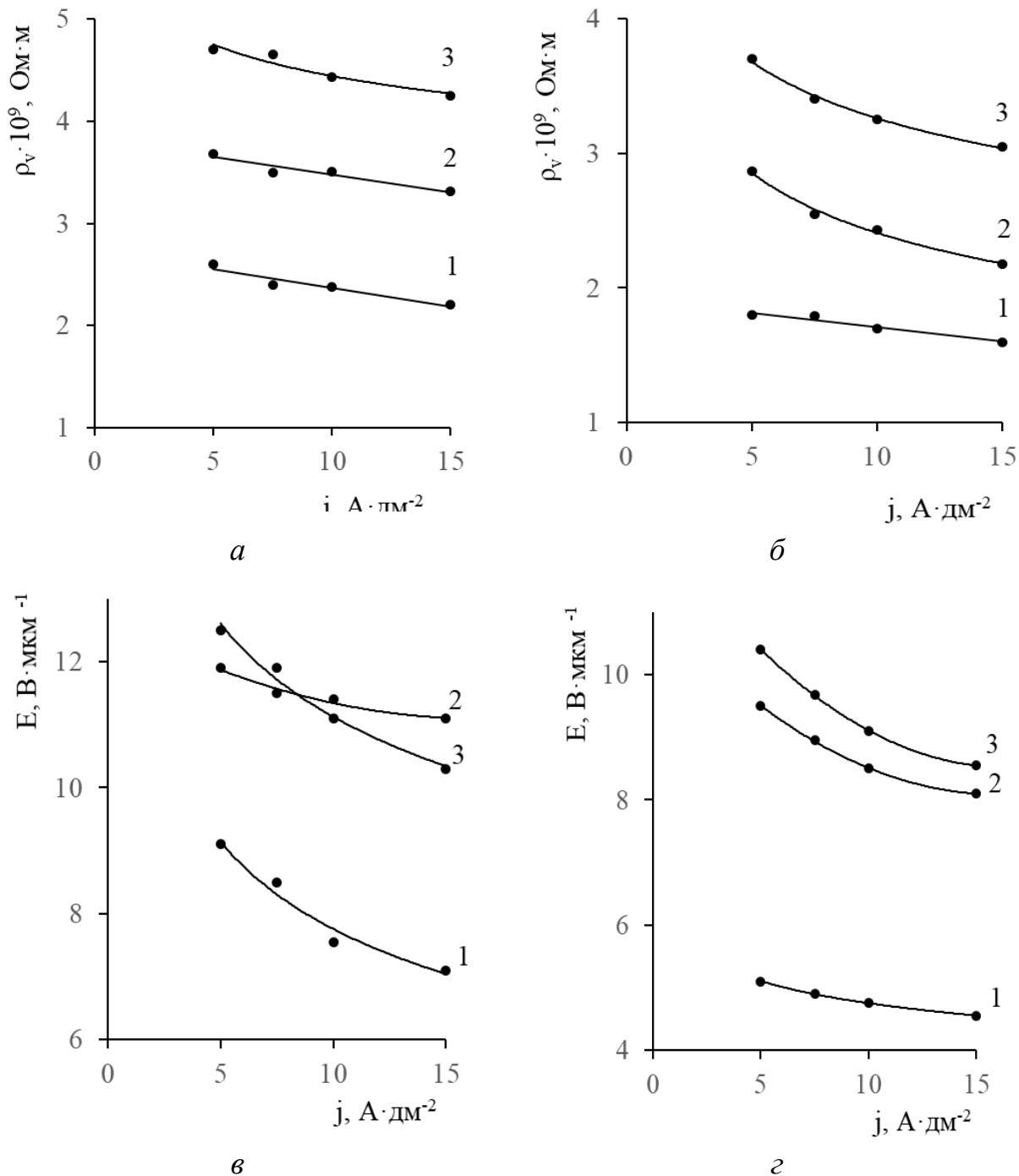


Рисунок 2 – Зависимость удельного объемного сопротивления (а, б) и электрической прочности (в, г) покрытий МДО сплавов АК6 (а, в) и Д16Т (б, г) в режиме ГС от плотности анодного тока в разных электролитах: 1 – 0:12; 2 – 2:12; 3 – 1:6.

Характер изменения электрической прочности покрытий от исследуемых факторов для обоих сплавов, АК6 (рис. 2, в) и Д16Т (рис. 2, г), ожидаемо похож на зависимость удельного сопротивления от них. В частности, сохраняется и даже усиливается для электролитов 0:12 и 2:12 тенденция уменьшения данного показателя с ростом плотности тока (зависимости 1, 3), но при этом несколько нивелировано влияние качественного и количественного составов электролитов (зависимости 2, 3). Лучшие значения электрической прочности покрытий в ГС режиме обеспечили растворы 1:6 и 0:12.

В целом, если сравнивать электрофизические показатели МДО-покрытий, сформированных по двум электрическим режимам (ППМ и ГС), для обоих сплавов можно констатировать корреляцию результатов относительно выбора рационального состава электролита. Во всех случаях заметное преимущество имеют растворы 1:6 и 0:12.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические возможности микродугового оксидирования алюминиевых сплавов / А.Е. Михеев, Н.А. Терехин, В.В. Стацура, А.А. Голенкова // Вестник машиностроения. – 2003. – № 2. – С. 56–63.

2. Гуцаленко, Ю.Г. Концепція і конструкторсько-технологічна розробка інструментів із надтвердих матеріалів для алмазно-іскрового шліфування на універсальних верстатах / Ю.Г. Гуцаленко, О.К. Севидова // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2017. – Вип. 40. – С. 35–43.

3. Чигринова, Н.М. Формирование покрытий методом анодного микродугового оксидирования и их эксплуатация в теплонапряженных узлах / Н.М. Чигринова, В.Е. Чигринов, А.А. Кухарев // Порошковая металлургия. – 2001. – № 5/6. – С. 13–23.

4. Диэлектрические свойства анодно-искровых силикатных покрытий на алюминии / С.Г. Павлюс, В.И. Соборницкий, Ю.А. Шепрут, Л.А. Снежко, В.И. Черненко // Электронная обработка материалов. – 1987. – № 3. – С. 34–36.

Дерев'янченко О.Г., Євтіфєєв С.Л., Рим'як В.І.
Одеський національний політехнічний університет,
Одеса, Україна

ПОЧАТКОВІ ЕЛЕМЕНТИ ПІДХОДУ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОН УТВОРЕННЯ ТРІЩИН З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФРАКТОГРАФІЇ

Відомо, що тріщини, які є об'єктами фрактографічних досліджень, розділяються на ряд типів, у тому числі: 1. по розташуванню – зовнішні (поверхневі)

та внутрішні тріщини; 2. по походженню: а) тріщини, що виникають при виробництві матеріалу; б) тріщини, що виникають при виготовленні деталі; в) тріщини, що виникають при експлуатації деталі; 3. по кількості – одиночні чи групі [1 – 3, та інші]. В структурі аналізу тріщин у деталях та на зламах виділяють наступні завдання: аналіз причин та джерел їх зародження; визначення траєкторії розповсюдження; визначення геометричних параметрів тріщин (та інше). На сучасному рівні досліджень такі завдання вирішуються з використанням методу комп'ютерної фрактографії. Метою даної роботи є викладення початкових елементів підходу до дослідження зон утворення мікротріщин з використанням методу комп'ютерної фрактографії, зокрема – визначення деяких з їх геометричних параметрів шляхом обробки цифрових зображень. У якості об'єкту дослідження тут вибрано зображення «мікрогофр втоми», які уявляють собою «мікронадриви» на поверхні зламу, що утворюються при проходженні тріщини втоми [1].

На кафедрі МТМ ОНПУ в рамках учбового процесу використовується стенд для аналізу мікрошліфів, основою якого є комп'ютерний мікроскоп з цифровою WEB – камерою; та стенд, що забезпечує можливість реєстрації цифрових зображень поверхонь зламів деталей та відповідних тріщин і мікротріщин. Для їх обробки та аналізу використовується спеціальне програмне забезпечення [5]. Крім аналізу цифрових зображень зон тріщиноутворення, що реєструються на стендах, значний інтерес представляють дослідження експериментальних матеріалів (у першу чергу - фотографій), приведених в відповідних довідниках, атласах та монографіях. Вони скануються, проходять необхідну обробку для покращення якості, та вводяться у відповідний програмний комплекс з подальшою обробкою, виділенням контурів інформативних зон та визначенням комплексу їх геометричних параметрів.

Розглянемо елементи реалізації такого підходу на прикладі обробки та аналізу фотографії зони рельєфних суцільних «втомних борозенок» [1, рис.50, 51; розділ «Мікробудова зламів втоми»] (за новою термінологією – «мікрогофр втоми») (МВ) у зоні прискореного розвитку тріщини. МВ уявляють собою мікронадриви на поверхні зламу, що утворюються при проходженні тріщини втоми [1]. Після сканування рисунку (рис.1) отримане цифрове зображення проходило обробку, попередні результати якої приведені на рис. 2, 3.

Межі обсягу тез не дозволяють привести тут позначення цих параметрів. Вони наведені в роботах [4, 5].

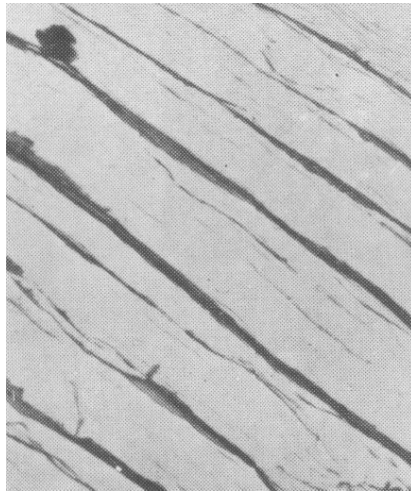


Рисунок 1 – Рельєфні суцільні «втомні борозенки» (мікрографі втомлення) у зоні прискореного розвитку тріщини втоми 9000 \times [1].

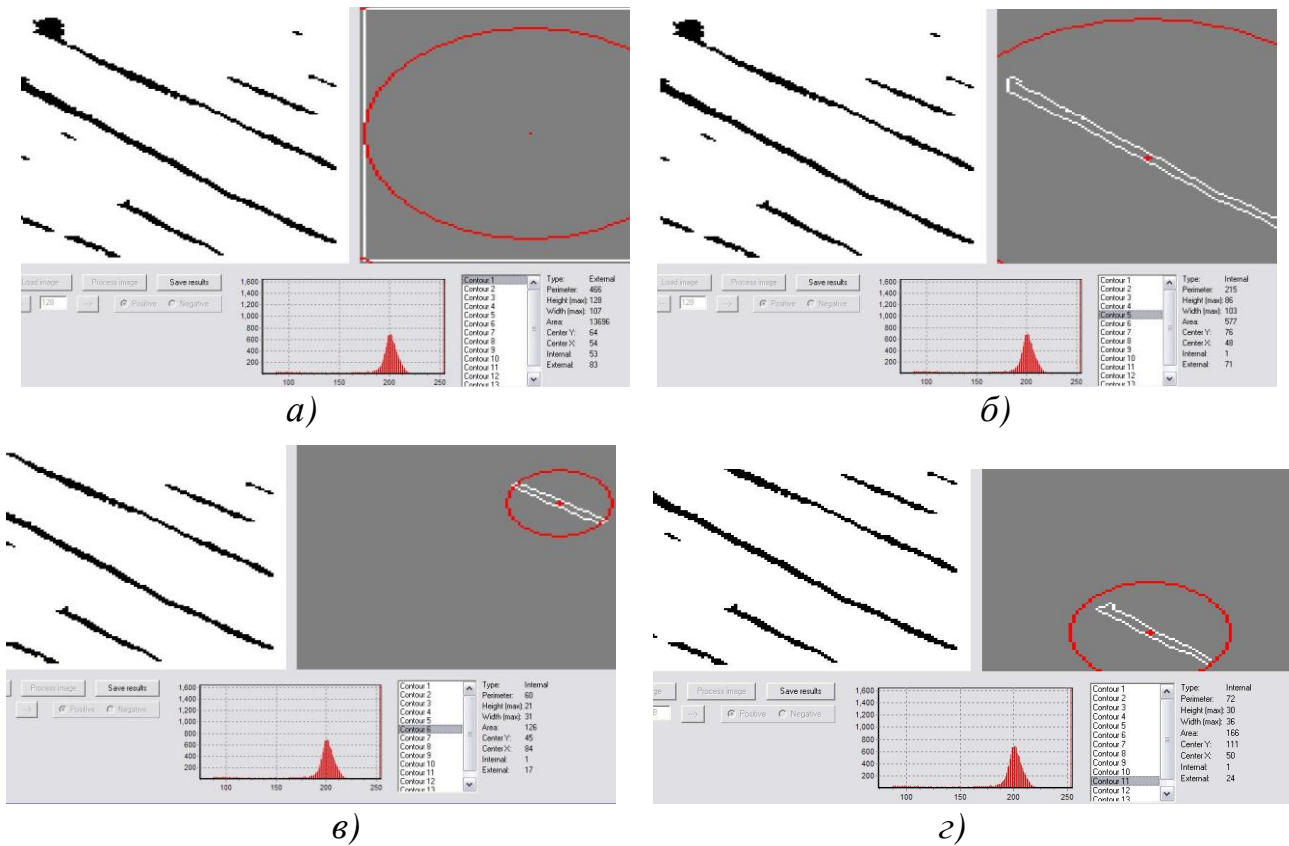


Рисунок 2 – Результати обробки зображення, приведеного на рис. 1, з використанням спеціального програмного комплексу:

а – визначення параметрів поля зображення; б, в, г – результати виділення контурів MB.

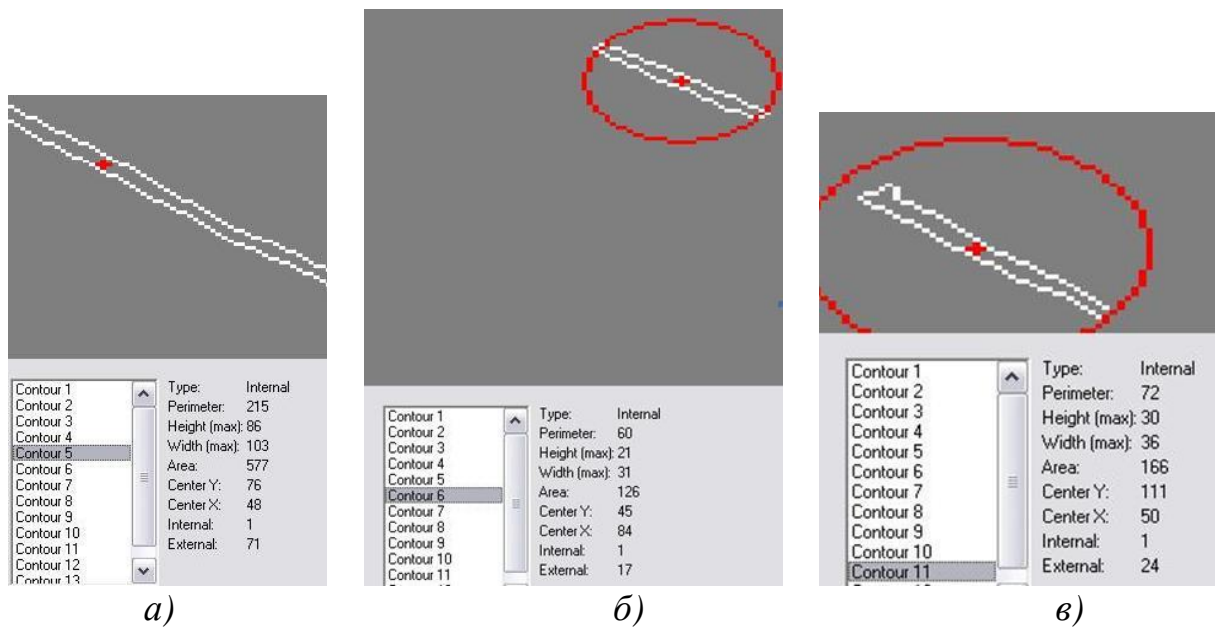


Рисунок 3 – Результати визначення деяких з первинних геометричних параметрів контурів МВ (зображення а, б, в відповідають зображенням б, в, г на рис. 2).

Подальші дослідження будуть спрямовані на реєстрацію та обробку цифрових зображень поверхонь зламів деталей, зон утворення тріщин з використанням спеціального стенду [4]; аналіз отриманих результатів, їх систематизацію та класифікацію.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балтер М.А. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей / М.А. Балтер, А.П. Любченко, С.И. Аксенова и др.; Под общ. ред. М.А. Балтер – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
2. Дефекты стали. Справочник (под ред. Новокщеновой С.М.) – М.: Металлургия, 1984 – 199 с.
3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1977 – 407с.
4. Деревянченко А.Г. Комплексная система для распознавания классов дефектов поверхностей деталей и структур материалов / А.Г. Деревянченко, Т.Н. Кожухарь., С.К. Волков // Сучасні технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць. – Харків. НТУ «ХПІ», 2017. – Вип. 12 – С. 98 – 108.
5. Деревянченко А.Г. Некоторые результаты испытаний модуля программного комплекса для обработки изображений микроструктур материалов / А.Г. Деревянченко // Материалы международной научно-технической конференции «Новые и нетрадиционные технологии в энерго- и ресурсосбережении». 26-29 сентября 2018 г. Одесса. – Одесса: ОНПУ, 2018. – С. 44 – 47.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ПРИ ФІНІШНІЙ АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ

Точність обробки є найважливішим показником при виготовленні деталей машин. Тому визначенню умов механічної обробки, що забезпечують задану точність, приділено значну увагу. Особливу увагу приділено питанням, пов'язаним з управлінням пружними переміщеннями в технологічній системі, що виникають в процесі шліфування, тобто на фінішних операціях обробки деталей машин. Однак до теперішнього часу недостатньо досліджені закономірності формування параметрів точності обробки в зв'язку з виникненням пружних переміщень у технологічній системі. Тому вирішення завдання з визначення оптимальних умов шліфування, що забезпечують максимально можливу продуктивність для заданої точності обробки, має велике теоретичне й практичне значення, дозволяє науково обґрунтовано підійти до виготовлення високоточних деталей з меншими значеннями трудомісткості та енергоємності обробки.

В даній роботі проведено теоретичний аналіз шляхів підвищення продуктивності обробки на технологічній операції круглого зовнішнього поздовжнього багатопрхідного шліфування циліндричної деталі діаметром $D_{дет}$ і довжиною $l_{дет}$ з урахуванням обмеження за точністю обробки (точністю розміру), що обумовлена пружними деформаціями елементів технологічної системи. У загальному вигляді фактична продуктивність обробки $Q_{ф}$ визначається залежностями:

$$Q_{ф} = \frac{v}{\tau} = Q_{ном} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{\Pi}\right), \quad (1)$$

де $v = \pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет} \cdot (\Pi - \delta)$ – об'єм матеріалу, що знімається за час τ з циліндричної деталі під час шліфування, м³; Π – величина припуску, що знімається, м; δ – величина пружного переміщення, що визначає точність розміру оброблюваної деталі, м; $\tau = n \cdot \tau_0$ – час шліфування, с; $n = \Pi / t$ – кількість поздовжніх ходів круга; t – глибина шліфування, м; $\tau_0 = l_{дет} / S_{позд}$ – час одного поздовжнього ходу круга, с; $S_{позд}$ – швидкість поздовжньої подачі, м/с; $Q_{ном} = \pi \cdot D_{дет} \cdot t \cdot S_{позд}$ – номінальна продуктивність обробки, м³/с.

Із залежності (1) випливає, що фактична продуктивність обробки $Q_{ф}$ завжди менше номінальної продуктивності обробки $Q_{ном}$ в зв'язку з виникненням в технологічній системі пружного переміщення δ . Величина δ в загальному випадку залежить від жорсткості системи, ріжучої здатності шліфувального круга, режимів шліфування та інших умов обробки і може змінюватися в межах

$(0...1) \cdot \Pi$. Відповідно, фактична продуктивність обробки Q_f може змінюватися в межах $(0...1) \cdot Q_{ном}$.

Цим показано, що основним шляхом збільшення Q_f необхідно розглядати зменшення величини пружного переміщення за рахунок зміни умов обробки. Величина δ визначає точність розміру обробки. Вона задається на кресленні оброблюваної деталі й за величиною значно менше припуску Π , що знімається. З урахуванням цього в залежності (1) другим доданком можна знехтувати, в результаті чого приходимо до залежності $Q_f \approx Q_{ном}$. В даному випадку номінальна продуктивність обробки пов'язана певним чином з величиною δ . Для встановлення цього зв'язку слід скористатися відомим теоретичним рішенням, наведеним в роботі [1]:

$$\delta = \frac{P_y}{c} = \frac{P_z}{c \cdot K_{ш}} = \frac{\sigma \cdot S_{мит}}{c \cdot K_{ш}} = \frac{\sigma \cdot Q_f}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \approx \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}, \quad (2)$$

де P_y , P_z – радіальна і тангенціальна складові сили різання при шліфуванні, Н; c – приведена жорсткість технологічної системи в радіальному напрямку, Н/м; $K_{ш} = P_z / P_y$ – коефіцієнт шліфування; σ – умовне напруження різання при шліфуванні, Н/м²; $S_{мит} = Q_f / V_{кр}$ – миттєва сумарна площа поперечного перерізу зрізу всіма одночасно працюючими різальними зернами шліфувального круга, м²; $V_{кр}$ – швидкість круга, м/с.

Із залежності (2) випливає, що величина δ та номінальна продуктивність обробки $Q_{ном}$ пов'язані лінійною залежністю. Отже, зменшення величини δ вимагає пропорційного зменшення $Q_{ном}$ й, відповідно, Q_f , що неефективно, особливо при зніманні великих припусків.

Що ж треба зробити, щоб підвищити продуктивність обробки, забезпечуючи при цьому необхідну точність обробки? Цілком очевидним є рішення, пов'язане із застосуванням циклу круглого зовнішнього поздовжнього шліфування, що включає два етапи. На першому етапі слід здійснити чорнове шліфування з максимально можливою номінальною продуктивністю обробки $Q_{ном}$. На другому етапі – чистове шліфування з меншою номінальною продуктивністю обробки $Q_{ном}$, яка визначається відповідно до залежності (2) й забезпечує задану точність обробки δ . Величина припуску, що знімається на другому етапі, дорівнює величині пружного переміщення, що виникає на першому етапі шліфування.

Також існують цикли шліфування, що включають кілька етапів. На практиці широке застосування отримав цикл шліфування, що включає етап чорнового шліфування та етап виходжування, тобто етап шліфування з відключеною поперечною подачею верстата. На цьому етапі процес зняття припуску відбувається за рахунок пружних переміщень у технологічній системі, які виникають на етапі чорнового шліфування.

Середня фактична продуктивність розглянутого циклу круглого зовнішнього поздовжнього шліфування визначається залежністю:

$$Q_{cp} = \frac{\pi \cdot D_{dem} \cdot l_{dem} \cdot \Pi}{(\tau_1 + \tau_2)}, \quad (3)$$

де τ_1, τ_2 – тривалості першого та другого етапів циклу шліфування, с.

Розрахунками встановлено [1], що існує екстремум функції $(\tau_1 + \tau_2)$ в залежності від величини припуску Π_2 , що знімається на етапі виходжування. При цьому екстремальне значення Π_2 дорівнює величині сумарного припуску Π , що знімається, а в точці екстремуму $\Pi_2 = \Pi$ досягається мінімум функції $(\tau_1 + \tau_2)$, рис. 1.

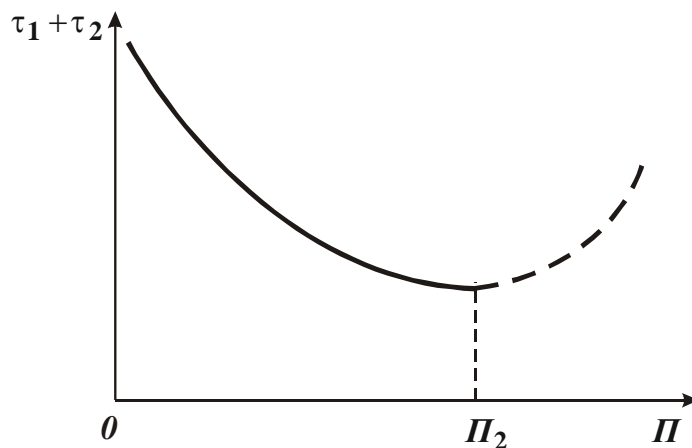


Рисунок 1 – Загальний вигляд функції $(\tau_1 + \tau_2)$ в залежності від величини припуску Π_2 , що знімається на етапі виходжування

Отже, з точки зору зменшення загального часу розглянутого циклу шліфування (або збільшення продуктивності обробки) доцільно виключити з циклу етап чорнового шліфування ($\tau_1=0$), тобто зняття всього припуску здійснювати лише на етапі виходжування, створюючи в технологічній системі початковий натяг, рівний величині припуску Π , що знімається. Виходячи з цього, оптимальним циклом круглого зовнішнього поздовжнього багатопрхідного шліфування, що забезпечує максимально можливу продуктивність обробки з урахуванням обмеження за точністю обробки, слід розглядати цикл шліфування, що включає лише етап виходжування. Отримане теоретичне рішення впроваджено на ряді фінішних операцій абразивної обробки високоточних деталей авіаційного призначення, виготовлених з матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями. Це дозволило підвищити продуктивність та точність обробки деталей, зменшити її трудомісткість.

ЛІТЕРАТУРА

1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2004. – Т. 7. «Точность обработки деталей машин». – 546 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШПИНДЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК

Шпиндельная головка является наиболее ответственным узлом алмазно-расточного станка. Характеристика головки определяет характеристику станка в целом. Точность головки непосредственно влияет на точность расположения, формы и шероховатость расточенных отверстий.

Характеристиками головок являются:

1. Пределы диаметров растачиваемых отверстий.
2. Наибольшее число оборотов шпинделя.
3. Габаритные и присоединительные размеры: расстояние от оси шпинделя до основания головки; ширина и длина корпуса головки; диаметр фланца и длина шпинделя и т. п.

Типоразмер головки зависит в основном от диаметра шпинделя. С целью повышения виброустойчивости алмазно-расточных головок ряд диаметров шпинделей головок старой гаммы АР16 – АР46 (40, 55, 75, 120 мм) в новой гамме УАР смещён в сторону увеличения 55, 75, 100, 130 мм. Скоростная характеристика шпиндельных головок: 12000, 8000, 6500, 4000, 2500, 2000, 1600, 1250 мин⁻¹.

Пределы диаметров растачиваемых отверстий являются условным показателем, уточняемым в зависимости от конкретных условий обработки: длины борштанги, обрабатываемого материала, припуска, требований к качеству обработки и т.д. Предусмотрено применение нижних пределов диаметров растачиваемых отверстий в основном для чёрных металлов при длинах борштанг не более 5 диаметров и верхних пределов – для цветных металлов не более двух метров.

Скорость вращения шпинделя определяется типом и размерами подшипников, назначением и конструкцией головки, а также типом привода. При консистентной смазке подшипников обеспечиваются скорости 8000 мин⁻¹ для головок с диаметром шпинделя 55 мм и 3500 мин⁻¹ – для головок с диаметром шпинделя 75 мм.

Следует отметить, что требования к жесткости шпиндельных узлов не регламентируются. Пролетная жесткость шпинделя $C_{\text{прол.}} = \frac{48 \cdot E \cdot I_{\text{шп}}}{l^3}$ для алмазно-расточных головок не является определяющим фактором. Для головок, рекомендованных к эксплуатации, $C_{\text{прол.}}$ колебаться в широких пределах с диаметром шпинделя 70 мм и более.

Габаритные и присоединительные размеры позволяют комплектовать станки головками различных типоразмеров, а также создавать на базе нормализованных конструкций головки специального назначения.

В алмазно-расточных станках наибольшее распространение получили шпиндельные узлы на опорах качения. Тип опор и конструкция шпиндельного узла определяются его технологическим назначением, требованиями к точности, скорости, температуре. Вместе с тем в прецизионном станкостроении все шире находят применение шпиндельные узлы на опорах жидкостного трения, предназначенные для выполнения особо точных операций.

Подшипники шпиндельных узлов ОРС должны обеспечивать высокую точность вращения шпинделя и длительность ее сохранения, высокую жесткость, низкую температуру при длительной работе станка, простоту монтажа и эксплуатации.

Клиноременная передача является основным видом привода вращения шпинделей ОРС. Применительно ОРС плоскоремennая передача не обладает преимуществами по сравнению с клиноременной. Минимальный уровень вибраций обеспечивается применением одного клинового ремня.

Амплитуда колебаний резца от ремня достигает 0,3 мкм на частотах до 100 Гц; на 0,1 мкм – на частотах 100-600 Гц, т.е. вызванная колебаниями ремня некруглость на частотах собственных колебаний системы шпиндель-борштанга составляет 0,2-0,6 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лінчевський П.А. Обробка деталей на обробно-розточувальних верстатах / П.А. Лінчевський, Т.Г. Джугурян, О.А. Оргіян, за заг. ред. П.А. Лінчевського. – К.: Техніка, 2000. – 300с. ISBN 966-575-048-8.
2. Бромберг Б.М., Дашевский Т.Б., Ламдон Э.А., Ломакин В.К. Алмазно-расточные станки / Б.М. Бромберг, Т.Б. Дашевский, Э.А. Ламдон, В.К. Ломакин – М.: Машиностроение, 1965. – 244 с.
3. Маталин А.А. Тонкое и алмазное растачивание / А.А. Маталин, П.А. Лінчевський, К.В. Ломакин – К.: Техніка, 1973. – 80 с.

Калюжный А.Б.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени П. Василенко, Харьков, Украина

Платков В.Я.

Луганский национальный аграрный университет, Старобельск, Украина

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТОГО ПОЛИТЕТРАФТОР-ЭТИЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОКАРБОНАТА НАТРИЯ В КАЧЕСТВЕ ПОРООБРАЗОВАТЕЛЯ

В настоящее время существует большое количество методов получения пористых полимеров основанных на химических, физических и химико-физических процессах [1–4]. При получении объемных пористых полимерных материалов с открытой поровой структурой часто используют различные порообразователи, которые добавляют в полимер с последующим растворением, испарением или выгоранием [5, 6].

При формировании контролируемых поровых структур в качестве порообразователей используют растворимые неорганические материалы [5,7,8]. Недостатком растворимых порообразователей является невозможность получения открытой пористости (ϕ) при малых ее значениях ($\phi < 70\%$) [9].

Представляет интерес опробовать порообразователь, который при изготовлении объемных пористых полимеров частично газифицируется, что может позволить получить открытую пористость при малых ее значениях, а оставшаяся в заготовках твердая фракция порообразователя (сохраняющая геометрию порового пространства) будет удалена выщелачиванием.

Объекты исследования и методика эксперимента

Пористые полимерные материалы изготавливались путем предварительной подготовки смеси порошков порообразователя и полимера, их смешения, прессования, термообработки, выщелачивания порообразователя и сушки.

В качестве основы пористого полимерного материала использовался порошкообразный ПТФЭ с размером частиц менее 100 мкм и плотностью $2,19 \cdot 10^3$ кг/м³.

В качестве порообразователя, который частично газифицируется, был выбран гидрокарбонат натрия (NaHCO_3). Ранее NaHCO_3 использовался в качестве выщелачиваемого порообразователя [10], но как частично газифицируемый порообразователь не использовался. Плотность NaHCO_3 близка к плотности ПТФЭ и составляет $2,16 \cdot 10^3$ кг/м³, что позволяет получить качественное смешение компонентов [11]. При нагревании выше 60°C NaHCO_3 переходит в карбонат натрия (Na_2CO_3) с выделением воды и углекислого газа:



Na_2CO_3 имеет высокую температуру плавления (852°C) и хорошо растворим в воде (максимальная растворимость при $t = 40^\circ\text{C}$).

Смеси с разным соотношением ПТФЭ и NaHCO_3 приготавливались в лабораторном блендере при частоте вращения ножей 600 об/мин в течении 60 с при температуре меньше 19°C . Из приготовленных смесей путем прессования в пресс-форме с внутренним диаметром (D) 40 мм с выдержкой 30 с при давлении 155 ± 5 МПа были получены полуфабрикаты в виде дисков толщиной (h) $12 \pm 0,1$ мм. Полученные полуфабрикаты нагревались с печью до температуры $t=385\pm 5^\circ\text{C}$ (в интервале температур $60 - 200^\circ\text{C}$ происходила частичная газификация NaHCO_3), выдерживались при данной температуре в течении 1 часа и охлаждались с печью. Оставшаяся в полуфабрикатах твердая фракция порообразователя Na_2CO_3 , образовавшаяся при частичной газификации NaHCO_3 , удалялась растворением в воде при $t=40^\circ\text{C}$. Окончательной стадией приготовления пористых ПТФЭ являлась их сушка при 100°C в течение 12 час.

Массы компонентов смеси, полуфабрикатов и пористых ПТФЭ (m) определялись с точностью $\pm 0,05$ г, а размеры полуфабрикатов и пористых ПТФЭ – $\pm 0,01$ мм.

В данной работе пористость (φ) материалов определялась расчетным методом [7]:

$$\varphi = \left(1 - \frac{\rho_V}{\rho_{\text{ПТФЭ}}} \right) \cdot 100, \% \quad (1)$$

где ρ_V – объемная плотность полуфабрикатов после прессования и термообработки, а так же пористых ПТФЭ, полученных после выщелачивания и сушки ($\rho_V = 4m/\pi D^2 h$), кг/м^3 ; $\rho_{\text{ПТФЭ}}$ – плотность ПТФЭ, кг/м^3 .

Результаты и их обсуждения

С целью установления возможности использования в качестве порообразователя NaHCO_3 для получения пористого ПТФЭ была приготовлена смесь с их равным весовым соотношением, которая в дальнейшем подвергалась прессованию и термообработке. После выщелачивания порообразователя и сушки был получен пористый ПТФЭ с конечной пористостью 52,37 %. Отметим, что при использовании NaCl в качестве порообразователя не удавалось получить пористый ПТФЭ с пористостью менее 70 %, т.к. часть частичек порообразователя полностью покрывалась полимером, и удаление их путем выщелачивания становилось невозможным.

Изучено формирование поровых структур ПТФЭ порообразователем NaHCO_3 в интервале концентрации от 50 до 90 % по массе. Для разных весовых соотношений компонентов смеси были рассчитаны объемная плотность и пористость полуфабрикатов после прессования (φ_p), термообработки (φ_t), выщелачивания и сушки, то есть для пористого ПТФЭ (φ_{ptfe}), которые приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что после прессования, при увеличении содержания NaHCO_3 в смеси наблюдается рост пористости полуфабрикатов от 0,04 до 9,41 %. Такой рост пористости связан с тем, что по мере уменьшения содержания ПТФЭ в смеси снижаются её антифрикционные свойства, и как следствие, растет недопрессовка полуфабрикатов.

После термообработки пористость полуфабрикатов представляет собой совокупность пористости, сформированной при прессовании, и пористости, полученной в результате частичной газификации порообразователя (выделение CO_2 и образования пара H_2O). Увеличение содержания порообразователя от 50 до 90 % сопровождается ростом пористости, образованной частичной газификацией от 23,6 до 28,4 %.

Таблица 1 – Объемная плотность и пористость на разных этапах обработки смесей с различным содержанием NaHCO_3

Содержание NaHCO_3 в смеси, % по массе	Этапы обработки					
	После прессования		После термообработки		После выщелачивания и сушки	
	ρ , г/см ³	φ_p , %	ρ , г/см ³	φ_t , %	ρ , г/см ³	φ_{ptfe} , %
50	2,20	0,04	1,68	23,64	1,05	52,37
60	2,13	3,18	1,63	26,09	0,86	60,76
65	2,11	3,98	1,59	27,74	0,76	65,28
70	2,11	4,08	1,54	29,80	0,66	70,16
75	2,10	4,64	1,51	31,25	0,55	75,06
80	2,07	5,89	1,47	33,38	0,47	78,50
85	2,00	8,98	1,40	36,48	–	–
90	1,99	9,41	1,37	37,81	–	–

При выщелачивании пористость увеличивается вследствие растворения Na_2CO_3 . После выщелачивания и сушки получены пористые ПТФЭ, у которых при увеличении в смесях соотношения порообразователя и ПТФЭ от 50 до 80 %, пористость изменялась от 52,37 до 78,50 %. Пористые ПТФЭ, в формировании которых использовалось 85 и 90 % порообразователя NaHCO_3 после выщелачивания стали высокоэластичными и не удерживали форму в ходе измерений, поэтому определить их плотность и пористость расчетным методом не удалось.

Из табл. 1 следует, что изменение φ на этапах прессования и термообработки не существенны при формировании пористого ПТФЭ.

Выводы

Предложен способ формирования пористого ПТФЭ, используя частично газифицируемый порообразователь. В качестве частично газифицируемого порообразователя использовался NaHCO_3 .

Показано, что использование порообразователя NaHCO_3 позволяет получить проницаемые поровые структуры. В широком интервале концентраций NaHCO_3 изучено формирование поровых структур ПТФЭ. Использование порообразователя NaHCO_3 позволило получить пористый ПТФЭ с пористостью вплоть до 50 %, в то время как минимальная связанная пористость пористых ПТФЭ сформированных порообразователем NaCl составляла 70 %. Предложен механизм формирования пористой структуры ПТФЭ сформированной частично газифицируемым порообразователем.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Babaie, S. B. Bhaduri, ACS Biomater. Sci. Eng. **4**, 1 (2018).
2. M. Loepfe, W. J. Stark, Adv. Eng. Mater. **20**, 1700611 (2017).
3. H. Janik, M. Marzec, Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl. **48**, 586 (2015).
4. S. Feng, Z. Zhong, Y. Wang, W. Xing, E. Drioli. J. Membrane Sci. 549, 332 (2018).
5. S. Mane, S. Ponrathnam, N. Chavan, Can. Chem. Trans. **4**, 192 (2016).
6. E. Chevalier, D. Chulia, C. Pouget, M. Viana, J. Pharm. Sci. **97**, 1135 (2008).
7. Y.Y. Zhao, J. Porouse Mater. **10**, 105 (2003).
8. G. Jia, Y. Hou, C. Chen, J. Niu, H. Zhang, H. Huang, M. Xiong, G. Yuan Mater. Design 140, 106 (2018).
9. A.V. Maksimkin, S.D. Kaloshkin, V.V. Tcherdyntsev, D.I. Chukov, A.A. Stepashkin, Biomed. Eng. 47, 73 (2013).
10. X.J. Shen, J.M. Ruan, Z.C. Zhou, H. Zhang, Z.H. Zhou, J. Wuhan Univ. Technol. 22, 279 (2007).
11. R. Hogg, Kona Powder Part. J. 27, 3 (2009).
12. P.S. Liu, G.F. Chen. Porous Materials. Processing and Applications. Elsevier Inc. (2014), 576 p.

Кисилевська А.Ю., Гуров О.Д.
Одеський національний політехнічний університет,
Одеса, Україна
Болдусев О.А.
ТОВ «Промтехекспертиза», Одеса, Україна

СУЧАСНІ ЗАКОНОДАВЧІ ТА НОРМАТИВНІ ВИМОГИ ДО ПРОЦЕДУР ІНСПЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИХ КРАНІВ

В умовах ринкових відносин якість та безпечність продукції має першочергове значення. Щодо промислової продукції, задіяної в складних технологічних процесах, зокрема, вантажопідіймальних кранів, до якості устаткування прикута особлива увага. При цьому слід передбачати можливість відмови устаткування, враховувати усі ризики відмов та їх наслідки (неможливість проведення робіт, порушення умов безпеки, збитками тощо).

Вантажопідіймальні крани (баштові, мостові, козлові, кран-балки, тельфери) застосовуються для обслуговування складів, вантажних майданчиків, промислових підприємств, обслуговування перевантаження великотоннажних контейнерів тощо.

Загальні вимоги до вантажопідіймальних кранів регулює ДСТУ 2986 [1] та низка інших стандартів на окремі види кранів.

Вимоги щодо безпеки кранів, виготовлених до 01 січня 2012 року (дати прийняття Технічного регламенту (ТР) [2]), регулює НПАОП 0.00-1.80-18 [3], після 01 січня 2012 року – ТР [2]. При виготовленні кранів до введення в експлуатацію виробник повинен провести процедуру оцінки відповідності вимогам ТР [2]. Процес експлуатації кранів регулюють настанови та інструкції з експлуатації, інструкції з охорони праці тощо.

Експертиза технічного стану вантажопідіймальних кранів необхідна для перевірки і оцінки відповідності крана вимогам, цілісності конструкції тощо. Насамперед, перевіряється безпека роботи крану. Експертиза (опосвідчення повне або часткове) кранів проводиться: наприкінці закінчення терміну експлуатації, при виході з ладу, після ремонту, при виявленні дефектів та наявності сумнівів в міцності або цілісності конструкції. Експертиза допомагає визначити необхідність технічного обслуговування або ремонту.

Під час експертизи технічного стану застосовують методи неруйнівного контролю (візуальний контроль, магнітопорошкова дефектоскопія, ультразвуковий контроль, метод визначення напружено-деформованого стану металоконструкцій).

Під час повної технічної експертизи проводять огляд всього крана та статичні і динамічні випробування (перед запуском крану і через кожні 3 або 6 років за участю представників органів з державного нагляду за охороною праці). При частковій технічній експертизі проводять огляд крана та його окремих елементів, перевіряють справність основних механізмів (щорічно особою, відповідальною за стан і безпеку крану) [4].

Вимоги до експертних організацій регулюють [5, 6]. Експертизу можуть проводити експертно-технічні центри, що належать до сфери управління Держпраці, або незалежні експертні організації, які підтвердили свою компетенцію для інспекційної діяльності.

Відповідно до [5, 6] експертні організації – експертно-технічні центри, що належать до сфери управління Держпраці або незалежні експертні організації, які забезпечують науково-технічну підтримку державного нагляду у сфері промислової безпеки та охорони праці та мають підтверджену компетенцію для інспекційної діяльності у сфері охорони праці відповідно до повноважень.

Для мінімізації ризиків відмов у роботі кранів та їх наслідків, для забезпечення безпеки, засвідчення їх відповідності ТР при виготовленні та в процесі їх експлуатації, окрім обов'язкового підтвердження відповідності законодавчим та нормативним актам щодо безпеки, залучають органи з інспектування (ОІ).

Інспектування є видом оцінки відповідності, яка проводиться на добровільних засадах [7] органом з інспектування, акредитованим Національним агентством з акредитації України на відповідність ДСТУ EN ISO/IEC 17020:2014 [8]. Інспектування відрізняється від процесу сертифікації. Під час інспектування перевіряється підлягає окремий об'єкт та не обов'язково третьою стороною, а під час сертифікації перевіряють партії продукції і обов'язково третьою стороною. При інспектуванні оцінюють стан об'єкта на час проведення інспектування, а при сертифікації – постійне підтвердження відповідності.

Параметри, які досліджуються під час інспектування, стосуються як якості, так і безпеки устаткування, яке перебуває в експлуатації. Вимоги до змісту технічного, зокрема, експертного, обстеження та технічного обслуговування кранів зазначено у [2, 3].

Для провадження інспекційної діяльності ОІ повинен мати необхідну компетентність та згідно з НПАОП 0.00-7.10-07 [4] мати в штаті як мінімум двох атестованих технічних експертів з промислової безпеки з кожного напрямку діяльності. Згідно з [8] ОІ поділяються на такі види інспекцій: А (внутрішня), В (внутрішня з правом інспекції другою стороною), С (незалежна – третьою стороною).

ОІ повинні діяти неупереджено, при цьому вміти визначати та керувати цими та іншими ризиками. ОІ повинен мати відповідні технічні засоби, устаткування, методи та процедури для виконання робіт з метою інспектування. **ОІ впровадити та підтримувати систему менеджменту згідно вимог [8] за варіантом А або В.**

Якщо під час проведення інспекційної діяльності потрібно досліджувати продукцію більш ретельно, то проводяться її випробування.

Отже практичне застосування стандарту [8] в діяльності ОІ дозволяє доказово вибудовувати схеми оцінок і гарантує достовірність отриманого результату інспектування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Крани вантажопідіймальні. Частина 1. Терміни та визначення основних понять: ДСТУ 2986-95 – [Чинний з 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України. – 73 с. (Національний стандарт).

2. Технічний регламент безпеки машин: постанова Кабінету Міністрів України від 31.01.2013 р. № 62. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-%D0%BF>

3. Про затвердження правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання (НПАОП 0.00-1.80-18): наказ Міністерства соціальної політики України від 19.01.2018 р. № 62. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0244-18>.

4. Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки (НПАОП 0.00-7.10-07): постанова Кабінету Міністрів України від 26.05.2004 № 687. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-2004-%D0%BF>.

5. Про затвердження Порядку видачі дозволів на виконання робіт підвищеної небезпеки та на експлуатацію (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки: постанова Кабінету Міністрів України від 25.10.2011 р. № 1107. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/48-2018-%D0%BF#n13>

6. Про затвердження Вимог до експертних організацій, які мають намір виконувати (виконують) експертизу стану охорони праці та безпеки промислового виробництва: наказ Мінсоцполітики України від 12.04.2018 р. № 507. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0569-18>

7. Про технічні регламенти та оцінку відповідності: Закон України // Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2015. – № 14. – С. 96.

8. Оцінка відповідності. Вимоги до роботи різних типів органів інспектування: ДСТУ EN ISO/EC 17020:2014. – [Чинний з 2016-01-01 до 2022-01-01] (Національний стандарт).

Князев Ю.А., Оргиян А.А.

Одесский национальный политехнический университет,
Одесса, Украина

ТОЧНОСТЬ ШПИДЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК ОТДЕЛОЧНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Основным параметром, нормирующим точность обработки на алмазно-расточных станках классов точности «П» и «В» по ГОСТ 11576-83 является постоянство диаметра в любом сечении расточенного стандартного образца. Форма поперечного сечения расточенного образца, оцененная по некруглости, достаточно полно характеризует работу головки и станка в целом и может быть измерена с точностью до 0,1 мкм кругломерами.

Наряду с точностью формы расточенного отверстия важными показателями качества головки и станка являются стабильность размера обработки и температура нагрева, по которой можно судить о качестве изготовления головок и температурной стабильности положения оси шпинделя.

Точность формы в продольном сечении существенно зависит от тепловых смещений вершины резца в процессе обработки одного отверстия.

Требования к шероховатости обработанной поверхности зависят от материала, условий обработки, конструкции станков и головок и по данным заказов колеблются в пределах $R_a = 1,6 - 0,1$ мкм.

На точность, обеспечиваемую головкой, большое влияние оказывает материал обработанной детали. При испытании станка модели 2712А с головкой Т4К на ультрапрецизионных подшипниках качения максимальная некруглость составляла: при расточке латуни – 1,2 мкм, стали – 2,0 мкм, чугуна – 3,0 мкм.

Шероховатость поверхности, полученная при расточке латуни головками на опорах жидкостного трения, $R_a = 0,2 - 0,08$ мкм, на подшипниках качения - $R_a = 0,4 - 0,2$ мкм.

По данным испытаний опытных образцов и серий алмазно-расточных станков класса «В» с головками I, II, III, IV типоразмеров на подшипниках качения радиальное биение составляет у торца 1 – 2 мкм, увеличиваясь в отдельных случаях до 2 – 3 мкм на вылете 200 мм. Осевое биение для всех головок находится в пределах 1 – 2 мкм.

В головках серии «АР» радиальное биение оси шпинделя 1 – 2 мкм, осевое – 0,5 – 1 мкм; в головках серии «УАР» осевое биение шпинделя – 0,2 – 0,3 мкм.

Избыточная температура нагрева головок с подшипниками качения на предельных числах оборотов колеблется от 6–7° до 15–20° С, что приводит к температурным смещениям оси шпинделя на 0,01 – 0,03 мкм. Применение охлаждения позволяет снизить перегрев головок на 2 – 3° С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лінчевський П.А. Обробка деталей на обробно-розточувальних верстаках / П.А. Лінчевський, Т.Г. Джугурян, О.А. Оргіян, за заг. ред. П.А. Лінчевського. – К.: Техніка, 2000. – 300с. ISBN 966-575-048-8.

2. Бромберг Б.М., Дашевский Т.Б., Ламдон Э.А., Ломакин В.К. Алмазно-расточные станки / Б.М. Бромберг, Т.Б. Дашевский, Э.А. Ламдон, В.К. Ломакин – М.: Машиностроение, 1965. – 244 с.

*Ковалевський С.В., Ковалевська О.С.,
Кошева Л.В.*

Донбаська державна машинобудівна академія,
Краматорськ, Україна

ОПИТ ІННОВАЦІЙНОГО ВИХОВАННЯ ТАЛАНОВИТОЇ МОЛОДІ

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливим науковими чи практичними завданнями. Ніколи ще проблема інтеграції підростаючого талановитого покоління в світову інноваційну середу якості освіти в Україні не мала такого важливого ідеологічного, соціального, економічного і технічного значення, як сьогодні і визначається низкою об'єктивних чинників, а саме [0]: професійною компетентністю; освітньої творчої компетентністю – умінням здобувати знання самостійним навчанням поза навчальним закладом; автономністю, яка передбачає здібності та навички до самостійного, незалежного вирішення питань відповідного рівня компетентності та відповідальності; професійною адаптивністю – збереженням працездатності фахівця при впровадженні нових технологій, обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирі-

шених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Донбаська державна машинобудівна академія стала однією з перших, де система забезпечення якості навчання впроваджена найбільш комплексно – на всіх курсах навчання одночасно, у тому числі заочну форму навчання. Вона є основним постачальником інженерних кадрів для багатьох підприємств регіону [0]. Більшість цих підприємств входять до складу навчально-науково-виробничого комплексу «Спеціаліст».

Можна відзначити в цьому напрямку такі позитивні заходи:

- ведеться цільова підготовка фахівців відповідно до вимог підприємств під конкретні робочі місця, а також розробляються програми і нові форми такої підготовки за участю підприємств;

- ведеться практична підготовка студентів: на базі підприємств – членів навчально-науково-виробничого комплексу забезпечені можливості проходження ознайомчої, технологічної, конструкторської та переддипломної практик;

- надані можливості адаптації студентів до майбутнього місця роботи в період підготовки у вищому навчальному закладі;

- розширені можливості працевлаштування випускників технікумів, ВНЗ;

- працюють і продовжують створюватися філії випускаючих кафедр;

- розширені можливості використання кадрового потенціалу та матеріальних баз членів навчально-науково-виробничого комплексу для проведення навчального процесу, участі, в ДЕК, перепідготовки фахівців підприємств, проходження стажувань, проведення експериментальних НДР, апробація НДР та ін.;

- ведеться підготовка кадрів вищої кваліфікації для членів навчально-науково-виробничого комплексу;

- проводиться спільна видавнича діяльність, організовуються і проводяться спільні науково-технічні конференції та семінари різного рівня, включаючи міжнародні;

- здійснюється спільна винахідницька діяльність.

За нашою ініціативою була розроблена "Програма безперервної освіти і підготовки кадрів для підприємств регіону". Для виконання цієї Програми розроблені та реалізуються чотири підпрограми: «Школа»; «Кадри для підприємств»; «Наука виробництву»; «Місто».

З боку керівників підприємств і організацій слід виділити: створення профорієнтаційних класів; створення іменних аудиторій підприємств і фірм в ДДМА з метою пропаганди підприємства і його можливостей серед студентів академії; організація системи стажування молодих фахівців та оцінка якості їх підготовки; участь у розвитку матеріальної бази академії; організація підвищення кваліфікації працівників підприємств (вища, післядипломна, підвищення кваліфікації, магістратура і так далі); сприяння вибору реальної тематики курсового і дипломного проектування; спільна наукова діяльність, участь, в публікаціях, конференціях, виставках.

Важливе значення в практичній підготовці майбутніх фахівців мають організація та проведення виробничої практики студентів на підприємствах міста і області.

Під час спеціальних видів практик, на основі реальних даних, отриманих на підприємстві, студенти виконують індивідуальні завдання конструкторсько-технологічного або дослідницького характеру, що в подальшому використовуються для виконання курсових і дипломних проектів.

Філії випускаючих кафедр в своїй діяльності керуються «Положенням про філії кафедр», планами перспективного розвитку академії та базових підприємств. Діяльність філій кафедр, зокрема, спрямована на:

- забезпечення доступу студентів до діючих технологій;
- загальне використання перспективних прикладних програмних продуктів;
- організацію реального курсового і дипломного проектування;
- індивідуальну підготовку фахівців під конкретне робоче місце і працевлаштування випускників;
- надання доступу до обладнання і навчальних класів підприємств для вивчення сучасного обладнання та елементної бази електронної апаратури управління машинами та ін.

Підприємствами, разом з академією, розробляються і пропонуються нові, інтегровані схеми організації навчального процесу з глибокої практичною підготовкою за фахом, включаючи індивідуальну за погодженням з підприємствами-стейкхолдерами та дуальну форму навчання.

Пріоритетними напрямками діяльності Донбаської державної машинобудівної академії передбачають основні принципи розвитку наукових досліджень і механізми їх реалізації. Зокрема: тісна співпраця з установами НАН України, АПН України та галузевими академіями; спрямованість фундаментальних і прикладних науково-дослідних робіт на вирішення актуальних проблем і впровадження результатів наукових досліджень; розвиток міжнародного науково-технічного співробітництва, широке участь науковців академії, в отриманні наукових грантів; стимулювання наукових досліджень і розробок на створення нових високих технологій; забезпечення функціонування навчально-науково-виробничого комплексу, філій кафедр, на виробництві для виконання наукових робіт і підготовки фахівців та ін.

В академії сформована і успішно працює комплексна система організації науково-технічної творчої діяльності студентів і молодих вчених. Діє Програма індивідуальної підготовки обдарованих студентів. Студентам – учасникам Програми – відкриті широкі можливості розвитку і реалізації власних здібностей, участі, в науково-дослідній роботі в провідних наукових школах, лабораторіях, на кафедрах, публікації перших наукових робіт, подання заявок на винаходи, навчання, в магістратурі і аспірантурі академії та інших ВНЗ, підготовки і захисту дисертацій, отримання престижної роботи та ін.

Важливу роль в мотивації студентів і молодих вчених до наукової діяльності відіграють конкурси, які проводяться в академії в номінаціях «Кращий студент в галузі науково-дослідницької роботи ДДМА» і «Кращий молодий винахідник року».

В останні роки стало традицією спільне проведення спільних міжнародних конференцій, в тому числі – молодих науковців академії і виробників ПрАТ «НКМЗ», ПрАТ «Енергомашспецсталь» та ін.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Важливим фактором, який покликаний формувати інтерес учнівської молоді до наукових досліджень ще навчаючись в школі, а потім продовжувати їх після вступу в академію, стало створення в 1997 році Краматорського науково-дослідного центру учнівської молоді (КНЦУМ), що розвивається як регіональне відділення Малої академії наук науково-промислового профілю на базі ДДМА.

Основним завданням діяльності МАН є залучення старшокласників до науково-дослідницької, експериментальної роботи, підтримка і розвиток здібностей, забезпечення довузівської підготовки, надання допомоги у виборі професії та орієнтація їх, до вступу в ДДМА. На даний момент Краматорська філія МАН має розвинену мережу наукових секцій. У 53 наукових гуртках займаються 760 учнів – членів Малої академії наук. Мала академія наук дала путівку в життя більш ніж 2500 обдарованим випускникам, частина яких стали студентами академії. Більшість з них продовжують займатися науковими дослідженнями, а випускники вступають в очну і заочну аспірантуру, захищають дисертації і працюють в ДДМА, або займають провідні посади на промислових підприємствах регіону.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Розвиток системи освіти в нинішніх умовах визначається необхідністю безперервної, гнучкої, самостійної, випереджаючої, розподіленої освіти, що забезпечується реалізацією принципів відкритої освіти. Тому, зараз авторами статті поступово реалізується проект створення «Міжнародного університету безперервної освіти» як освітньої системи, що має сучасний погляд на створення ефективного людського капіталу міста та регіону шляхом цілеспрямованого формування та розвитку інтелекту та продуктивних творчих здібностей людини протягом життя $[0, \infty]$. Базова ціль – створити умови для доступу та досвідченому використанню відкритого світового інформаційного простору на підставі інноваційних освітніх технологій та багатого досвіду ліпших університетських центрів світу. Це філософія майбутнього виховання творчої, патріотичної і продуктивної еліти міст і регіонів Східної України, здатній до ефективних перетворень саме того місця, де народилася. Основа цього інтелектуального патріотизму закладається пропозицією створення Комплексного Проекту Міжнародного університету безперервної освіти.

Міжнародний університет безперервної освіти повинен стати своєрідним порталом доступу до найкращих світових практик вирощування обдарованих дітей, юнаків, молоді, провідних і головних фахівців шляхом впливу на батьків, процеси в сім'ї, середу навчання і практичної діяльності.

Головним принципом освіти впродовж життя стає управління людським інноваційним ресурсом через створення та ефективно поширення потрібних за стратегією розвитку міст та регіону знань та доступу до їх оновлення. Саме тому,

функцію управління інтелектуальним потенціалом шляхом надання доступу та постійного супроводу по ресурсах університетів – засновників, додержання до актуальних вимог до змісту освіти та її траєкторії для кожної людини, що включена в систему навчання, повинен забезпечити Комплексний Проект Міжнародного університету безперервної освіти шляхом слідкування принципам:

- свободи складання індивідуальної програми навчання шляхом вибору з системи інтегрованих ресурсів і курсів

- свободи у виборі часу і темпів навчання, тобто прийом студентів у ВНЗ впродовж усього року і відсутність фіксованих термінів навчання;

- свободи у виборі місця навчання: студенти можуть бути фізично відсутніми в учбових аудиторіях основну частину учбового часу і можуть самостійно обирати, де їм навчатися;

- переходу від принципу «освіта на все життя» до принципу «освіта впродовж життя»;

- вільного розвитку індивідуальності.

Об'єднуючи переваги управління знаннями за допомогою освітніх ресурсів з інтегрованою практичною підготовкою людини на підприємствах і у фірмах, дозволить досягти ефекту синергії з подальшими економічними і соціальними вигодами.

Створення Комплексного Проекту необхідно і своєчасно ще й тому, що через істотне обмеження фінансових і матеріальних ресурсів дуже обмежена участь традиційних освітніх систем в повноцінному забезпеченні комплексних програм стратегічного розвитку міст і регіонів сходу України, в тому числі для створення їх інвестиційної привабливості. Однак, впровадження на території Сходу України сучасної системи знань і цінностей під патронатом провідних університетів світу неодмінно змінить економіку регіону і стане привабливою територією для розвитку тут бізнесу країн-партнерів.

Створюючи такий Університет при одночасному виконанні програм стратегічного розвитку міст та регіонів Сходу України на прикладі міста Краматорська, може бути досягнуто поставлену мету поновлення та розвитку економіки і суспільства [0]. Етапи створення такого Комплексного Проекту наведені в таблиці 1.

Продовжуючи поступову реалізацію Комплексного Проекту Міжнародного університету безперервної освіти нами створено громадську організацію «Юнацький технопарк», метою якого є розвиток мотивації учнів і молоді до науково-технічної інженерної творчості, їх інноваційної поведінки та формування кадрового потенціалу для підприємств Донеччини і, зокрема, Краматорська за допомогою програм педагогічної, методичної, матеріально-технічної і громадської підтримки навчального середовища «Юнацький технопарк» [0, 0]. Завданнями Юнацького технопарку є: забезпечення умов для розвитку системи професійної орієнтації учнів та молоді; розробка і реалізація механізмів ефективної взаємодії між підприємствами, установами управлінь освіти міст і області, вищими навчальними закладами України, громадськими організаціями міст Донеччини; впровадження моделі Юнацького технопарку в систему додаткової освіти

школи разом із соціальними партнерами; створення управлінських заходів для оптимальної та ефективної взаємодії з соціальними партнерами.

Наслідками виконання цих завдань передбачено: розвинення мережевої співпраці між підприємствами, батьками, шкільними вчителями та представниками професійних та вищих навчальних закладів для навчальної діяльності Юнацького технопарку, в тому числі в віддаленій формі; впровадження нових елементів змісту освіти та виховання, педагогічних технологій та навчально-лабораторних комплексів, зокрема - дуального навчання; формування нового стилю інженерного мислення для учнів і молоді, здатних до системних проєктивних, прогнозних, сценарних форм знань та дій, заснованих на аналізі тенденцій науково-технічного розвитку підприємств і установ міст Донеччини. використання інноваційних методів, спрямованих на створення навчального середовища, в якому формуються індивідуальні освітні траєкторії та програми, визначення контурів навчальних сценаріїв, професійне самовизначення учнів та молоді.

Таблиця 1 – Етапи створення Комплексного Проєкту Міжнародного університету безперервної освіти.

НАУКОВО-ОСВІТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ ПРОГРАМ СОЦІАЛЬНОГО І ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ КРАМАТОРСЬКА І СХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ			
Структура, що створюється	Проєкти	Програми	Вікова група
Міжнародний університет безперервної освіти	Батьківський університет	Цільові програми Батьківської ради	Батьки
	Шкільний відкритий університет (програми розвитку та профілізації)	Програма «Світ моїх інтересів»	(1 - 4 класи)
		Програма «Територія майстрів»	(5 - 7 класи)
		Програма «Матриця професій»	(8 - 9 класи)
		Програма «Енергія проєктів»	(10 - 11 класи)
		Програми інтегрованої з підприємствами підготовки	Учні ПТУ, ВПУ
	Відкритий інтернет-ліцей	Програми Малої академії наук	12-18 років
	Інтернет-хаб-центр відкритих університетів світу	Програми відкритих університетів світу	Зі старшого шкільного віку і старше
Науково-освітньо-виробничий	Комплексна програма безперервної освіти для	Громадяни з обмеженими фізичними можливостями	

	соціально-адаптаційний комплекс	людей з обмеженими фізичними можливостями	
	Народна бізнес-академія	Програми розвитку громадянської активності	Громадяни України
		Програми залучення до бізнесу	
		Програми професійного визначення людини	
		Програми перепідготовки	
		Програми підвищення кваліфікації	
	Незалежний сертифікаційний центр університетів України і світу	Програми міжнародної незалежної сертифікації	
		Програми сертифікації екстернату	
	Наукові проблемні лабораторії, спільні з відомими науковими центрами України і світу	Проблемна лабораторія розвитку людини, її духовності і патріотизму;	
		Проблемна лабораторія створення програм економічного і соціального розвитку Краматорська і регіону	
		Проблемна лабораторія трансферу технологій;	
		Проблемна лабораторія мобільних інтелектуальних технологічних машин;	
		Інші науково-дослідні підрозділи	

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Таким чином, на підставі досвіду і пропозицій авторів статті в напрямку підняття престижу інженерної діяльності та вирішування в подальшому проблему збереження в Краматорську і регіоні найбільш талановитих випускників шкіл як майбутніх інженерів, запропоновано: створення креативного творчого середовища, орієнтованого на розвиток технічних та інженерних навичок і компетенцій учнів і молоді на основі матеріалізації творчих проектів і комерціалізації учнівських стартапів; заснування системи інженерних ліцеїв в містах Донеччини; утворення за участю підприємств конкурсів на кращі розробки, виконані в

МАН з науково-промислового профілю, в школах і ПНТЗ (зокрема, Junior Science, Junior Start Up, Junior Master, Junior Tech Sport) та ін.; створення на корпоративних засадах постійно діючих експоцентрів у містах Донеччини для популяризації технічних і наукових розробок учнів і молоді; підтримка групи креативної молоді для мотивації навчання у вищих навчальних закладах за замовленнями підприємств на основі корпоративних угод; створення спільно з підприємствами та позашкільними установами творчих лабораторій-студій для розвитку учнівських середовищ інженерного спрямування; створення smart-платформ для апробації бізнес-ідей та виготовлення дослідної продукції (мікрофабрик) для їх впровадження.

Нами досягнуто більш двадцяти угод з організаціями, школами і підприємствами Донеччини в вище наведених напрямках і зараз робота в цьому напрямку триває.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ковалевський С.В. Аналіз освітніх особливостей на прикладі відомих університетських моделей / С.В. Ковалевський // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ: ДДМА, 2016. – № 2 (38). – С. 125–131.
2. Kovalevskyy S. International university continuing education as support of innovative development. ICQME 2016: Proceeding of the 10th International Conference (Quality, Managament, Environment, Education, Engineering), Petrovac, Montenegro, 28th – 30th September 2016. Montenegro: Center for Quality University of Kragujevac Faculty of Engineering, 2016. P. 235–237.
3. Kovalevskyy S. International university of independent innovative education as a system of provision of non-innovative development. Reinženjering poslovnih procesa u obrazovanju: Proceeding of the zbornik radova 4 nacionalna konferencija međunarodnim učešćem. Čačak: Fakultet tehničkih nauka u Čačku, 2017. P. 201–202.
4. Kovalevskyy S. Project "People's business academy" as a factor of business development and growth of regional economy. Якість освіти: управління, сертифікація, визнання: збірник наукових робіт міжнародної науково-методичної конференції, 18–19 листопада 2015 року м. Краматорськ. Краматорськ: ДДМА, 2015. С. 7–12.
5. Kovalevskyy S., Kovalevska O. Regional school industrial park. Digitalizacija medija i ekonomija postindustrijskog doba: Zbornik radova Međunarodna naučna konferencija Mediji i ekonomija 14 septembar, Banjaluka, 2018. BLC Banjaluka, 2018. P. 313–320.
6. Ковалевський С. В. Створення громадської організації «Юнацький технопарк» як інноваційна форма підтримки системи безперервної освіти / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська // Сучасна освіта – доступність, якість, визнання: збірник наукових праць міжнародної науково-методичної конференції, 14–15 листопада 2018 року, м. Краматорськ. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – С. 105–107.

ОБ'ЄМНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В РІВНОМІРНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Актуальним завданням сучасного машинобудування є розробка нових методів обробки інструментальних і конструкційних матеріалів, що забезпечують збільшення об'ємної твердості, що дозволить їх використовувати для підвищення їх надійності і довговічності.

Одним з прогресивних методів зміцнення інструменту та інструментальних матеріалів є магнітна обробка. Вплив постійного магнітного поля на механічні й мікропластичні характеристики матеріалів привертає останнім часом велику увагу дослідників. Йде пошук теоретичних моделей, на основі яких можна було б пояснити і передбачити зміни твердості властивостей різних матеріалів під дією магнітного поля. Дослідження в цій області допомагають зрозуміти природу стану речовини і, зокрема, процеси, що відбуваються в ній на макро- і мікрорівні. Розвиток уявлень про вплив магнітного поля показав, що найважливішими завданнями є залучення уявлень про комбінування процесів магнітної і вібраційних обробок. Аналіз існуючих експериментальних даних і теоретичних подань показує, що цей метод є ефективним методом зміцнення матеріалів.

Властивості деталі починають формуватися в процесі виливки, обробки тиском і механічної обробки. При виконанні зазначених операцій закладаються характеристики і інші показники довговічності деталей машин. Всі наступні операції виготовлення або відновлення деталей зводяться до поліпшення експлуатаційних властивостей їх матеріалу [0].

Технологічним способам зміцнення робочих поверхонь деталей машин присвячена велика кількість робіт, які використовуються, в основному, в практиці машинобудування. Суть методів цих методів полягає у тому що енергія, яка необхідна для зміцнення матеріалу діє безпосередньо на поверхню, а потім нерівномірно поширюються по всьому об'єму або тільки на площинах чи точці. Звідси високі енерговитрати и висока тривалість процесу, а значить відносно низька економічна ефективність.

У роботі [0] зазначено, що підвищення зносостійкості і довговічності технологічного інструменту в машинобудуванні має надзвичайно велике значення. Поліпшення якості інструментів можна досягти легуванням матеріалів, а також із застосуванням всіх відомих механізмів об'ємного зміцнення при термічній обробці. Імпульсне магнітне поле, взаємодіючи з матеріалом деталі, змінює її теплові та електромагнітні властивості, покращує структуру і експлуатаційні характеристики. Магнітне поле представляє інтерес не тільки для процесів, що відбу-

ваються при термічній обробці сталі. Зокрема, при обробці тиском метастабільних сталей зовнішнє магнітне поле дозволяє інтенсифікувати ефекти зміцнення поверхонь, що деформуються.

Завдання, які вирішуються сучасним виробництвом, диктуються вимогами підвищення надійності і довговічності виробів, а також умовами ресурсозбереження. Такий підхід вимагає створення, або доробку матеріалів, що володіють комплексом високих експлуатаційних властивостей.

Якщо для зовнішнього впливу використовувати змінне або нестационарне магнітне поле, можна домогтися ще більш високих показників, так як можуть змінюватися властивості оброблюваної заготовки, діелектричної рідини, що в кінцевому підсумку може дати більш високу ефективність електроерозії [0].

Завжди актуальне завдання підвищення найважливіших експлуатаційних властивостей виробів – опору корозії, зносу і механічному руйнуванню. Як зазначають автори [0], в цьому плані необхідні можливості має метод магнітно-абразивної обробки поверхонь, коли ефект впливу імпульсів магнітного поля на структуру металу і «м'яких» режимів видалення дефектного поверхневого шару надає можливість магнітно абразивним способом сформувати поверхню з мінімальною кількістю дефектів. Також, незалежно від технологічного способу, застосованого для фінішної обробки, властивості і шорсткість отриманої поверхні є своєрідним відображенням процесів, що відбуваються в контакті інструмент – заготовка, що сталися в результаті механічного і магнітного впливу на структурні і фазові перетворення матеріалу виробу [0].

У роботі [0] автори пропонують спосіб іонного азотування інструментальних сталей в схрещених електричних і магнітних полях, що дозволяє значно збільшити енергію іонізованих частинок. Це призводить до підвищення мікротвердості поверхні і збільшує швидкість росту зміцненого поверхневого шару.

Оскільки швидкорізальні сталі залишаються одним з найбільш поширених матеріалів для виготовлення інструментів, вивчення і використання впливу магнітно-імпульсної обробки, цей напрямок досліджений найбільш ретельно [0, 0, 0, 0, 0]. Зазначено, що технології традиційної обробки різних заготовок, наприклад, плоске штампування, обтиск і роздача порожніх труб, холодне зварювання, різання матеріалів та інші технологічні процеси, магнітні властивості яких ніяк не впливали на успішність виконуваної виробничої операції, в умовах магнітно-імпульсної обробки суттєво змінювали свої експлуатаційні властивості. Ефективність впливу магнітного поля на механічні властивості металу тісно пов'язана з процесами, що відбуваються при намагнічуванні магнетиків. Досить помітно цей вплив проявляється в магнітом'яких матеріалах. З наближених оцінок можна зробити висновок, що з точки зору впливу магнітного поля на механічні властивості металу найбільш вірогідний механізм розмноження дислокацій під дією магнітного тиску [0].

Термічна обробка металевих сплавів в магнітному полі відноситься до комбінованих способів впливу на структуру матеріалів деталей, що оброблюють, який полягає у використанні енергії зовнішнього магнітного поля (постійного,

змінного або імпульсного) для впливу на термодинаміку, механізм і кінетику фазових переходів з метою отримання стійких змін структури і властивостей, корисних для експлуатації виробів [0]. Вплив магнітного поля проявляється в зміні кінетики перетворень, що викликано, з одного боку, зниженням термодинамічної потенціалу феромагнітної фази матеріалу, а з іншого - локальним приростом вільної енергії вихідної неферомагнітної фази в мікрооб'ємах з ближнім спіновим порядком. При магнітній обробці деталі внаслідок неоднорідної кристалічної структури в ній виникають вихрові струми. Вихрові струми обумовлюють магнітне поле і локальні мікроевихори, які у свою чергу, нагрівають ділянки навколо кристалітів напружених блоків і неоднорідностей структури металу. У місцях концентрації залишкової або втомної напруги, пов'язаної з технологією виробництва, обробки або експлуатації деталі теплота, наведена при магнітній обробці вихровими струмами, частково зменшує надмірну енергію складових кристалітів і зерен структури зразка, особливо в зоні контакту напружених ділянок [0]. Виявлено, що в магнітостатичному наближенні у вказаних зразках повинні існувати електронно-ядерні магнітостатичні моди з дискретним спектром власних коливань. Структура і польова залежність частот цих коливань істотно залежать від величини зовнішнього магнітного поля. Величини зовнішнього поля і форма зразка визначають не лише частоти власних коливань в системі, але і число власних мод. Більш того, для кожної власної моди існує «заборонена» область магнітних полів і параметрів форми, при яких ця мода спостерігатися не може [0,0,0]. Визначено, що розщеплювання рівнів енергій атомів в магнітному полі обумовлене наявністю у них магнітного моменту як електронного, так і ядерного, і відповідно можуть спостерігатися електронний парамагнітний резонанс.

На підставі виконаного порівняльного аналізу запропоновано нову схему обробки матеріалу, що представлена на рис.1.

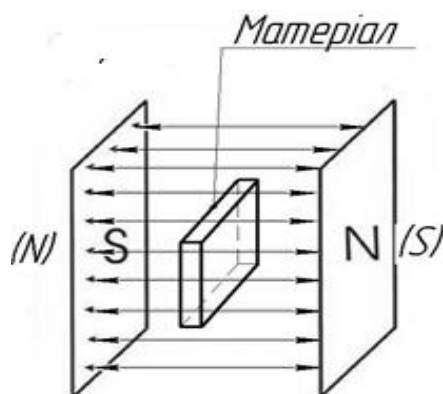


Рисунок 1 – Концептуальна схема

В умовах проникаючого магнітного поля маніпуляції з полем виключені, крім зміни його векторного напрямку. У відмінності від магнітно- імпульсної обробки, обробка магнітним полем зі зміною його напрямку дозволяє значно розширити технологічні можливості комбінованої об'ємної обробки. Це підтверджено експериментальними дослідженнями зразків з матеріалів ТН-20, Т5К6, 40Х дії постійного магнітного поля з періодично змінним напрямком під впливом широкопasmового вібратора.

Схему експериментальної установки представлено на рис. 2:

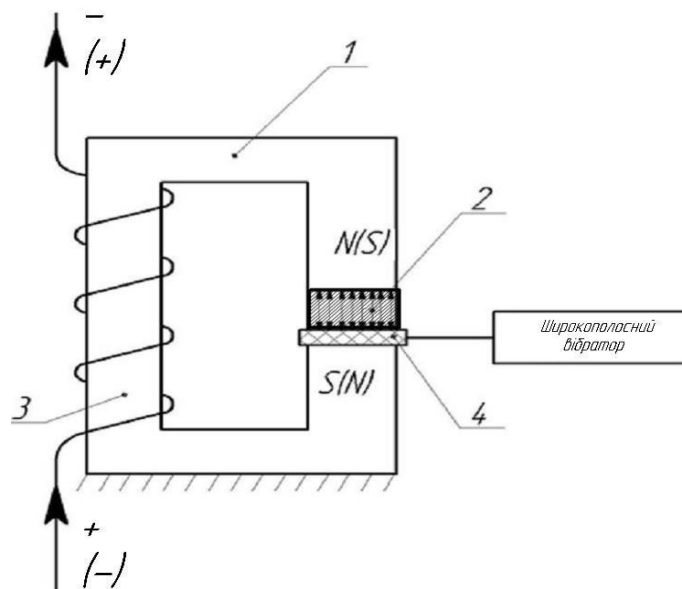


Рисунок 2 – Схема установки:

1 – магнітопровід, 2 – заготовка, 3 – обмотка електромагніту, 4 – джерело широкосмугових вібрацій

Окремі результати експериментальних досліджень представлені в табл.1. Вони підтверджують ефективну дію широкосмугової вібрації в періодично змінному напрямку магнітного поля.

Таблиця 1 – Твердість зразків до і після обробки в магнітному полі

№ зразка	Вихідні дані			Після обробки в магнітному полі				
	ТН-20 НВ	Т5К6 НВ	Сталь 40Х НВ	Час обробки, хв	Період зміни напрямку магнітного поля, сек.	ТН-20, НВ	Т5К6, НВ	Сталь 40Х, НВ
1	485	483	345	10	30	502	492	378
2	486	469	350	10	60	508	497	385
3	477	472	338	10	120	585	579	420
4	490	482	333	10	50	504	484	380
5	488	465	335	15	50	624	612	448
6	490	487	348	20	50	645	638	461
7	476	488	329	25	50	670	673	481
8	479	465	345	30	50	690	692	489
9	490	488	360	35	50	702	699	492

В прийнятих умовах є вплив знакозмінного постійного магнітного поля на збільшення мікротвердості зразків, на 15...25 %. Ці результати свідчать про те, що необхідно поширити дослідження для пошуку оптимальних значень параметрів обробки різних матеріалів в постійному магнітному полі зі змінним напрямком і мікровібраціями зразків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комбінована обробка тиском сталей із застосуванням зовнішнього магнітного поля / М.В. Краев, В.А. Гринкевич, Т.Н. Шевченко, В.С. Краева // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 3 (32). – С. 5.
2. Вплив нізкоенергетической ультразвукової обробки в постійному магнітнім поле стали 20 / С.Е. Богданов, В.Ф. Мазанко, Е.Н. Храновская, Е.И. Богданов. – © 2011. – С. 11.
3. Алифанов А.В. Обробка поверхонь в магнітному полі: ефективність і екологія / А.В. Алифанов, Ж.А. Попова // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 3 (32). – БарГУ, Н. М. Ционенко, БГПУ им. М. Танка. – С. 5.
4. Сарилов М.Ю. Особливості магніто змінюючої обробки сталевих циліндричних виробів змінного перерізу / М.Ю. Сарилов, А.А. Ковбасюк // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 3 (32). – С. 3.
5. Овчаренко А.Г. Вплив магнітного поля на фазовий склад структури поверхносного шару / А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк. – БТИ АлтГТУ: г. Бийск 2011. – С. 8.
6. Черкасов Н.Н. Перспективність методу нізкоенергетичної обробки матеріалів з використанням магнітного поля. / Н.Н. Черкасов, Е.А. Веремейко // Учреждение образования «Барановичский государственный университет», 2002. – С. 2.
7. Козлюк А.Ю. Підвищення працездатності різальних інструментів шляхом зміцнення магніто імпульсною обробкою / А. Ю. Козлюк // 4-я Всерос. науч.-практ. конф. – Бийск: АлтГТУ, 2006. – С. 208–211.
8. Хомич Н.С. Формування наноструктур у сплаві 21НМКТ під впливом імпульсного магнітного поля / Н.С. Хомич, Ю.Г. Алексеев // УП «Технопарк БНТУ «Метолит», Ч. 1. – БНТУ, 1999. – С. 4–9.
9. Полетаев В.А. Теорія вимірювань магнітної проникності / В.А. Полетаев, Д.А. Потемкин // Вестник ИГЭУ. – Вып. 3. – ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2007. – С. 6–9.
10. Ошурина Л.А. Ефективна магніто-імпульсна обробка металлорізального інструменту / Л.А. Ошурина, 1999. – С. 4–10.
11. Комшина А.В. Термодинаміка, механізм і кінетика фазових переходів у сталі в умовах дії зовнішнього магнітного поля / А.В. Комшина, А.С. Помельникова. – сентябрь 2012. – С. 11–19.
12. Барон Ю.М. Зміцнення та магнітно-абразивна обробка / Ю.М. Барон. – 2013. – С. 18–15
13. Сеницына А.А. Контроль остаточной намагниченности в практике метрологического обеспечения / А.А. Сеницына, В.В. Грибов, М.А. Малыгин. – Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина; Уральский научно-исследовательский институт метрологии.
14. Борич М.А. Связанные магнитостатические электронно-ядерные колебания в магнитных материалах / М.А. Борич, С.П. Савченко, А.П. Танкеев. – Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия,

Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия. – Физика твердого тела. – 2019. – Том 61. – Вып. 15,13.

15. Гуденко С.В. Введение в физику магнитного резонанса: Учебно-методическое пособие по курсу «Общая физика» / С.В. Гуденко. – М.: МФТИ, 2013. – 36 с. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение.

*Коломиец В.В., Антощенко Р.В., Ридный Р.В.,
Богданович С.А.*

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, Харьков, Украина

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ НОВОЙ ДЕТАЛИ И ВОССТАНОВЛЕННОЙ НАПЛАВКОЙ

Проведенными опытами и практикой изготовления деталей из закаленных сталей установлено, что качественные характеристики окончательной обработки зависят от выбранного инструментального материала, геометрии режущей части инструмента, установленных оптимальных режимов резания и условий обработки. Всем этим требованиям в наибольшей степени отвечают режущие элементы резцов из сверхтвердого материала эльбора-Р, которые эффективны при обработке закаленной стали высокой твердости и при отсутствии ударных и знакопеременных нагрузок в процессе обработки.

Окончательная обработка наплавленных поверхностей изношенных деталей, которые характеризуются большой неоднородностью и дефектностью срезаемых слоев, что вызывает значительные колебания усилий резания, может быть успешной при точении режущими элементами из сверхтвердого материала гексанида-Р. При разработке технологического процесса обработки новой и восстановленной наплавкой детали важно знать отличия в характеристиках качества окончательной обработки, которые оказывают влияние на эксплуатационные свойства и работоспособность деталей.

Сравнение характеристик качества обработки проведено при обработке ряда деталей из закаленных сталей и восстановленных наплавкой деталей при оптимальных режимах резания в одинаковых условиях их обработки.

Характеристиками качества обработки были: показатели шероховатости обработанной поверхности, остаточные напряжения и изменение микротвердости обработанного слоя детали.

Исследования проведены при чистовом точении образцов резцами из эльбора-Р закаленных сталей: 45 (HRC 50-55); У10 (HRC 56-60); 5ХНМ (HRC 58-60); 12ХНЗА (HRC 55-57); Р6М5 (HRC 62-64) и резцами из гексанида-Р изношенных деталей и восстановленных наплавочными проволоками: Нп- 30ХГСА (HRC

45-50); Нп-У8А (HRC 56-60); Нп-12Х18Н9Т (HRC 38-40); ПП-Нп-25Х5ФМС (HRC 38-40); ПП-Нп-10Х14Т (HRC 50-52); ПП-Нп-30Х5Г2СМ (HRC 54-56). Режимы резания были одинаковыми при: оптимальной скорости резания для каждого обрабатываемого материала 1,5-2,5 м/с; подаче 0,1 мм/об; глубине резания 0,2 мм. Исследования по обработке закаленных сталей проведено на универсальном токарно-винторезном станке повышенной точности ИЖ-250П. Большинство исследований по обработке наплавленных поверхностей деталей было проведено на токарном модернизированном станке 1Е61МФ2 с двигателем постоянного тока, что давало возможность бесступенчато изменять скорость резания, а в 3 раза уменьшенные величины подач, позволяли добиваться низких величин шероховатости обработанной поверхности. Шероховатость обработанной поверхности измерялась при помощи профилографа-профилометра мод. 201. Микротвердость обработанной поверхности измерялась на приборе ПМТ-3. Остаточные напряжения измерялись при помощи дифрактометра «Дрон-2М». При проведении всех исследований режущие элементы резцов из эльбора-Р и гексаниа-Р имели одинаковые геометрические параметры: $\gamma = -10^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $r = 0,2$ мм.

После проведения 2-х серий опытов для сравнения характеристик качества чистовой обработки поверхностей были выбраны пары сравниваемых материалов с учетом их применения при изготовлении и восстановлении деталей в производственных условиях. В табл. 1 и табл. 2 приведены результаты сравниваемых характеристик качества обработки.

Таблица 1 – Характеристики качества обработки закаленных сталей резцами из эльбора-Р

№ п.п	Характеристика качества обработки	Сталь 45 (HRC 50-55)	Сталь Р6М5 (HRC 62-64)
1	Среднее арифметическое отклонение профиля, Ra, мкм	0,28	0,26
2	Высота неровностей профиля по десяти точкам, Rz, мкм	1,4	1,3
3	Наибольшая высота неровностей профиля, Rмак, мкм	1,8	1,6
4	Средний шаг неровностей, Sm, мм	0,07	0,04
5	Средний шаг неровностей по вершинам, S, мм	0,036	0,02
6	Относительная опорная длина профиля. t_p , в %	25	25
7	Радиальные остаточные напряжения, МПа	-230	-120
8	Повышение микротвердости обработанной поверхности, МПа	550	880

Примечание: В таблице приведены усредненные результаты измерения с погрешностью до 5 %.

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что чистовая обработка закаленных сталей резцами из эльбора-Р приводит к получению характеристик шероховатости на уровне операции их шлифования, но в обработанном поверхностном слое образуются остаточные сжимающие напряжения с повышением микротвердости, которые приведут к повышению эксплуатационных характеристик деталей машин. Кроме того, из таблицы видно, что с увеличением твердости обрабатываемой детали все характеристики шероховатости обработки меньше, что показывает большую эффективность применения сверхтвердых инструментальных материалов при обработке закаленных сталей при безударном не прерывистом чистовом точении.

В аналогичной табл. 2 приведены для сравнения характеристики качества обработки наплавленных после износа деталей двумя проволоками, которые часто применяют при восстановлении деталей в ремонтном производстве.

Таблица 2 – Характеристики качества обработки наплавленных поверхностей резцами из гексанита-Р

№ п.п	Характеристика качества обработки	Нп-30ХГСА (HRC 45-50)	ПП-Нп-30Х5Г2СМ (HRC 54-56)
1	Среднее арифметическое отклонение профиля, Ra, мкм	0,55	0,45
2	Высота неровностей профиля по десяти точкам, Rz, мкм	2,75	2,25
3	Наибольшая высота неровностей профиля, R _{макс} , мкм	3,0	2,6
4	Средний шаг неровностей, S _м , мм	0,06	0,05
5	Средний шаг неровностей по вершинам, S, мм	0,03	0,024
6	Относительная опорная длина профиля. t _p , в %	46	40
7	Радиальные остаточные напряжения, МПа	-700	-200
8	Повышение микротвердости обработанной поверхности, МПа	320	480

Примечание: Чистовую обработку наплавленного слоя ПП-Нп-30Х5Г2СМ проводили после черновой обработки резцами из твердого сплава из-за больших макронеровностей, которые образуются при наплавке порошковой проволокой.

При сравнении высотных характеристик шероховатости обработанной поверхности в табл. 1 и табл. 2 видно, что при обработке закаленных сталей резцами из эльбора-р они значительно меньше, чем при обработке наплавленных поверхностей резцами из гексанита-Р, что можно объяснить влиянием неоднородности наплавленного слоя. Шаговые характеристики шероховатости отличаются незначительно, так как подача и глубина обработки были одинаковы. Относительная опорная поверхность большая при обработке наплавов в связи с уве-

личением высоты шероховатости. Важную роль имеет сравнение внутренних характеристик качества обработки резцами из сверхтвердых материалов, которые приводят к образованию сжимающих остаточных напряжений по сравнению с операциями шлифования. Кроме того, из таблиц видно, что в обоих случаях происходит увеличение микротвердости, то есть наблюдается наклеп обработанной поверхности.

*Костенко В.Л., Кондратьев С.Б.,
Ядрова М.В., Огиенко М.С.*

Одесский национальный политехнический университет,
Одесса, Украина

АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА БАЗЕ RASPBERRY PI 3 И STM8L

Перспективные технологии предполагают широкую автоматизацию, включающую активное внедрение технического зрения, позволяющего контролировать ресурсы и энергопотребление производственных процессов.

Среди известных электронных устройств технического зрения наиболее широко представлены оптические приборы и приборы, использующие ультразвуковые сонары, что связано с их широкими функциональными возможностями.

Ранее с целью увеличения информативности таких приборов было применено дополнение информации, получаемой от системы видеодатчиков, информацией от других источников, например, ультразвуковых сонаров [1].

Вместе с тем, одновременное использование видео и ультразвуковых датчиков вызывает повышение нагрузки на каналы информации, что вызывает необходимость применения специальных алгоритмов работы каналов информации, достаточно энергоемкого вычислительного блока, а, следовательно, сравнительно мощного источника питания устройства, что ограничивает его автономность.

Поэтому актуальным является разработка энергоэффективных средств технического зрения для реализации их автономной и надежной работы.

Для решения проблемы нами была разработана система технического зрения на базе микроконтроллеров *STM8L* и *RASPBERRY PI 3*, преимуществами которой являются повышенная автономность, информативность, и функциональность.

Структурная схема системы приведена на рис. 1. а). Особенностью устройства является возможность коммутации подсистем с автономным источником питания в соответствии с режимом работы. С помощью кнопки подачи питания

К осуществляется отключение подсистемы видеозрения, ток потребления которой не менее 500 мА, с сохранением работы подсистемы панорамного ультразвукового зрения, ток потребления которой не более 20 мА [2]. При этом обеспечивается экономия заряда элемента автономного питания, продление срока его работы без подзаряда, с сохранением потока информации от ультразвукового сонара.

По разработанной структурной схеме был реализован макет системы (рис. 1, б). Плата с *Raspberry Pi 3* и *STM8L*, тремя ультразвуковыми датчиками, двумя видеокамерами и аккумулятором. Система может быть расположена на передвижной платформе или на манипуляторе.

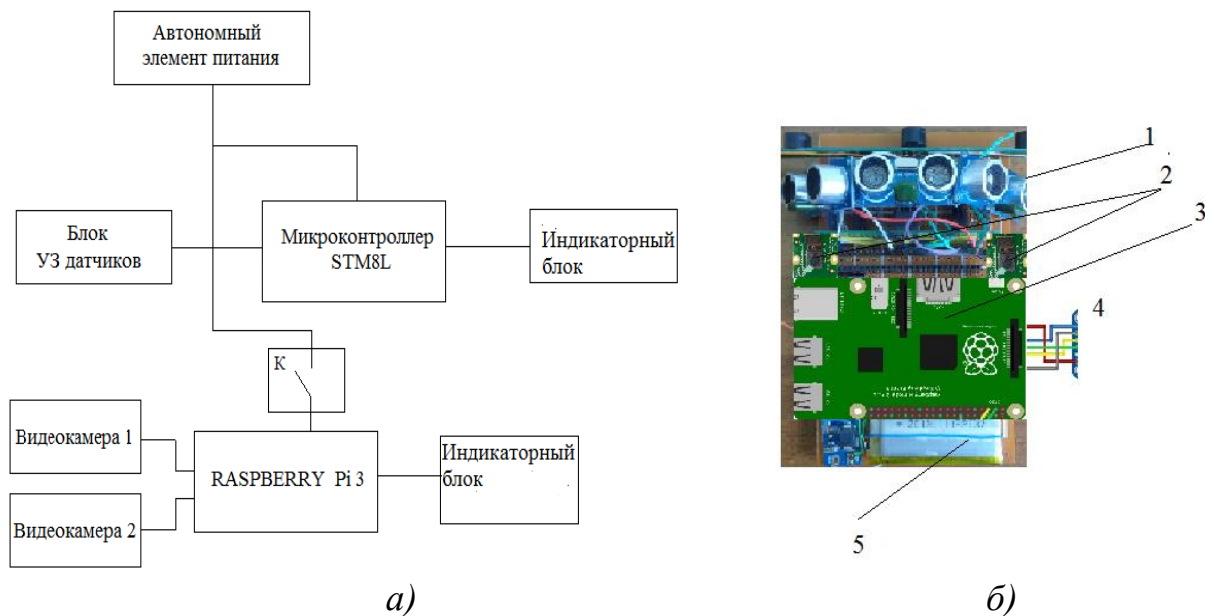


Рисунок 1 – а) структурная схема автономной системы технического зрения: К – кнопка подачи питания; б) макет автономной системы технического зрения : 1 – плата с *STM8L* и тремя ультразвуковыми датчиками, 2 – видеокамеры *Raspberry Pi*, 3 – плата *Raspberry Pi*, 4 -шина подключения к блокам индикации, б – элемент питания

Программная часть ультразвуковой подсистемы реализована на языке *C*, а видео подсистемы– на языке *Python*.

На основе результатов исследований установлено, что автономность системы повышается по сравнению с аналогами за счет адаптивного управления подключения к источнику питания, при этом дополнительно к ультразвуковому панорамному зрению добавляется видео квазистереоскопическое зрение, что обеспечивает возможность оценить не только наличие объекта и расстояние до него, но и получить общую картину нахождения различных объектов в поле зрения системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов С.О., Майер П. Системы технического зрения с невизуальным представлением пространственной информации. Известия вузов. Приборостроение. 2008. Т. 51, № 1. С. 42–47. doi: 10.1109/ICDSC.2007.4357528.

2. Костенко В.Л., Кондратьев С. Б., Ядрова М. В., Попов Д. О. Энергоэффективная система панорамного ультразвукового обнаружения препятствий для слепых. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків НТУ «ХПІ». 2018. №16 (1292). С. 47–56. doi:10.20998/2413-4295.2018.16.07.

Лавріненко В.І., Пасічний О.О.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
Київ, Україна

Солод В.Ю., Тищенко В.А.

Дніпровський державний технічний університет МОН України,
Кам'янське, Україна

ДО ПИТАННЯ ВПЛИВУ НА ЗМІНУ КРОКУ МІКРОНЕРІВНОСТЕЙ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ АЛМАЗНІЙ ОБРОБЦІ

Свого часу в роботі [1] було показано, що для більшості методів механічної обробки при середній висоті мікронерівностей крок шорсткості S_m не перевищує $40R_{max}$ (шліфування, стругання, фрезерування, розточування сталевих і чавунних деталей), а для нерівностей с меншою висотою значення їх кроку можуть сягати $300R_{max}$.

Аналіз отриманих безпосередньо нами залежностей (рис. 1), більш детально вони нами викладені в роботі [2], підтверджує те, що переважно крок мікронерівностей S_m підвищується із зростанням параметра R_a . Ця тенденція підтверджується і іншими дослідниками. Так, автором роботи [3] цю залежність наведено у вигляді: $S_m=42R_a+10$.

При цьому, характер такого зростання залежить від способу обробки і в певній мірі від оброблюваного матеріалу. Так, з рис. 1 видно, що способи шліфування по мірі підвищення величини кроку мікронерівностей S_m розташовуються у наступній послідовності: *пружний* → *глибинний* → *врізний*. Порівняння способів багатопрохідного і глибинного шліфування (див. рис. 1) свідчить, що в першому випадку (до нього відноситься і точіння) крок нерівностей є більшим, аніж у другому.

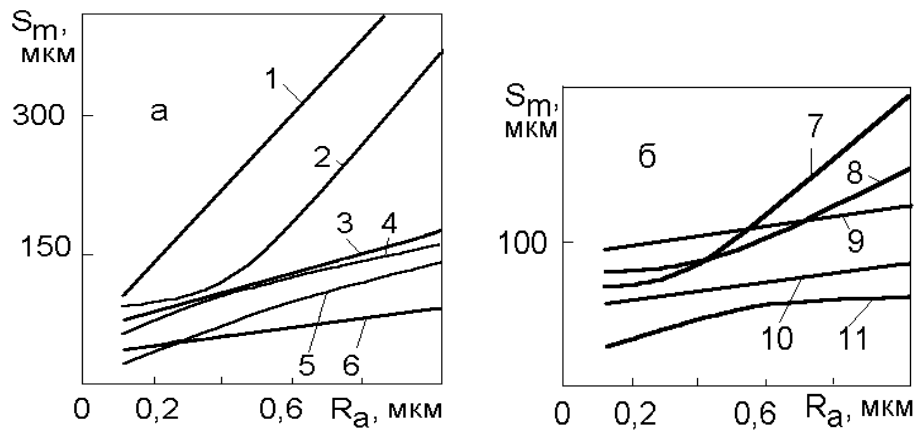


Рисунок 1 – Залежність кроку мікронерівностей S_m від параметра R_a при різних способах шліфування кераміки (а) і сталі (б): 1 – врізному (оксидно-карбідна); 2 – глибокому (оксидно-карбідна); 3 – глибокому (оксидна); 4 – пружному (оксидно-карбідна); 5 – плосому; 6 – круглому зовнішньому; 7 – багатопрохідному сталі Р6М5 кругами з КНБ; 8 – те ж саме для сталі 10+9ХФ; 9 – точіння різцями з Гексаніту-Р сталі Х12М; 10 – багато прохід-ному сталі Р6М5 кругом з електрорунду; 11 – глибокому ЕХШ сталі Р6М5

А ось чи може бути іншим характер зміни величини S_m від R_a ? Чи може крок мікронерівностей зменшуватися із збільшенням висотних параметрів? Так, і це зафіксовано для методів полірування наплавлень пелюстковими кругами і процесу доведення пастами (повздожній мікропрофіль), де із зростанням параметра R_a параметр S_m зменшується [2].

Давайте розберемося із цим питанням. Адже може виникнути необхідність зменшення кроку нерівностей із підвищенням висотних параметрів і треба визначитися як саме діяти. Нагадаємо, що в процесі торцевого шліфування нарівні із формозміною робочої поверхні круга в поперечному (або радіальному) напрямку не менш важливі зміни на поверхні круга відбуваються і в подовжньому (або коловому) напрямку. На них майже не звертають увагу і вважається, що ріжуча поверхня круга є плоскою і уся є відповідальною за знімання припуску за оберт круга. Таке нехтування може призвести до істотних змін експлуатаційних показників круга при шліфуванні. Це викликано тим, що форма профілю ріжучої поверхні круга у коловому напрямку набуває форму хвилі і реально за знімання припуску відповідає тільки її фронт.

Тепер давайте розберемося з тим, як змінюються показники шорсткості обробленої поверхні при примусовому придушенні процесу хвильової формозміни на ріжучій поверхні круга, тобто зробити її плоскою, а саме зниженням величини висоти гребеня хвилі правкою алмазного круга алмазним полікристалічним правлячим олівцем. Для проведення експериментів застосовували шліфувальний круг 12А2-45° 125×5×3×32 – АС6 160/125–М1-10–100. Шліфували твердий сплав ВК8 з охолодженням 1 %-вим содовим розчином при продуктивності обробки 200 мм³/хв.

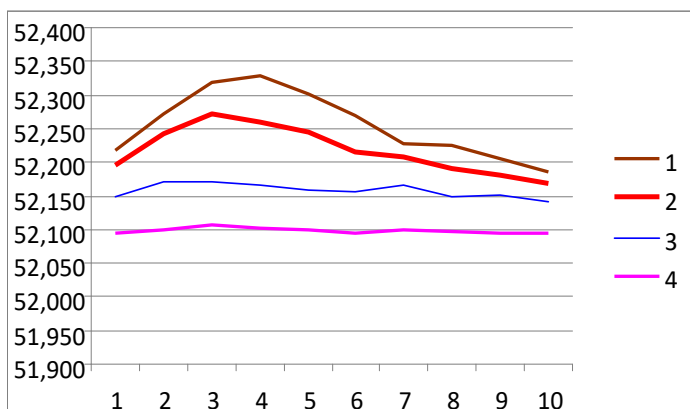


Рисунок 2 – Зміна хвильового профілю круга в коловому напрямку (1–10 – розгортка круга) вздовж різального шару при різних умовах правки круга

– після шліфування кругом з правкою з 20 проходками олівця і виходжуванням протягом 2 хв. хвиля на поверхні круга майже зникає (поз. 4).

Тепер розберемося, що ж відбувається при цих змінах з параметрами шорсткості поверхні, обробленої таким кругом (таблиця).

Таблиця – Параметри шорсткості поверхні твердого сплаву ВК8, шліфованої кругом з різним станом ріжучої поверхні після правки

Правка круга (див. рис. 2)	Параметри шорсткості			
	Ra , мкм	S_m , мкм	Відносна опорна довжини профілю поверхні на рівні	
			t_{20} , %	t_{50} , %
1 – вихідна, без правки	0,55–0,60	55–86	3–4	52–71
2 – легка	0,38–0,54	76–102	9–18	62–82
3 – тривала	0,20–0,30	80–117	10–16	75–84
4 – заключна	0,18–0,29	92–120	14–25	78–89

Визначимо особливості зміни параметрів шорсткості поверхні, що піддавалася обробці, із зміною етапів правки ріжучої поверхні круга. На ріжучій поверхні круга є хвиля і параметри шорсткості визначаються впершу чергу алмазними зернами, які знаходяться на вершечку хвилі. Тому, для суттєвої зміни параметрів шорсткості необхідно спочатку придушити хвилю на поверхні круга, тобто зробити поверхню круга плоскою, і лише далі почне суттєво знижуватися виступання алмазів. Як наслідок, змінюється крок нерівностей і опорна крива профілю обробленої поверхні. Правка знижує висотні параметри – легка правка спричиняє слабкий вплив, а більш тривала правка, яка сприяє видаленню хвилі, суттєво їх знижує. Вкажемо, що крок нерівностей зазвичай підвищується із збільшенням параметра Ra , але у випадку, що розглядається, ситуація складається

зовсім навпаки – видалення хвильового профілю в коловому напрямку на різальній поверхні круга веде не тільки до зниження висотних параметрів, але і до збільшення кроку нерівностей. Тобто, якщо нам є необхідним отримати оброблену поверхню із меншим висотним параметром Ra і не зменшеним, а збільшеним кроком нерівностей Sm , то для цього необхідно придушити хвильову формозміну круга у коловому напрямку – спеціальною правкою алмазним олівцем.

Крім того, звернемо увагу і ще на одну особливість, яка виникає у даному випадку. В усіх випадках застосування правки різальної поверхні круга збільшується наповненість профілю обробленої поверхні (рис. 3) – відносна опорна довжина профілю поверхні на рівнях 20 та 50 % зростає.

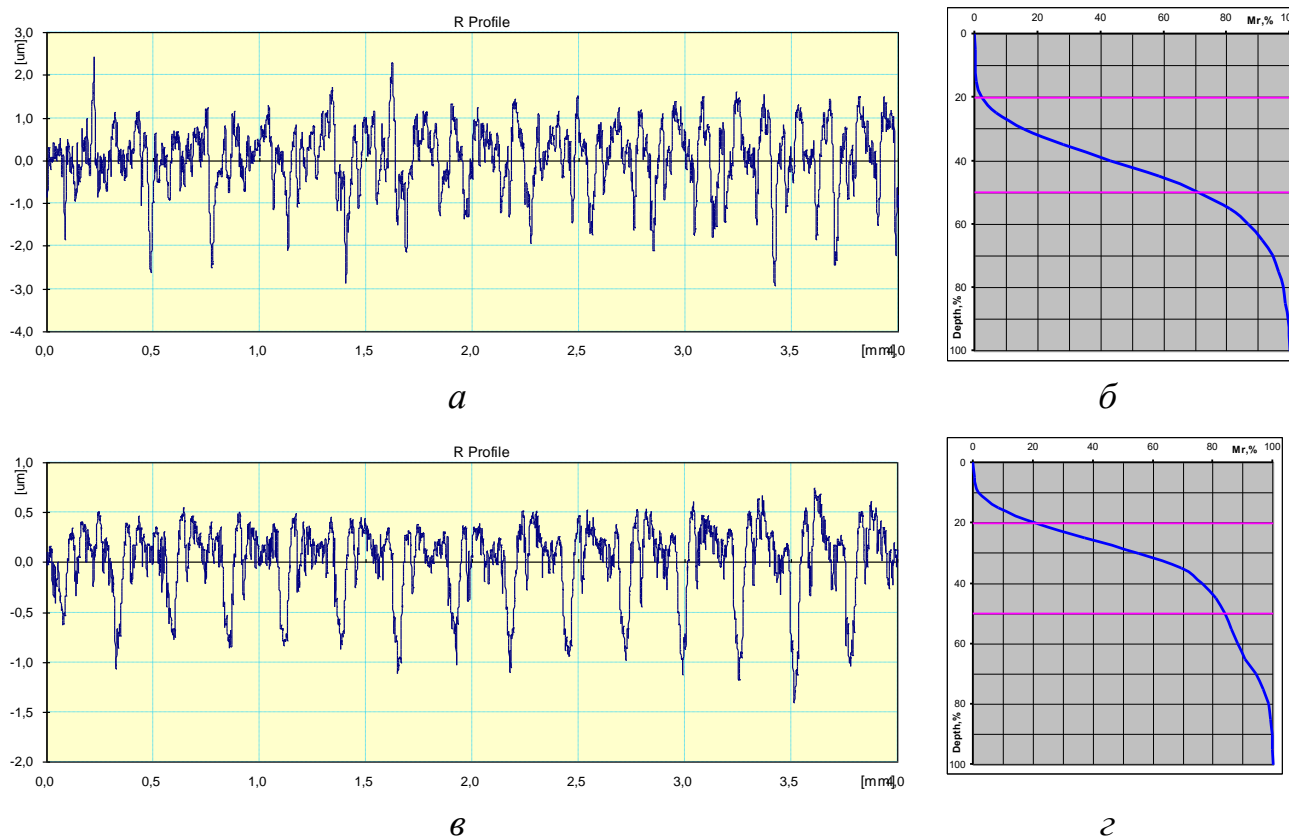


Рисунок 3 – Профілограми (а, в) і криві відносної опорної довжини профілю (б, г) поверхні, обробленої кругом з вихідною поверхнею із наявністю на ній хвилі (а, б) і кругом після заключної правки без хвилі на поверхні круга (в, г)

Звернемо також увагу на зміну характеру профілограм обробленої поверхні після придушення хвилі на поверхні круга – на різальній поверхні формується поверхня із своєрідними «масляними кишнями». Це свідчить про те, що відсутність хвилі на поверхні круга обумовлює принципові зміни, як параметрів мікронерівностей, так й їх розподілу на обробленої поверхні.

Таким чином, проведені дослідження засвідчили, що при примусовому придушенні хвильової формозміни на різальній поверхні алмазного круга правкоюправлячим алмазним полікристалічним олівцем принципово змінюються параметри шорсткості обробленої поверхні – знижуються висотні параметри і зростає крок мікронерівностей на обробленої поверхні, принципово змінюється розподіл

мікронерівностей на обробленій поверхні, що підвищує заповненість її профілю і формується поверхня із своєрідними «масляними кишнями».

ЛІТЕРАТУРА

1. Демкин Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н.Б. Демкин, Э.В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
2. Лавриненко В.І. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки / В.І. Лавриненко, В.Ю. Соллод. – Каменское: ДГТУ, 2016. – 529 с.
3. Экслер Л.И. Экспериментальные соотношения для высотных и шаговых параметров шероховатости / Л. И. Экслер // Метрологические и технологические исследования качества поверхности. – Рига: Зинатне, 1976. – С. 37–42.

Ларшин В.П., Новицкая Т.В., Ткаченко Б.О.
Одесский национальный политехнический университет,
Одесса, Украина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПУТЕМ ВЫБОРА ГЛУБИНЫ ШЛИФОВАНИЯ

Определение глубины шлифования, обеспечивающий максимальную производительность обработки при требуемом качестве поверхностного слоя обрабатываемых деталей, - наиболее ответственный этап технологического проектирования процесса шлифования. Математической основой проектирования и расчета распределения припуска по операциям и на переходы шлифования и факторами, ограничивающими его производительность. К числу таких факторов относится глубина h_d дефектного слоя, образуемого при шлифовании. Уравнение связи имеет вид

$$h_d = \alpha q (\tau - \tau_0)^\beta, \quad (1)$$

где q , τ – плотность теплового потока, Вт/мм², и время воздействия теплового источника, мс; τ_0 – бездефектный уровень времени τ , мс; α , β – коэффициенты, определяемые аппроксимацией решения $T(x, \tau, \eta) = T_{кр}$, здесь $T(x, \tau, \eta)$ – зависимость температуры в точке, расположенной на расстоянии x от поверхности, от времени τ воздействия теплового источника и формы обрабатываемой поверхности, характеризуемой геометрическим параметром η , например, радиусом R кривизны обрабатываемого профиля; $T_{кр}$ – температура структурно-фазовых превращений.

Получено уравнение для расчета глубины шлифования t_k на любой k -й период, $1 \leq k \leq n$:

$$\alpha q_k (\tau - \tau_k)^\beta = \frac{\left(z_0 + \sum_{i=k+1}^n t_i \right)}{\xi_k}, \quad (2)$$

здесь

$$q_k = A_{уд} \psi \frac{v t_k}{L_k}; \tau_k = \frac{L_k}{v};$$

$$\tau_{0k} = \frac{\pi}{\alpha} \left[\frac{\lambda T_{кр}}{2m(\eta)q_k} \right]^2,$$

$$L_k = \sqrt{\frac{D_k d_k}{D_k d_k} t_k},$$

где t_k — глубина резания на k -ом переходе, мм; v — скорость теплового источника (м/с); D_k — диаметр шлифовального круга, м; d — диаметр детали, м; η — коэффициент; α — теплопроводность Вт, м·°С; $T_{кр}$ — критическая температура, °С, $T_{кр} = 550^\circ\text{C}$; $A_{уд}$ — удельная работа шлифования, Дж/мм²; ψ — коэффициент, учитывающий долю энергии, преобразуемую в теплоту; z_0 — припуск на шлифование, мм.

Уравнение связывает между собой режимные, геометрические, теплофизические и технологические параметры шлифования по уравнению (2) рассчитывают соответствии с алгоритмом на рис. 1, до тех пор, пока не нарушится условие

$$\sum_{i=n-s}^n t'_i < z \quad (3)$$

где z — заданный по технологии припуск на шлифование.

В результате будет найден оптимальный вариант разбивки припуска на переходы шлифования.

Это способ расчета распределения припуска на шлифование реализован при помощи управляющей вычислительной программы.

На рис. 2 представлены результаты расчета для случая шлифования резьбы полукруглого профиля ходовых винтов качения при следующих данных: $\lambda=40$ Вт/(м·°С), $\alpha=8 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $T_{кр}=550^\circ\text{C}$, $D = 400$ мм, $d=61,4$ мм, $R=2,92$ мм, $z_0 = 0$, $z=2,1$ мм, $\xi_n = \xi_{n-1} = \dots = \xi_1 = 1$, $\alpha = 0,1$; $\beta = 1$, $m(R) = 0,82$; $50 \leq A_{уд} \psi \leq 12,5$ Дж/мм³.

Данные на рис. 2 можно использовать следующим образом: отложив по оси ординат (см. рис. 2) заданную величину припуска, параллельно оси абсцисс проводят прямую до пересечения с кривой, соответствующей фактическому значению $A_{уд} \psi$. Из полученной точки опускают перпендикуляр до пересечения с осью абсцисс. Ближайшее справа целое число по оси абсцисс указывает необходимое для шлифования число переходов. Например, в точке А пересечения прямой, параллельной оси абсцисс и проведенной из ординаты $Z=2,1$ мм, с кривой 3 ($A_{уд} \psi = 25$ Дж/мм³) соответствует интервал между значениями $n-5$ и $n-6$,

поэтому принимается значение $n=6$. При изменении v от 0,02 до 0,04 м/с (кривая 2) необходимое число переходов увеличивается до $n=8$.

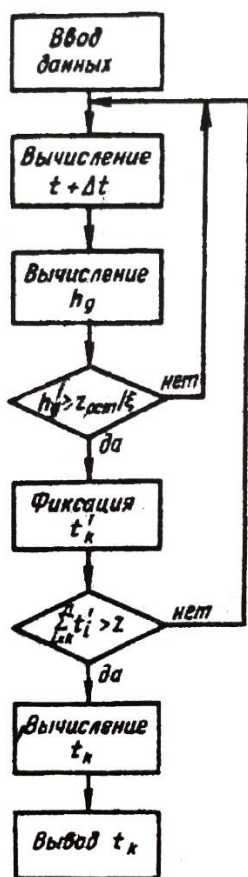


Рисунок 1 – Алгоритм расчета распределения припуска

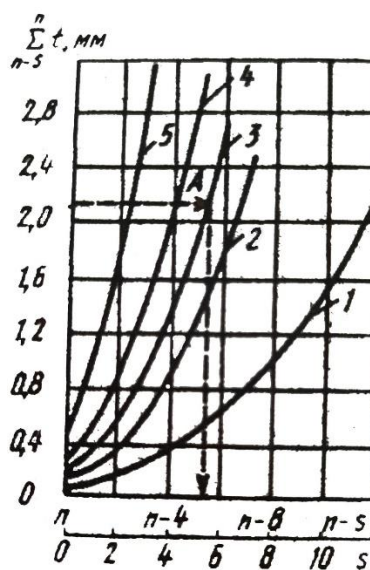


Рисунок 2 – Расчетная схема распределения припуска

Вывод: Такая технология шлифования резьбы ходовых винтов качения, по сравнению с исходной заводской технологией, позволяет сократить число переходов на обеих операциях не менее чем с трех до двух. Суммарное машинное время черного и получистового резьбошлифования сокращается на 30%, увеличивается точность обработки резьбы по шагу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет глубины дефективного слоя при шлифовании / А.В. Якимов, В.П. Ларшин, А.М. Скляр, Е.Н. Ковальчук // Станки и инструмент. 1986. № 9. 26-27

Larshin V.P., Medyuk R.S., Osoba D.O.
Odessa National Polytechnic University,
Odessa, Ukraine
Lishchenko N.V.

Odessa National Academy of Food Technologies,
Odessa, Ukraine

TECHNOLOGICAL PROCESSES AND SYSTEMS AUTOMATION METHODOLOGY

To the present, manufacturing has been recognized as a skillful activity which is implemented in an automated workshop. Manufacturing is no longer merely machining or fabrication. Moreover, manufacturing systems are covering everything from order receipt through the product shipment. There is no need to assert (this is clear from the very beginning) that all the stages of this complex integrated manufacturing system will be successfully implemented with the presence and active creative participation of relevant highly qualified specialists. However, there are a number of difficulties in understanding the essence of automation which complicate both the development of automation systems and the teaching of training courses on automation.

Technical systems automation has two main definitions and respectively areas of activity, these are: (1) replacement of manual labor by machine work including not only a force machine but a computer also (everyday automation definition) and (2) development (preparation and implementation) of new technologies that cannot be implemented manually (scientific automation definition). Here, the technologies are technological processes and operations. The main goal of automation, e.g. in mechanical engineering technology, is to increase the productivity of technological processes and technological systems. Moreover, the automation according to the first definition and direction of activity gives an insignificant positive effect or even a negative one. The second automation definition includes the following scientific categories: general scientific methods (modeling, optimization, management and control); scientific approaches (phenomenological, probabilistic, frequency); working techniques (spectral analysis, experiments design).

In accordance with the systems engineering (theory of technical systems) one of the important initial stages of a system development is an adequate representation of the system from the concept stage to the running one. The system design includes its description, modeling and simulation which may be represented in the respective formats: verbal description in ordinary languages, graphical representations (block diagram, graphs), special signs systems (programming languages), mathematical model, a timing diagram, the combined method, etc. Selecting an appropriate way of the system representation depends on the purpose of the study. If the purpose is to create conditions to ensure the desired course of a process, when the process is the developing system, then it should be said of the system operation and control algorithms. In this case the technical system is being developed in the form of a control system model. In

this modeling (versus simulation) the system is a mathematical abstraction that is taken as a model of a dynamic phenomenon which represents the dynamic phenomenon in terms of mathematical relations. Such a system is characterized by the input, state and output.

The input in the form of a set of time functions (i.e., in time domain) is the external forces (input variables) which are acting upon the grinding operation that represents the dynamic phenomenon mentioned. The state is a form of the system state-space representation, which with the input affects the output. The output in similar form is the measures of the grinding operation result, i.e. output quantities belonging to the ground part (part accuracy, surface finish and surface integrity).

A basic characteristic of any dynamic phenomenon is its behavior at any time and whether or not the behavior is traceable not only to the presently applied forces (input variables) but also to those applied in the past. A dynamic phenomenon (process) may or may not possess a memory depending on whether or not the effect of past applied forces is stored. In this connection the state of the system is a vector function of time (time domain) as well as both the input and output. In grinding it may be corresponding signals like those of grinding forces in Newtons, temperature in Celsius or acoustic emission in RMS quantities.

Mechanical engineering technology as a science of processes corresponds to two general scientific approaches: theoretical-probabilistic [1] and frequency [2]. According to the theoretical-probabilistic approach, any parameter of the process converted into an information signal, is a combination of two components: systematic (deterministic, regular) and random (stochastic, irregular). Since the parameters of a real process can rarely be deterministic, a deterministic quantity can describe some abstract or virtual process. The conclusions that can be drawn from the modeling of the deterministic process may be useful for practice, if they relate not to the absolute value, but to any identified trends. Random value also occurs in technological analysis, for example, in estimating and modeling the roughness of the machined surface (roughness, waviness, and shape deviation), the distribution of a grinding allowance on the gearwheel teeth before grinding, in the vibrations analysis of the cutting machine elastic system, estimation of experimental error and/or measurement [3]. There is a corresponding mathematical apparatus of the random processes theory used for technological decision making. In this case, the considered technological parameters (roughness parameters, grinding allowance, etc.) are statistical (not deterministic ones). Therefore, they are determined by the relevant laws of distribution of a random variable, such as Gaussian law, Student's distribution law, etc. These distributions have a mean value and confidence interval.

As a rule, in technological researches the composition of two components of process takes place more often: systematic (deterministic) component which defines a trend and random (casual) one superimposed on this trend. The main technological patterns are manifested in the change of the deterministic component (for example, in the multifactor experiment design) while the random component is a "noise" and characterizes the reliability of the assessment of the established patterns (dependences). For

this reason, the theoretical-probabilistic approach in its essence and mathematical apparatus corresponds to the nature of the real technological process (operation), including machines which are preset to size in serial production and CNC machines in small-scale and unit production.

Correspondence of the frequency approach to the nature of cutting and grinding processes when technological parameters change in time, follows from integral Fourier transformation essence intended for transformation of process time parameters into frequency ones (direct Fourier transform) and back, i.e. for transformation process frequency parameters into time ones (inverse Fourier transform).

Frequency representation of technological parameters in the form of appropriate signals allows making effective technological decisions by making appropriate adjustments to the transfer functions of TSs. For example, adjustments to the cutting parameters can be made to ensure the TS sustainable operation, i.e. to bring it out of an unstable state. Another example of the effectiveness of the frequency approach is the division of the spectrum of irregularities of the machined surface into frequency components that correspond to the categories of roughness, waviness and shape deviations of the surface profile. This mathematical operation is performed using digital filters, including phase correcting ones or a special algorithm.

The positive quality of the considered methodology of the two approaches (theoretical-probabilistic and frequency) is the natural interaction of these approaches, because the results of theoretical-probabilistic modeling (mathematical description) of technological parameters and the results of their experimental measurement can be subjected to Fourier frequency transformation. The following cases are possible: the systematic component of the signal prevails over the random component of the signal or does not prevail. In the first case, we have, e.g., a periodic signal. Otherwise (the random component of the signal is more than the systematic component) we have an aperiodic signal. Quantitative relationship between systematic and random components is detected using the autocorrelation function of the output signal.

The practice of technological research confirms the validity of the presentation of the technological signal in the form of the sum of systematic (periodic, poly-harmonic) and random (aperiodic, irregular) components. For example, European (ISO) or American (ANSI, ASME) standards for surface roughness and waviness are based on this principle. This principle allows, for example, establishing a relationship between periodic vibration signals and the waviness of the machined surface. In the general case, the theoretical-probabilistic approach or the assignment of the studied TS to the deterministic-stochastic type is a scientific hypothesis that has not yet been refuted by technological practice.

For time signals with a predominant systematic component, their Fourier frequency representation has the form of a discrete spectrum when for each explicitly expressed harmonic amplitude corresponds to a certain frequency. Therefore, the inverse Fourier transform can be performed by superposition of the corresponding explicitly expressed and discrete harmonic components. The amplitude of these components is taken from the amplitude-frequency characteristic of the signal, and the phase – from its phase-frequency characteristic.

A feature of technological research is the limited time interval of signal observation which characterizes a studying technological parameter. For example, the recording of vibrations in the elastic system of the metal-cutting machine is performed at discrete and limited time intervals lasting 0.2 seconds at a sampling frequency of the output time signal of 30 kHz. This small time interval (0.2 s) is converted into the corresponding signal spectrum and the change of the frequency components of the signal over time is observed. The current time consists of the sum of intervals lasting 0.2 s. When measuring the grinding stock allowance on individual gear gaps, the entire interval of change of the allowance is characterized by the length of the measuring circle $2\pi R$, where R is the radius of the measuring circle of the gear being measured.

Another example of the limited length of the observation time interval is the trace length when measuring surface quality parameters with a probe. The limitedness of the specified observation interval leads to several difficulties in applying these methodological approaches. First, the representation of any time periodic function in the form of a discrete spectrum, i.e. in the form of a Fourier series, is possible if the specified function exists for an infinite time interval. Any restriction of this interval in time or coordinate which characterizes the time violates the infinity requirement of the observed process (periodic or aperiodic). This leads to the impossibility of harmonic representation of the signal in the form of a Fourier series (or a discrete frequency spectrum). In this case, the Fourier transforms are expressed by the Fourier integral. It gives a continuous spectrum as a function of the frequency of the signal change. An analog of the signal amplitude in the spectrum is the spectral density of the signal. Second, with a limited (in time or coordinate) signal, this signal often contains a constant component that has the same limited length (in time or coordinate). It follows from the property of the linearity of the Fourier transform that the original frequency spectrum will contain the spectral part of a single rectangular pulse, the length of which is equal to the specified coordinate segment. The spectrum of this signal is continuous and is described by a special function $\text{sinc}(x)$. This spectrum may prevail over the spectrum of the variable part of the signal, which may "nullify" the results of frequency analysis of the signal. Third, the task is to select the sampling frequency of the output signal based on the desired frequency range of this signal in its frequency representation. This problem arises when choosing the optimal number of measurements of the grinding allowance in some (not all) gear gaps.

REFERENCES

1. Хусу А.П. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход) / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов.; под ред. А.А. Первозванского. – М.: Наука, 1975. – 344 с.
2. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры / Хемминг Р.В.; [пер. с англ.]; под ред. А.М. Трахтмана. – М.: Сов. Радио, 1980. – 224 с.
3. Лищенко Н.В. Спектральный анализ при измерении параметров шероховатости и волнистости фрезерованной поверхности / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, Ф.С. Сабиров // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – Вип.10. – С.222–234.

Lishchenko N.V.
Odessa National Academy of Food Technologies,
Odessa, Ukraine
Larshin V.P., Buchatsky S.M.
Odessa National Polytechnic University,
Odessa, Ukraine

COMPUTER-AIDED SUBSYSTEMS FOR GRINDING DESIGNING MONITORING AND DIAGNOSING

According to the Organization for Machine Automation and Control, intelligent numerical control is one of the most important directions in the mechanical engineering technology development. In turn, to reach this aim it is necessary to solve a number of tasks, namely, tool life management, on-machine work measurements, real time adaptive control, speedy setup and reconfiguration – plug and play industrial peripheral devices, machining optimization, shop floor data management – paperless environment, and operation enhancement (simplify user interface/reduce or eliminate human intervention). In this regard, it is necessary to carry out relevant scientific research.

Scientific research (theory and experiment) contains two stages of decision-making: analysis – qualitative and quantitative – and synthesis based on the results of the analysis. At the first stage, a systematic analysis of the control object (engineering calculations in design systems) is performed. At the second stage, the systems-space structures and systems-time processes are developed to achieve the aim of the study. The given paper deals with the use of three methodological areas: modeling, optimization and management (control).

Modeling allows to replace complex phenomena (geometric, thermophysical, dynamic, etc.) with appropriate models and to study these phenomena on the models, including the similar work at the stages of the grinding system analysis and synthesis. Physical models, such as both processes-analogues and computer geometrical models (e.g., in AutoCAD package), allow us to study purposefully the individual properties of complex processes (e.g., gear and thread grinding) when eliminating the influence of disturbing factors on them. Physical modeling the profile gear grinding with the aid of processes-analogues – surface or round rectangular grinding – allows establishing the influence of the profile rectangular grinding parameters on the surface finish and surface integrity. Replacement of a real object – the gearwheel – on its computer-aided geometrical model allows establishing the basing error effect on the grinding stock allowance distribution before gear grinding and changing the gear pitch accumulated error of the gearwheel after gear grinding.

Optimization allows choosing the best solution from the possible options by any criterion: technical, time or financial (costs). Every of these criteria in modeling are called the objective function. For example, the selection of the optimal number of the

grinding stock allowance measurements at the stage of the grinding machine adjustment (before machining) can be made based on the smallest error in determining the extreme values of the grinding stock allowance (technical criterion).

Management allows providing expedient functioning of process, proceeding from maintenance of necessary technological parameters. Management is carried out in two forms: direct and indirect control. Direct control includes control and regulation, indirect – monitoring of state parameters and/or technological diagnosing of the operation on the basis of on-machine measurement of the operation state parameters or output parameters of the part being machined. For example, diagnosing the process state by the grinding temperature observed can prevent the grinding thermal defects and microcracks.

The use of optimization methods is possible for the stages of both production preparation (optimization as a design method) and production itself (optimization as a control method). Optimization as a design method is considered in two categories, namely, structural optimization which is associated with the choice of technological system composition and parametric optimization associated with a quantitative search of variable parameters, e.g., such as grinding parameters. To perform structural optimization, possible configurations of technological systems are formed to be evaluated and compared according to the selected criteria.

The technological CNC equipment received from the supplier firm represents expedient set of all elements for the technological system (not only a CNC machine, but also basic machining technology is bought), i.e.: machine, tool, metalworking fluid (MWF), CNC control system, measuring system, etc. All these elements are necessary for the technological operation (cutting, grinding, etc.) implementation. That is why this is the result of structural optimization performed by the company-developer of the technological system. At the stage of technological system operation its original elements may be change over time. For example, the replacement of grinding wheels with more efficient high-porosity wheels allows increasing the productivity of the entire technological system.

The limited number of high-tech CNC equipment in the current production with a large production program leads to the need for parallel use of CNC machines and cheaper domestic machines with cyclic control, e.g., without a built-in measuring system. This leads to the emergence of new versions of multi-machine technological systems which depend on production conditions.

On the example of profile gear grinding based on the grinding CNC machine Höfler RAPID 1250, the following options of technical and technological support of gears production are possible.

1. Fully automated machining cycle on the Höfler RAPID 1250 machine which includes measurement of the grinding stock allowance at the adjustment stage, alignment of the allowance to reduce the allowance distribution unevenness.

2. The grinding stock allowance measurement of on the sides of the gear gaps (cavities) on the CNC machine type Höfler RAPID 1250, assessment of the non-uniformity of the allowance, search and fixation on the workpiece of the adjustment gear-wheel gap, which will be the first for the grinding cycle on another machine, which has

not a built-in measuring system. 3. Application of the group technology principle, according to which the classification of machined parts by size and their distribution by equipment are performed based on the minimum number of machines.

4. Gear grinding system that works with different characteristics and settings of the abrasive tool (intermittent and highly porous abrasive wheels; multi-profile settings that are assembled from the grinding wheels). Changing the characteristics of the abrasive tool leads to additional research related to the optimization of grinding parameters based on process monitoring and its technological diagnosing.

5. Rapid readjustment of the CNC machine operating in the conditions of small-scale and unit production, on the basis of reloading of the control program and an adaptive cycle of measurement of the grinding stock allowance before processing with the subsequent use of a mode of variability in the gear grinding.

Parametric optimization using the individual features of the gear to be ground is to find the optimal values of parameters that have the ability to quantitatively change, for example, the grinding parameters. These parameters can belong to a continuous (e.g., depth of cut) or discrete (number of the machined tooth) series of values which changes.

Thus, attention should be paid to the search for alternative technological system structures and their evaluation at the production stage (optimization as a control method). In relation to grinding, this means the development and analysis of the structure of the operation on the CNC machine at the stages of adjustment and processing in different ways to determine the grinding stock allowance for grinding. This is due to the fact that the grinding stock allowance depends on the method of adjusting the CNC machine according to the results of its initial measurement. As the number of grinding stock allowance measurements decreases, the allowance uncertainty increases which is compensated by the additional retracting the grinding wheel from the workpiece to be ground. This leads to an increase in the number of grinding strokes and reduces grinding productivity but at the same time it helps to eliminate possible grinding burns and microcracks. Increasing the number of allowance measurements at the stage of setting up the machine eliminates this disadvantage, but the operation time increases by the amount of allowance measurement time. When developing different methods for determining the grinding stock allowance before grinding, there are variants of the technological system structural configurations, and optimization of the grinding operation is a method of improving the efficiency of machine control, i.e. the optimization is a control method (as opposed to design method).

Thus, the optimization methodology as a method of grinding operation control includes the following steps: (1) the structure operation formation, based on a pre-formulated criterion or approach; (2) determining the grinding parameters and labor intensity for each operation structure based on the developed mathematical models of the operation and parametric optimization; (3) comparison of different structures of the technological system with the help of appropriate evaluation functions (assessment of operation technical level or technical state).

The use of intelligent numerical control and real time adaptive control corresponds to the modern technological structure “Industry 4.0”. For this reason, these issues can be taken into account when developing educational disciplines as well as curricula and syllabuses for the automation of technological processes and technological systems.

Логвінков С.М., Борисенко О.М.
Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця, Харків, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА ПЕРИКЛАЗОШПІНЕЛЬНИХ ВОГНЕТРИВІВ

Периклазохромітові вогнетриви в даний час широко поширені не тільки в теплових агрегатах чорної і кольорової металургії, а й в інших галузях промисловості. Лише останнім часом активно починає розвиватися тенденція їх заміни на мало- або безхромітові види вогнетривів. Причина криється в можливості зміни ступеня окиснення хрому з +3 до +6 в умовах відновного газового середовища. У периклазохромітових вогнетривах основна ступінь окиснення хрому +3 і його клас небезпеки для здоров'я людини III (максимальна разова ГДК в повітрі робочої зони 1 мг/м³, алерген). Зовсім інша ситуація для хрому зі ступенем окиснення +6 (при відновленні Cr₂O₃ до хромового ангідриду CrO₃), він відноситься до I класу небезпеки, самостійно є канцерогеном і сприяє розвитку онкологічних захворювань.

В даний час існує інша екологічна проблема, пов'язана з можливістю зміни ступеня окиснення хрому в периклазохромітових вогнетривах. Такі вогнетриви (і хромітопериклазового типу, в яких вміст хроміта переважає над вмістом периклазу) традиційно експлуатувалися і ще продовжують службу в футерівці найбільш відповідальних зон обертових печей випалу портландцементного клінкеру. Високий рівень автоматизації процесів виробництва і контролю якості цементу на підприємствах Німеччини дозволив встановити потрапляння Cr⁺⁶ в готовий продукт. Відповідно, через контакт рук і через органи дихання Cr⁺⁶ хоча і в малих дозах, але здатний проникати в організм робочих, накопичуватися в нирках, печінці, ендокринних залозах, зубах і інших органах. Через великотоннажність використання цементів в будівельній індустрії ця проблема зачіпає всіх, тому що виникає значна кількість будівельного пилу при стиранні і природній ерозії затверділих розчинів, шпаклівок і бетонів. Практика утилізації відходів з високим вмістом органічних речовин (автомобільні шини, синтетичний утиль, мулові відкладення стічних вод тощо) в цементних печах поширена в багатьох країнах і тому до вирішення зазначеної проблеми залучені фахівці з усього світу (Німеччина, Росія, Китай), також автори цієї публікації.

Перші кроки вогнетривщиків вирішували проблему лише частково за рахунок зниження вмісту хроміту (3 – 6 % Cr_2O_3), але і такі вогнетриви затребувані в країнах ближнього зарубіжжя, де цементні печі не використовуються для утилізації відходів (Білорусія, Узбекистан). Спроби замінити хроміт на алюмомагнезіальну шпінель показали їх хороші технічні характеристики, але такі вогнетриви не зможуться розплавом цементного клінкеру і на футерівці не утворюється гарнісажу, що захищає від ударного і стираючого впливу. Механізм зносу таких вогнетривів інший, руйнування відбувається з утворенням поверхневих сколів, що веде до швидкого зменшення товщини футерівки, локальним прогари аж до аварійних зупинок. Позитивний вплив на здатність вогнетриву змочуватися розплавом цементного клінкеру надає наявність в фазовому складі оксидних сполук, в яких присутній Fe^{2+} . Тому розроблені нові технології синтезу герценіту (FeAl_2O_4) та плеонастової шпінелі ($(\text{Mg,Fe})\text{Al}_2\text{O}_4$), введення яких в фазовий склад вогнетриву дозволяє утворюватися обмазці на поверхні футерівки під час служби в цементних печах і забезпечує високу термостійкість.

У наших дослідженнях субсолідусної будови системи $\text{FeO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ закладена фізико-хімічна основа принципово нової, інноваційної технології формування фазового складу периклазошпінельних вогнетривів для цементних печей. Базовим принципом є співіснування певних комбінацій сполук зі шпінельною кристалічною решіткою: ульвошпінель (TiFe_2O_4), кванділіт (TiMg_2O_4), алюмомагнезіальна шпінель (MgAl_2O_4) і герценіт (FeAl_2O_4). Попутно можуть синтезуватися інші наперед задані фази, що сприяють формуванню необхідної мікротріщинуватості структури (напівкільцеві мікротріщини) для забезпечення високої термостійкості (ромбоєдричні з кристалічною структурою типу корунду: гейкеліт (MgTiO_3), ільменіт (FeTiO_3); орторомбічні з кристалічною структурою типу псевдобрукіта: тіаліт (Al_2TiO_5), карроїт (MgTi_2O_5), кеннедіт (Fe_2TiO_5) і власне псевдобрукіт (FeTi_2O_5).

Манохін А.С., Клименко С.А., Конєйкіна М.Ю.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
Київ, України

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ В ЗОНІ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ ЧИСТОВОМУ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ ІНСТРУМЕНТАМИ З РСВН ГРУП ВН І VL

Вдосконалення технологій механічної обробки виробів з сучасних конструкційних матеріалів пов'язано з підвищенням продуктивності і зниженням вартості обробки за рахунок збільшення режимів різання, що, в свою чергу, обумо-

влено створенням нових різальних інструментів із застосуванням високоефективних інструментальних композитів, таких як полікристалічні надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору (PcBN) [1]

Згідно стандарту ISO 1832-2012, композити на основі PcBN діляться на три групи – ВН, ВL, ВС.

Композити групи ВН мають у своєму складі 70–95 об. % кубічного нітриду бору cBN, а до групи ВL відносяться композити з 45–65 об. % cBN. Група ВС – композити з покриттям.

Враховуючи різні можливості інструментів, оснащених композитами груп ВН, ВL, науковий та практичний інтерес мають дослідження напружено-деформованого стану зоні стружкоутворення при обробці такими інструментами [2, 3].

На рис. 1, а, б представлені результати моделювання стружкоутворення – розподіл еквівалентних напружень (по Мізесу) в об'ємі оброблюваної заготовки в момент часу після врізання і початку сталого різання ($t = 0,07$ мс) при чистовому точінні стали ШХ15 інструментами двох типів. Рівень напружень в зоні зсуву в умовах обробки, притаманних для інструменту з PcBN-ВН, знаходиться в межах $\sigma_{v-m} = 2,40\text{--}2,65$ ГПа. У разі, якщо різання здійснюється інструментом, оснащеним PcBN-ВL, спостерігається істотне зниження еквівалентних напружень в зоні первинної деформації $\sigma_{v-m} = 2,05\text{--}2,20$ ГПа. Усадка в умовах плоскодеформованого стану, близького до того, який виникає при значному співвідношенні ширини зрізу до товщини стружки, оцінювалася по її товщині по нормалі до поверхні різця в точці на середині передньої поверхні. Для першого типу інструменту усадка стружки $\zeta = 2,8$. Для другого – усадка стружки дещо менше і дорівнює $\zeta = 2,4$.

Загальна закономірність, що виражається в зниженні параметрів напружено-деформованого стану оброблюваного матеріалу при переході до застосування інструменту з PcBN-ВL композиту характерна і для величини ступеня пластичної деформації. Максимальні значення цього параметра спостерігаються в контактній зоні, прилеглий до леза різця зі сторони його передньої поверхні. Для інструменту з PcBN-ВН композитам в цій зоні $\varepsilon_{ef} = 2,10\text{--}2,33$, а з PcBN-ВL композитом – $\varepsilon_{ef} = 1,96\text{--}2,17$. У зоні зсуву ε_{ef} досягає значень 1,20–1,75 і 1,0–1,5 відповідно. Зниження ступеня деформації супроводжується деяким зниженням роботи деформації, і, як наслідок, тепловиділення (рис. 1, в, г).

Як можна припустити, наведені параметри напружено-деформованого стану оброблюваного матеріалу, характерні для умов використання різних типів надтвердих композитів корелюють з величиною температурного навантаження в зоні обробки.

На рис. 1, д, е показані температурні поля, розраховані для випадків застосування інструментів з PcBN-ВН і PcBN-ВL. Величина температури в контактній зоні на передньої поверхні інструменту в умовах точіння із швидкістю $v = 100$ м/хв із застосуванням інструмента з PcBN-ВН досягає значенні 950–1050 °С. З переходом в діапазон більш високих швидкостей різання ($v = 200$ м/хв), які доцільно застосовувати в разі використання інструменту з PcBN-ВL, температура в зоні контакту зростає до 1050–1160 °С.

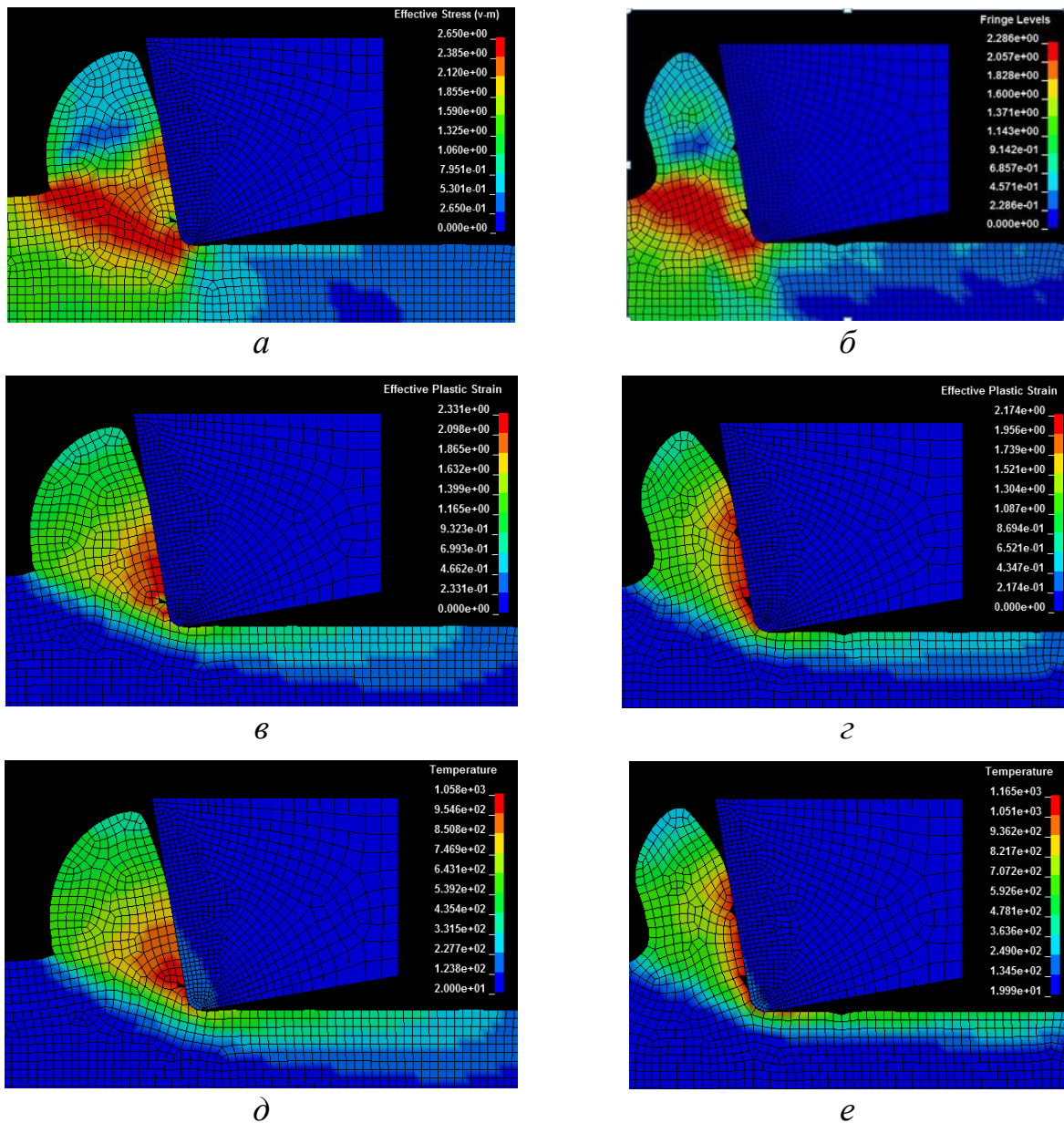


Рисунок 1 – Розподіл еквівалентних напружень в зоні стружкоутворення (а, б), ступінь деформації оброблюваного матеріалу (в, г), розподіл температурних полів (д, е) при обробці інструментами:
а, в, д – РсВN-ВН; б, г, е – РсВN-ВL

Таким чином, для обробки інструментом, оснащеними композитом РсВN-ВL, характерні менші показники напружено-деформованого стану у зоні стружкоутворення у порівнянні з обробкою інструментом з композитом РсВN-ВН, що пов'язане з більш високою температурою на передній поверхні першого інструменту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М: Машиностроение, 2014. – 608 с.

2. Финишная обработка поверхностей при производстве деталей / С.А. Клименко, М.Ю. Копейкина, В.С. Майборода и др. – Беларуская навука, 2017. – 376 с.

3. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости / С.А. Клименко, А.С. Манохин, М.Ю. Копейкина и др. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2018. – 304 с.

Наддачин В.Б., Рещиковец А.М.

Одесский национальный политехнический университет,
Одесса, Украина.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Основными техническими характеристиками СОЖ являются плотность и вязкость, которые зависят от состава и определяют их смазывающие и охлаждающие качества. Также важным свойством охлаждающей жидкости является температура замерзания, определяющая условия, в которых возможно применение смазки.

В зависимости от состава, СОЖ подразделяются на две группы:

– масляные

– водосмешиваемые (синтетические и полусинтетические).

По форме выпуска различают концентраты и готовые к применению эмульсии. В особую группу можно выделить аэрозоль, применяемый на нестационарных рабочих местах.

МАСЛЯНЫЕ СОЖ

Масляные СОЖ — это чистые минеральные масла (вязкость 2 — 40 мм²/с при 50°С) или с добавками разнообразных функциональных присадок (противозадирные, антифрикционные, антитуманые, антикоррозионные и пр.). Производятся из нефтепродуктов, в связи с чем относятся к горючим жидкостям.

ВЫБОР И ПРИМЕНЕНИЕ СОЖ НА МАСЛЯНОЙ ОСНОВЕ

Масляные СОЖ характеризуются показателями плотности, вязкости и температурой вспышки, что и является основными критериями выбора определенной марки смазочно-охлаждающей жидкости. Они традиционно используются при тяжелых режимах работы на металлорежущих станках — с низкими скоростями подачи и большой глубиной резания. Эмульсолы на основе минерального масла широко применяются при хонинговании, развертывании и сверлении, а также в случаях, когда уплотнение станка не позволяет использовать водосодержащие продукты.

Чистые минеральные масла без присадок имеют ограниченное применение и чаще всего применяются при простых работах с цветными металлами (бронза,

латунь, медь), а также с углеродистыми сталями и чугуном. Для труднообрабатываемых материалов подходят масляные смазочно-охлаждающие жидкости более сложного состава с присадками.

СИНТЕТИЧЕСКИЕ И ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИЕ СОЖ

Водосмешиваемые СОЖ в своем составе содержат различные органические и неорганические вещества, среди которых: спирты, вода, эмульгаторы, электролиты, биоциды, ингибиторы коррозии, противозадирные присадки и пр.

Преимущества этого вида эмульсолов — невысокая стоимость, простота приготовления рабочих эмульсий, низкая пожароопасность, хорошие охлаждающие свойства. Недостатки — пенообразование, высокая степень биопоражения микроорганизмами и расходы на утилизацию.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ СОЖ

Поставка водосмешиваемых эмульсолов осуществляется в виде концентрата, который используется для приготовления рабочих эмульсий непосредственно на месте применения. При этом обязательным условием получения качественного продукта является правильное разбавление концентрата водой — он добавляется в воду и тщательно перемешивается.

Эта группа включает три основных разновидности СОЖ с разной дисперсностью основного компонента:

Эмульсионные: грубодисперсные продукты, получаемые путем разбавления водой эмульсолов, содержащих до 85% минеральных масел. Вследствие смешивания эмульсола и воды в концентрации 5-30% образуется эмульсия белого цвета, обладающая высокими смазывающими характеристиками.

Полусинтетические: концентрированные продукты с коллоидной степенью дисперсии, содержат до 50% минеральных масел. Рабочий полупрозрачный раствор концентрацией 1-10% получают при смешивании с водой. Он в равной мере характеризуется хорошими смазывающими и охлаждающими свойствами.

Синтетические: концентраты, не содержащие масел, имеют молекулярную степень дисперсности. Основные компоненты: поверхностно-активные вещества (ПАВ), вода, водорастворимые полимеры и присадки. Рабочий раствор в концентрации 1-10% обладает высокими охлаждающими свойствами.

СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЖ НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ

Водорастворимые СОЖ характеризуются отличными охлаждающими свойствами и поэтому подходят для высокоскоростных режимов обработки металлов. Кроме того, они дают возможность получить рабочий раствор различной концентрации, что расширяет применяемость данного вида эмульсолов в металлообработке.

Например, одна и та же марка смазочно-охлаждающей жидкости может использоваться для черновой механической обработки в концентрации 2-5%, а при выполнении особо трудных операций (глубокого зенкования, сверления и пр.) — в повышенных концентрациях до 8%. Синтетические СОЖ с невысокой концентрацией 1,5-2,5% обычно выбирают для шлифовальных операций.

Для хонингования конструкционных и легированных сталей разработана синтетическая СОЖ Синхо-2М, которые используются в виде 2-5 процентных

водных растворов. Для магнитно – абразивной обработки металлов разработаны синтетические СОЖ Синма-1 и Синма-2, обеспечивающие высокую производительность и чистоту обработки.

Высокие контактные температуры при скоростном шлифовании могут привести к изменению структуры поверхностного слоя, появления напряжений, трещин, прижогов, тепловых деформаций, а также повышенному износу шлифовального круга. В связи с этим, требования к СОЖ для скоростного шлифования значительно выше, чем для обычного шлифования. Многими испытаниями на данной операции показаны преимущества масляных СОЖ перед водными.

СОЖ должна иметь оптимальную вязкость, высокую температуру вспышки, хорошо смачивать поверхность шлифовального круга и заготовки, проявлять стойкость к окислению, иметь высокую деаэрирующую способность, не проявлять агрессивность к деталям станка и шлифовальному кругу и обладать необходимыми трибологическими свойствами.

Обеспечение эффективного граничного и смешанного режима смазки механизмов (особенно при таких условиях эксплуатации как ударные нагрузки, прерывистые движения, пресовая посадка) невозможно без применения твердых смазочных материалов.

Твёрдые смазки – это порошкообразные или пленочные покрытия, наносимые на трущиеся металлические поверхности для снижения износа и трения, предотвращения задира, заедания и схватывания. Твердые смазки применяют, в случаях, когда смазочные масла и пластичные смазки не обеспечивают нормальной работы механизмов из-за особо тяжелых условий их эксплуатации: при низких (от -70 до -200°С) или высоких (от +300 до +1000°С) температурах, больших нагрузках (до 4000 МПа), в запыленной атмосфере, а также при недопустимости утечки смазочного материала из узлов трения.

Различают следующие группы твердых смазок:

- структурные смазки (неорганические вещества со слоистой структурой кристаллической решетки либо с низким сопротивлением сдвигу): графит, дисульфиды Мо и W, тальк, слюда, вермикуллит, известь, бентонитовые глины и др.;

- протекторные механические смазки, образующие на трущихся поверхностях постепенно снашивающуюся пленку: мягкие металлы (Al, Pb, Sn, Ca, Zn, Ag, Ba и т. д.), полимеры (политетрафторэтилен, нейлон, полиэтилен и др.);

- твердые органические соединения-мыла, используемые самостоятельно либо образующиеся на поверхности металла в результате его взаимодействия с жирными кислотами: воски, некоторые пигменты (фталоцианины) и т. п.;

- вещества, образующие поверхностные пленки на трущихся поверхностях при их химической обработке: сульфидные, хлоридные, фосфатные, оксидные и др.

Твердые смазки наносят на трущиеся поверхности:

- плазменным напылением; натиранием тампонами; обдуванием аэрозолями (стойкость таких пленок невысока);

- введением структурных и протекторных смазок и мыл в жидкие масла или пластичные смазки.

Лучшие результаты дает нанесение на чистые фосфатированные металлические поверхности твердых смазочных покрытий из суспензий порошкообразных смазок в растворах связующих (эпоксидные, феноло- и мочевино-формальдегидные, полисилоксановые и иные смолы) с последующим удалением растворителя и отверждением связующего при температурах +20 - +200°C. При этом образуется пленка толщиной 5 - 40 мкм.

Среди твердых смазок наиболее распространены: дисульфид молибдена, графит и политетрафторэтилен.

Дисульфид молибдена - мягкий порошок серого цвета, содержащий 99,0 - 99,8% MoS₂. Термически стабилен: на воздухе до +300 - 400°C, в вакууме и инертных газах до +1000 - +1500°C. Не растворим в воде, устойчив к действию масел, кислот, щелочей и больших доз радиации.

Графит термически стабилен на воздухе (до +400 - 600°C). Устойчив к действию холодной и горячей воды и большинства кислот, окисляется при температуре +600 - +700°C. Чаще всего используют как наполнитель в пластичных смазках и в виде прессованных вкладышей для подшипников.

Политетрафторэтилен ПТФЭ (тефлон) – полимер имеющий низкий коэффициент трения, весьма стабилен к агрессивным средам. Работоспособен в диапазоне температур от -200 до +300°C. Недостатки: плохая теплопроводность, низкая износостойкость и неспособность выдерживать нагрузки из-за высокой пластичности.

К достоинствам твердых смазок также относится работоспособность при комнатных температурах (в отличие от химически реакционных технологий) и инертность по отношению к пластикам (ПТФЭ, полиэтилен и полиамид), используемым в конструкциях современных машин и деталей.

Твердые смазочные материалы применимы в виде порошка, пасты, присадки-добавки к пластичным смазкам, масляной дисперсии, и в виде пигмента в составе антифрикционного покрытия.

Недостатками твердых смазочных материалов являются: быстрое истирание слоя смазки в узлах трения, более низкий отвод тепла от трущихся поверхностей, чем при жидкостной смазке.

*Насакина Е.О., Сударчикова М.А., Севостьянов М.А.,
Колмаков А.Г.*

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН,
Москва, Россия

Копейкина М.Ю., Клименко С.А.

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
Киев, Украина

Хейфец М.Л.

Институт прикладной физики НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КАК КОМПОНЕНТА СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Методы физического осаждения из газовой фазы позволяют быстро и эффективно получать тонкие пленки и поверхностные слои разнообразной природы за довольно короткое время практически на любых подложках [1-16].

Целью данной работы является создание слоистого композиционного биомедицинского материала на основе сплава с эффектом памяти формы и поверхностным слоем из высоко коррозионностойкого и биосовместимого тантала и/или титана с высокой степенью адгезионного сцепления между компонентами, избежав выделения тепла, способного самопроизвольно изменить фазовый состав и механические свойства подложки, при этом варьируя толщину поверхностного слоя.

Слоистый композиционный материал «подложка из TiNbZr – поверхностный слой из тантала/титана», получали на комплексе Torr International с использованием метода магнетронного распыления в газовой среде аргона при остаточном и рабочем давлениях $\sim 4 \times 10^{-4}$ Па и $\sim 0,4$ Па, соответственно. Для очистки, активации и полировки поверхности подложки проводилась бомбардировка ионами аргона с параметрами разряда $U_e = 900$ В, $I_e = 80$ мА – предварительное ионное травление. Температура на поверхности подложек при любом режиме не превышала 150 °С. Магнетрон с мишенью из химически чистого тантала/титана работал при дистанции напыления порядка 50-200 мм на постоянном токе 860 мА при напряжении 400 В в течение различного времени распыления (5-120 мин) при вращении подложки со скоростью 9 об/мин.

В качестве подложек использовали пластины и проволоку диаметром 280 мкм. Проволоки в исходном состоянии подвергали последовательной шлифовке поверхности наждачной бумагой от 180 до 1000 grit с конечной обработкой пастой Гои. Уменьшение диаметра составляло до 10 мкм по сравнению с исходным. Глубина поверхностных дефектов после обработки составляла менее 1 мкм.

Для определения фазового состава использовали рентгеновский дифрактометр "Ultima IV" фирмы "Ригаку". Морфологию поверхности и исследования по-слойного элементного состава исследовали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) TESCAN VEGA II SBU, снабженном приставкой для энергодисперсионного анализа INCA Energy, атомно-эмиссионном спектрометре тлеющего разряда GDS 850A с высокочастотным источником переменного тока и Оже-спектрометре JAMP-9500F фирмы JEOL в сочетании с ионным травлением при бомбардировке аргоном под углом 30°. За толщину поверхностного слоя при использовании Оже-электронной спектроскопии (ЭОС) принимали отметку глубины, на которой атомное содержание элементов выходило на плато. Фрактографические исследования также проводились на микроскопе (СЭМ) TESCAN VEGA II SBU.

Внешне поверхностный слой полностью повторяет морфологию подложки. С увеличением времени напыления до 20 мин толщина и поверхностного (состоящего только из напыляемого вещества), и переходного (содержащего элементы как подложки, так и напыляемого вещества) слоев растет. При дальнейшем увеличении времени растет толщина только поверхностного слоя, причем по нелинейному убывающему закону. В начале образование слоя носит островковый характер, а далее происходит более равномерное распределение осаждающегося металла на поверхности, при этом происходит постоянное перемешивание напыляемых атомов, приобретающих при распылении из мишени дополнительную энергию, с поверхностными атомами (подложки или ранее осажденными) при передаче им части этой энергии, что обуславливает образование переходного слоя. К обратной закономерности приводит увеличение дистанции напыления. Рентгенограммы образцов показывают, что фазовый состав подложки не меняется в зависимости от расстояния и продолжительности осаждения слоя. Исследование образцов на разрыв показало, что компоненты композита не отслаиваются друг от друга даже в зоне разрушения. Предварительное ионное травление способствует лучшей адгезии.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-1820.2020.8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang M., Yang B., Chu J., Nieh T.G. Hardness enhancement in nanocrystalline tantalum thin films // Scripta Materialia, 2006. - Vol. 54. – P. 1227–1230.
2. Vani Shankar, Mariappan K., Nagesha A., Prasad Reddy G.V., Sandhya R., Mathew M.D., Jayakumar T. Effect of tungsten and tantalum on the low cycle fatigue behavior of reduced activation ferritic/martensitic steels // Fusion Engineering and Design, 2012. - Vol. 87. – P. 318–324.
3. Chakraborty B.R., Halder S.K., Maurya K.K., Srivastava A.K., Toutam V.K., Dalai M.K., Sehgal G., Singh S. Evaluation of depth distribution and characterization

of nanoscale Ta/Si multilayer thin film structures // *Thin Solid Films*, 2012. - Vol. 520. – P. 6409–6414.

4. Zhou Y.M., Xie Z., Xiao H.N., Hu P.F., He J. Effects of deposition parameters on tantalum films deposited by direct current magnetron sputtering // *Vacuum*, 2009. - Vol. 83. – P. 286–291.

5. Dorranean D., Solati E., Hantezadeh M., Ghoranneviss M., Sari A. Effects of low temperature on the characteristics of tantalum thin films // *Vacuum*, 2011. - Vol. 86. – P. 51-55.

6. Bernoulli D., Müller U., Schwarzenberger M., Hauert R., Spolenak R. Magnetron sputter deposited tantalum and tantalum nitride thin films: An analysis of phase, hardness and composition // *Thin Solid Films*, 2013. - Vol. 548. – P. 157–161.

7. Zhou Y.M., Xie Z., Xiao H.N., Hu P.F., He J. Effects of deposition parameters on tantalum films deposited by direct current magnetron sputtering in Ar–O₂ mixture // *Applied Surface Science*, 2011. - Vol. 258. – P. 1699–1703.

8. Zhou Y.M., Xie Z., Ma Y.Z., Xia F.J., Feng S.L. Growth and characterization of Ta/Ti bi-layer films on glass and Si (1 1 1) substrates by direct current magnetron sputtering // *Applied Surface Science*, 2012. - Vol. 258. – P. 7314–7321.

9. Navid A.A., Chason E., Hodge A.M. Evaluation of stress during and after sputter deposition of Cu and Ta films // *Surface & Coatings Technology*, 2010. - Vol. 205. – P. 2355–2361.

10. Myers S., Lin J., Martins Souza R., Sproul W.D., Moore J.J. The β to α phase transition of tantalum coatings deposited by modulated pulsed power magnetron sputtering // *Surface & Coatings Technology*, 2013. - Vol. 214. – P. 38–45.

11. Cacucci A., Loffredo S., Potin V., Imhoff L., Martin N. Interdependence of structural and electrical properties in tantalum/tantalum oxide multilayers // *Surface & Coatings Technology*, 2013. - Vol. 227. – P. 38–41.

12. Navid A.A., Hodge A.M. Nanostructured alpha and beta tantalum formation—Relationship between plasma parameters and microstructure // *Materials Science and Engineering A*, 2012. - Vol. 536. – P. 49–56.

13. Navid A.A., Hodge A.M. Controllable residual stresses in sputtered nanostructured alpha-tantalum // *Scripta Materialia*, 2010. - Vol. 63. – P. 867–870.

14. Дж. М. Поут. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Дж. М. Поута и др.; Пер. с англ. Н.К. Мышкина и др.; Под ред. А.А. Углова. – М.: Машиностроение, 1987. – 424 с.

15. Кузьмичев А.И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления / А.И. Кузьмичев – К.: Аверс, 2008. – 244 с.

16. Исмагилов Ф Р. Оптимизация геометрических параметров мишени магнетрона по критерию минимизации неравномерности напыления / Ф.Р. Исмагилов, Д.В. Максудов // *Вестник УГАТУ* 2011, Т. 15, № 1 (41). С. 119–122.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Все больше компаний применяют у себя принцип Just In Time (JIT). Это наиболее распространенная в мире логистическая концепция, при которой перемещение изделия в процессе производства и поставки от поставщиков тщательно спланированы во времени таким образом, что на каждом этапе процесса следующая партия прибывает для обработки точно в тот момент, когда предыдущая партия завершена. Одно из неперенных условий успешной реализации этого подхода на промышленных предприятиях – применение эффективного инструментального менеджмента.

Инструментальный менеджмент (Tool Management) – это комплекс процессов, направленных на решение вопросов выбора инструмента, организации его учета, закупок и восстановления инструмента, его настройки и эксплуатации, а также анализа затрат на инструмент [1].

Задачи инструментального менеджмента можно разделить как минимум на 4 блока:

- логистика;
- выбор формы и геометрии инструмента;
- стратегия обработки;
- оптимизация обработки.

Все 4 блока задач связаны между собой. Для достижения положительного результата невозможно пренебречь хотя бы одним из блоков задач.

Первый блок задач «Логистика» занимается выстраиванием схем доставки от поставщика к рабочему месту (станку) инструмента. Это определение поставщика, выработка ценовой политики, способов доставки, определение необходимых партий инструментов, способов заказа инструментов, перемещение внутри предприятия.

Второй блок задач – мероприятия технического характера, которые определяют условия обработки и по этим условиям выбирается инструмент. Осуществить эти мероприятия могут как специалисты предприятия, так и специалисты поставщика, которым были направлены условия обработки.

Третий блок задач – написание управляющей программы для станка с ЧПУ. Определение наиболее эффективной траектории движения инструмента (или рабочего станка) при обработке, комбинирование нескольких операций, переходов, т.е. определение технологии обработки, которая осуществляется за наименьшее время, с применением наименьшего количества средств, оборудования и рабочих.

Четвертый блок задач – выявление наиболее эффективных условий обработки, данных, которые необходимы для принятия решений при выполнении

трех первых блоков задач. Эти задачи являются наиболее сложными, поскольку для их решения необходимы математические расчеты с большим количеством переменных. Также сложность заключается в том, что часть этих переменных неизвестны.

Например, математический расчет режимов резания для зарубежного инструмента невозможен, так как многие их характеристики неизвестны. Такие характеристики известны для традиционных отечественных инструментов, разработанных почти полвека назад, и не соответствующие новым зарубежным инструментам. В итоге не удастся математически рассчитать (с высокой степенью точности) режимы резания, силу резания и стойкость инструмента.

Поэтому режимы резания, в большинстве случаев, устанавливаются произвольно, исходя из опыта технолога. Стойкость инструмента до окончания обработки неизвестна. Все это снижает эффективность обработки деталей и, естественно, работы всего предприятия.

Отсутствуют четкие критерии, определяющие эффективность выбранных режимов резания, стойкости инструмента. Классическая теория машиностроения, которая является основой для выбора режимов резания, предлагает следующие критерии эффективности: высокое качество обработанной поверхности детали и/или уменьшение машинного времени обработки.

Рассматривая первый критерий «качество», можно сделать вывод, что этот показатель должен быть не критерием, а ограничением. Если конструкторская документация предусматривает получение невысокого уровня шероховатости, к примеру, $Rz=20$ мкм, то не следует стремиться уменьшать шероховатость, пренебрегая другими показателями процесса обработки.

Второй критерий – машинное время обработки – предусматривает его максимально возможное снижение. Однако при этом не рассматривается влияние двух этих критериев на себестоимость обработки. До каких пределов можно снижать машинное время, чтобы выполнить техническое требование к обработке детали и не выйти за рамки допустимого уровня качества. Необходимо рассматривать рациональное соотношение между величиной машинного времени на обработку, получаемое качество и себестоимость этой операции.

Решение этого вопроса и ему подобных возможно за счет более тщательной подготовки нового производства или оптимизации существующего на основании применения математических моделей, которые описывают процесс работы инструмента с технической стороны и учитывают влияние окружающей среды: макроэкономических показателей и организации производства на предприятии.

Примером математической модели, которая описывает экономические показатели, может быть уравнение расчета оптимальной стойкости инструмента, где учитывается курс валюты, который непосредственно влияет на закупочную цену инструмента, уровень заработной платы рабочего. Найденная таким путем стойкость инструмента соответствует минимальной себестоимости обработки, которая имеет параболообразный вид (рис. 1).

Если же оказывается, что реальная стойкость инструмента выше или ниже стойкости, установленной на основе этого уравнения, то целесообразно произвести корректировку режимов резания, что позволит выйти на требуемый уровень стойкости.

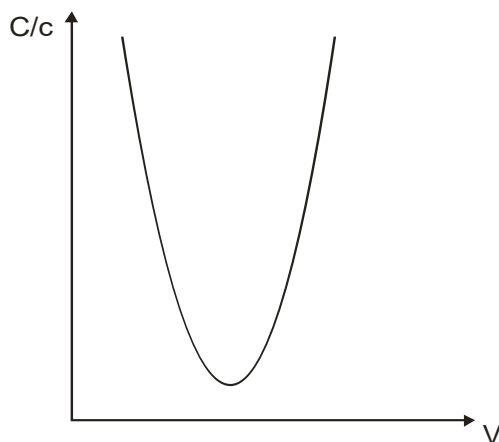


Рисунок 1 – Зависимость себестоимости от скорости резания

За счет разного влияния скорости резания и подачи на стойкость инструмента можно производительность обработки оставить неизменной или повысить.

Внедрение инструментального менеджмента на машиностроительных предприятиях показало отличный результат. Решено несколько основных проблем: цифровизация инструментального хозяйства предприятия, что обеспечило своевременное обеспечение рабочего места необходимым инструментом; рассчитываются рациональные режимы резания для конкретного инструмента с учетом максимальной производительности, требуемого качества обработки детали и минимальной себестоимости. За счет применения инструментального менеджмента решается вопрос стратегического управления машиностроительным предприятием – за счет своевременного обеспечения рабочего места необходимым инструментом, обработка деталей происходит согласно утвержденного плана выпуска деталей, что влечет за собой соблюдение сроков отгрузки готовой продукции заказчику. Выполнение требований контракта позволяет предприятию быть социально-ответственным перед своими сотрудниками, клиентами, государством и обществом в целом, повышая свою репутацию и улучшая финансовые показатели своей деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструментальный менеджмент URL:

http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=675&group_id_4=26

2. Колганов С. Инструментальный Менеджмент как шаг к цифровому предприятию / С. Колганов, С. Шулепин // Умное производство. – №2 (42). – 2018. – С. 95–98

3. Орлов П. Соціально-відповідальний маркетинг в управлінні прибутком машинобудівного підприємства [Socially responsible marketing in the profit management of a machine-building enterprise] / П. Орлов, Д. Новіков. – *European journal of economics and management*. Volume 5, Issue 5. – Praha, 2019. – P. 39–47.

Новиков Ф.В.

Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, Харьков, Украина

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

При механической обработке в технологической системе, как правило, возникают колебательные процессы, которые приводят к снижению качества и точности обрабатываемых поверхностей. Поэтому постоянно возникают проблемы поиска путей снижения интенсивности колебаний за счет применения более прогрессивных режущих инструментов, обладающих высокой режущей способностью и износостойкостью, новых технологических сред, повышения жесткости элементов технологической системы, выбора оптимальных режимов резания и т.д.

Основными причинами, вызывающими колебания сил резания и приводящими к возникновению вынужденных колебаний в технологической системе, являются: неравномерность снимаемого припуска по диаметру, неуравновешенность вращающихся масс станка и т. д. При этих условиях снижается точность обработки. Для управления точностью обработки необходимо в общем виде установить функциональную связь динамических параметров процесса резания с амплитудой колебаний режущей кромки инструмента [1].

Для определения статических и динамических характеристик упругой системы станка необходимо представить обрабатываемую деталь в виде одномассовой динамической модели (рис. 1,а) с изменяющейся по синусоидальному закону радиальной составляющей силы резания P_y (рис. 1,б).

Гармонические колебания одномассовой динамической модели можно описать дифференциальным уравнением вида:

$$m \cdot \ddot{y} + c \cdot y = P_{y_0} + \Delta P_{y_0} \cdot \sin \omega \tau, \quad (1)$$

где m и c – приведенные масса и жесткость системы; \ddot{y} – ускорение движения массы m ; P_{y_0} – статическая составляющая силы P_y ; ΔP_{y_0} – амплитуда колебаний силы P_y ; ω – частота колебаний.

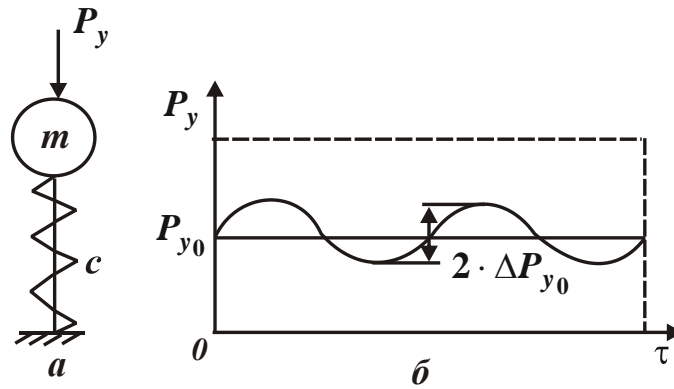


Рисунок 1 – Схема одномассовой динамической модели и ее гармонические колебания

Решение дифференциального уравнения (1) имеет вид:

$$y = \frac{P_{y_0}}{c} + \frac{\Delta P_{y_0}}{(k^2 - \omega^2) \cdot m} \cdot \sin \omega \psi, \quad (2)$$

где $k = \sqrt{\frac{c}{m}}$ – собственная частота колебаний системы.

Установлено, что при условии $k > \omega$ роль динамики несущественна; при условии $k \rightarrow \omega$ амплитуда колебаний неограниченно увеличивается за счет второго слагаемого зависимости (2), которое можно представить в виде:

$$\frac{y_{cm}}{\left(1 - \frac{\omega^2}{k^2}\right)} \cdot \sin \omega \psi, \text{ где } y_{cm} = \Delta P_{y_0} / c. \text{ Значения величины } \frac{y_{cm}}{\left(1 - \frac{\omega^2}{k^2}\right)}$$

рис. 2.

В работе [2] показано, что резонансные явления проявляются не сразу, а через определенный промежуток времени. Это вытекает из обобщенного интеграла при условии $\omega = k$ (для второго слагаемого зависимости (2):

$$y = \frac{\Delta P_{y_0}}{m \cdot k} \cdot \int_0^\tau \sin kt_1 \cdot \sin k(\tau - t_1) \cdot dt_1 = y_{cm} (\sin k\tau - k\tau \cdot \cos k\tau), \quad (3)$$

где t_1 – новая переменная ($0 < t_1 < \tau$).

Как видно, амплитуда колебаний y с течением времени увеличивается по линейному закону и через определенное время обращается в бесконечность. Поэтому при непродолжительной обработке в резонансном режиме можно избежать возникновения погрешностей.

При условии $\omega > k$ в резонансной области амплитуда колебаний уменьшается и при условии $\omega > \sqrt{2} \cdot k$ второе слагаемое в зависимости (2) становится меньше единицы. В этом случае упругая система не успевает среагировать на высокочастотные изменения силы ΔP_{y_0} и вызвать перемещение системы, равное статическому перемещению y_{cm} .

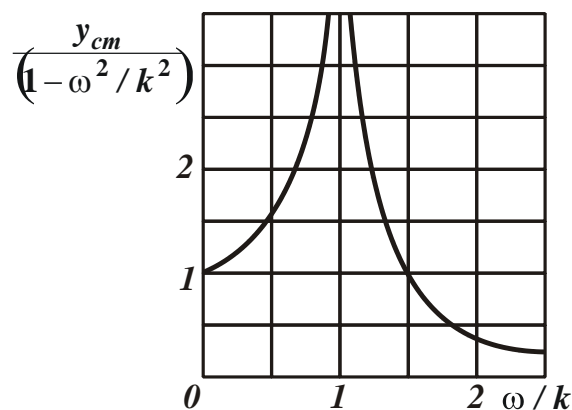


Рисунок 2 – Зависимость величины $\frac{y_{cm}}{(1 - \omega^2 / k^2)}$ от отношения ω / k

При прерывистом шлифовании на массу m действует импульс силы P_{y_0} в течение короткого промежутка времени τ . Амплитуда колебаний определяется из зависимости (3) с учетом силы P_y :

$$y = 2y_{cm} \cdot \sin \frac{k\tau_1}{2} \cdot \sin k \left(\tau - \frac{\tau}{2} \right), \quad (4)$$

где $y_{cm} = \Delta P_{y_0} / c$.

Максимальное значение амплитуды колебаний y_{max} равно:

$$y_{max} = 2y_{cm} \cdot \sin \frac{k\tau_1}{2}. \quad (5)$$

Отношение y_{max} / y_{cm} называется коэффициентом динамичности μ и принимает значения [3], приведенные в табл. 1.

Таблица 1 – Расчетные значения коэффициента динамичности μ

τ_1 / T	0	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,15	0,25	0,5
μ	0	0,062	0,126	0,188	0,313	0,618	0,708	1,413	2,0

При малых значениях τ_1 / T (меньше 0,15) коэффициент динамичности меньше единицы. Динамические перемещения в этой области меньше статических перемещений. С увеличением τ_1 / T коэффициент динамичности увеличивается и при условии $\tau_1 / T = 0,5$ достигает значения $\mu = 2,0$.

Динамика резания, как видно из приведенных данных, связана с временем контакта режущего инструмента с деталью.

Согласно зависимости (4) повысить точность можно за счет увеличения собственной частоты колебаний k , уменьшая значение $\sin k\tau_1 / 2$. С другой стороны, уменьшить τ_1 можно за счет увеличения скорости движения детали или инструмента (в зависимости от вида обработки). Эффект снижения амплитуды колебаний (ниже статического значения) при условии $\tau_1 / T < 0,15$ аналогичен эффекту снижения амплитуды колебаний в резонансной области $\omega > \sqrt{2} \cdot k$.

Заслуживает внимания динамическая модель процесса прерывистого шлифования, которую можно представить в виде одномассовой системы m , связанной с неподвижной опорой посредством пружины жесткостью c [4].

На массу m в течение времени τ_1 действует импульсивная нагрузка $P(\tau)$, равная радиальной составляющей силы резания (рис. 3), где τ_1 – период контакта рабочего выступа прерывистого круга с обрабатываемой деталью, с; τ_2 – период прерывания процесса шлифования при прохождении впадины круга над зоной контакта, с.

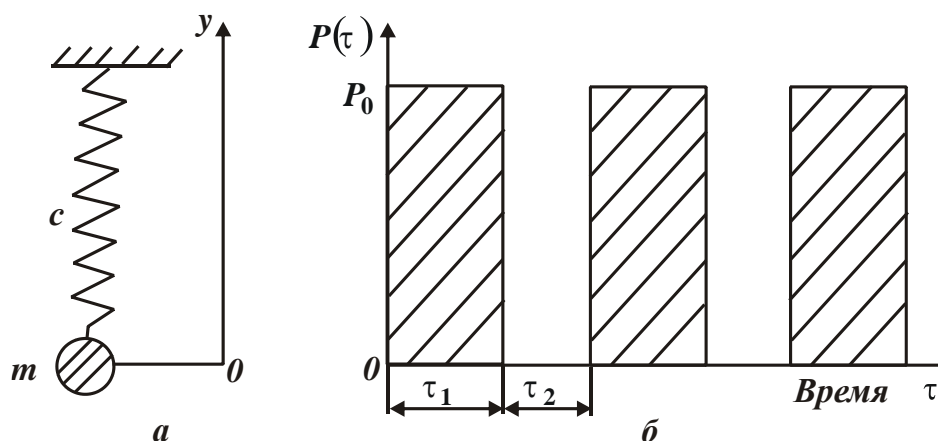


Рисунок 3 – Одномассовая колебательная система (а) и периодическое силовое воздействие шпиндельного узла (б)

Колебательное движение массы m на участке $(0, \tau_1)$ описывается дифференциальным уравнением:

$$m \cdot \ddot{y} + c \cdot y = P_0, \quad (6)$$

на участке (τ_1, τ_2) – дифференциальным уравнением:

$$m \cdot \ddot{y} + c \cdot y = 0, \quad (7)$$

где y – упругое перемещение массы m под действием импульсивной нагрузки $P(\tau)$ в радиальном к кругу направлении, м.

Решение дифференциального уравнения (6) имеет вид:

$$y_1 = A \cdot \sin k\tau + B \cdot \cos k\tau + y_{cm}, \quad (8)$$

где $k = \sqrt{c/m}$ – собственная частота системы, Гц; $y_{cm} = P_0/c$ – статическое перемещение массы m под действием силы P_0 , м.

Решая дифференциальное уравнение (7), получено:

$$y_2 = C \cdot \sin k\tau + D \cdot \cos k\tau. \quad (9)$$

Неизвестные постоянные интегрирования A, B, C, D , входящие в зависимости (8) и (9), определяются из четырех начальных условий:

$$\begin{cases} y_1(0) = y_2(\tau_2); & y_1(\tau_1) = y_2(\tau_1); \\ \dot{y}_1(0) = \dot{y}_2(\tau_2); & \dot{y}_1(\tau_1) = \dot{y}_2(\tau_1). \end{cases} \quad (10)$$

Подчиняя решения (8) и (9) начальным условиям (10), получена система уравнений для определения постоянных A, B, C, D :

$$\begin{cases} y_{cm} + B = C \cdot \sin k\tau_2 + D \cdot \cos k\tau_2; \\ A \cdot k = C \cdot k \cdot \cos k\tau_2 - D \cdot k \cdot \sin k\tau_2; \\ y_{cm} + A \cdot \sin k\tau_1 + B \cdot \cos k\tau_1 = C \cdot \sin k\tau_1 + D \cdot \cos k\tau_1; \\ A \cdot k \cdot \cos k\tau_1 - B \cdot k \cdot \sin k\tau_1 = C \cdot k \cdot \cos k\tau_1 - D \cdot k \cdot \sin k\tau_1. \end{cases} \quad (11)$$

Разрешая первое и второе уравнения системы (11) относительно постоянных A , B , и подставляя полученные выражения для определения A и B в третье и четвертое уравнения системы (11), установлена система уравнений для определения постоянных C и D :

$$C \cdot [\sin k(\tau_1 + \tau_2) - \sin k\tau_1] + D \cdot [\cos k(\tau_1 + \tau_2) - \cos k\tau_1] = y_{cm} \cdot \cos k\tau_1 - y_{cm}; \quad (12)$$

$$C \cdot [\cos k(\tau_1 + \tau_2) - \cos k\tau_1] - D \cdot [\sin k(\tau_1 + \tau_2) - \sin k\tau_1] = -y_{cm} \cdot \sin k\tau_1. \quad (13)$$

После преобразований получено:

$$C = y_{cm} \cdot \frac{\sin k \frac{\tau_1}{2} \cdot \sin k \frac{(\tau_1 + \tau_2)}{2}}{\sin k \frac{\tau_2}{2}}; \quad (14)$$

$$D = y_{cm} \cdot \frac{\sin k \frac{\tau_1}{2}}{\cos k \frac{(2\tau_1 + \tau_2)}{2} \cdot \sin k \frac{\tau_2}{2}} \left[\cos k \frac{\tau_1}{2} - \sin k \frac{(\tau_1 + \tau_2)}{2} \cdot \sin k \frac{(2\tau_1 + \tau_2)}{2} \right]. \quad (15)$$

Постоянные интегрирования A и B определяются из уравнений:

$$A = C \cdot \cos k\tau_2 + D \cdot \sin k\tau_2; \quad (16)$$

$$B = C \cdot \sin k\tau_2 + D \cdot \cos k\tau_2 - y_{cm}. \quad (17)$$

Таким образом, получено полное решение дифференциальных уравнений (6) и (7).

Из зависимостей (14) и (15) следует, что при условиях

$$\sin k \frac{\tau_2}{2} = 0 \quad \text{и} \quad \cos k \frac{(2\tau_1 + \tau_2)}{2} = 0$$

постоянные C и D , а, следовательно, постоянные A и B стремятся к бесконечности, т. е. при этих условиях в системе наступает ударный резонанс (параметры $y_1 \rightarrow \infty$, $y_2 \rightarrow \infty$). Исходя из этого, следует определить условия ударного резонанса:

1. Условие $\sin k \frac{\tau_2}{2} = 0$ выполняется при значениях $k \frac{\tau_2}{2} = \pi \cdot n$, где $n = 1, 2, \dots, \infty$, откуда:

$$\tau_2 = \frac{2\pi \cdot n}{k}. \quad (18)$$

2. Условие $\cos k \frac{(2\tau_1 + \tau_2)}{2} = 0$ соответственно выполняется при значениях $k \frac{(2\tau_1 + \tau_2)}{2} = \frac{\pi}{2} + \pi \cdot n$, откуда

$$2\tau_1 + \tau_2 = \frac{\pi \cdot (1 + 2n)}{k}. \quad (19)$$

Из полученных зависимостей (18) и (19) следует, что существует бесконечное множество резонансных состояний системы, которые определяются параметрами τ_1 и τ_2 , т.е. зависят от продолжительности контакта режущего выступа круга и времени прерывания процесса шлифования за период прохождения впадины прерывистого круга над зоной контакта.

Это указывает на то, что процесс прерывистого шлифования имеет множество неустойчивых областей и требует правильного выбора параметров τ_1 и τ_2 , определяемых из условия обеспечения оптимальной амплитуды колебаний. Регулировать устойчивостью процесса прерывистого шлифования можно также за счет параметра $k = \sqrt{c/m}$ путем изменения конструкции шпиндельного узла [5, 6].

Следует отметить, что приведенное решение получено без учета диссипативных сил. Поэтому значения параметров A, B, C, D , а также параметров y_1 и y_2 одинаковы для всех значений $n = 0, 1, 2, \dots, \infty$. В действительности, за счет диссипативных сил значения указанных параметров с увеличением n будут уменьшаться. Следовательно, с увеличением n амплитуда колебаний в резонансном режиме будет небольшой, и процесс шлифования будет протекать в достаточно устойчивом режиме. Опасными с точки зрения интенсивных колебаний будут режимы, характеризуемые небольшими значениями n . Исходя из этого, наиболее эффективным средством снижения колебаний в неустойчивых зонах при прерывистом шлифовании следует рассматривать увеличение диссипативных сил с помощью различных гасителей колебаний, например, предложенных в работах профессора Якимова А. В. [7, 8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Теоретические основы технологии машиностроения: учебник / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, А.А. Якимов, Г.В. Новиков, Н.И. Решетнев. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 491 с.
2. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я.Г. Пановко. – 4-е изд. – Ленинград: Политехника, 1990. – 272 с.
3. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.
5. Алмазная обработка: учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г. В. Новиков, А. А. Якимов. – Киев: ІЗМН, 1996. – 168 с.

6. Високопродуктивне шліфування: навчальний посібник / О.В. Якимов, Ф.В. Новіков, Г.В. Новіков, О.О. Якимов. – Київ : ІСДО, 1995. – 180 с.

7. Современные технологии и техническое перевооружение предприятий: монография / Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх, А.А. Андилахай, Д.Ф. Новиков, В.И. Полянский. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 400 с.

8. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.

9. Якимов А.В. Прерывистое шлифование / А.В. Якимов. – К.; О.: Вища школа, 1986. – 175 с.

Новиков Ф.В., Шкурупий В.Г.
Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, Харьков, Украина
Полянский В.И.
ООО «Империя металлов», Харьков, Украина

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АБРАЗИВНОМ ПОЛИРОВАНИИ

Снижение трудоемкости и себестоимости изготовления деталей и машин, а также повышение их качества является важнейшей задачей [1]. Многочисленными исследованиями установлено, что определяющую роль в обеспечении эксплуатационных характеристик играет состояние поверхностного слоя, который окончательно формируется на финишных операциях. Известно [1, 2], что эффективность и производительность абразивной обработки зависят от технологической среды, которая включает полировальник, абразивную и неабразивную составляющую технологического состава и материал заготовки. Традиционные подходы [1, 2], обладая развитым аппаратом, не позволяют в явном виде учитывать особенности динамики процесса полирования по отношению к шлифованию. Все это снижает эффективность принятия технологических решений и делает их мало пригодными в практике.

В настоящее время в рекомендациях по применению абразивных материалов для полирования недостаточно информации по времени обработки для достижения наибольшего сглаживания поверхностного слоя. Поэтому задачей исследования является анализ литературных источников, имеющих рекомендации по снижению времени полирования для достижения заданного сглаживания поверхностного слоя, и разработка модели инструмента для абразивного полирования и практических рекомендаций по повышению эффективности абразивного полирования.

Целью работы является разработка модели формирования значений высотных параметров шероховатости поверхности при абразивном полировании с учетом зернистости абразива, а также получение зависимости для определения времени обработки при достижении заданной шероховатости поверхности и наименьшем количестве циклов обработки.

Результаты исследований. Проблеме повышения эксплуатационных характеристик деталей технологическими методами посвящены работы Рыжова Э. В., Ящерицына П. И., Сулимы А. М. Обработке резанием с достижением минимальной шероховатости поверхности посвящены работы Гребенщикова И. В., Орлова П.Н., Федотова А.И. и др. В имеющихся работах изменения оптических свойств авторы связывают с изменением природы неметаллической пленки, а влияние шероховатости не рассматривают. В отдельных работах обращается внимание на необходимость сглаживания поверхностного слоя для повышения отражательной способности [3, 4]. Наиболее эффективно сглаживание достигается при абразивном полировании [5].

При моделировании процесса полирования необходимо учесть скорость и траекторию движения частиц, их размеры и зернистость, механические свойства материала детали. Модель абразивного инструмента при полировании может быть представлена в виде схемы (рис. 1). Абразивное полирование в зависимости от характера применяемых абразивных рабочих сред и технологических жидкостей представляет собой механохимический процесс сглаживания поверхностного слоя путем пластического деформирования микронеровностей, съема окислов с обрабатываемой поверхности.

Процесс полирования сопровождается последовательным нанесением на поверхность обрабатываемых деталей большого числа царапин и следов пластического деформирования при их взаимном наложении и пересечении. Технологическая жидкость обеспечивает удаление продуктов износа (частиц металла и абразивных частиц) с поверхности обрабатываемой детали, способствует охлаждению поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Интенсивность обработки зависит от динамических параметров, определяемых режимами полирования, продолжительностью полирования, характеристиками и размерами частиц абразива, характеристиками механических свойств материала детали.

Режущий инструмент формируется непосредственно в процессе обработки как абразивная среда с особыми свойствами и определенными внутренними связями. Сложная геометрическая форма зерен и их режущей части является одной из важнейших характеристик абразивного инструмента.



Рисунок 1 – Схема формирования геометрии и физико-химического состояния поверхностного слоя при обработке свободным абразивом

Параметры режущего профиля абразивной гранулы (скопления абразивных зерен) определяется величиной и расположением абразивных зерен. При единичном взаимодействии абразивной гранулы с поверхностью детали через сечение неровностей обрабатываемой поверхности, перпендикулярное направлению относительного движения гранулы, пройдет несколько слоев определенной толщины. Элементарные режущие профили будут случайным образом накладываться друг на друга, а на поверхности детали будет копироваться их огибающая, представляющая собой эффективный режущий профиль гранулы, который непостоянен и изменяется случайным образом. Профиль шероховатости поверхности детали в поперечном сечении абразивных царапин копирует эффективный режущий профиль гранулы, будет зависеть от глубины внедрения зерен h_{\max} , от исходной шероховатости поверхности детали и от параметров распределения вершин абразивных зерен по высоте.

Абразивный инструмент в первую очередь будет контактировать с выступами исходной шероховатости поверхности, при этом будет происходить постепенное округление выступов. В процессе полирования высотные параметры профиля исходной шероховатости поверхности будут уменьшаться, а шаговые параметры будут изменяться незначительно. Если прекратить процесс полирования через 30с от начала полирования, то при исходной шероховатости после шлифования сохранится часть исходного микрорельефа, при этом шероховатость поверхности детали будет состоять из сглаженных выступов.

Опорная поверхность обработанной детали на уровнях 10, 20, 30, 40 % будет значительно увеличена по сравнению с исходной, а впадины микрорельефа останутся без изменений. Продолжение процесса полирования приведет к полному удалению выступов исходной шероховатости. Отношение высотных параметров R_a / R_{max} при этом уменьшится. Это свидетельствует о возникновении большого количества царапин на полированной поверхности, связанных с наличием укрупненной фракции в поставляемых промышленностью абразивных порошках. В дальнейшем процесс полирования стабилизируется. Характерный для процесса полирования рельеф будет постоянно воспроизводиться, его параметры не будут изменяться с течением времени, а будут определяться режимами обработки и зернистостью применяемого абразива.

Нами было изучено влияние зернистости абразива и продолжительности предварительной обработки на значения высотных параметров шероховатости поверхности для образцов из стали 30ХГСА (рис. 2).

Из графика (рис. 2.) видно, что интенсивность изменения R_{max} не соответствует интенсивности изменения значений R_a . С увеличением зернистости абразива значение R_{max} увеличиваются. При увеличении времени обработки интенсивность изменения R_{max} резко увеличивается, что можно объяснить дроблением зерен в процессе обработки, следовательно, процесс обработки необходимо прекращать до появления интенсивного разрушения зерен. Так как с уменьшением размеров зерен (при неизменной силе прижатия полировальника) контактное давление возрастает и, соответственно, глубина царапания единичным дробленным зерном должна быть больше, т.е. R_{max} увеличивается при сохранении эффекта сглаживания. Возрастанию контактного давления способствует одновременное соударение множества абразивных зерен, увеличивающих энергию движения дробленого зерна. Из графика видно, что отношение R_a / R_{max} в начальный период полирования до 90 с уменьшается незначительно, а при увеличении длительности обработки свыше 90 с значение этого отношения уменьшается и составляет 0,087. Значение отношения высотных параметров в зависимости от зернистости абразива ленты изменяется незначительно, однако при полировании алмазными пастами малой зернистости (АСМ 2/1) значения этого отношения резко снижаются.

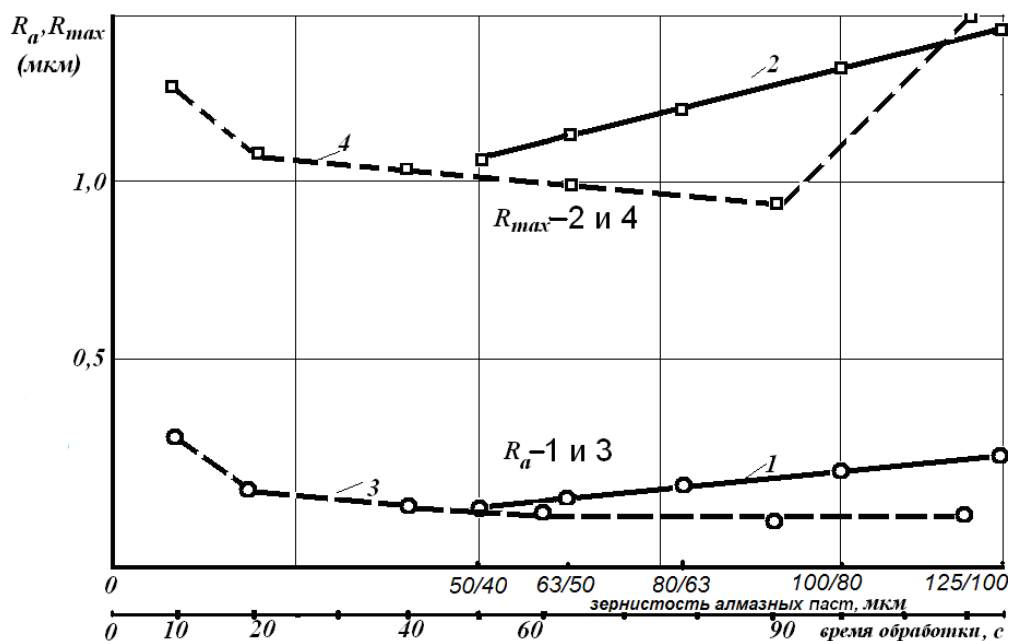


Рисунок 2 – Влияние зернистости алмазных паст (1, 2) и продолжительности обработки (3, 4) на интенсивность изменения значений высотных параметров шероховатости поверхности для образцов из стали 30ХГСА: давление 40 МПа; окружная скорость 30 м/с; время обработки 20 с для 1 и 2; зернистость абразива для 3 и 4 – АСО 50/40

Для решения поставленной задачи воспользуемся работой [1], в которой приведена зависимость скорости съема Q от параметров процесса полирования:

$$Q = k \cdot V^a \cdot c^{b_1} \cdot e^{b_2 c} \cdot p^{d_1} \cdot e^{d_2 p}, \quad (1)$$

где V – скорость резания, м/с; p – давление, кПа; c – плотность абразивной суспензии, г/мл; k, a, b, d – коэффициенты.

Нами получены зависимости, характеризующие изменение съема материала детали от одной переменной при фиксированных значениях двух переменных.

Скорость съема при изменении скорости резания:

$$Q(V) = 2,39 \cdot 10^{-2} \cdot V^{1,15} \quad (\text{при } c = 2 \cdot 10^{-2} \text{ г/мл; } p = 12 \cdot 10^2 \text{ кПа}).$$

Скорость съема при изменении давления:

$$Q(p) = 0,68 \cdot 10^4 \cdot p^{-3,38} \cdot e^{0,0173 p} \quad (\text{при } V = 0,2 \text{ м/с; } c = 2 \cdot 10^{-2} \text{ г/мл}). \quad (2)$$

Скорость съема при изменении концентрации абразивной суспензии:

$$Q(c) = 1,14 \cdot 10^8 \cdot c^{5,64} \cdot e^{1,46 c} \quad (\text{при } V = 0,2 \text{ м/с; } p = 12 \cdot 10^2 \text{ кПа}).$$

На рис. 3 изображены экспериментальные и расчетные точки, полученные по формулам (2). Расхождение расчетных и экспериментальных значений съема материала составляет не более 3 %.

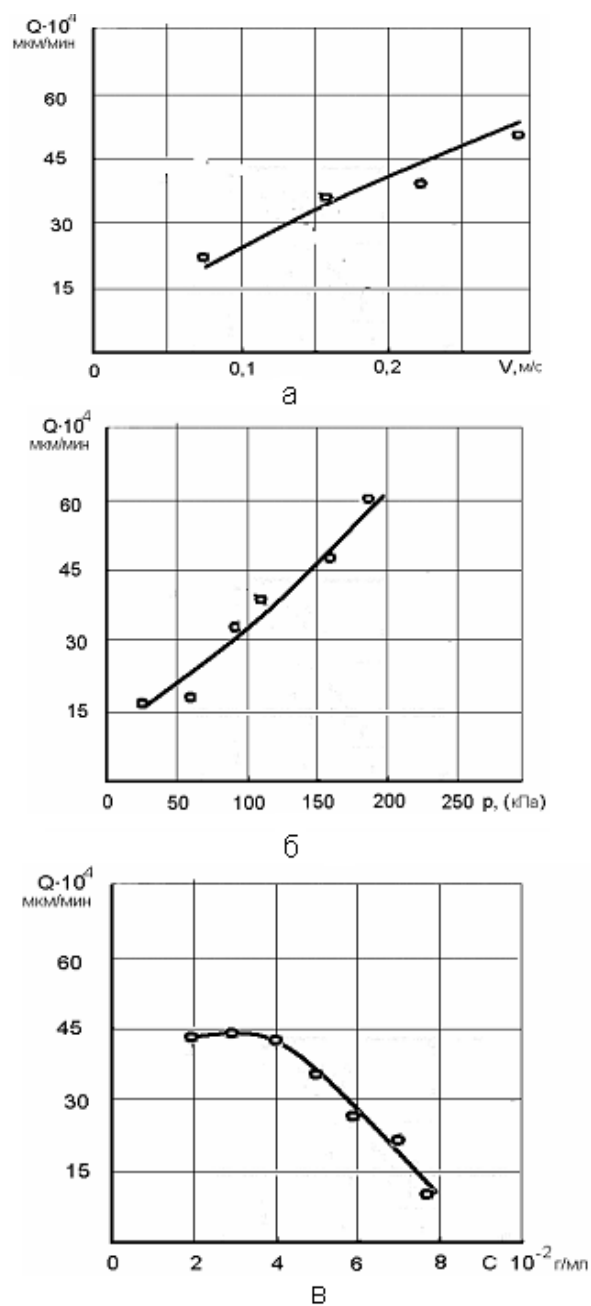


Рисунок 3 – Зависимость скорости съема Q от технологических параметров процесса абразивной обработки: а – линейной скорости V ; б – давления p ; в – плотности суспензии c .

Для сглаживания поверхностного слоя деталей необходимо установить минимальное количество переходов технологического цикла для получения минимальных значений высотных параметров шероховатости поверхности. В конце первого цикла обработки получаем поверхность, шероховатость которой R_1 , а высотный параметр исходной до обработки шероховатости R_0 . При выполнении N циклов получим N поверхностей с промежуточными значениями высотных параметров шероховатости R_i в соответствии с разными переходами. Количество переходов и промежуточная величина шероховатости поверхности зависит от физико-химических свойств обрабатываемой поверхности, ее формы, времени обработки, свойств и зернистости абразивного материала

При абразивном полировании считаем, что максимальная глубина внедрения зерна равна диаметру абразивной частицы или максимальному ее размеру. В этом случае высотные параметры шероховатости поверхности и скорость съема материала на каждом переходе пропорциональны размерам абразивных частиц:

$$R_{z_i} = \beta \cdot D_i; \quad Q_i = \alpha \cdot D_i. \quad (3)$$

где D_i – диаметр абразивных частиц на i -м переходе ($i=1, 2, \dots, N-1$); α и β – коэффициенты пропорциональности, определяемые эмпирическим путем постоянные для данного процесса обработки.

Из равенства (3) следует, что

$$Q = \frac{\alpha}{\beta} \cdot R_{z_i}. \quad (4)$$

В табл. 1 приведены величины скорости полирования и шероховатости при обработке в течение одного часа деталей из меди различными фракциями алмазных микропорошков

Таблица 1 – Результаты абразивного полирования

Шероховатость поверхности после фрезерной обработки, R_z , мкм	Фракции алмазных микропорошков, АСМ	Скорость полирования, $Q \cdot 10^3$, мкм/мин	Шероховатость после полирования, R_z , мкм
0,32	5/3	5,325	0,032
0,32	3/2	3,225	0,05
0,32	1/0	1,35	0,020

Величина припуска h , соответствующая глубине дефектного слоя:

$$h_i = k \cdot R_{z_{i+1}},$$

где k – коэффициент пропорциональности, определяющий количество материала удаляемого за время t_i ;

$$t_i = \frac{F_i}{Q_i} = \gamma \cdot \frac{R_{z_{i-1}}}{R_{z_i}}, \quad (5)$$

где $\gamma = \frac{k\beta}{\alpha}$ при $i=1, 2, \dots, N$.

Суммарное время обработки по всем циклам равно:

$$T_i = \sum_{i=1}^N t_i = \gamma \cdot \sum_{i=1}^N \frac{R_{z_{i-1}}}{R_{z_i}}. \quad (6)$$

Для оптимизации процесса по критерию минимума суммарное время обработки (5) необходимо определять оптимальные значения промежуточной шероховатости поверхностей R_{z_i} ($i=1, 2, \dots, N-1$):

$$R_{z_i} = R_{z_{i-1}} = R_{z_{i+1}},$$

При $i=1, 2, \dots, N-1$, откуда

$$\frac{R_{z_{i-1}}}{R_{z_i}} = \frac{R_{z_i}}{R_{z_{i+1}}} \quad (7)$$

С учетом формулы (6) из уравнения (5) следует, что при оптимальном процессе обработки время переходов одинаково, т.е. $t_i = t$. Это справедливо для обработки поверхностей деталей с одинаковым значением высотных параметров шероховатости исходной поверхности. Однако, это не подтверждается для образцов с различной исходной шероховатостью поверхности, так как с уменьшением исходной шероховатости поверхности время обработки резко уменьшается. Это подтверждают и результаты эксперимента (рис. 4).

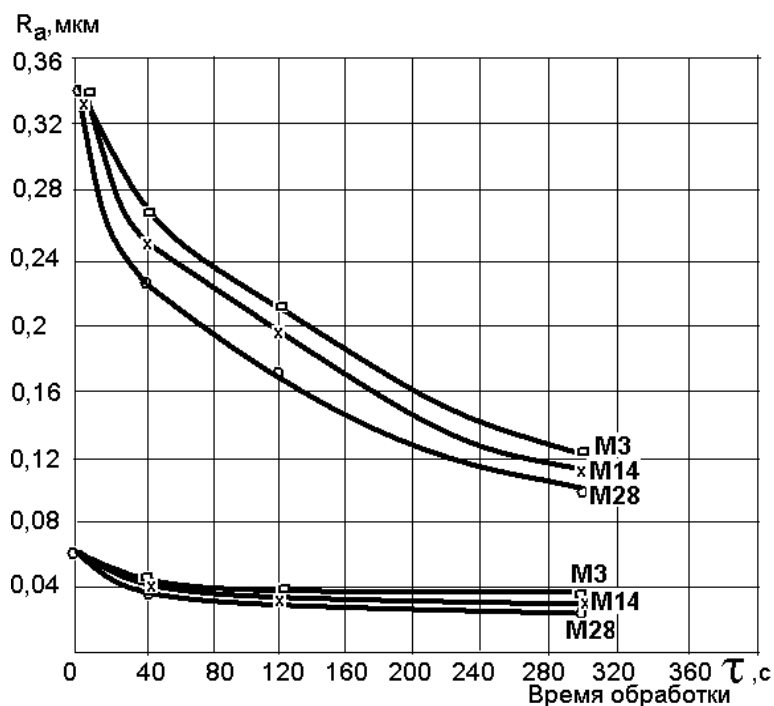


Рисунок 4 – Зависимость высотного параметра шероховатости поверхности от времени полирования абразивными материалами различной зернистости

Анализ зависимостей показывает, что:

- время стабилизации процесса формирования высотного параметра шероховатости поверхности мало зависит от зернистости абразива (от M3 до M28);
- время стабилизации процесса формирования высотного параметра шероховатости поверхности существенно уменьшается с уменьшением высотного параметра исходной шероховатости поверхности до обработки. При уменьшении исходного параметра шероховатости поверхности R_a в 5,23 раза (от 34 мкм до 0,065 мкм) время стабилизации R_a обработанной поверхности уменьшается в 8 раз (от 320 с до 40 с). Таким образом, при сглаживании поверхностного слоя детали время цикла последующей финишной операции будет уменьшаться интенсивнее, чем снижение высотного параметра исходной шероховатости до обработки;
- для каждой зернистости абразивного материала существует предел по стабилизации значений высотного параметра шероховатости поверхности, а это

очень важно при назначении последовательности использования рабочих сред при сглаживании поверхностного слоя деталей. Следует отметить, что этот предел будет зависеть от исходного состояния поверхности детали до обработки. Нас интересует наименьшее предельное значение R_a , достигаемое полированием поверхности в разных условиях обработки.

Оптимальные значения суммарного времени обработки можно определить из следующего выражения:

$$T = \gamma \cdot N \cdot \left(\frac{R_{z_0}}{R_{z_N}} \right)^{\frac{1}{N}}. \quad (7)$$

Оптимальное число циклов получим, рассматривая суммарное время T , как функцию числа циклов N . Для этого следует определить ее минимум:

$$N_{\min} = \ln \frac{R_{z_0}}{R_{z_N}^{1/N}}.$$

Оптимальное значение диаметров абразивных частиц на каждом переходе:

$$D_i = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{R_{z_N}^{1/N}}{R_{z_0}^{1/N-1}} = \frac{1}{\beta} \cdot R_{z_0} \left(\frac{R_{z_N}}{R_{z_0}} \right)^{1/N}$$

при $i = 1, 2, \dots, N$.

Для случаев обработки поверхности с изменяющимися физико-химическими свойствами выражения примут вид:

$$T_{opt} = \gamma \cdot N \cdot \left(x \cdot \frac{R_{z_0}}{R_{z_N}} \right)^{1/N} \quad (8)$$

при

$$N = 2,3 \cdot \ln \left(x \cdot \frac{R_{z_0}}{R_{z_N}} \right). \quad (9)$$

Из вышеизложенного следует, что коэффициенты x и γ отражают зависимость скорости полирования от микротвердости, плотности обрабатываемого материала и зернистости алмазного микропорошка. Экспериментально установлено, что для алмазных микропорошков соответствующих зернистостей значение x равно 0,06, γ равно 1,7. Следовательно, оптимальный вариант процесса полирования с точки зрения минимальных переходов при обработке металлической зеркальной поверхности определяется только высотой шероховатости поверхности до и после обработки. Следует заметить, что минимальное число переходов зависит от физико-химических свойств абразива, исходной шероховатости поверхности $R_{z_0} = D_0 \cdot \beta$, зернистости алмазных микропорошков $D_N = \beta \cdot R_{z_N}$, используемых на последнем переходе. Разработанная методика была использована для оптимизации процесса полирования медной зеркальной

поверхности [6]. За исходное состояние брали образцы с поверхностью, обработанной до $R_a=0,5$ мкм, на конечном этапе обработки шероховатость составляла $R_z = 0,032...0,025$ мкм.

Тогда оптимальное число циклов равняется 3, а время (усредненное для верхней и нижней границ) составляет $T = 7,87$ мин. Исследования показали, что расчетное время от экспериментального отличается на 20 % ($T_{экон} = 9,5$ мин), что соответствует погрешности $\varepsilon = 0,01$. Для абразивных составов получили размеры зерен на соответствующих стадиях обработки: $D_1 = 3,1214...5$ мкм; $D_2 = 1,1543.. 2,05$ мкм; $D_3 = 0,425...0,8$ мкм, что соответствует зернистости абразивов 5/3; 3/2; 1/0.

Выводы. 1. В работе теоретически и экспериментально раскрыты закономерности формирования шероховатости поверхности при полировании абразивными материалами различной зернистости деталей из меди и алюминия.

2. Приведено обоснование оптимальных параметров режимов полирования при обработке поверхностей указанных деталей с целью сглаживания их поверхностного слоя.

3. На основе проведенных исследований разработана методика расчета времени всего процесса обработки, количества переходов, времени каждого перехода и зернистости абразива на каждом переходе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Э.В. Рыжов, А.Г. Сулов, В.П. Федоров. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.

2. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.

3. Назаров Ю.Ф. Выбор оптимального маршрута обработки деталей с учетом технологической наследственности / Ю.Ф. Назаров, О. Н. Мельников // Вестник машиностроителя. – 1986. – №6 – С. 47-49.

4. Исследование зависимости скорости полирования от технологических факторов обработки / В.М. Рубан, Ю.Ф. Назаров, Г.Б. Лурье, В.И. Романова // Алмазы и сверхтвердые материалы. – 1980. – Вып. 10. – С. 89.

5. Шкурупий В.Г. Сглаживание поверхностного слоя деталей из меди и алюминия при их абразивном полировании / В.Г. Шкурупий, Ю.Ф. Назаров // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – Вып. 12. – С. 281–286.

6. Цеснек Л.С. Металлические зеркала / Л.С. Цеснек, О.В. Сорокин, А.А. Золотухин. – М.: Машиностроение, 1983. – 353 с.

СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО СЕРТИФИКАЦІЇ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕЧНІСТЮ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ В УМОВАХ ТРАНСФОРМАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЗАКОНОДАВЧОЇ ТА НОРМАТИВНОЇ БАЗИ

Європейська система безпечності харчових продуктів (ХП) визнана однією з найкращих в світі, а європейський споживач є найбільш захищеним. Водночас харчове законодавство ЄС є прикладом осмисленого підходу, що враховує інтереси всіх, хто пов'язаний з ринком ХП. На сьогодні в Україні змінюється підхід до організації та перевірки систем управління безпечністю харчових продуктів (СУБХП). Приймаються законодавчі та нормативні акти, основною метою яких є гармонізація законодавства України із законодавством ЄС у сфері безпечності та якості ХП, забезпечення високого рівня захисту здоров'я людей та інтересів споживачів, а також створення прозорих умов ведення господарської діяльності, підвищення конкурентоспроможності вітчизняних ХП.

Зокрема, прийняття Закону України [1] призвело до суттєвих змін у сфері виробництва та обігу ХП. Положення цього Закону покладають значну відповідальність за виробництво безпечної продукції на виробників та передбачають розроблення, введення в дію та застосування постійно діючих процедур, що засновані на принципах системи аналізу небезпечних чинників та контролю у критичних точках.

Система НАССР – визнана у всьому світі СУБХП, що заснована на аналізі ризиків та потенційних небезпек з подальшим їх попередженням. Вимоги до цієї системи прописані в Наказі [2] та Законі України [1].

Застосування системи НАССР полягає в:

- ідентифікації можливих небезпечних факторів;
- встановленні того, де і як небезпечні фактори можуть бути усунуті, попереджені або приведені до прийняттого рівня;
- розробці відповідних заходів і навчання персоналу;
- впровадженні заходів на практиці та документування процедур [2].

Згідно Закону [1] з 20.09.2019 р. система НАССР (або подібна) має бути запроваджена на всіх харчових підприємствах.

У 2003 р. введено стандарт ДСТУ 4161-2003 [3], з 2007 р. – стандарт ДСТУ ISO 22000:2007 [4] та з 2019 р. – ДСТУ ISO 22000:2019 р. [5]. Усі ці стандарти засновані на концепції НАССР. Наразі ці стандарти діють одночасно. Однак лише ISO 22000 повністю гармонізований з ISO 9001.

У боротьбі за споживача та для незалежного підтвердження переваг визначеної продукції виробники проводять сертифікацію. Згідно чинного в Україні за-

конодавства сертифікація проводиться на добровільних засадах і є тим інструментом, який обмежує доступ на ринок невідповідної продукції та доводить надійність виробника, і, тим самим, підвищує престиж підприємства. Для засвоєння іноземних ринків, участі в великих закупівлях продукції (тендерах), для реалізації своєї продукції у великих торгових мережах наявність сертифікату відповідності вже давно є важливою та необхідною умовою.

З метою документального підтвердження впевненості споживачів щодо безпечності ХП сертифікація СУБХП в Україні проводиться переважно на відповідність ДСТУ 4161-2003 [3] та ДСТУ 22000:2007 [4].

У процесі сертифікації СУБХП використовують також ДСТУ-П ISO/TS 22003:2009 [6], в якому представлено вимоги до органів з оцінки відповідності, які проводять сертифікацію та аудит СУБХП.

В Європі широко застосовують різні системи сертифікації СУБХП, засновані на принципах HACCP, зокрема схема сертифікації FSSC 22000, стандарти BRC FOOD та IFS.

Food Safety System Certification 22000 (FSSC 22000) – незалежно керована схема для сертифікації СУБХП, охоплює не лише процес виробництва ХП, але й постачання. Особливість схеми в тому, що окрім стандартів ISO щодо безпечності ХП є додаткові вимоги та викладені в технічних специфікаціях для програм попередніх умов відповідних секторів харчової галузі, зокрема, ISO/TS 22002-1 [7]. FSSC 22000 застосовується для перевірки та сертифікації СУБХП в сферах: виробництва продуктів (категорія C), виробництво тварин (категорія D), харчування (категорія E), транспорт і зберігання (категорія G), виробництво біохімічних речовин (категорія K).

International Food Standard (IFS) – міжнародна схема сертифікації в харчовій галузі, мета якої полягає в зниженні витрат і забезпеченні прозорості всього ланцюга постачання ХП. Стандарт IFS заснований на принципах ISO 9001 та HACCP, орієнтований на забезпечення безпеки ХП та пакування і передбачає три можливих рівні сертифікації.

British Retail Consortium (BRC) Global Standards – це серія міжнародних стандартів для ХП, виробників упаковки і споживчих товарів. Ці вимоги висуваються до торгових мереж, виробників ХП, підприємств громадського харчування, імпортерів і постачальників.

BRC заснований на комбінації застосування ризик-менеджменту (для продуктів харчування і харчової упаковки – на основі аналізу ризиків відповідно до принципів HACCP), вимог системи управління якістю та застосуванням належної виробничої практики (GMP).

Наразі майже всі схеми сертифікації СУБХП включають в себе принципи системи HACCP. З упровадженням цієї системи на підприємстві можна визначити та контролювати ті технологічні етапи, де можуть бути або вже наявні небезпеки, та усунути або зменшити їх до безпечного рівня. Це актуальна модель управління якістю та безпечністю ХП у промислово розвинених країнах світу.

Підприємець має досить великий вибір за допомогою якої схеми провести сертифікацію СУБХП на виробництві. Найголовніший аспект – це правильне та ефективне впровадження цієї системи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» від 16.01.2020 р. № 771/97 – ВР. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80>.

2. Вимоги щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР): наказ Міністерства аграрної політики та сільського господарства від 01.10.2012 р. № 590. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1704-12>.

3. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги: ДСТУ 4161-2003. – [Чинний від 2003-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2003. – 13 с. – (Національний стандарт України).

4. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга (ISO 22000:2005, IDT): ДСТУ ISO 22000:2007. – [Чинний від 2007-08-01 до 2021-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2007. – 31 с. – (Національний стандарт України).

5. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга (ISO 22000:2018, IDT): ДСТУ ISO 22000:2019. – [Чинний від 2019-12-01]. – (Національний стандарт України).

6. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до органів, що здійснюють аудит та сертифікацію систем управління безпечністю харчових продуктів (ISO/TS 22003:2007, IDT): ДСТУ–П ISO/TS 22003:2009. – [Чинний від 2010-01-01 до 2021-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2010 – 14 с. – (Пробний стандарт).

7. Програми-передумови безпечністю харчових продуктів. Частина 1. Виробництво харчових продуктів (ISO/TS 22002-1:2009, IDT): ДСТУ ISO/TS 22002-1:2019. – [чинний з 2019-12-01].

ОРГАНІЗАЦІЙНА КУЛЬТУРА ПІДПРИЄМСТВА, ЇЇ РОЛЬ, МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ

Згідно 3D - моделі успішного підприємства П.Я. Калити 2013р. (рис. 1) успіх підприємства, сталий випуск ним конкурентної продукції високої якості, впершу чергу, є результатом виконання вимог цільових функцій, та організаційної культури високого рівня.

Цільові та міжцільові функції визначають проектування процесів діяльності підприємства такими, щоб забезпечувати постійне досягнення його цілей. Вони викладені в стандартах різного рівня – від міжнародних до стандартів підприємства. Базові цільові функції сучасного підприємства, це: забезпечення високої якості продукції, збереження навколишнього середовища, забезпечення професійної безпеки, енергоефективність та енергозбереження, захист інформації, забезпечення мінімальної собівартості продукції, забезпечення максимальної продуктивності праці тощо. Набір цільових функцій може бути різним для різних організацій, може згодом мінятися. Призначення, реалізація та змінювання цільових функцій відбувається в тісному зв'язку та залежності від організаційної культури, визначаючи таким чином обличчя підприємства. Тобто, організаційна культура є одним з найвпливовіших на успішність підприємства факторів.

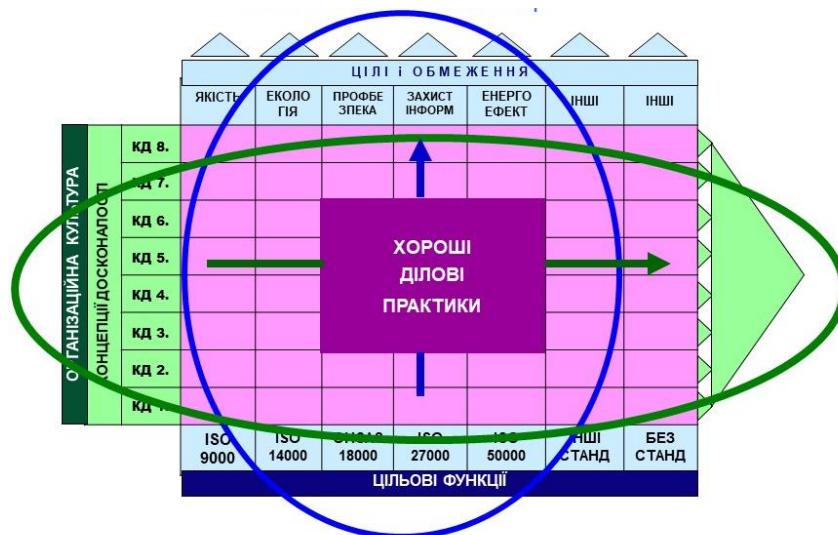


Рисунок 1 – 3D – модель системи менеджменту успішного

За визначенням **організаційна культура** – це збірка писаних і неписаних законів і правил, традицій, вірувань, норм спілкування тощо, що складають ду-

ховний світ підприємства або організації, їх «душу». Формується ця культура колективом впродовж всієї діяльності підприємства – від заснування до поточного моменту, передається з покоління в покоління, і що важливо, вона може мати як позитивний так і негативний вплив на результати діяльності.

На сучасних підприємствах світу організаційній культурі надають великого значення. Вона має відповідати встановленим вимогам, в тім числі, врахувати 17 глобальних цілей сталого розвитку ООН, 10 принципів соціальної відповідальності Глобального договору ООН, 8 концепцій досконалості Європейського фонду менеджменту якості (EFQM). Для оцінювання організаційної культури застосовують 1000-бальну шкалу. На сьогодні кращі європейські організації відповідають 700-800 балам. Кращі організації і підприємства України – 550 - 650 балам. Організаційна культура має відповідати місії підприємства, його поточним та перспективним цілям, пронизувати колектив, спонукаючи співробітників гармонійно взаємодіяти між собою для досягнення бажаних результатів, Це є важливим завданням, наріжним каменем забезпечення високого рівня ділових практик або процесів основного виробництва, що гарантують сталий випуск продукції високої якості.

А як це зробити?

З огляду на механізм і джерела формування організаційної культури, крім важкої системної просвітницької та виховної роботи в колективі, що не завжди дає очікуване, особливу роль тут має відіграти виховання та підготовка персоналу заздалегідь, на етапі підготовки до трудової діяльності в навчальних закладах типу коледжів та професійно-технічних училищ. Саме вони можуть прищепити майбутнім робітникам правильне відношення до якості своєї діяльності, дати основоположні уявлення щодо якості продукції та процесів її створення, розуміння необхідності безперервного поліпшування якості щоденною працею.

Закінчуючи заклад передвищої освіти випускник має бути обізнаний, як мінімум, в таких питаннях:

- що таке якість продукції, як її контролювати, правильно встановити (оцінити) рівень, для чого це потрібно;
- хто такі гуру якості, їх роль в економічному розвитку країн;
- застосування статистичних методів для контролю якості продукції і якості процесів її виготовлення;
- роль стандартизації в забезпеченні якості продукції;
- технічне регулювання, як засіб підтвердження якості та безпечності продукції, створення можливості виходу на міжнародні ринки збуту;
- правові форми забезпечення якості продукції, захист прав споживачів;
- що таке система управління якістю, яка відповідає вимогам ISO 9001;
- що таке самооцінка підприємства, бенчмаркінг, модель досконалості EFQM;
- що таке ошадливе, швидкореагуюче та активне виробництво, підходи в їх організації;
- що таке філософія кайдзен, 5S, канбан, гемба, метод «5 Чому?» тощо.

Це допоможе новачку на виробництві самостійно швидше та краще налаштуватись на якісну працю, знайти своє місце в системі управління якістю підприємства, оцінити свій вклад в спільну справу поліпшення якості, підняти на щабель вище виробничу культуру, що є домінуючою часткою в організаційній культурі підприємства.

Основи таких знань викладені в посібнику Н.В. Онофрейчук, Ю.Б. Кабакова «Управління якістю, посібник для школярів та чайників». Підготовлено до друку підручник для коледжів та профтехучилищ, де ті ж питання викладено більш глибоко та ширше.

Як приклад, в Одесі такий предмет уже викладається в Коледжі промислової автоматики та інформаційних технологій ОНАХТ, в Одеському фаховому технічному коледжі і поки факультативно в Одеському коледжі комп'ютерних технологій ОДЕКУ. В березні 2020 року була проведена підготовка до проведення брейнрингу з управління якістю між цими коледжами - не склалося через карантин. Планується в цьому навчальному році провести такий брейнринг в онлайн-режимі. З предмету розроблена програма теоретичних та практичних занять. На сайті Одеського коледжу промислової автоматики та інформаційних технологій ОНАХТ розміщено тест для перевірки знань з питань якості для всіх бажаючих.

Якщо випускник закладу передвищої освіти продовжуватиме навчання далі, в вищому навчальному закладі, отримані знання складуть вагоме підґрунтя для його подальшого удосконалення в цьому напрямку. Вищі навчальні заклади, працюючи з підготовленими до сприйняття студентами, зможуть поліпшити результати освіти з відповідних дисциплін, формуючи таким чином сучасного менеджера вищої ланки.

Крім того, рівень виробничої культури персоналу значною мірою переноситься та впливає і на стан суспільства в цілому, оскільки персонал підприємств – це його домінуюча частина.

Охрімчук Д.М., Волканеско І.І., Баланюк Г.В.
Одеський національний політехнічний університет,
Одеса, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ ТА НЕРІВНОМІРНОСТІ ПРИПУСКУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТОЧНОСТНІ ПАРАМЕТРИ

У роботі досліджується вплив швидкості різання (V м/хв) та припуску на різні технологічні точностні параметри обробки; відхилення від круглості – ΔR , мкм; середнє арифметичне відхилення профілю шорсткості обробленої поверхні від середньої лінії – R_a , мкм; висота нерівностей шорсткості поверхні –

Rz , мкм; не циліндричність отвору – ΔD , мкм; овальність отвору – O , мкм; конусність отвору – K , мкм; початковий відносний лінійний знос різця – U_0 , мкм/ 10^3 м; амплітуда коливань кінця консольної частини борштанги – A , мкм.

Вплив швидкості різання на якість, точність і продуктивність обробки є досить складним. З одного боку швидкість різання безпосередньо або побічно залежить від різних умов обробки (властивості оброблюваного матеріалу, вібросталість системи верстат-притосування-інструмент-деталь і т.п.), з іншого боку сама швидкість безпосередньо або побічно впливає на процес і результати обробки (знос, вібрації, шорсткість, точність).

Експерименти показали, що в більшості випадків початковий відносний знос в межах швидкостей від 75 до 300 м/хв має тенденцію до зниження, а при подальшому збільшенні швидкості знос зростає. Амплітуда коливань борштанги в межах швидкостей від 75 до 300 м/хв навпаки зростає.

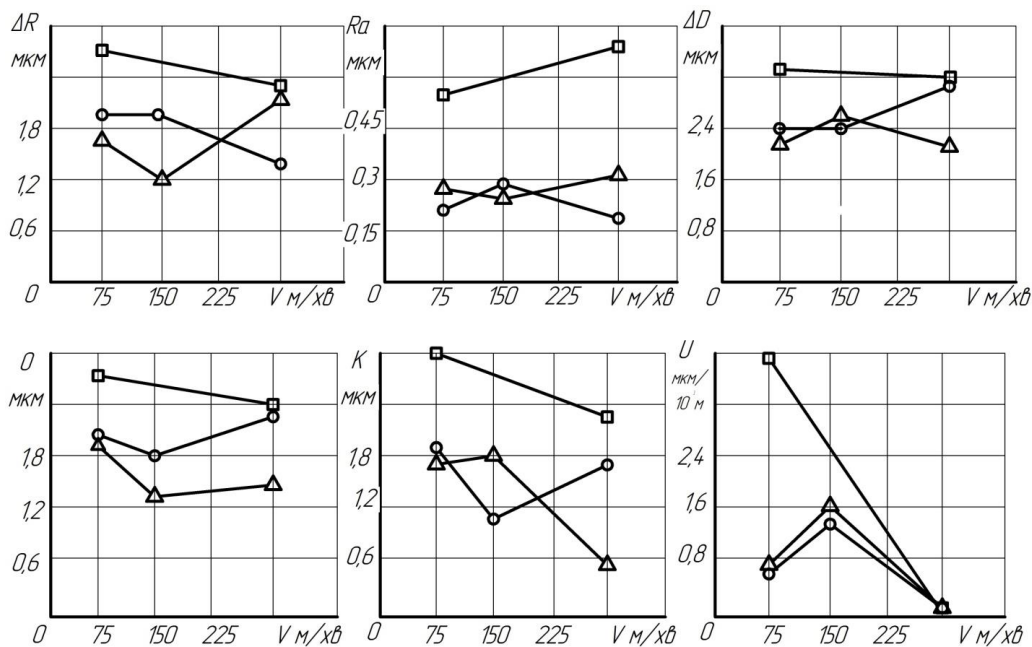


Рисунок 1. – Експериментальні залежності середніх значень точностних параметрів обробки від швидкості різання; діаметр розточування $d_o = 24$ мм; довжина $l_o = 30$ мм; матеріал алюміній, діаметр борштанги $d_s = 20$ мм; параметри різця ВКЗ; $\gamma = +20^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 9^\circ$; $r = 0,5$ мм; $S_o = 0,02$ мм / об; $t_{zp} = 0,45$ мм;

$t_{zc} = 0,05$ мм; $\Delta_{заз} = 2$ мм; обробка 2-ма послідовно працюючими різ-

цями: $\circ-\circ-\omega_s = 0,45$ мкм / кг; $\Delta-\Delta-\omega_s = 0,65$ мкм / кг; $\square-\square-\omega_s = 1,25$ мкм / кг

При обробці жорсткими борштангами ($\omega_s = 0,4$ мкм/кг) сталі 45 амплітуда коливань в більшості випадках знижується приблизно на 10% в порівнянні з амплітудою коливань холостого ходу.

Амплітуда коливань холостого ходу нежорстких борштанг ($\omega_s = 1,2$ мкм / кг) значно вище амплітуди коливань жорстких борштанг ($\omega_s = 0,4$ мкм / кг)

При обробці отворів з алюмінію нежорсткими борштанг амплітуда коливань при різанні зростала у кілька разів. При цьому чітко було видно 2 низькочастотні складові коливань: одна співмірна (приблизно одного порядку) з частотою обертання борштанги, а друга в кілька разів нижче.

На рисунку 2 наведено типовий вигляд коливань при обробці нежорсткими борштангами.

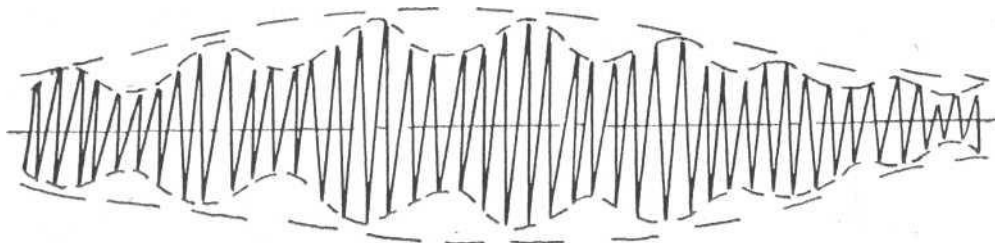


Рисунок 2. – Типовий вигляд коливань при обробці нежорсткими борштангами

Експерименти показали, що зняття тонких стружок значно відрізняється за характером своїх закономірностей від процесу різання з відносно великими глибинами. Можна навіть вказати приблизну зону між «тонкими» стружками і різанням з великими глибинами. При тонкому розточуванні, наприклад середньо вуглецевих сталей, вона знаходиться в межах від 0,3 до 0,5 мм. Цілком природно, що на цю межу впливають різні чинники, і серед них можна, в першу чергу, назвати властивості оброблюваного матеріалу і геометрію ріжучої частини інструменту. Практично, при вільному і легкому видаленні стружки, жорсткій системі ВПД, якісному інструментальному матеріалі і заточування різця, зміна глибини різання від 0,05 до 0,25 мм дуже слабо впливає на результати обробки. Зменшення глибини різання при обробці сталі до 0,02 0,03 мм різко погіршує шорсткість поверхні. Це можна пояснити наступним:

- різання відбувається в шарі, який вже в значній мірі сформували попередньою обробкою;

- різання по наклепаного шару з малими глибинами відбувається більш напружено, нестабільно. Оброблена поверхня рвано-ворсиста, інтенсивність зносу різця зростає;

- при різанні з дуже малими глибинами починає сильніше позначатися анізотропність оброблюваного матеріалу. Це поряд з наклепом і визначає деяку нестабільність різання, хоча глибини надзвичайно малі і складають десятки мікрон.

На рисунку 3 показано вплив величини нерівномірності припуску на середні значення точностних параметрів.

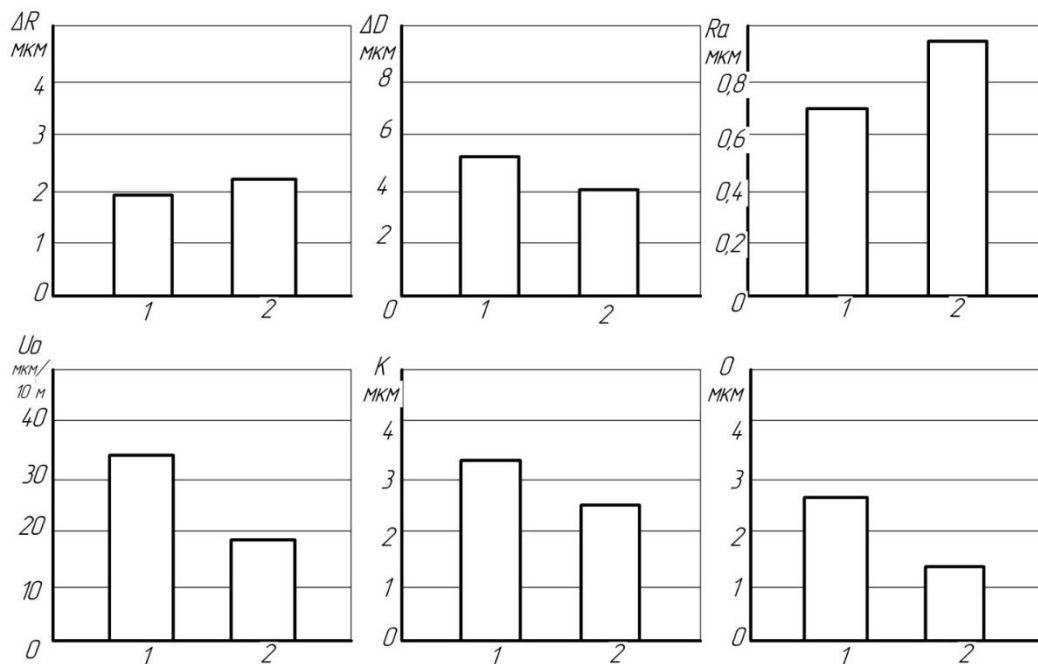


Рисунок 3. – Діаграми середніх значень точностних параметрів обробки від величини нерівномірності припуску; 1 - $\Delta t = 0,05$ мм, 2 - $\Delta t = 0,7$ мм, $d_o = 26$ мм, $l_o = 30$ мм, сталь 45, $d_s = 20$ мм, $d_p = 5$ мм, Т30К4, $\gamma = -10^\circ$, $\lambda = 10^\circ$, $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 9^\circ$, $r = 0,2$ мм, $V = 180$ м / мин, $S_o = 0,06$ мм / об, $\Delta_{зав} = 3$ мм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аршинов В.А. Резание металлов и режущий инструмент / В.А. Аршинов, Г.А. Алексеев – М.: Машиностроение, 1967. – 500 с.
2. Безъязычный В.Ф. Назначение режимов резания по заданным параметрам качества поверхностного слоя / В.Ф. Безъязычный – Ярославль: 1978. – 86 с.
3. Внуков Ю.Н. Износостойкость инструментов из быстрорежущей стали / Ю.Н Внуков – Запорожье, 2011 – 412с.
4. Мазур Н.П. Основы теории резания материалов: учебник (для высш. учебн. заведений) / под общ. ред. Н.П. Мазура и А.И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – 534 с.
5. Маталин А.А. Новый вид нормативов режимов тонкого растачивания / А.А. Маталин, В.К. Ломакин, А.П. Пупин, А.Х. Нужный // Тезисы докладов на научно-технической конференции. – Одесса, 1968 – с. 17-19.
6. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебное пособие / А.А. Маталин – 3-е изд. – СПб.: Лань, 2010. – 512 с.
7. Нормативы режимов резания и геометрия резцов для тонкого растачивания. Обработка на отделочно-расточных станках. – М.: НИИмаш., 1979. – 92 с.
8. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
9. Суслов А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Как показывает практика финишной механической обработки, при использовании современных лезвийных инструментов температура резания может быть меньше, чем при шлифовании. Это открывает широкие возможности перехода на лезвийную обработку взамен традиционно применяемого метода шлифования. Однако для этого необходимо теоретически обосновать условия снижения температуры резания при лезвийной обработке.

Для решения этой задачи предложен новый теоретический подход к определению температуры резания при лезвийной обработке. Его суть состоит в том, что в расчетной схеме процесса резания (предложенной профессором Якимовым А. В.), основанной на представлении снимаемого припуска в виде пакета элементарных прямолинейных адиабатических стержней, которые расположены перпендикулярно направлению движения режущего инструмента и перерезаются им, необходимо перейти от учета непрерывного характера перерезания адиабатического стержня режущим инструментом (рис. 1, а – как это принято при шлифовании) к дискретному характеру его перерезания (рис. 1, б).

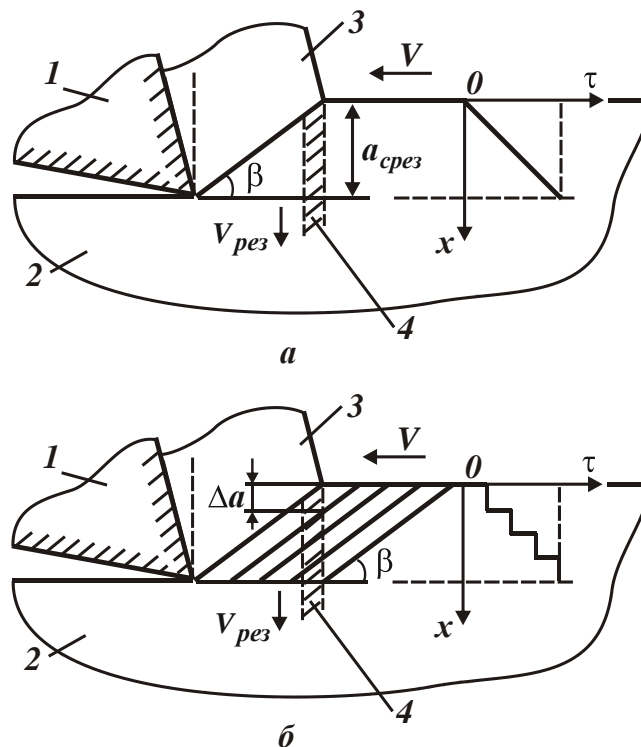


Рисунок 1 – Расчетные схемы температуры резания при лезвийной обработке при равномерном (а) и периодическом (б) перемещении во времени теплового источника вдоль адиабатического стержня:
1 – резец; 2 – деталь; 3 – стружка; 4 – адиабатический стержень

Аналитическая зависимость для определения температуры резания θ с учетом непрерывного перерезания адиабатического стержня со скоростью $V_{рез}$ при резании лезвийным инструментом имеет вид (рис. 1, а б):

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}}\right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{y\delta} \cdot tg \beta}, \quad (1)$$

где $Q_{y\delta} = V \cdot a_{срез}$ – удельная производительность обработки, м²/с; V – скорость резания, м/с; $a_{срез}$ – толщина среза, м; β – условный угол сдвига обрабатываемого материала; $\tau = a_{срез} / V_{рез}$ – время обработки, с; $V_{рез} = V \cdot tg \beta$; c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·град); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·град); $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$ – максимальная температура резания, град.; $\sigma = \sigma_{сж} / tg \beta$ – условное напряжение резания, Н/м²; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м².

На рис. 2 приведены графики изменения отношения θ / θ_{max} от удельной производительности обработки $Q_{y\delta}$, установленные на основе зависимости (1). Как видно, с увеличением $Q_{y\delta}$ отношение θ / θ_{max} непрерывно увеличивается, причем, с увеличением условного угла сдвига обрабатываемого материала β , более интенсивно.

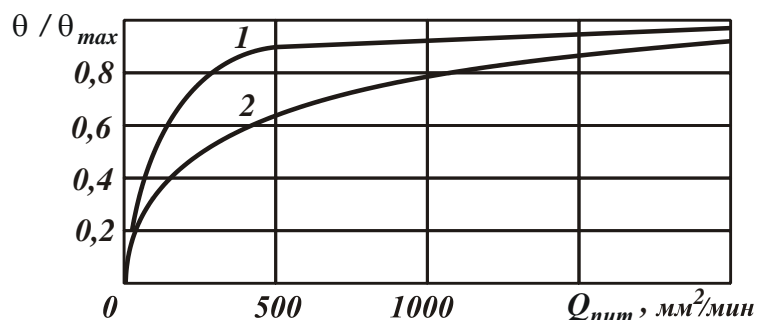


Рисунок 2 – Зависимость отношения θ / θ_{max} от удельной производительности обработки $Q_{y\delta}$: 1 – $\beta = 10^0$; 2 – $\beta = 20^0$ (обработка стали ШХ15), $\lambda / (c \cdot \rho) = 8,4 \cdot 10^{-6}$ м²/с

При периодическом перемещении теплового источника вдоль адиабатического стержня (в процессе точения, рис. 1, б) справедливы зависимости:

$$\frac{\theta}{\theta_{max}} = \frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot V_{рез} \cdot l_2; \quad l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \tau_n}$$

и зависимость, полученная профессором Новиковым Ф.В. [1]:

$$\frac{\tau_n}{d\tau} = \left(\sqrt{1 + \frac{\tau_{n-1}}{d\tau}} - \alpha \right)^2,$$

где τ_n, τ_{n-1} – время нагревания адиабатического стержня при его перерезании на величины $n \cdot V_{рез} \cdot d\tau$ и $(n-1) \cdot V_{рез} \cdot d\tau$, с; n – количество перерезания адиабатического стержня; $d\tau = \tau / n$; $\tau = a_{срез} / V_{рез}$ – время обработки, с; $V_{рез} = V \cdot \operatorname{tg} \beta$; $a_{срез} = S \cdot \sin \phi$ – толщина среза, м; S – подача, мм/об.; ϕ – главный угол резца в плане; $\alpha = \frac{V_{рез} \cdot d\tau}{l_{2_0}} < 1$; $l_{2_0} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot d\tau$ – глубина проникновения тепла в адиабатический стержень за время $d\tau$, м.

На основе этих зависимостей произведен расчет параметров теплового процесса при точении. Исходные данные для расчета: точение стали 45 резцом из гексанита-Р с $\phi = 45^\circ$; $V = 100$ м/мин; $S = 0,07$ мм/об.; $t = 0,2$ мм; $\lambda / (c \cdot \rho) = 8 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\beta \approx 20^\circ$ (по данным профессора Коломыйца В. В. [2]). Тогда $\tau = 0,824 \cdot 10^{-4}$ с; $V_{рез} = 0,607$ м/с; $a_{срез} = 0,05$ мм.

Как следует из табл. 1 и рис. 3, с уменьшением количества перерезаний адиабатического стержня n температура резания θ уменьшается.

Таблица 1 – Расчетные значения параметров теплового процесса при точении

n	$d\tau \cdot 10^{-4}$, с	α	$\tau_n \cdot 10^{-4}$, с	l_2 , мкм	θ / θ_{\max}
1	0,824	1,377	–	–	–
2	0,412	0,9737	0,000285	0,675	0,1
3	0,275	0,795	0,0145	4,817	0,3658
4	0,206	0,6885	0,02961	6,883	0,522
5	0,165	0,6158	0,041	8,1	0,6158
6	0,137	0,562	0,05	8,944	0,6729
7	0,118	0,52	0,0562	9,483	0,7191
8	0,103	0,487	0,06206	9,965	0,7558
9	0,0916	0,459	0,06648	10,313	0,7823
10	0,0824	0,435	0,07027	10,6	0,8042
11	0,075	0,415	0,073	10,81	0,8205

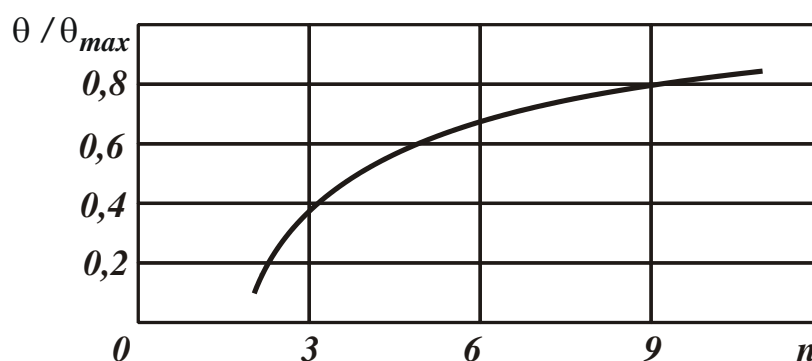


Рисунок 3 – Зависимость отношения θ / θ_{\max} от количества перерезаний адиабатического стержня n

При условии $n \rightarrow \infty$ приходим к расчетной схеме температуры резания с равномерным перемещением во времени теплового источника вдоль адиабатического стержня (рис. 1,а). Однако это приводит к повышенным значениям температуры резания θ при лезвийной обработке. Поэтому расчет температуры резания при лезвийной обработке необходимо выполнять по схеме резания с периодическим перемещением во времени теплового источника вдоль адиабатического стержня (рис. 1, б). Это соответствует экспериментальным данным. Например, при обработке стали 45 ($c \cdot \rho = 5 \cdot 10^6$ Дж/(м³·град.) = 5 Н/(мм²·град.)), $\sigma = 7 \cdot 10^3$ Н/мм² имеем: $\theta_{\max} = 1400$ °С. При значении $\theta / \theta_{\max} = 0,522$ ($n = 4$) имеем: $\theta = 730,8$ °С. Соответствующее экспериментальное значение температуры резания равно $\theta = 700$ °С при $V = 100$ м/мин (рис. 4 [2]), т. е. имеет место высокая степень сходимости расчетных и экспериментальных данных.

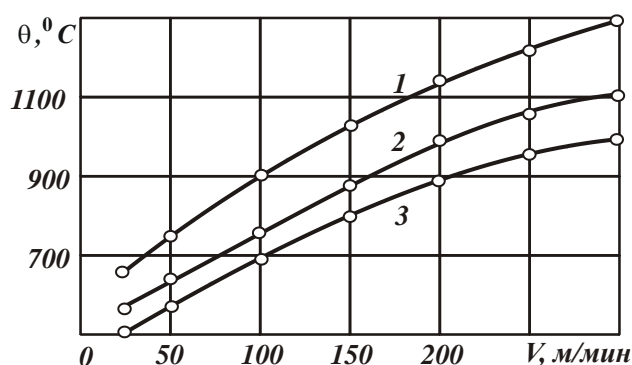


Рисунок 4 – Зависимость температуры резания θ от скорости резания V : 1 – сталь Р6М5; 2 – сталь У10; 3 – сталь 45; $S = 0,07$ мм/об.; глубина резания $t = 0,2$ мм; износ резца по задней поверхности $h_{\text{зад}} = 0,2$ мм [2]

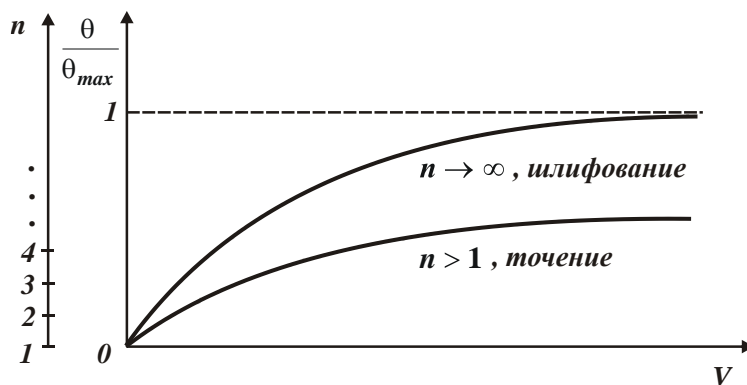


Рисунок 5 – Зависимость отношения θ / θ_{\max} от скорости резания V (или скорости детали $V_{\text{дет}}$ при шлифовании)

Этим показано, что в реальных условиях лезвийной обработки следует расчет температуры резания производить с учетом дискретного характера перерезания адиабатического стержня в процессе резания, поскольку при непрерывном характере перерезания адиабатического стержня температура резания θ принимает повышенные значения, что справедливо применительно к процессу шлифования (рис. 5). На температуру резания также значительное влияние оказывает условное напряжение резания σ . При лезвийной обработке $1 < \sigma / \sigma_{\text{сж}} < 10$, а

при шлифовании – $1 < \sigma / \sigma_{сж} < 100$. Поэтому при шлифовании в связи с интенсивным трением связки круга с обрабатываемым материалом условное напряжение резания σ принимает большие значения, чем при точении, а максимальная температура резания θ_{max} становится больше температуры плавления обрабатываемого материала $\theta_{пл}$ (табл. 2, рис. 6).

Таблица 2 – Расчетные значения $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$ при механической обработке стали 45 ($c \cdot \rho = 5 \text{ Н}/(\text{мм}^2 \cdot \text{град.})$)

$\sigma \cdot 10^3, \text{ Н}/\text{мм}^2$	0,5	3	6	7,5	10	100
$\theta_{max}, \text{ град.}$	100	600	1200	1500	2000	20000

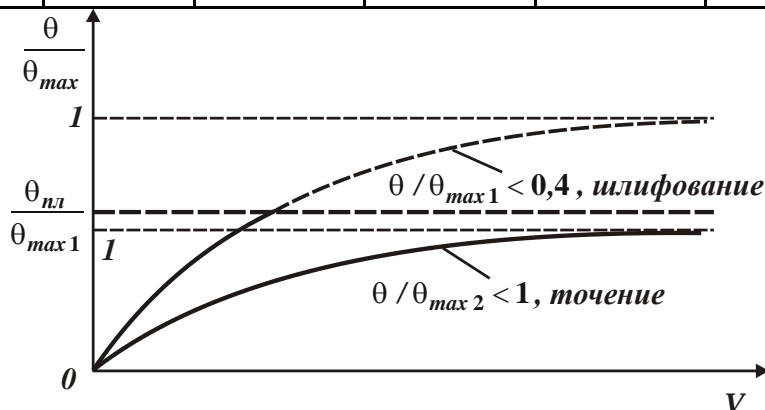


Рисунок 6 – Зависимость отношения θ / θ_{max} от скорости резания V

Установленный характер изменения отношения θ / θ_{max} также соответствует характеру изменения температуры резания θ при точении стали ШХ15 (HRC 63), рис. 7 [3].

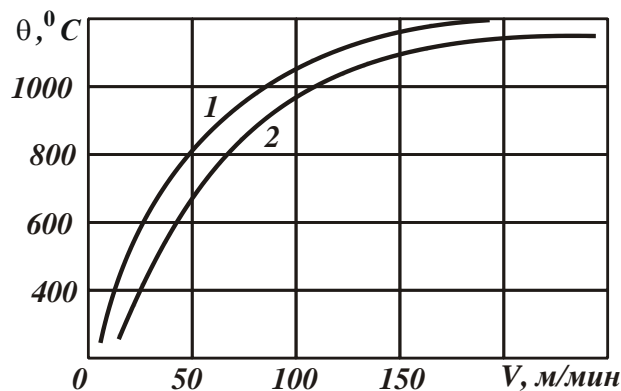


Рисунок 7 – Влияние скорости резания V на температуру резания θ при точении: сталь ШХ15 (HRC 63); $t = 0,1 \text{ мм}$; подача $S = 0,05 \text{ мм}/\text{об.}$; 1 – гексанит-Р; 2 – эльбор-Р (по данным профессора Зубаря В. П. [3])

Для определения количества перерезаний адиабатического стержня n при точении предложен следующий расчет.

Тангенциальная составляющая силы резания: $P_z = \sigma \cdot F$, где $F = z \cdot \Delta a \cdot v$ – площадь контакта обрабатываемого материала с передней поверхностью резца, м^2 ; z – количество элементарных объемов обрабатываемого материала, контактирующих с передней поверхностью резца; Δa – длина контакта элементарного

объема обрабатываемого материала с передней поверхностью резца, м; v – ширина среза, м.

Сила, возникающая в условной плоскости сдвига обрабатываемого материала: $P = \tau_{сдв} \cdot L \cdot v$, где $\tau_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м²; L – длина условной плоскости сдвига обрабатываемого материала, м. При $P = P_z \cdot \cos \beta$ с учетом $\sigma / \sigma_{сж} = \operatorname{tg} \beta$; $\sigma_{сж} / \tau_{сдв} \approx 2$ имеем:

$$n = \frac{a_{срез}}{\Delta a} = 2 \cdot z \cdot \cos \beta. \quad (2)$$

При $z = 2$ справедливы условия: $n \rightarrow 4$ и $\theta / \theta_{\max} \approx 0,5$ (исходя из табл. 1). Это указывает на достоверность расчетной схемы температуры резания при точении.

В работе [2] показано, что марка обрабатываемого материала значительно влияет на угол β и незначительно влияет на температуру резания θ . Следовательно, температура резания θ в этом случае определяется величиной n , которая незначительно зависит от угла β , исходя из зависимости (2).

При уменьшении величины n увеличивается количество тепла, уходящего в стружку, и уменьшается температура резания. Поэтому на финишных операциях целесообразно использовать процессы резания лезвийными инструментами вместо процессов шлифования с целью обеспечения высоких показателей качества и производительности обработки [4].

Таким образом, теоретически обоснованы закономерности формирования температуры резания при лезвийной обработке и показана целесообразность ее применения на финишных операциях взамен процессов шлифования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Ф. В. Оптимальные решения в технологии машиностроения: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, В. Г. Шкурупий. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 424 с.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 3. «Резание материалов лезвийными инструментами». – Одесса: ОНПУ, 2003. – 546 с.
3. Полянський В.І. Закономірності формування і зниження температури різання при механічній обробці // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. Вип. 39. – Маріуполь: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2019. – С. 119–126.
4. Полянский В. И. Теоретический анализ путей повышения качества и производительности механической обработки // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – № 26 (1351), 2019. – С. 42–46.

5. Робочі процеси високих технологій в машинобудуванні : навчальний посібник / за ред. А. І. Грабченка. – Харків: ХДПУ, 1999. – 436 с.

6. Полянский В. И. Эффективное применение современных технологий механической обработки / В. И. Полянский // Машинобудування [Engineering]: Збірник наукових праць. – Вип. 22. – Харків: УПА, 2018. – С. 28–33.

Рябенков И.А.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, Харьков, Украина

УСЛОВИЯ СНИЖЕНИЯ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ

Высокая силовая напряженность процесса шлифования предопределяет снижение качества и производительности обработки. Это происходит главным образом в связи со снижением режущей способности шлифовального круга из-за интенсивного трения связки и абразивных зерен круга с обрабатываемым материалом [1 – 4]. Поэтому решение задачи уменьшения силовой напряженности процесса шлифования и повышения показателей качества, точности и производительности обработки имеет большое теоретическое и практическое значение.

В связи с этим в работе поставлена задача обоснования потенциальных возможностей врезного шлифования с учетом отдельного анализа процессов резания и трения.

В работе [5] установлено, что тангенциальная P_z и радиальная P_y составляющие силы резания при шлифовании прямолинейной детали, движущейся по нормали к рабочей поверхности круга со скоростью $V_{дет}$ (рис. 1), описываются:

$$P_z = \frac{\sigma F V_{дет0}}{V_{кр}} + f_1 c (V_{дет} - V_{дет0}) \tau; \quad (1)$$

$$P_y = \frac{\sigma F V_{дет0} \operatorname{tg}(\psi + \gamma)}{V_{кр}} + c (V_{дет} - V_{дет0}) \tau, \quad (2)$$

где σ – условное напряжение резания при шлифовании, Н/м²; F – площадь поперечного сечения обрабатываемой прямолинейной детали, м²; $V_{дет}$ – номинальная линейная скорость съема материала, м/с; $V_{дет0}$ – фактическая линейная скорость съема материала, м/с ($V_{дет0} \leq V_{дет}$); $V_{кр}$ – скорость круга, м/с; τ – время обработки, с; ψ – условный угол трения зерна с обрабатываемым материалом; γ – условный (отрицательный) передний угол режущего зерна; c – приведенная

жесткость технологической системы, Н/м; f_1 – коэффициент трения связки круга с обрабатываемым материалом.

Первые слагаемые зависимостей (1) и (2) описывают процесс резания, а вторые слагаемые – процесс трения связки круга с обрабатываемым материалом. С течением времени обработки τ вторые слагаемые в зависимостях (1) и (2) увеличиваются. Это связано с увеличением упругих перемещений, возникающих в технологической системе, в результате наличия интенсивного трения связки круга с обрабатываемым материалом и уменьшения фактической линейной скорости съема материала $V_{дет0}$.

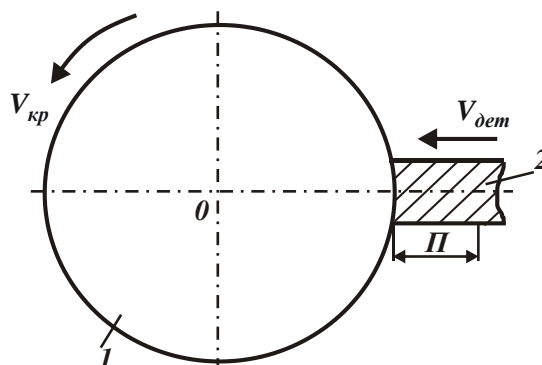


Рисунок 1 – Расчетная схема процесса шлифования:
1 – круг; 2 – деталь

На рис. 2 приведены результаты расчетов первого и второго слагаемых зависимости (1) для исходных данных: $\sigma = 10^5$ Н/мм², $F = 100$ мм², $V_{дет0} = 6$ мм/мин, $V_{кр} = 30$ м/с, $c = 3 \cdot 10^3$ Н/мм, $f_1 = 0,4$, $V_{дет} = 7$ мм/мин.

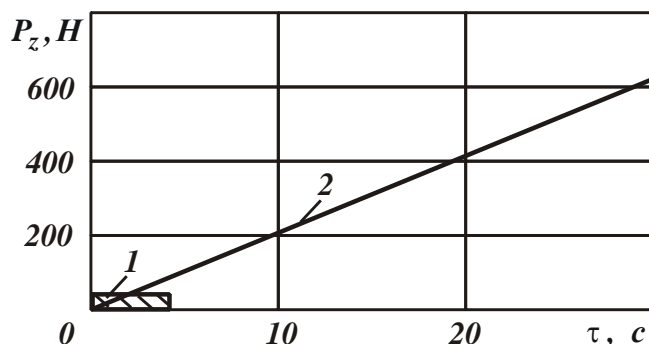


Рисунок 2 – Расчетные значения первого (1) и второго (2) слагаемых зависимости (1)

Первое слагаемое зависимости (1) существенно меньше второго слагаемого (почти в 10 раз при $\tau = 10$ с). С увеличением времени обработки τ второе слагаемое пропорционально увеличивается, что приводит к значительному увеличению тангенциальной P_z составляющей силы резания при шлифовании. Поэтому необходимо исключить образование второго слагаемого в зависимости (1) за счет применения шлифовального круга, работающего в режиме самозатачивания и обеспечивающего полный съём подводимого в зону резания обрабатываемого материала ($V_{дет0} = V_{дет}$).

Для установления закона изменения фактической скорости съема металла $V_{\text{дем}0}$ во времени следует исходить из условия, что радиальная составляющая силы резания P_y равна силе, определяемой величиной упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, т.е. $P_y = c \cdot y$, где $y = V_{\text{дем}} \tau - \int V_{\text{дем}0} d\tau$; $V_{\text{дем}}$ – номинальная линейная скорость съема металла, м/с.

Из зависимости (2) без учета второго слагаемого (т.е. без учета трения связи круга с обрабатываемым материалом) получено интегральное уравнение:

$$\sigma \frac{F V_{\text{дем}0}}{V_{\text{кр}}} \text{tg}(\psi + \gamma) = c V_{\text{дем}} \tau - c \int V_{\text{дем}0} d\tau. \quad (3)$$

После дифференцирования всех слагаемых уравнения (3) по времени обработки τ , получено дифференциальное уравнение, в котором неизвестной функцией является $V_{\text{дем}0}(\tau)$:

$$\frac{dV_{\text{дем}0}}{d\tau} + P_1 V_{\text{дем}0} = P_2, \quad (4)$$

где $P_1 = \frac{c V_{\text{кр}}}{\sigma F \text{tg}(\psi + \gamma)}$; $P_2 = \frac{c V_{\text{кр}} V_{\text{дем}}}{\sigma F \text{tg}(\psi + \gamma)}$.

Решение дифференциального уравнения [6]:

$$V_{\text{дем}0} = \left[\int d\tau P_2 e^{\int P_1 d\tau} + C_1 \right] e^{-\int P_1 d\tau}, \quad (5)$$

где C_1 – постоянная интегрирования.

Откуда

$$V_{\text{дем}0} = V_{\text{дем}} + C_1 e^{-P_1 \tau}. \quad (6)$$

С учетом начального условия $V_{\text{дем}0}(\tau = 0) = 0$ получено:

$$V_{\text{дем}0} = V_{\text{дем}} \left(1 - e^{-P_1 \tau} \right) = V_{\text{дем}} \left(1 - e^{-\frac{c V_{\text{кр}} \tau}{\sigma F \text{tg}(\psi + \gamma)}} \right). \quad (7)$$

Как следует из рис. 3,а, с течением времени обработки τ фактическая линейная скорость съема материала $V_{\text{дем}0}$ непрерывно увеличивается, асимптотически приближается к номинальному значению $V_{\text{дем}}$.

Величина упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, с учетом зависимости (7) описывается:

$$y = V_{\text{дем}} \tau - \int V_{\text{дем}0} d\tau = -\frac{V_{\text{дем}}}{P_1} e^{-P_1 \tau} + C_2, \quad (8)$$

где C_2 – постоянная интегрирования.

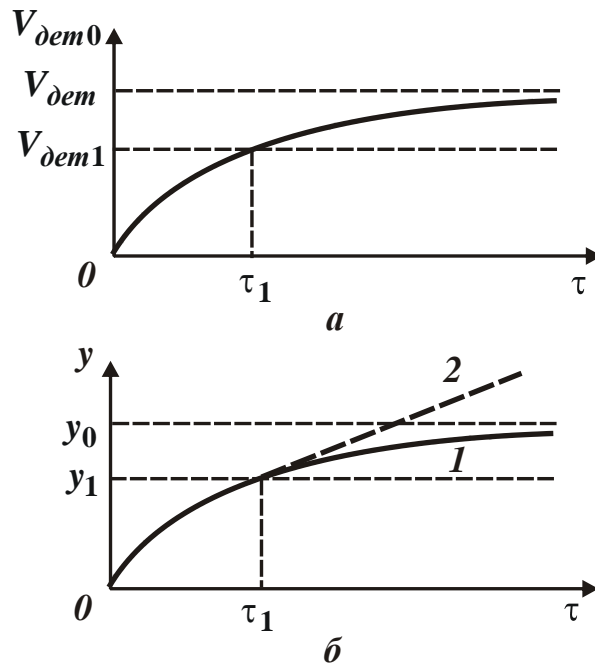


Рисунок 3 – Зависимости V_{dem0} (а) и y (б) от τ

С учетом начального условия $y(\tau = 0) = 0$ постоянная интегрирования $C_2 = V_{dem} / P_1$. Тогда

$$y = \frac{V_{dem}}{P_1} (1 - e^{-R_1 \tau}) = \frac{\sigma F tg(\psi + \gamma) V_{dem}}{c V_{кр}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{c V_{кр} \tau}{\sigma F tg(\psi + \gamma)}} \right) \quad (9)$$

Параметры V_{dem0} и y , определяемые зависимостями (9) и (7), изменяются по одному закону (рис. 3,б), что связано с характером изменения величины упругого перемещения y с течением времени обработки τ . Номинальная величина упругого перемещения y_0 , согласно зависимости (9), равна:

$$y_0 = \frac{V_{dem}}{P_1} = \frac{\sigma F tg(\psi + \gamma) V_{dem}}{c V_{кр}}. \quad (10)$$

Как видно, уменьшить величину упругого перемещения y_0 можно уменьшением параметров σ , F , ψ , γ , V_{dem} и увеличением c , $V_{кр}$.

Установленный характер изменения функции V_{dem0} , в соответствии с зависимостью (7), справедлив при условии, когда шлифовальный круг обеспечивает полный сьем подводимого в зону резания обрабатываемого материала со скоростью V_{dem} . При невыполнении данного условия, т.е. когда полный сьем подводимого в зону резания обрабатываемого материала происходит с меньшей скоростью $V_{dem1} < V_{dem}$, то при достижении равенства скоростей $V_{dem0} = V_{dem1}$ произойдет стабилизации процесса шлифования во времени (рис. 3,а).

Время $\tau = \tau_1$, при котором возможна стабилизация процесса шлифования, определяется из зависимости (6) при условии $V_{dem0} = V_{dem1}$, т.е.

$$V_{dem1} = V_{dem} - V_{dem} e^{-R_1 \tau_1}. \quad (11)$$

Откуда:

$$\tau_1 = \frac{\sigma F \operatorname{tg}(\psi + \gamma)}{c V_{kp}} \ln \left| \frac{1}{\left(1 - \frac{V_{\text{dem1}}}{V_{\text{dem}}}\right)} \right|. \quad (12)$$

При условии $\tau > \tau_1$ в технологической системе будет образовываться упругое перемещение y , увеличивающееся по линейной зависимости с течением времени τ (график 2 на рис. 3,б), т.е.

$$y = y_1 + (V_{\text{dem}} - V_{\text{dem1}})(\tau - \tau_1), \quad (13)$$

где $y_1 = \frac{V_{\text{dem}}}{P_1} \left(1 - e^{-P_1 \tau_1}\right)$ – величина упругого перемещения при условии $\tau = \tau_1$.

Зависимость (13) с учетом зависимости (7) для условия $\tau > \tau_1$ принимает вид:

$$y = \frac{\sigma F \operatorname{tg}(\psi + \gamma) V_{\text{dem}}}{c V_{kp}} \left(1 - e^{-\frac{c V_{kp} \tau_1}{\sigma F \operatorname{tg}(\psi + \gamma)}}\right) + (V_{\text{dem}} - V_{\text{dem1}})(\tau - \tau_1) \quad (14)$$

При условии $\tau = \tau_1$ величина упругого перемещения принимает значение $y = y_1$. При условии $\tau > \tau_1$ – еще большее значение $y > y_1$ – в связи с наличием второго слагаемого в зависимости (14), обусловленного трением связки круга с обрабатываемым материалом.

Составляющие силы резания $P_y = c y$ и $P_z = P_y K_{uu}$ с учетом зависимости (14) принимают вид:

$$P_y = \frac{\sigma F \operatorname{tg}(\psi + \gamma) V_{\text{dem}}}{V_{kp}} \left(1 - e^{-\frac{c V_{kp} \tau_1}{\sigma F \operatorname{tg}(\psi + \gamma)}}\right) + c (V_{\text{dem}} - V_{\text{dem1}})(\tau - \tau_1), \quad (15)$$

$$P_z = \frac{\sigma F \operatorname{tg}(\psi + \gamma) V_{\text{dem}} K_{uu}}{V_{kp}} \left(1 - e^{-\frac{c V_{kp} \tau_1}{\sigma F \operatorname{tg}(\psi + \gamma)}}\right) + c K_{uu} (V_{\text{dem}} - V_{\text{dem1}})(\tau - \tau_1). \quad (16)$$

Характер изменения составляющих силы резания P_z и P_y от всех слагаемых, входящих в зависимости (1), (2), (15), (16), аналогичен. Наличие в первых слагаемых зависимостей (15) и (16) выражения, заключенного в круглые скобки, приводит к их уменьшению. Также приводит к уменьшению вторых слагаемых в зависимостях (15) и (16) наличие в них множителя $(\tau - \tau_1)$, который в зависимостях (1) и (2) принимает большее значение, равное τ . Поэтому учет изменения фактической скорости съема металла V_{dem0} с течением времени обработки в результате решения интегрального уравнения (3) приводит к уменьшению составляющих силы резания P_z и P_y . Однако при этом, по-прежнему, в формировании составляющих силы резания P_z и P_y , согласно зависимостей (15) и (16), преоб-

ладають вторые слагаемые, обусловленные трением связки круга с обрабатываемым материалом. Исходя из этого, на практике в первом приближении с целью упрощения анализа параметров обработки можно использовать приближенные зависимости (1) и (2). Они позволяют принципиально решить вопрос определения условий уменьшения силовой напряженности процесса шлифования и повышения производительности обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Саратов, 1979. – 232 с.
2. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / А.А. Королев. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975. – 212 с.
3. Управление процессом шлифования / А.В. Якимов, А.Н. Паршаков, В.И. Свирщев и др. – К.: Техніка, 1983. – 184 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. 4 «Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов». – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с.
5. Рябенков И.А. Оценка влияния интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом на эффективность процесса шлифования / И.А. Рябенков, Ф.В. Новиков // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 43 (1086). – С. 143–147.
6. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М.: Гос. издат. физ.-мат. литературы, 1959. – 783 с.

Савченко М.Ф.

Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця, Харків, Україна

РОЗРОБКА НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ МЕТОДАМИ БЕЗПРЕСОВОГО ІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ

Метою роботи є розробка нового способу виготовлення виробів листовим безпресовим штампуванням. Для зменшення стоншень та усунення безпеки виникнення дефектів типу бухтин та гофрів, усунення яких збільшує трудомісткість штампувальних робіт, їх вартість та погіршує якість виробів запропоновано використовувати двох-трьох операційну обробку заготовки. На цих штампувальних переходах спочатку виготовляють напівфабрикат, всі розміри якого менші за розміри готового виробу. Для цього використовують змінні матричні кільця з тонколистового металу або пластику. На останньому штампувальному переході

кільця знімають, і виконують доштамповку напівфабрикату до кінцевих розмірів.

При виготовленні виробів з розмірами більшими за 0,6 ... 0,7 м у діаметрі та товщиною стінки, більшою за 0,01 ... 0,02 м, з енергетичних міркувань перевагу слід надавати методам вибухового штампування на полігоні або у спеціальному прилаштованому місці (дільниці цеху) [1 – 3]. Це обумовлено збільшенням енергетичних витрат на пластичне деформування заготовки і збільшенням маси вибухових речовин. Однак збільшення маси вибухових речовин потребує більшої складності забезпечення безпечних умов для персоналу, також можливі шкідливі наслідки через сейсмічні прояви, розлітання залишків передавального середовища – води.

Для усунення недоліків запропоновано технологію багатоімпульсного штампування [4, 5]. Для цього використовується додаткова приєднана маса – екран (металева або гумова пластина), рух якої разом із заготовкою дозволяє за чергою у залежності від переміщення екрану здійснювати вибухи зарядів вибухових речовин, сумарної маси.

Суть запропонованого способу виготовлення виробів великих габаритів пояснюється на рис. 1, де зображено пристрій для імпульсної обробки матеріалів, що має оснащення 1 з розміщеною над заготовкою 2 системою керування зовнішніми навантаженнями у вигляді розміщених в передавальному середовищі 3 двох або більше зарядів вибухових речовин – першого заряду, що вибухає 4, та наступних 5, 6, 7, які вибухають з регульованим інтервалом.

Для підриву зарядів вибухових речовин (ВР) їх приєднують електричним ланцюгом до джерела енергії через ключ *K*. Причому вибухи другого та наступних зарядів вибухових речовин здійснюються після вибуху першого заряду ВР почерговим електричним замкненням рухомого і нерухомого контакту в залежності від відстані між контактами, та екрану, розміщеному між заготовкою та зарядами ВР, при цьому одна з гілок електричного ланцюга має змонтовані зовні передавального середовища однополюсні розімкнуті контакти для кожного наступного заряду ВР, що вибухає після підриву першого, причому зазор між контактами відповідає довжині пластини рухомого контакту, приєднаної до екрану стрижнем або тросом як електричний перемикач для почергового з'єднання розімкнутих контактів гілки електричного ланцюга.

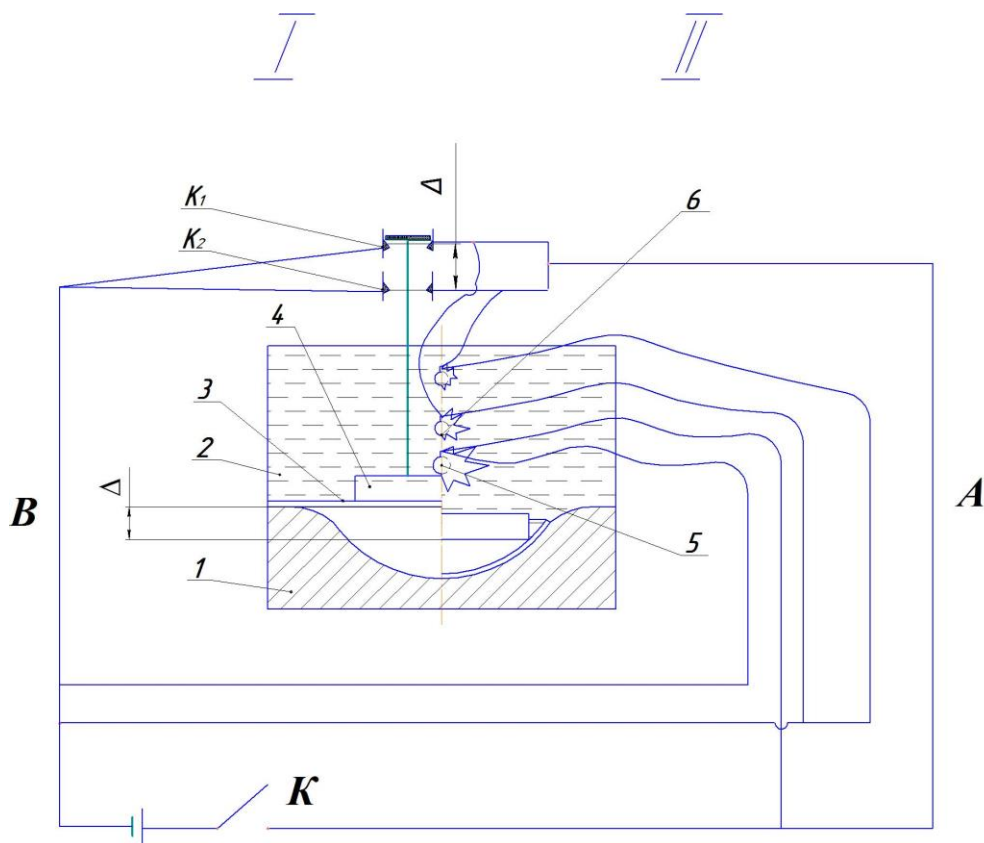


Рисунок 1 – Спосіб безпресового штампування енергією вибуху виробів великих габаритів

Один з рухомих контактів змонтовано безпосередньо на кронштейні, жорстко закріпленому на екрані і довжиною, більшою ніж висота передавального середовища, а інші змонтовані зовні передавального середовища на відстані Δ $L_i = v_i \cdot t_i$, де v_i – швидкість переміщення екрана; інтервал вибуху між першим та наступними за ним вибухами, що визначається відстанню між контактами

Робота пластичної деформації в загальному випадку може бути оцінена як [6 – 8]:

$$W = W_{ДЧ} + W_{ПЗ} = x(n) s_b V_o l_i^{1+n},$$

де $\xi(n)$, n – коефіцієнти, що залежать від механічних характеристик матеріалу заготовки, $\xi(n) = 1,55$; $n \approx 0,10 \dots 0,65$; V_o – об'єм плоскої заготовки (або її частини); для донної частини вісесиметричної заготовки: $V_{ДЧ} = 0,785 \cdot \pi d^2$; для периферійної, фланцевої, частини: $V_{ПЗ} = 0,785 \cdot \pi d^2 (k^2 - 1)$; k – ступінь витяжки, що визначається відношенням діаметра заготовки до діаметра деталі (отвору матриці); l_i – середня інтенсивність деформації відповідної ділянки заготовки (фланця або донної частини).

При проектуванні технологічного процесу штампування з наступною роздачею напівфабрикату можна використовувати умову, сформульовану з енергетичних міркувань:

$$W_{ДЧ} \leq W_{ПЗ},$$

де $W_{ДЧ}$, $W_{ПЗ}$ – робота пластичної деформації відповідно купольної (донної, «несучої») і периферійної (фланцевої) зон заготовки, що штампується.

Це дозволяє визначити межі можливого розміщення гофрів впродовж меридіану куполу напівфабрикату. Регулювання рівномірності їх розміщення у широтному напрямку виконується за допомогою матричних змінних кілець. Для цього встановлюють на матрицю одне тонкостінне або декілька змінних матричних кілець, що розміщені співвісно отвору матриці, заготовку і притискувач, при цьому змінні матричні кільця виконано з технологічними пазами для штучного регулювання зон виникнення гофрів на поверхні напівфабрикату та їх розмірів. При цьому на змінному кільці у зоні фланця заготовки виконано додаткові технологічні вирізи у формі прямокутника в плані (рис. 2), загальна довжина L яких не більша довжини отвору матриці:

$$L = n'l \leq \pi d ,$$

де n – кількість прямокутних вирізів на фланці заготовки; l – довжина прямокутного вирізу; d – діаметр (або умовний розмір) отвору матриці).

Кількість прямокутних вирізів на фланці заготовки з шириною $0,5(D - d)$, зазвичай від 3-х до 10 вирізів, визначається або експериментальним моделюванням або за умови прийнятного пластичного формування трикутних зон за умовами гофроутворення та можливою максимальною деформацією $[e]$:

$$e_{\phi} = \ln \frac{D}{d} \leq [e]$$

Використання запропонованого способу для імпульсної обробки матеріалів можна пояснити за прикладом виготовлення деталі типу «днище» з матеріалу – сталі 12Х18Н10Т – діаметром 1,0 ... 0,65 м, глибиною 0,4 ... 0,26 м та товщиною стінки 6 ... 12 мм (рис. 3). Для виготовлення подібного типу деталей достатньо використання зарядів 5, 6 (рис. 1) вибухової речовини (ВР) типу амоніт № 6ЖВ сферичної форми відповідно масою 0,25 кг, 0,3кг – для формотворення профілю деталі (напівфабрикату) та 3 – 5 м детонуючого шнура ДШ-А, як калібрувального, для завершення штампувальних операцій. Екраном був диск з конструкційної сталі типу сталь 45, діаметром 0,45 м, товщиною 0,22 м. Ці вироби на прикладі штампування за схемою роздачі напівфабрикату, що проведені на полігоні, підтвердили доцільність подальших дослідів з удосконалення методу багатоімпульсного штампування.

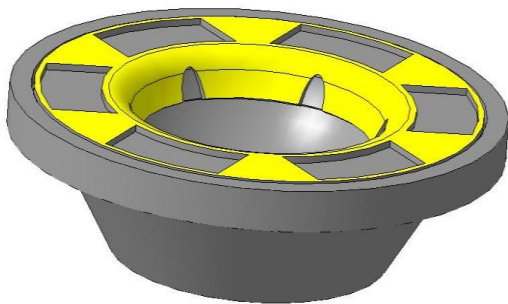
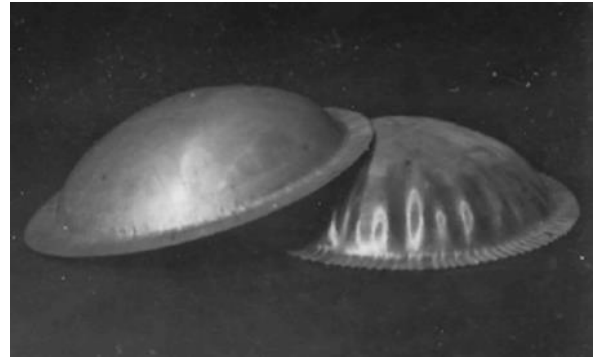


Рисунок 2 – Матриця зі змінним матричним кільцем

Таким чином, розроблено нову технологію виготовлення виробів великих габаритів з використанням змінних матричних кілець для регулювання розміщення гофрів на поверхні напівфабрикату та їх кількості.



а



б

Рисунок 3 – Деталі діаметром 700 і 900 мм (а) та дослідні зразки (б), що виготовлені методом штампування за схемою роздачі напівфабрикату

Висновки. Розроблено спосіб імпульсного штампування з використанням енергії вибуху, який може бути застосовано для штампування тонкостінних виробів (з гнучкістю більше 200) та великих габаритів, більших за 1 м з мінімальними витратами ресурсів (метод штампування зі штучним регулюванням зон двохвісного розтягування). При цьому визначено оптимальні розміри напівфабрикату, які на 5 ... 10 % менші розмірів деталі за діаметром. Як подальше завдання передбачається дослідження особливостей штампування виробів з формою в плані, відмінною від вісесиметричної. Для підвищення безпеки вибухових робіт запропоновано ефективну технологію штампування багатоімпульсними вибуховими навантаженнями, що здійснюють одночасно і відповідно з переміщеннями заготовки. Запропоновано також технологічні критерії визначення доцільних режимів деформування заготовки для визначення зон виникнення гофрів та оцінювання роботи пластичної деформації, які мають важливе практичне значення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Богуслаев В.А. Штамповка листовых деталей взрывом на ОАО «МоторСич» / В.А. Богуслаев, О.И. Гавриш, С.А. Стадник // *Авиационно-космическая техника и технология: научно-технический журнал* – Х.: ХАИ, 2007. – Вып. 11 (47). – С. 192–196.
2. Кириченко Л.Р. Конкурентоспособность технологий импульсной обработки материалов / Л.Р. Кириченко // *Авиационно-космическая техника и технология: научно-технический журнал* – Х.: ХАИ, 2007. – Вып. 11 (47). – С. 240–244.
3. Кириченко Л.Р. Научная школа профессора ПИХТОВНИКОВА РОСТИСЛАВА ВЯЧЕСЛАВОВИЧА / Л.Р. Кириченко, В.К. Борисевич, Н.Ф. Савченко // *Физические и компьютерные технологии: труды 13-й Междунар. научно-техн. конф., г. Харьков, 19–20 апреля 2007.* – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 271–276.

4. Савченко Н.Ф. Изготовление крупногабаритных деталей емкостей и резервуаров / Н.Ф. Савченко // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Серія: Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 18. – С. 179–183.

5. Савченко Н.Ф. О проектировании техпроцессов гидровзрывной тонколистовой штамповки-вытяжки крупногабаритных деталей типа днищ / Н.Ф. Савченко // Импульсная обработка металлов давлением: сб. статей под ред. канд. техн. наук В. К. Борисевича. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 51–56.

6. Баранов М.И. Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности / М.И. Баранов // Електротехніка і електромеханіка. – 2009. – №1. – С. 42–54.

7. Селиванов В.В. Взрывные технологии: учебник для вузов, 2-е изд. / В.В. Селиванов, И.Ф. Кобылкин, С.А. Новиков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 519 с.

8. Технологичность конструкции изделия / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

Сергеев А.С., Андилахай В.А.

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»,
Мариуполь, Украина

ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ ЦИЛИНДРОВ

Окончательная обработка внутренней поверхности цилиндров традиционно осуществляется на внутришлифовальных станках. Недостатком такого способа является то, что заготовку необходимо переустанавливать с токарного станка на шлифовальный станок, что требует значительного времени на выверку положения обрабатываемого цилиндра, переустанавливаемого с токарного на внутришлифовальный станок. Как правило, это приводит к потере точности взаимного расположения поверхностей и осей. Не менее, а может, наиболее важным является то, что в процессе абразивной обработки обработочные риски, т. е. следы, образующиеся от воздействия абразивных зерен, направлены вдоль обработочных рисков, образовавшихся после растачивания, т. е. перпендикулярно по отношению к образующей обрабатываемого отверстия. Поскольку поршни (штоки) в процессе работы пневмо- гидроцилиндров, компрессоров, двигателей внутреннего сгорания и т. п. перемещаются в осевом направлении, т. е. вдоль образующей, следовательно, поперек обработочных рисков, последние подвергаются повышенному износу, что отрицательно сказывается на долговечности уплотнений. Частично эти недостатки устраняются хонингованием, которое характеризуется низкой производительностью, следовательно, высокой трудоемкостью, поскольку обработка осуществляется за счет возвратно-поступательного

движения абразивных брусков вдоль образующей отверстия, при одновременном вращении хонинговальной головки или обрабатываемого цилиндра. Причиной низкой производительности хонингования является возвратно-поступательное движение инструмента, который в каждый возвратный ход снижает скорость до нуля, т. е. проходит через «крайние мертвые точки».

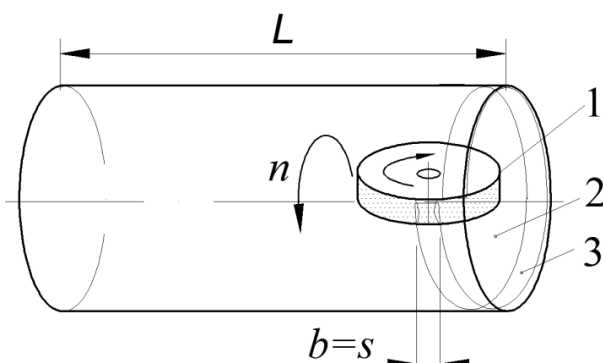


Рисунок 1 – Схема обработки отверстия цилиндра абразивным инструментом: 1 – войлочный круг с наклеенным абразивным порошком; 2 – обрабатываемый цилиндр; 3 – шлифованная полоса; b – ширина пятна контакта; s – подача; n – частота вращения детали; L – длина детали

Предложенные способ и устройство для внутреннего шлифования предварительно расточенного отверстия лишены перечисленных недостатков (рис. 1 [1]). Обработка цилиндра сначала лезвийным, а затем абразивным инструментом производится на токарном станке без переустановки детали, т. е. без смены баз.

После расточки отверстия опытный образец устройства устанавливали на токарный станок с высотой центров 300 мм в резцедержатель или на место резцедержателя и подключали электродвигатель привода абразивного круга. Вылет абразивного круга на опытном образце устройства – 600 мм. Минимальный диаметр отверстия, к которому применимо изготовленное устройство, – 180 мм. Поскольку операции шлифования предшествует лезвийная обработка, радиальное и торцовое биение полностью отсутствуют. Это позволяет оставлять минимальный припуск на последующий переход, т. к. исключается необходимость резервировать дополнительный слой межоперационного припуска, компенсирующего радиальное биение после смены баз. В связи с этим припуск на окончательную обработку может быть соизмеримым с высотой микронеровностей, полученных после лезвийной обработки, т. е. растачивания.

В результате растачивания была получена поверхность с шероховатостью $Ra = 3,2$ мкм.

Режим абразивной обработки: инструмент – войлочный круг диаметром 175 мм, периферийная поверхность круга была покрыта жидким стеклом, прокатана по абразивному порошку и высушена в течение 1 часа; скорость резания $V = 750$ м/мин = 12 м/с; продольная подача $S = 2$ мм/об.; частота вращения заготовки 50 мин⁻¹; фактическая глубина шлифования $t_{факт} = 2$ мкм. Следует учитывать, что глубина шлифования устанавливалась в виде прижима абразивного круга с натягом по отношению к обрабатываемой поверхности, равным 2...5 мм.

Взаимосвязь между величиной натяга и фактической глубиной резания (шлифования) показана на рис. 2.

В результате абразивной обработки за один рабочий ход диаметр отверстия увеличивался на 2 ... 4 мкм, что, в основном, соответствует сглаживанию обработочных рисок, образовавшихся после растачивания.

При предварительном подборе зернистости абразивного материала руководствовались следующими ограничениями: применение зернистости до F100 (по FEPA) сопровождается интенсивным засаливанием рабочей поверхности круга, а крупнозернистый абразив F24 и более в процессе обработки оставляет заметные обработочные риски и относительно быстро выкрашивается с поверхности войлочного круга. Таким образом, выбрана промежуточная фракция, т. е. применена зернистость абразивного материала F40.

Принятая скорость шлифования выбрана максимально возможной с учетом прочности войлочного материала при воздействии центробежной силы, также с учетом стандартной частоты вращения асинхронного двигателя – 1400 об/мин. Диаметр войлочного круга выбран максимальным, вписывающимся в обрабатываемое отверстие, его диаметр 175 мм.

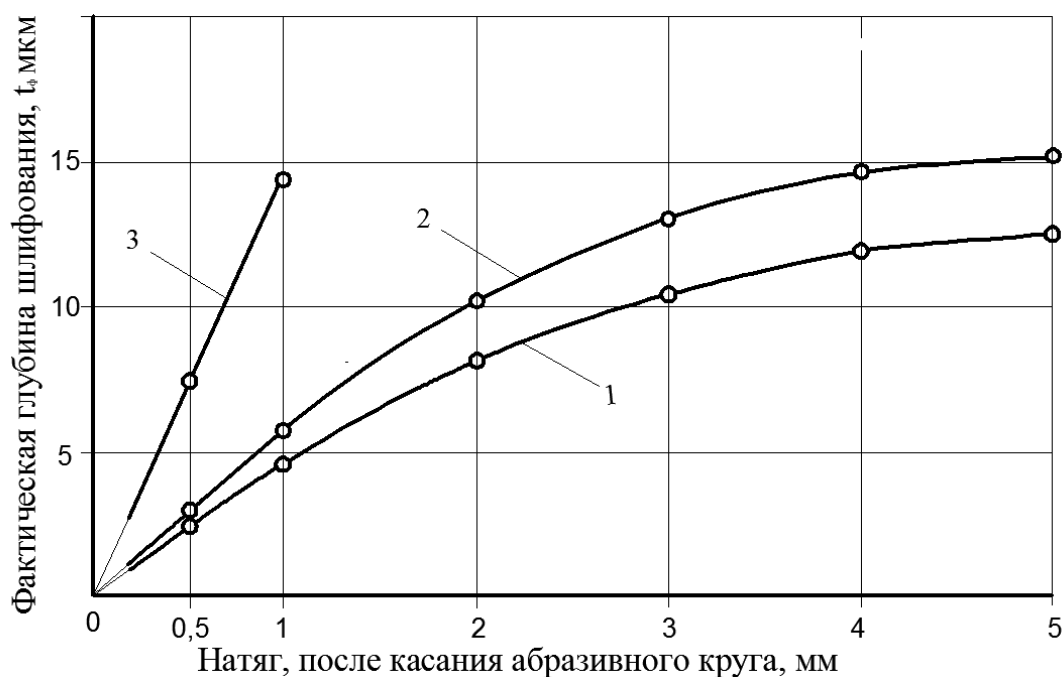


Рисунок 2 – Зависимость фактической глубины шлифования от установленной: 1 – войлочный круг; 2 – фетровый круг; 3 – круг на вулканитовой связке

В результате обработки войлочным кругом с наклеенным порошком карбида кремния зеленого зернистостью F40 за один рабочий ход получена шероховатость $Ra = 1,25$, а после второго рабочего хода $Ra = 0,63$. Дальнейшая обработка, т. е. следующий рабочий ход, осуществлялась с нанесением на периферию войлочного круга пасты ГОИ, в результате чего получена зеркальная поверхность. Известно, что шероховатость поверхности измеряют в направлении, перпендикулярном направлению обработочных рисок. Однако в связи с тем, что очередной технологический переход выполняется инструментом, который оставляет

обработочные следы, перпендикулярные предыдущему переходу, которым является растачивание, и их направление совпадает с направлением движения поршня, то в соответствии функциональному назначению поверхности, шероховатость поверхности целесообразно измерять в направлении движения поршня. Благодаря такому направлению обработочных следов, полностью отпала необходимость прохождения периода приработки поршня с цилиндром на малых оборотах, например, двигателя внутреннего сгорания, компрессора, насоса и др.

Преимуществом метода является и то, что в процессе обработки не возникает вибраций детали и инструмента, особенно это важно при обработке тонкостенных цилиндров. С учетом этого свойства можно рассчитывать на значительное снижение металлоемкости проектируемых цилиндров, поскольку толщина их стенок, как правило, устанавливается при конструировании вместо расчетной, конструктивной с целью обеспечения жесткости в процессе обработки.

Перспективным является использование предлагаемой технологии для окончательной обработки внутренней поверхности гильз блока цилиндров двигателей внутреннего сгорания, так как толщина стенок в них должна быть расчетной, т. е. минимальной для скорейшей передачи тепла в охлаждающую жидкость зарубашечного пространства блока цилиндров.

Технология и устройство были применены при изготовлении пневмоцилиндров (диаметром отверстия 195 мм, длиной 400 мм), заготовкой послужила труба – прокат 210, сталь 20. Восемь пневмоцилиндров с уплотнениями поршней резиновыми кольцами было установлено на автоматической линии ампулирования лекарственных средств, где они работают без ремонта на протяжении нескольких лет. Следует отметить, что сжатый воздух (0,4 МПа) перед подачей в пневмоцилиндр проходит подготовку в виде подмешивания в него масляного тумана.

Выводы.

Предложенная технология обладает следующими достоинствами:

- позволяет резко снизить высоту микронеровностей поверхности, полученной на предшествующей операции за счет изменения направления главного движения резания, т. е. изменения направления обработочных следов, и тем самым обеспечивает увеличение срока службы уплотнений поршня;
- обеспечивает увеличение производительности окончательной обработки за счет снижения основного (машинного) времени, например, в сравнении с хонингованием;
- обеспечивает снижение трудоемкости обработки отверстия в целом за счет исключения необходимости переустановки заготовки и выверки на другом станке;
- обеспечивает возможность обработки цилиндров малой жесткости благодаря отсутствию вибраций из-за применения мягких абразивных кругов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на корисну модель №142788 «Пристрій для обробки внутрішньої поверхні циліндрів» від 25.06.2020 р. / Сергєєв Олександр Сергійович, Андїлахай

Стрельчук Р.М., Шелковой А.Н.
НТУ «ХПИ», Харків, Україна

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ПОЛЯРНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОДОВ

В современном машиностроении применяются различные детали, изготовленные из твердых, сверхтвердых, хрупких или вязких материалов, например, таких как твердые сплавы, жаропрочные стали, магнитные сплавы – трудно поддающиеся абразивной обработке. Основной причиной, затрудняющей абразивную обработку, является засаливание инструмента – образование наростов на поверхности связки, охватывающей абразивные зерна.

Известные технологии электроэрозионной абразивной обработки не позволяют получать требуемые качественные и количественные показатели при значительном снижении удельного расхода абразивного инструмента и затрат различных видов энергии. Это объясняется тем, что в основу существующих способов положены непрерывно протекающие однозначные электроэрозионные процессы между электродами: абразивным инструментом и заготовкой. Их основное назначение – способствовать поверхностному оплавлению связки абразивного электрода-инструмента с целью выявления режущих элементов, например, алмазных зерен – для снятия обработочного припуска с электрода-заготовки. Электроды, абразивный инструмент и заготовка, при этом, имеют стабильную полярность в течение всего процесса обработки.

Способ абразивной обработки [1], в основу которого положены процессы электроэрозии, энергоемкость которых обеспечивается высокочастотным генератором, например, типа ШГИ-40-440А. В качестве электрода-инструмента применяется алмазосодержащий инструмент на металлической связке. Во время обработки электрод-инструмент обычно соединен с положительным полюсом генератора, а электрод-изделие (заготовка) – с отрицательным. В результате электрической эрозии, максимальное воздействие которой наиболее проявляется на электроде, соединенном с положительным полюсом, абразивные (алмазные) зерна и поверхность связки инструмента (например, алмазного круга) постоянно обновляются хаотическим оплавлением.

Причем, оплавление, при постоянной мощности рабочих импульсов, происходит неравномерно: из-за хаотического изменения рабочего эрозионного промежутка – оптимального зазора между электродами. Съем обрабатываемого

материала заготовки производится абразивными (алмазными) зернами, выявленными (оголенными) на образующей поверхности инструмента (алмазного круга).

Однако, аналогичное выявление режущих абразивных зерен, в момент электроэрозии в рабочем зазоре между электродами приводит к размягчению наружных слоев металлической связки, максимально происходящего в месте мгновенного контакта. Интегральный характер таких размягчений отрицательно сказывается на работоспособности, абразивных инструментов. Во-первых, находясь в рабочем эрозионном промежутке, при осуществлении процесса, часть абразивных (алмазных) зерен инструмента лишь частично «отработав» и износившись, покидают ослабленную оплавлением движущуюся связку. В том числе некоторые из них выпадают, не начав резание. Во-вторых, срезание материала с движущейся заготовки производится абразивными (алмазными) зернами в том момент, когда происходит процесс оплавления связки, охватывающей и удерживающей эти зерна. Такой фактор снижает прочностные качества связки, направленные на удержание абразивных зерен и восприятие ими реакций сил резания. Отсюда – не использованные "силовые" возможности абразивных инструментов. В-третьих, учитывая, что обработка производится с применением СОТС – 1,5...2 % содово-водным раствором, следует отметить, что электрофизические и электрохимические процессы (в том числе и окислительно-восстановительные реакции), при стабильной полярности электродов, имеют одностороннее проявление относительно одного из электродов, сдерживающее интенсивность электроэрозионных возбуждений в рабочем межэлектродном зазоре, например, относительно электрода-заготовки. В-четвертых, установлено, что потребляемая импульсная энергия, в основном, направлена только для эрозионного разрушения связки инструмента с целью выявления абразивных (алмазных) зерен.

Особенность технологии электроэрозионного алмазного шлифования с изменяющейся полярностью электродов заключается в том, что рабочий зазор между токопроводящими поверхностями – инструмента и заготовки – остается в процессе обработки практически постоянным. И это закономерно относительно периодически изменяющейся полярности электродов. Так, при обратной полярности электродов стабильность зазора обеспечивается кинематикой оборудования. Образующиеся же мгновенно продукты электроэрозии в виде наростообразований на обрабатываемой поверхности заготовки – катоде, сразу же снимаются зернами и выбрасываются ими из рабочей зоны вместе с оплавленными продуктами электроэрозии, ранее осевшими между зернами - при предыдущей прямой полярности. Особенность же обработки в период прямой полярности характерна тем, что компенсация зазора между электродами достигается мгновенно образующимися наростообразованиями и заполняющими промежутки связки между зернами инструмента-катода. Несмотря на их мгновенное образование и сгорание, они успевают обеспечить, будучи мгновенными токопроводниками, энергоемкость рабочего межэлектродного зазора. Обеспеченный изменением во времени полярности стабильный электроэрозионный промежуток создает новые технические предпосылки для более равномерного, высокой энергоемкости процесса.

Качество обрабатываемой поверхности обеспечивается технологическими параметрами, совмещающими кинематические и электрические данные, идентичные применяемым при различных способах электроэрозионной обработки в промышленно-производственных условиях.

Отсутствие постоянно-стабильного и одностороннего непрерывного эрозионного разрушения в процессе обработки, одного из электродов – абразивного инструмента, замена постоянной полярности электродов периодически изменяющейся с различной мощностью и скважностью высокочастотных импульсов обуславливает предлагаемый способ электроэрозионной обработки.

Обработка заготовок из различных материалов производилась, применительно к схеме шлифования представленной на рис. 1. Заготовка 1 с крепежно-установочным приспособлением и абразивный инструмент 2 – изолированы, и являются электродами, к которым через токосъемники 3, присоединено устройство 4.

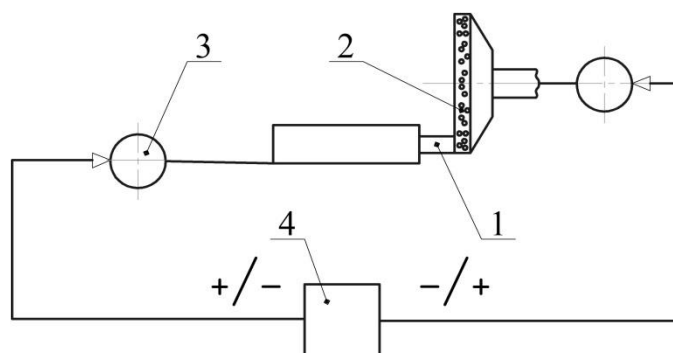


Рисунок 1 – Способ электроэрозионного алмазного шлифования с переменной полярностью электродов

Данные экспериментов, применительно к схеме шлифования, представленной на рис. 1, сведены в табл. 1.

Результаты шлифования материалов – твердого сплава ВК10 и стали – ШХ15 были получены в равных условиях при одних и тех же технологических режимах для всех способов обработки. В качестве режущего инструмента был применен алмазный круг на металлической связке типа 12А2-45° 150×10×3×32 АС6 125/100 М1-4. Обработка предлагаемым способом производилась на модернизированном станке модели ЗД642Е. При прямой полярности (алмазный круг – катод, заготовка – анод), частота следования рабочих униполярных импульсов соответствовала 8000 Гц; при обратной полярности (алмазный круг – анод, заготовка – катод) – 25000 Гц [2].

Целесообразность длительности времени изменения полярности, исходя из практических и теоретических основ, оказалась равной одной секунде. Эта величина времени была обеспечена подбором энергетических параметров, исходя из фактических свойств материалов обрабатываемых заготовок и алмазного круга. Корректировка таких параметров в других условиях должна осуществляться непосредственно в процессе обработки. В качестве СОТС применялся 1,5–2% содово-водный раствор.

Таблица 1 – Производительность, удельный расход и стойкость алмазных кругов при шлифовании заготовок из различных материалов способами обработки

Способ обработки	Обрабатываемый материал					
	Твердый сплав ВК10			Сталь ШХ15		
	Производительность, мм ³ /мин	Удельный расход алмазного круга, мг/г	Стойкость инструмента, мин	Производительность, мм ³ /мин	Удельный расход алмазного круга, мг/г	Стойкость инструмента, мин
Шлифование без наложения тока	284	2,35	3,06	305	2,35	3,06
Шлифование известным способом (а. с. 494130)	363	4,59	8,24	399	2,55	12,24
Электроэрозионное алмазное шлифование с переменной полярностью электродов	437	4,01	20,40	496	2,18	20,40

Использование предлагаемого способа алмазно-искрового шлифования с периодически изменяющейся полярностью электродов обеспечивает по сравнению с существующими способами следующие основные преимущества:

- возможность обработки различных труднообрабатываемых токопроводящих материалов с более высокой производительностью и качеством обработки при значительной стойкости абразивных инструментов

- уменьшение затрат энергии при обработке;
- снижение трудоемкости обработки;
- повышение работоспособности абразивных инструментов для этих целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 494130. Способ абразивной обработки металлов / М.Ф. Семко, Н.К. Беззубенко, Н.С. Сальтевский, А. Т. Калашников (СССР). – №1828222/25-8; Заявлено 12.09.72; Опубл. 25.08.76 // Открытия. Изобретения. – 1976. – №31. – С. 170.

2. Патент України на корисну модель №131894, МПК (2018.01) В24В 1/00. Спосіб електроерозійного алмазного шліфування зі змінною полярністю електродів / Стрельчук Р.М., Узунян М.Д. – № у 201806851; заявл. 18.06.2018; опубл. 11.02.2019. – Бюл. № 3/2019.

ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ФИНИШНОГО РЕЗЬБОШЛИФОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОЭВМ

При обработке ходовых винтов на точность резьбошлифования оказывают влияние случайные факторы, в частности осевые температурные и остаточные деформации обрабатываемых деталей. Поэтому для высокоточной обработки резьбы прецизионных ходовых винтов помимо обеспечения точности резьбошлифовального станка (РШС) необходимо использование рациональной технологии финишного резьбошлифования. Для повышения стабильности технологического процесса резьбошлифования современные модели РШС оснащаются системами ЧПУ, позволяющими запрограммировать рабочий цикл резьбошлифования. В этом случае исключается влияние субъективных факторов на качество обработки, вследствие чего увеличивается производительность обработки и точность шага резьбы. Однако система активного контроля осевого удлинения винта при резьбошлифовании, который оснащен станок с ЧПУ, не позволяет вовремя корректировать технологию и режимы резьбошлифования, так как влияние технологического перехода на величину этого удлинения может быть выявлено только по окончании данного технологического перехода.

В статье предлагается способ повышения точности резьбошлифования на основе диагностики технологической операции. Способ реализован с помощью системы автоматической диагностики (САД) технического состояния технологической системы резьбошлифования.

На основе уравнения (1) была разработана система автоматической операции финишного многопроходного резьбошлифования.

$$l_{ij} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4 \exp(-\mu_n^2 F_{02}) B_i^2}{\mu_n^2 (\mu_n^2 + B_i^2)} \left\{ \frac{q L R L_p \gamma}{s \lambda} \left(2 F_{01} + \frac{1}{4} - \frac{2}{\mu_n^2} + \frac{1}{B_1} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \exp(-\beta_n^2 F_{01}) \mu_n^2}{\beta_n^2 (\mu_n^2 + B_n^2)} \right) + \right. \quad (1)$$

$$\left. + l_{0ij} + (T_B + T_C) L_p \gamma - \gamma L_p (T_C + T_B), \right.$$

где l_{ij}, l_{0ij} – текущие и начальное температурные удлинения заготовки i -го винта на j -м технологическом переходе; L_p, R – длина резьбовой части и радиус заготовки; $F_{0i} = \frac{a \tau_i}{R}$ ($i = 1, 2$) – обобщенные переменные Фурье, характеризующие

время нагрева $\tau_1 = \frac{L_p a}{v_d R^2}$ и охлаждения $\tau_2 = \frac{l_{охл}}{v_0}$; L_p, L – длина и ширина контакта

реального теплового источника; $v_D, v_0 = v_D \sin \phi$ – окружная и осевая скорости заготовки; $\phi = \arctg\left(\frac{s}{2\pi R}\right)$ – угол подъема резьбы; s – шаг резьбы; $B_i = \frac{\alpha}{\lambda} R$ – критерий БИО; $\alpha, \gamma, \lambda, a$ – коэффициенты теплообмена, линейного расширения, тепло- и температуропроводности; μ_n, β_n – корни характеристических уравнений $I_0(\mu_n)B_i - I_1(\mu_n)\mu_n = 0$ и $I_1(\beta_n) = 0$; I_0, I_1 – функция Бесселя первого рода нулевого и первого порядка; T_B, T_C – температуры воздуха и СОЖ.

На основе исследования работы, были сделаны следующие выводы:

1. Осевая температурная деформация обрабатываемых ходовых винтов может быть использована в качестве параметра, характеризующего состояние технологической системы финишного резьбошлифования, так как этот параметр предполагает накопленную погрешность шага резьбы и характеризует производительность обработки.

2. Активный контроль температуры деформации прецизионных винтов, производимый при помощи САД, позволяет стабилизировать температурную деформацию на уровне настройки коррекционной линейки РШС и тем самым устранить случайную составляющую накопленной погрешности шага резьбы.

3. Накопление технологических данных в ОЗУ микроЭВМ и их последующая обработка позволяет объективно оценить качество технологической операции финишного резьбошлифования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якимов А.В. Повышение точности финишного шлифования резьбы ходовых винтов качения / А.В. Якимов, В.П. Ларшин, Б.О. Ткаченко // Совершенствование процессов абразивно-алмазной и упрочняющей обработки в машиностроении. – Пермь: Изд-во Пермского политехн. ин-та, 1990. – С. 3 – 13.

Федорович В.О., Пижов І.М., Волошкіна І.В.
НТУ «ХП», Харків, Україна

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

Перспективним напрямком підвищення продуктивності й поліпшення якості поверхні при алмазно-абразивній обробці є введення в зону різання ультразвукових коливань (УЗК) малої амплітуди. Встановлено, що ультразвукові коливання позитивно впливають на рівень сил як при мікрорізанні окремими зернами, так й у цілому на знімання оброблюваного матеріалу (ОМ) і тим самим сприяють підвищенню ефективності абразивної обробки [1], [2]. Встановлено, що загальною закономірністю впливу УЗК на різні процеси абразивної обробки є те, що

знімання металу носить незатухаючий характер і триває весь цикл обробки. З часом він практично не міняється, до того ж інструмент не втрачає своїх різальних властивостей, постійно працюючи в режимі самозагострювання. Причиною цього є те, що УЗК інтенсифікують процеси руйнування й диспергування різальних зерен, сприяючи з однієї сторони активному відновленню різальних мікрокримок на їхніх поверхнях, а з іншого (за певних умов) і видаленню їх зі зв'язки. Завдяки цьому засалювання робочої поверхні кругів (РПК) практично відсутнє. У результаті, продуктивність процесу практично не залежить від часу обробки. Порівнянність амплітуд коливань і товщин зрізу, а також швидкостей при обробці підвищують її продуктивність до 3 – 4 разів при одночасному зниженні зношування інструменту.

Експериментальні дослідження ультразвукової алмазно-абразивної обробки мають певну трудомісткість, а, отже, і дорожнечу. Тому в даний час, у світовій практиці, для вивчення процесів механічної обробки матеріалів широко застосовуються програмні продукти, засновані на методі скінчених елементів (МКЕ) типу ANSYS, ABAQUS, NASTRAN, LS-DYNA, COSMOS, CATIA, [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Це дозволяє з однієї сторони суттєво знизити витрати на проведення досліджень, а з іншого – одержати фізичне трактування явищ, які відбуваються в зоні обробки.

Доведено, що відзначений підхід є ефективним і стосовно до такого складного процесу обробки, яким є шліфування [10], [11], [12]. Однак даних по моделюванню процесу ультразвукового шліфування у вітчизняній і закордонній літературі практично немає. Це пояснюється істотними труднощами моделювання таких процесів. У зв'язку із цим нами зроблена одна з перших спроб вирішення цього завдання.

Метою даної роботи є розробка методики і проведення комп'ютерного 3D моделювання процесу ультразвукового шліфування за допомогою прикладного пакета програм *Cosmosworks*, в основу якого покладений метод скінчених елементів (МКЕ).

Ідея методу полягає в моделюванні реального об'єкту сукупністю скінчених елементів (одномірних, двовимірних, тривимірних), виконанні умов їх зчленування, напруження, закріплення й аналізу напружено-деформованого стану (НДС) такої скінченноелементної моделі. При цьому незалежно від використовуваного програмного забезпечення ефективний алгоритм створення моделі може бути представлений послідовністю дій, що вміщає в себе шість основних етапів: 1 – створення об'єктів; 2 – складання об'єктів у систему із заданням властивостей контактної взаємодії; 3 – задання граничних і початкових умов, а також навантажень; 4 – задання типу задачі й часової області її розв'язку; 5 – визначення порядку й обсягу збереження результатів розрахунків; 6 – визначення додаткових параметрів.

При вивченні процесу вібраційного шліфування, насамперед, необхідно визначити вплив УЗК, що прикладаються до РПК під час шліфування, на НДС системи «зв'язка – зерно – ОМ». Програмний пакет *Cosmosworks*, який нами використовувався,

дозволяє проводити тривимірне статичне моделювання. Насамперед, була побудована вихідна 3D-модель «зв'язка – алмазне зерно – ОМ» (рис. 1, а).

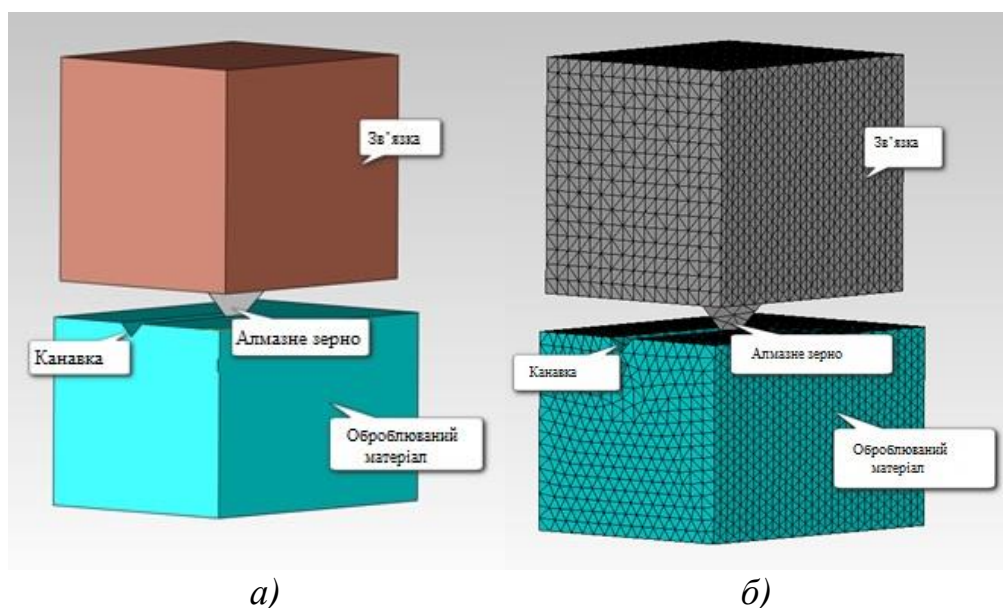


Рисунок 1 – Вихідна (а) та скінченноелементна (б) 3D-моделі системи «зв'язка – зерно – ОМ»

Заготовка й фрагмент зв'язки представлялися у вигляді пластин, а алмаз із геометрією октаедра. У пластині ОМ була створена канавка (слід від зерна). Далі проводилося генерування сітки скінчених елементів і її згущення в області контакту абразивного зерна з оброблюваним матеріалом (рис. 1, б).

Потім були задані фізико-механічні властивості всіх елементів системи, представлені на рис. 2. Відзначимо, що у вихідній моделі було використано зв'язку круга на основі міді, у якості оброблюваного матеріалу – синтетичний полікристал алмазу, марка алмазного зерна приймалася як АС 100. Для задач як без використання УЗК, так і з їхнім використанням, усі початкові умови були задані однаково, відмінність полягала тільки в наявності або відсутності самих ультразвукових коливань.

Наступним етапом моделювання було задання параметрів навантаження моделі. У ході розрахункового експерименту, модель навантажувалася розподіленим навантаженням прикладеної до верхньої грані зв'язки, що дозволяло моделювати зусилля притиску алмазного шліфувального круга під час абразивної обробки. З метою моделювання подачі рівномірне навантаження прикладалося до бічної грані зв'язки (рис. 3).

Для моделювання вібраційного шліфування зусилля притиску алмазного шліфувального круга варіювали в часі. Для цього зусилля притиску задавалося як гармонійне навантаження, графік якого був створений заздалегідь у вигляді синусоїди (рис. 4) із частотою $10 \div 50$ кГц і амплітудою (А), вираженою в одиницях тиску.

Вплив вібраційних коливань на НДС зони шліфування. У вихідній моделі розглядалося алмазне зерно марки АС100 зернистістю 200/160, що мало наступні характеристики міцності: $\sigma_{\text{рост.}}=2,2$ ГПа; $\sigma_{\text{ст.}}=12,9$ ГПа [13].

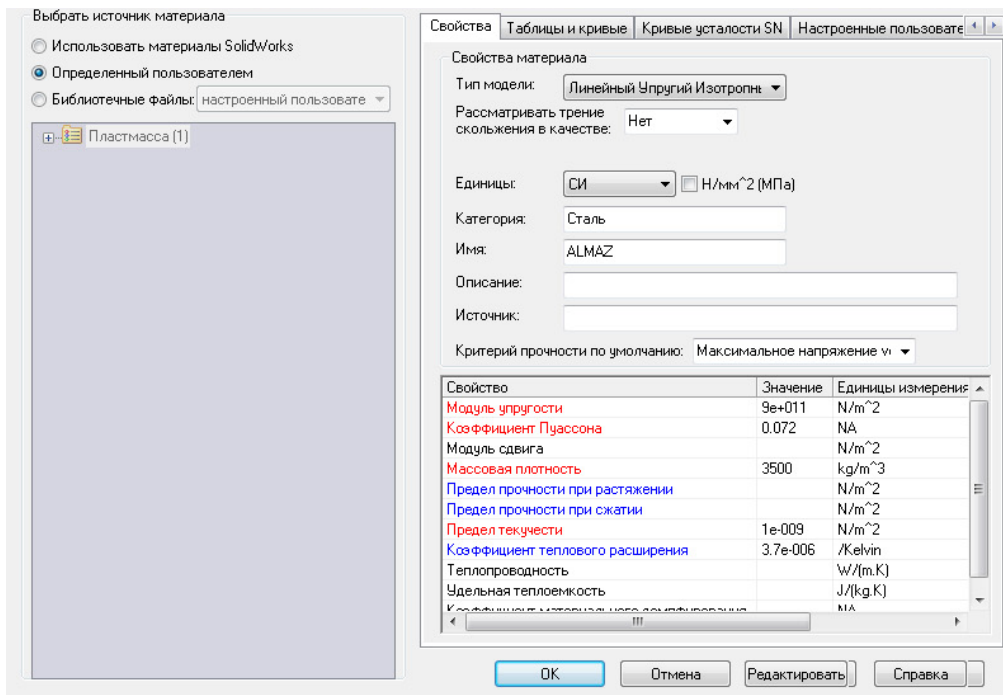


Рисунок 2 – Задання фізико-механічних властивостей зерна марки АС100

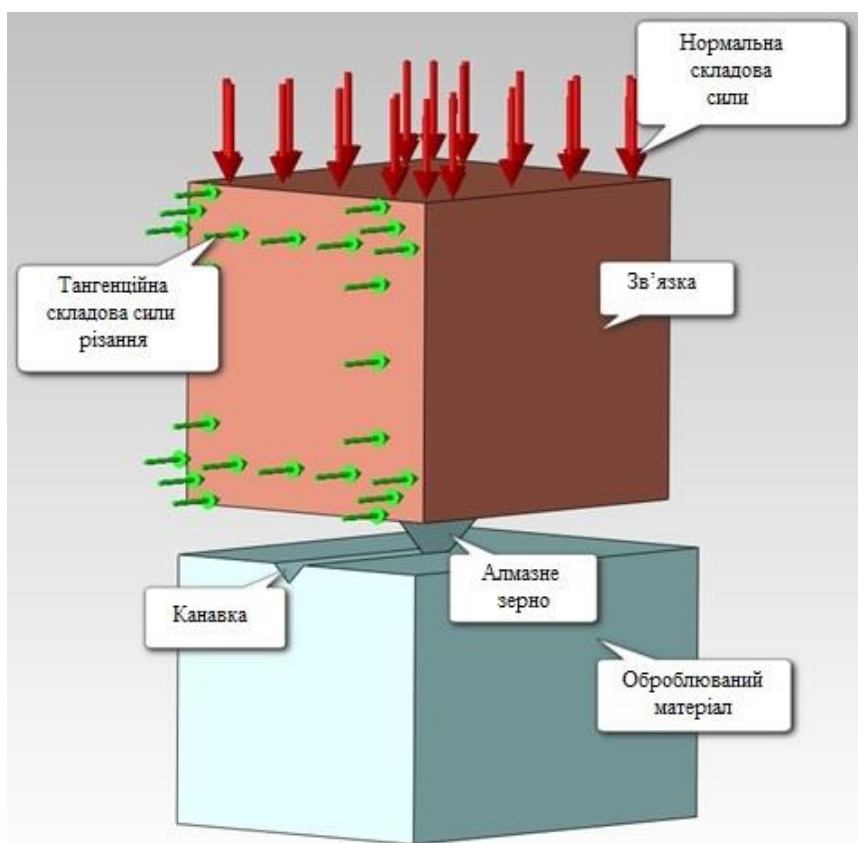


Рисунок 3 – Задання параметрів навантаження 3D моделі

У першій частині розрахунків задавалося зусилля притиску (нормальна складовая сили різання), що реалізує тиск на алмазне зерно рівний 2 МПа, величина зусилля, створювана тангенціальною складовою сили різання, дорівнює 1 МПа. У якості оброблюваного матеріалу прийнятий алмаз, а матеріал зв'язки –

на основі міді. Для моделювання вібраційного шліфування, зусилля притиску задавалося із частотою коливань $f = 50$ кГц (рис. 4). Завданням дослідження, на даному етапі, було визначення впливу ультразвукових коливань на еквівалентні напруження ($\sigma_{\text{екв.}}$) в зоні обробки (рис. 5) які характеризують її напружено-деформований стан.

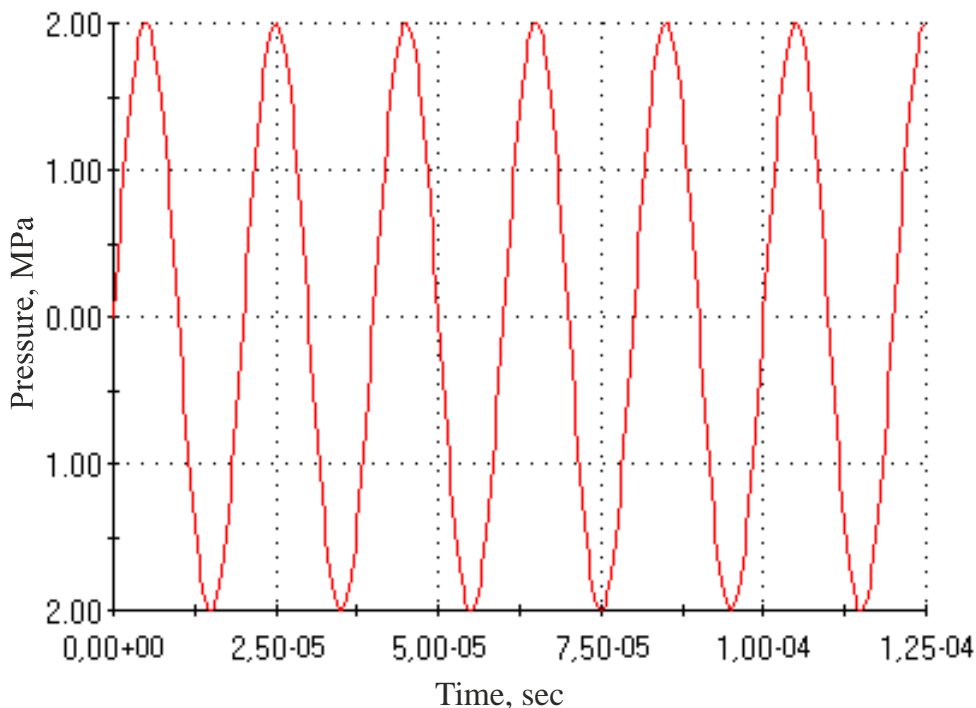


Рисунок 4 – Графік гармонійного навантаження ($f = 50$ кГц, $A = 2$ МПа)

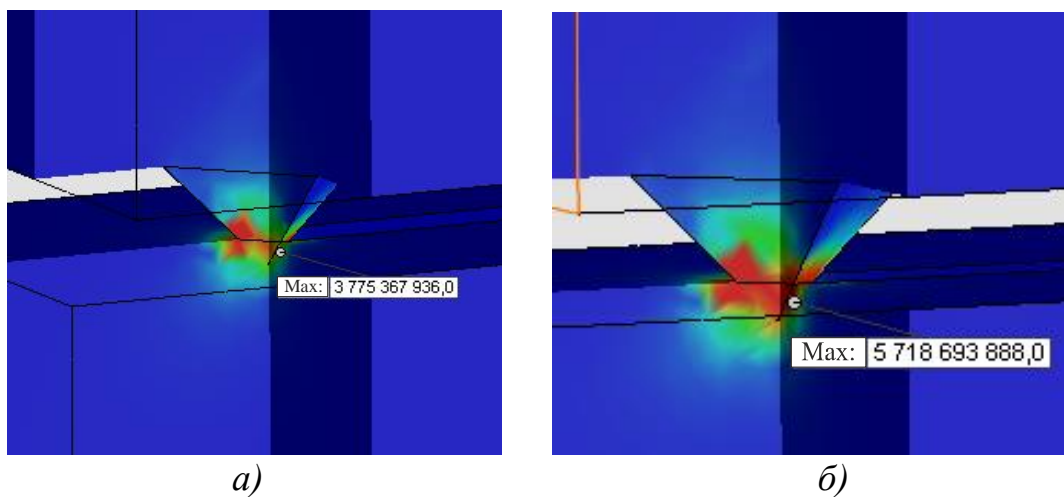


Рисунок 5 – Величина $\sigma_{\text{екв.}}$ у системі «алмазне зерно – зв'язка – ОМ»
а) – $f = 0$ кГц; б) – $f = 50$ кГц

На підставі проведених модельних експериментів по визначенню НДС зони шліфування можна зробити висновок про істотний вплив УЗК на обсяг зруйнованого матеріалу.

Таким чином, запропонована методика 3D моделювання процесу шліфування з накладенням УЗК, заснована на МКЕ. З її допомогою встановлено, що:

1. Теоретичний підхід до вивчення НДС системи «ОМ – зерно – зв'язка» у спеціалізованому пакеті програм *Cosmosworks* дозволяє досліджувати вплив УЗК на НДС зони шліфування при різних силових навантаженнях, а також розрахувати $\sigma_{\text{екв}}$ у досліджуваній системі при варіюванні параметрів УЗК, пружнопластичних властивостей зв'язки та оброблюваного матеріалу.

2. Розрахунки НДС зони шліфування вказують на істотний вплив УЗК на обсяг зруйнованого ОМ, свідченням чому служить збільшення $\sigma_{\text{екв}}$ у зоні шліфування в 1,5 – 2 рази.

3. Запропонований підхід дозволяє розрахунковим шляхом визначити раціональні комбінації фізико-механічних властивостей матеріалу зв'язки і ОМ, а також режими процесу шліфування з накладенням УЗК при яких будуть досягнуті висока продуктивність і максимальний коефіцієнт використання потенційно високих різальних властивостей алмазних зерен.

Таким чином, використання запропонованої методики 3D моделювання вібраційної алмазно-абразивної обробки на базі створеної скінченно-елементної моделі процесу дозволяє підтвердити висновок про те, що вібраційне шліфування дає можливість забезпечувати економію матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів. Цим підтверджується перспективність цього процесу і особливо стосовно шліфування полікристалів алмазу. Надалі представляє науковий і практичний інтерес проведення досліджень, спрямованих на оптимізацію процесу шліфування з накладенням УЗК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кумабэ Д. Вибрационное резание. Пер. с яп. С.Л. Масленникова / Под ред. И.И. Портнова, В.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.

2. Федорович В.А. Разработка научных основ и способов практической реализации управления приспособляемостью при алмазном шлифовании сверхтвердых материалов: Дис. докт. техн. наук: 05.03.01. – Харьков, 2002. – 469 с.

3. Huang J.M. An Evaluation of Chip Separation Criteria for the FEM Simulation of Machining / J.M. Huang, J.T. Black // of Manuf. Science and Engineering: Trans. of ASME. -1996. -Т. 118, № 4. -С. 545- 554.

4. Zaghbani I.A thermo-mechanical coupled f.e.m model for orthogonal cutting / I. Zaghbani, W. Bouzud, K. Saï //Proceedings of the 8th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations. -2005. -С. 139- 145.

5. Frydryšek K.: Aplikace pravděpodobnostni metody SBRA ve vědecko-technické praxi (Application of Probabilistic SBRA Method in the Scientific and Technical Practice), written in Czech language, inaugural dissertation in the branch of Applied Mechanics, Department of Mechanics of Materials, FME VŠB-TU Ostrava, CZ, pp.144, 2009.

6. Bil H. 2D Finite Element Modeling of Machining: A Comparison of Different Approaches with Experiments / Bil H., A. E. Tekkaya, E. S.Kılıç // Proceedings of the 7th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations. - 2004.– Режим доступа до статті: <http://congress.cimne.com/complas05/admin/Files/FilePaper/p176.pdf>.

7. O. Galli. Hochleistungs bearbeitung von Holz und Holzersatzstoffen mit PKD-Werkzeugen. – Режим доступа до статьи:

http://www.idr-online.com/german/pages/archive/2004_1/12_art/Art12_01_04.htm.

8. Криворучко Д.В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д.В. Криворучко, В.А. Залого. Под общей редакцией В. А. Залого – Сумы: Университетская книга, 2012. – 450с.

9. Криворучко Д.В. Наукові основи моделювання процесів різання з використанням числових методів / Д.В. Криворучко. – Дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / СумГУ. – Суми: СумДУ, 2010. – 453 с.

10. Федорович В.А. Разработка научных основ и способов практической реализации управления приспособляемостью при алмазном шлифовании сверхтвердых материалов: дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Федорович Владимир Алексеевич. – Харьков: - 2002. – 466с.

11. Пыжов И.Н. Научные основы формообразования лезвийных инструментов из поликристаллических сверхтвердых материалов: дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Пыжов Иван Николаевич. – Харьков: - 2009. – 457с.

12. Mamalis AG, Grabchenko AI, Fedorovich VA, Kundrak J (2009) Methodology of 3D simulation of processes in technology of diamond-composite materials. Int J Adv Manuf Technol 43:1235–1250.

13. Козакова Н.В., Федорович В.А. Оценка влияния размера и концентрации зерен на их целостность при спекании алмазных кругов на металлических связках // Междунар. науч.-техн. сб. «Резание и инструмент в технологических системах», Харьков, НТУ «ХПИ», 2006. Вып. 71. - С. 64 – 71.

Фесенко А.В., Евсюкова Ф.М., Геймор Н.Н.
НТУ «ХПИ», Харків, Україна

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АКТИВАЦИИ ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

На производительность шлифования и качество обработанной поверхности оказывают влияние состав, состояние и эффективность подвода в зону резания смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). При обработке должны обеспечиваться благоприятные условия отделения стружки, эффективный отвод тепла, очистка поверхностей круга и детали. Это особенно актуально при шлифовании деталей из труднообрабатываемых и жаропрочных материалов [1].

В данной работе рассматривается один из способов повышения эффективности шлифования при комплексном использовании кавитационного воздействия на СОЖ (рис.1).

Комплексный подход к использованию СОЖ при шлифовании включает в себя подготовку ее для подачи в зону обработки. При этом кроме обычных систем очистки и охлаждения применены устройства для интенсивного гидродинамического воздействия с возникновением эффекта кавитации [2, 3, 4]. Для этой цели могут использоваться как активные, так и пассивные устройства. Пассивные активаторы устанавливаются после, и могут включать в себя блоки перемешивания и кавитационные насадки. Активные, в виде гидродинамического активатора, выполняют функции и насоса, и кавитатора одновременно.

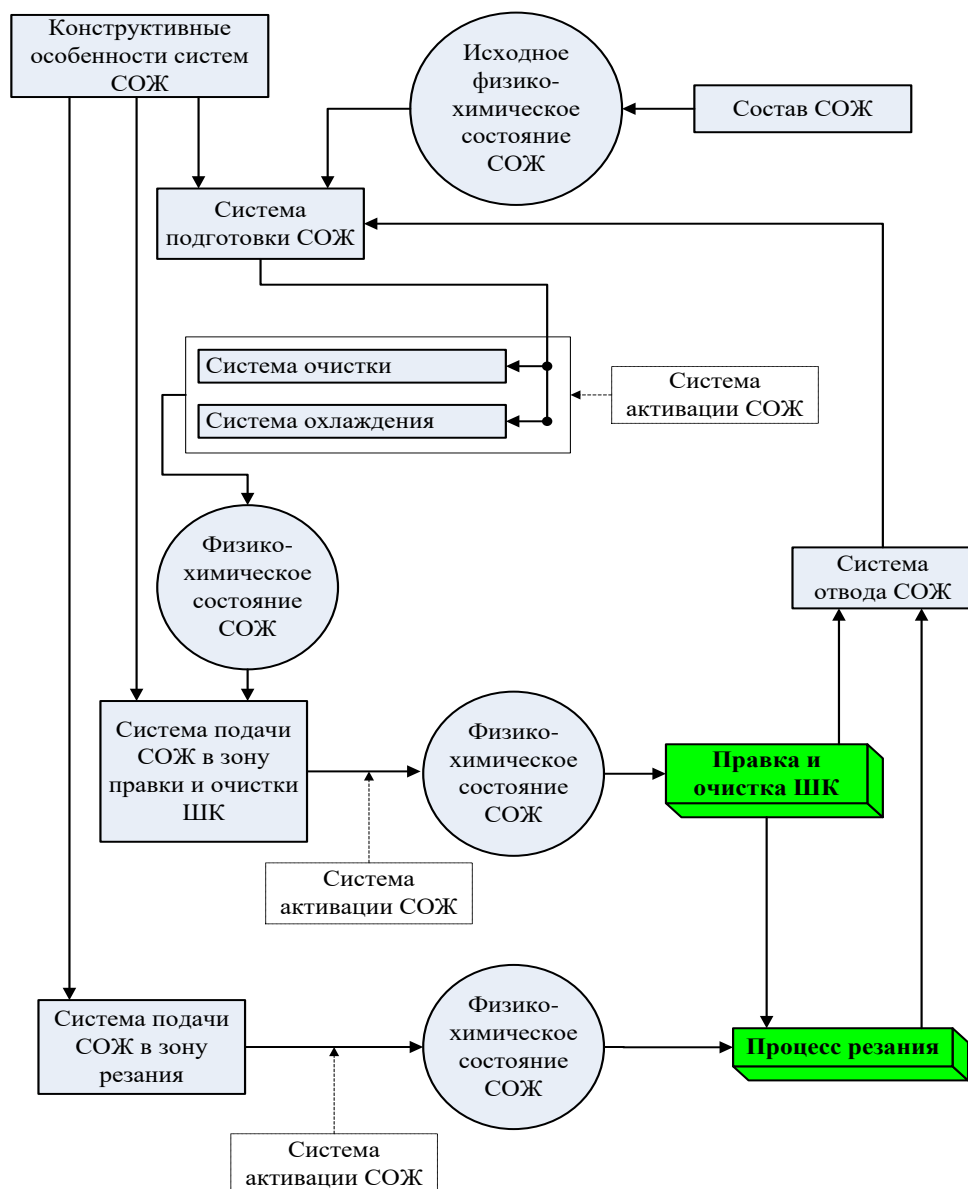


Рисунок 1 – Структура технологической системы использования жидких СОЖ при шлифовании

Использование кавитации на этапе подготовки позволяет получить однородную, мелкодисперсную СОЖ, обладающую высокой бактерицидной стойкостью. Для обеспечения активации СОЖ непосредственно перед зоной обработки и эффективного проникновения на контактирующие поверхности круга и детали используются специальные кавитационные насадки. При восстановлении режу-

щей способности рабочей поверхности круга используется кавитационная обработка СОЖ при подаче ее на алмазный резец [5,6]. Кроме того, очистка поверхности круга выполняется при использовании гидродинамических и акустических колебаний в потоке СОЖ при его вращении.

Реализация предлагаемой схемы комплексного подхода к использованию и активации СОЖ выполнена на круглошлифовальном станке.

Кавитационная обработка при подготовке СОЖ кроме улучшения ее качества и повышения стойкости позволяет вводить добавки углеродсодержащих компонентов (УСК), улучшающие условия резания и теплоотвода из зоны обработки. В качестве добавок в состав смазочно-охлаждающих жидкостей могут вводиться такие аллотропные формы углерода, как: графиты, графены, фуллерены, нанотрубки, нановолокна, астралены и другие. При этом повышается качество обрабатываемой поверхности за счет снижения теплообразования в зоне шлифования и за счет увеличения теплопроводности суспензии.

Для снижения теплонапряженности процесса эффективно используется прерывистое шлифование [7]. В предлагаемой нами системе подача СОЖ в зону резания (рис. 2) выполняется по радиальным каналам кассеты сборного шлифовального круга. На выходе канала установлены насадки, обеспечивающие активацию за счет гидродинамической кавитации. В дальнейшем активированная СОЖ через поры шлифовального круга и между абразивными сегментами поступает на его периферию.

Эффективность процесса шлифования во многом зависит от условий правки и очистки ШК [6]. В предлагаемом механизме правки СОЖ через кавитационную насадку подается на алмазный резец или карандаш (рис. 3). При этом активация ее происходит непосредственно перед попаданием на поверхность режущего инструмента, что в свою очередь улучшает условия правки с увеличением стойкости правящего инструмента.

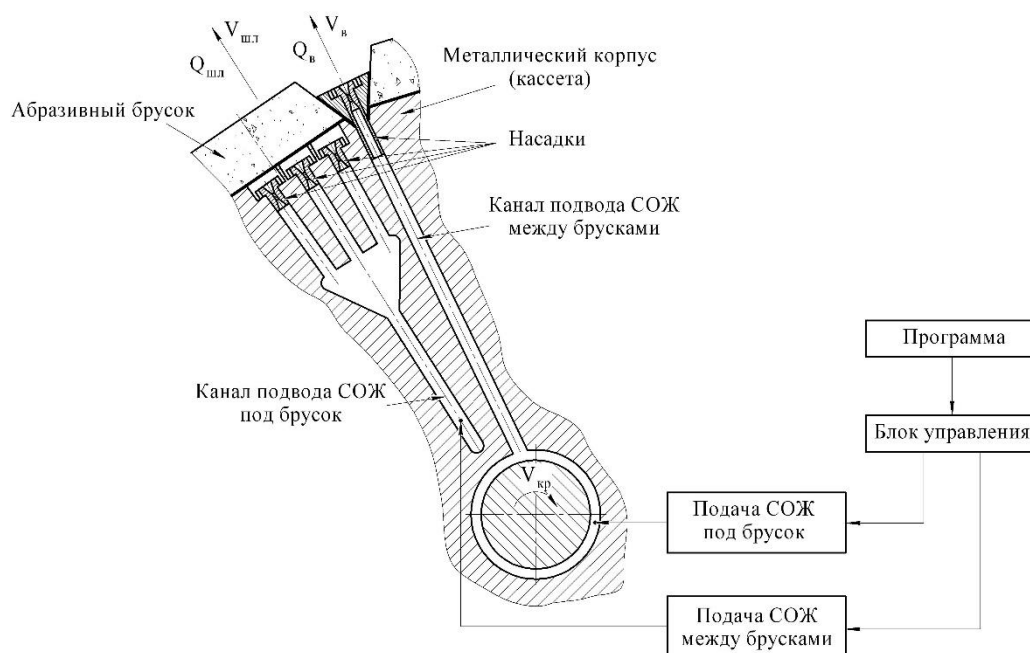


Рисунок 2 – Подвод жидких СОЖ по каналам шлифовального круга

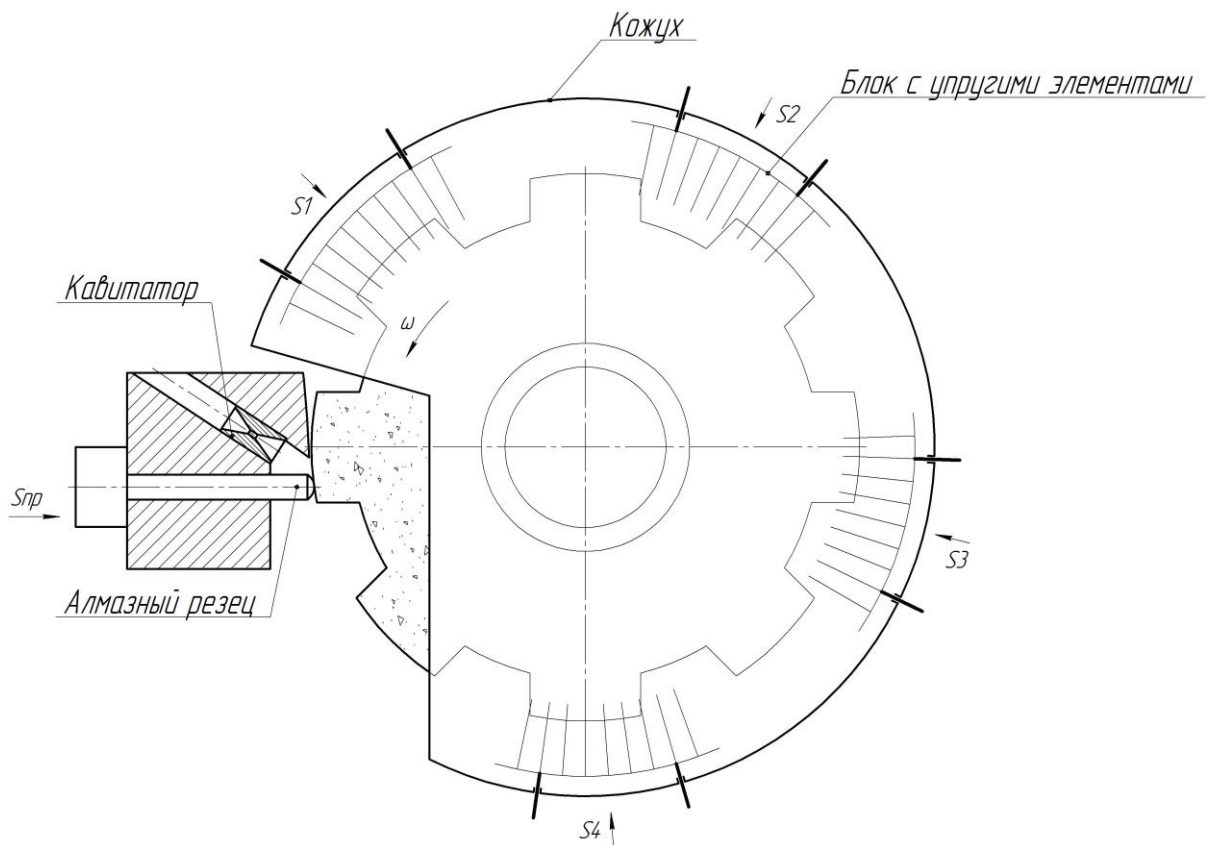


Рисунок 3 – Схема правки и очистки шлифовального круга

Механизм очистки состоит из блоков с упругими лепестками, закрепленных в кожухе. При вращении шлифовального круга движущаяся вместе с ним СОЖ воздействует на поверхность упругих лепестков и отклоняет их от положения равновесия, что в дальнейшем приводит к колебаниям. Механические колебания лепестков создают акустические колебания, что вызывает кавитацию в потоке СОЖ, контактирующим с поверхностью шлифовального круга. Это позволяет выполнять эффективную очистку рабочего профиля круга.

Выводы. Предлагаемый комплексный подход к системе использования СОЖ в круглошлифовальном станке при обработке сборным шлифовальным кругом, включающий в себя предварительную кавитационную обработку с введением углеродосодержащих добавок, активацию СОЖ непосредственно перед подачей ее в зону резания, эффективную очистку рабочей поверхности круга и активацию СОЖ в зоне правки, позволяет повысить эффективность шлифования за счет улучшения условий резания и теплоотвода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сизый Ю.А. Влияние давления подачи СОЖ на нагрев заготовки при врезном шлифовании / Ю.А. Сизый, М.С. Степанов // Вісник національного технічного університету «ХПІ» – Харьков: НТУ «ХПІ», 2005. – С. 210–214.
2. Фесенко А.В. Методика оценки параметров кавитационной обработки СОЖ / А.В. Фесенко // Вестник национального технического университета «ХПИ»: сборник научных работ. Тематический выпуск: Технологии в машиностроении. – Харьков: изд. НТУ «ХПИ», 2008. – №1. – С. 14–18.

3. Федоткин И.М. Использование кавитации в технологических процессах / И.М. Федоткин, А.Ф. Немчин. – Киев: Вища школа. Изд-во при Киевском ун-те, 1984. – 68 с.

4. Фесенко А.В. Сравнительный анализ гидродинамических установок для диспергирования, гомогенизации и нагрева жидкости / А.В. Фесенко, Ю.Н. Любимый // Физические и компьютерные технологии: Труды 15-й Международ. Научно-техн. конференции. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2009. – С. 260–266.

5. Худобин Л.В. Минимизация засаливания шлифовальных кругов / Л.В. Худобин, А.Н. Унянин; под. ред. Л.В. Худобина. – Ульяновск: УЛГТУ, 2007. – 298 с.

6. Киселев Е.С. Эффективность ультразвуковых устройств для подачи СОЖ при шлифовании заготовок и правке абразивных кругов / Е.С. Киселев, А.Н. Унянин // СТИН. – 1995. – № 2. – С. 24–28.

7. Якимов А.В. Прерывистое шлифование / А.В. Якимов. – Киев; Одесса: Вища шк., 1986. – 174 с.

Харламов Ю.А.

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля,
Северодонецк, Украина

ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВЫЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Термодинамически детонация – самый эффективный способ прямого сжигания горючего. Именно поэтому в настоящее время активно разворачиваются НИОКР по использованию управляемой детонации в энергетических установках, технологических горелках и устройствах. Уровень давлений, температур и скоростей, развиваемых за детонационными или близкими к ним по интенсивности ударными волнами в газах, а также импульсный характер воздействия указанных факторов, определяют большие потенциальные возможности их технического и технологического использования. Частота повторения циклов газовой детонации (ГД) достигает 10, а в отдельных случаях – до 100 Гц. Известны многочисленные практические применения ГД. Удельные энергозатраты при детонационно-газовой обработке материалов заведомо ниже, чем, например, при плазменной; низкий уровень теплотерь дает определенные преимущества и при сопоставлении с другими методами воздействия. Высокая концентрация энергии и возможность резко сбросить температуру и давление газа через заданный промежуток времени – дополнительные плюсы ударно-детонационных технологий синтеза и обработки материалов. Протекание процессов детонационно-газовой обработки во многом определяется конструктивными особенностями де-

тонационных камер сгорания (ДКС), которые могут отличаться различными конструктивными признаками: форма поперечного сечения; изменение поперечного сечения по длине камеры; геометрия поверхностей камеры сгорания; форма продольного сечения; охлаждение стенок камеры; пространственное расположение камеры.

Форма поперечного сечения. Обычно используют ДКС круглого сечения. Однако их можно выполнить с квадратным, прямоугольным, овальным и другими формами поперечного сечения (например, для обработки локальных участков поверхности. В ДКС прямоугольного сечения выполняется плавный переход между участками инициирования детонации и рабочим участком (А.с. СССР 636845). При необходимости в выходную часть прямоугольного сечения вводится несколько сопел подачи обрабатываемого порошка. Использование ДКС с продольными перегородками позволяет создавать камеры с увеличенными размерами поперечного сечения без существенного увеличения их длины (А.с. СССР 736436). Однако образующиеся продольные ячейки стабилизируют образование и распространение детонации, однако увеличивают потери энергии. Разделение камеры сгорания на отдельные секции может быть применено и при использовании для напыления цилиндрических детонационных волн. Это значительно упрощает локализацию порошкового облака и обеспечение детонационного режима сгорания (А.с. СССР 750830 и 752892). Для нанесения покрытий на кольцевые поверхности относительно небольшого размера ДКС может быть выполнена с кольцевым сечением, когда в цилиндрической ДКС размещается соосно цилиндрический сердечник с каналами для охлаждающей жидкости. Для стабилизации необходимых режимов горения кольцевая камера сгорания может быть разделена на продольные секции.

ДКС с изменяющимся поперечным сечением по длине. ДКС могут выполняться с постоянным по длине поперечным сечением, изменяющейся по длине площадью поперечного сечения (резко или плавно), изменяющейся формой поперечного сечения, а также формой и площадью поперечного сечения. Одной из таких конструкций является ступенчатая ДКС с уменьшающимся сечением по направлению истечения продуктов детонации (А.с. СССР 513728). За счет возникновения отраженных волн на переходе ступеней увеличивается удельная энергия потока продуктов детонации. Для создания лучших условий течения продуктов детонации со взвешенными частицами порошка целесообразно использовать ДКС с плавно уменьшающимся поперечным сечением, в т.ч. конических (А.с. СССР 655100). С помощью таких ДКС достигается возможность получения пересжатых детонационных волн и усиление энергетического воздействия на частицы обрабатываемого порошка. Выходной участок может быть выполнен с постоянным сечением, а также в виде сопла, что позволяет дополнительно управлять скоростной, тепловой и химической релаксацией частиц порошка. Особенно перспективны подобные ДКС при использовании горючих газов-заменителей ацетилена. Переход от осесимметричного сечения к симметричному относительно одной из осевых плоскостей ДКС обеспечивает не только

формирование слоя покрытия соответствующей формы при локальном напылении, но и дополнительную турбулизацию потока газозвеси и более ее лучшее перемешивание с продуктами сгорания, некоторое увеличение времени пребывания порошка в потоке продуктов сгорания и улучшение энергообмена между ними. Для регулирования скорости и температуры потока продуктов ГД, а также частиц обрабатываемого материала предложены ДКС с регулируемым проходным сечением. Например, ДКС может быть выполнена ступенчатой с коническим переходом между ступенями. Со стороны закрытого торца соосно в нее вмонтировано сопло с отверстием для ввода порошка и конической головкой. Путем осевого смещения сопла регулируют проходное сечение между конической головкой и коническим участком ствола (А.с. СССР 769857). ДКС для напыления цилиндрическими детонационными волнами могут быть выполнены с переменной в радиальном направлении высотой поперечного осевого сечения (А.с. СССР 898656).

Геометрия поверхностей стенок ДКС. Внутренние поверхности камеры сгорания могут быть гладкими и шероховатыми. В шероховатой трубе скорость детонации теряет свойство физико-химической константы смеси и зависит от аппаратных условий - от степени шероховатости. Чем больше шероховатость, тем сильнее падает скорость. Это явление может быть использовано для регулирования динамического и теплового взаимодействия частиц порошка с продуктами детонации. Интенсивная турбулентность, вызываемая шероховатостью, может способствовать не только интенсификации теплообмена, но и более равномерному перемешиванию порошка с продуктами сгорания. Вместо обычных проволочных спиралей лучше использовать нарезные канавки различного профиля в стенках ствола. Канавки могут быть выполнены по всей длине ствола или на отдельных его участках (А.с. СССР 588453 и 946060). Канавки могут быть кольцевыми или винтовыми. При расположении канавок на входном участке ствола сокращается преддетонационное расстояние, а при расположении их на выходе из ствола достигается улучшение перемешивания порошка и интенсификация теплообмена.

Форма продольного сечения ДКС. Различают ДКС прямые, изогнутые, разветвляющиеся, прямые с обеими открытыми торцами, петлеобразные, U – образные, многокамерные с общей камерой зажигания, кольцевые, спиральные, многосекционные (А.с. СССР 599412, 588453, 587670 и 583566). В камеру сгорания могут вводиться различные экраны (А.с. СССР 690837). В конструкции ДКС с цилиндрическим экраном в выходной части трубка подачи порошка входит в объем, ограниченный экраном по сечению потока. Придавая экрану различную форму, можно управлять формой и размерами исходного порошкового облачка в стволе, условиями газообмена при наполнении ствола свежей горючей смесью, а также условиями формирования и истечения импульсной двухфазной струи. За счет этого при выхлопе импульсной двухфазной струи обеспечивается ее экранизация от окружающей среды кольцевым потоком продуктов детонации. Этим достигается также более высокая однородность температуры и скорости частиц

по сечению потока. Многосекционные ДКС применяют как для получения пересжатых детонационных волн, так и для увеличения времени пребывания порошка в продуктах детонации для обеспечения соответствующего энергообмена и степени необходимых превращений в исходном материале. Одну из первых конструкций многосекционных ДКС предложено выполнить из трех концентрично расположенных секций, причем выход охватывающей секции смещен по направлению движения потока продуктов детонации относительно выхода охватываемой секции (А.с. СССР 625339). Охватывающие секции выполняются, как правило, с уменьшающимся по направлению истечения продуктов детонации поперечным сечением. Порошок вводится в центральную (начальную) секцию, в которой инициируется горение и детонация горючей смеси. При выходе горения на срез секции в охватывающей секции формируется два фронта горения (или детонации), один из которых продолжает двигаться к открытому торцу ствола, а второй по кольцевому участку секции в обратном направлении, причем направления противоположны. Аналогичные явления имеют место при переходе горения в следующую секцию. Использование подобных конструкций ДКС с двумя и более секциями позволяет обеспечивать необходимое время пребывания порошка в продуктах детонации для протекания нужных превращений, а также получение пересжатых волн детонации за счет подпора основного потока продуктами детонации, истекающими из охватывающих секций. Для регулирования степени превращений в распыляемых порошках секции ДКС могут заполняться различными видами горючих смесей, а порошок вводится непосредственно в выходную секцию (А.с. СССР 769853). Для завихрения двухфазного потока с целью интенсификации энергообмена порошка с продуктами детонации используют тангенциальное соединение секций (А.с. СССР 907913).

Для получения пересжатых детонационных волн применяют также дополнительные секции в виде каналов, присоединенных к боковым стенкам основной камеры сгорания (А.с. СССР 790433), а также дополнительные кольцевые секции, охватывающие камеру сгорания, в которой происходит обработка порошкового материала (А.с. СССР 828487). Дополнительные секции способствуют получению пересжатых детонационных волн, увеличению длительности истечения продуктов детонации из ДКС к соответствующей интенсификации процессов взаимодействия их с частицами порошка. В ДКС с двумя концентрично расположенными камерами сгорания (А.с. СССР 687666) формируется импульсная двухфазная струя, разделенная на центральную струю, несущую взвешенные частицы порошка, и окружающую ее кольцевую струю продуктов сгорания.

Пространственное положение ДКС. По пространственному расположению различают ДКС с горизонтальным, вертикальным и наклонным расположением. При использовании ДКС сложной формы (с непрямолинейной камерой сгорания) этот признак следует относить к выходному участку, который используется непосредственно для нагрева и ускорения порошка потоком продуктов сгорания и должен быть прямолинейным. Пространственное положение ДКС влияет на компоновку детонационно-газового оборудования и процессы напол-

нення свіжій горючій сумішшю і особливо порошком. При вертикальному положенні улічшаються умови газообмену при наповненні ДКС, виключається гравітаційне осаждення порошка на вертикальні стінки, а явлення гравітаційного осаждення може полезно іспользоваться при наповненні ствола. Технологіческие устрійства можуть быць выполнєны с регулюємым нахилом ДКС для более удобной настрійки сїстємы ДКС-прїспособленє-деталь. Ізменєнє пространствєнного положєнєя ДКС іспользуется также для переходу от режіму настрійки і виходу на стабільний режім работу к рабочєму (установившємуся) режіму работу.

Шєлковий О.М.

НТУ «ХП», Харків, Україна

Фєденюк Д.В.

НПО «ПХЗ», Павлоград, Україна

Лєтюк В.І.

ДП «ТУРБОАТОМ», Харків, Україна

ІНТЕГРАТИВНІ ТЕНДЕНЄЦІ У МЕХАНОСКЛАДАЛЬНОМУ ВИРОБНІЦТВІ

Практика організації виробництва каже про те, що рівень ручної праці та її спеціалізація при складанні виробів залежить як від складності складальної одиниці, так і від програми її виготовлення. У аерокосмічній промисловості найбільш трудомісткими, з точки зору складання, є вироби, в які входять понад 20 з'єднуваних деталей (складні машинобудівні вироби – СМВ).

Для виконання цих з'єднань в сучасній практиці механоскладального виробництва застосовуються технологічні прийоми, які залежать як від виду об'єкта складання, так і від організаційних умов її виконання. В той же час в умовах дрібносерійної зборки підгінні, регулювальні та, супроводжуючі їх, демонтажні роботи в загальній трудомісткості зборки складають від 43% до 49%. Зменшення долі цих робіт в загальних витратах робочого часу і трудовитратах на зборку може істотно зменшити собівартість продукції, поліпшити та стабілізувати якість виробів в партії.

Складання СМВ передбачає послідовне формування з'єднань між деталям та складальними одиницями з урахуванням серійності процесу виробництва, точності СМВ і рівня механізації та автоматизації виробничих процесів. При цьому вирішується комплекс задач, що пов'язані з послідовністю встановлення деталей, їхнього з'єднання, послідовність зборки складальних одиниць, порядку зборки та формування її функціональних параметрів. При вирішенні кожної з цих задач в умовах серійного виробництва може виникнути ситуація, пов'язана з необхідністю регулювання положення одних деталей відносно інших, або їхньої

додаткової механічної обробки з метою формування замикаючих розмірів складальних ланцюгів.

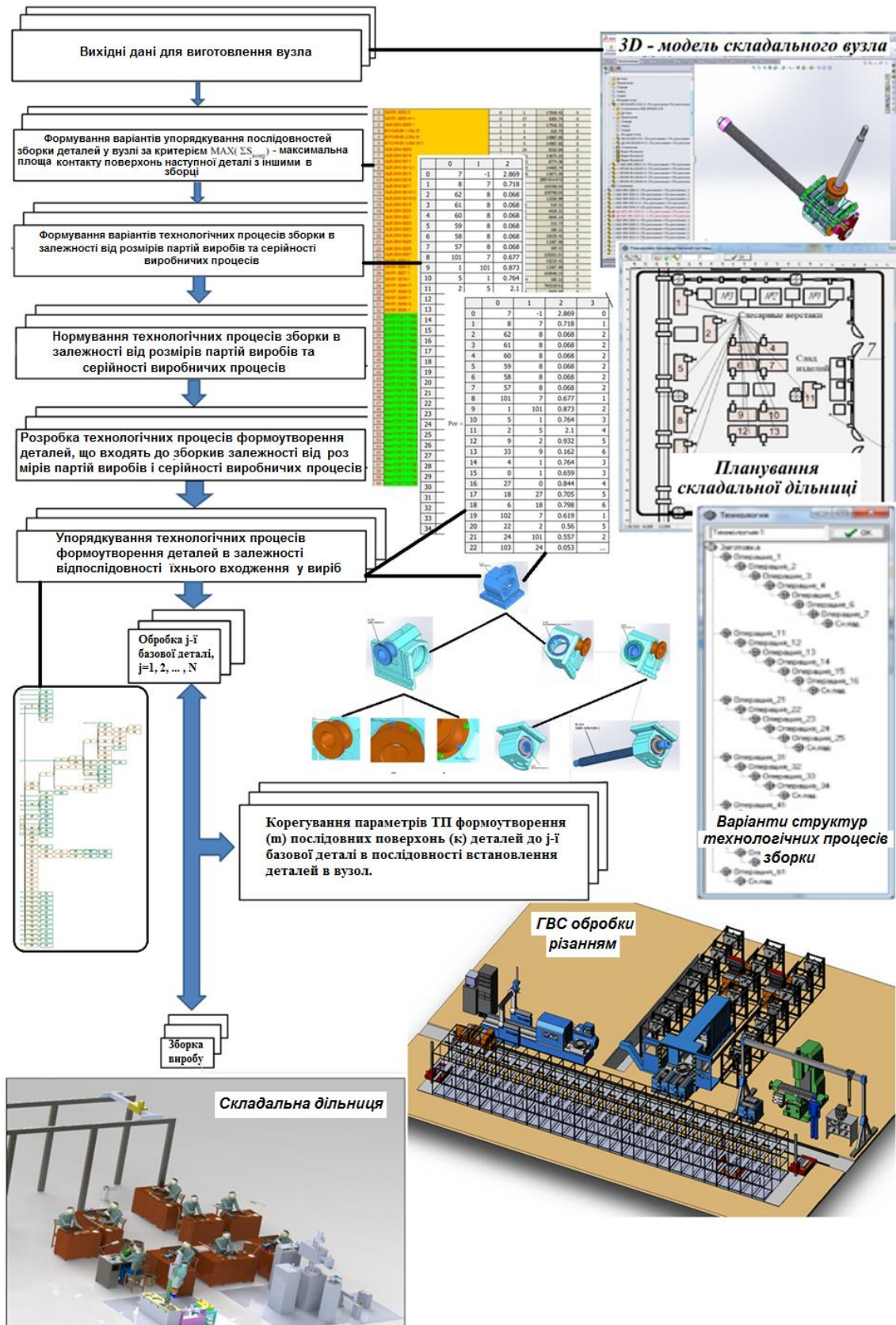


Рисунок 1 – Загальна схема інтегрованої технології механоскладального виробництва СМВ

Таким чином, виникає потреба в інтеграції зборки з механічною обробкою деталей на окремих операціях. Це призводить або до селекції деталей, що збираються, або їхньої механічної обробки чи просторовому регулюванні.

Управління цими процесами ще до з'єднання деталей в складальні одиниці можливо в тому випадку, якщо будуть встановлені причинно-наслідкові зв'язки між процесами зборки та механічної обробки окремих деталей.

Аналіз послідовності утворення виробу та її зв'язок механічною обробкою деталей вказують на наявність причинно-наслідкових зв'язків між відстанями поміж деталями в складальній одиниці, властивостями з'єднань та способами забезпечення точності вузла, з однієї сторони, та етапами механічної обробки деталей, на яких формуються ці параметри, з іншої.

Відомо, що навіть правильно виготовлені деталі не дають гарантії того, що з них може бути зібраний вузол без допоміжних операцій и переходів, на яких має бути «підігнано» положення деталі в просторі згідно зі складальним кресленням. Практика такої зборки, як правило, підвищує собівартість вузла на 10 – 25 %, і подовжує час складання на 70 – 100 % порівняно зі зборкою без підгонки.

Запобігти цьому можна в тому випадку, якщо процес складання (його послідовність та розміри замикаючих складальних ланцюгів) буде безпосередньо впливати на процеси формування розмірів деталей і властивості їхніх поверхонь (див. рисунок).

Тоді при обробці деталі буде виникати два рівні контролю за її розмірами та властивостями поверхонь (див. рисунок):

перший – традиційний, пов'язаний з необхідністю виконання вимог креслення деталі;

другий – пов'язаний з корегуванням розмірів обробки та характеристик поверхонь з врахуванням того, чи входять розміри, що формуються, до складальних ланцюгів і яким чином вони впливають на розміри, що контролюються у складальній одиниці.

Такий підхід наводить на думку про те, що паралельно з процесом виготовлення деталей повинен виконуватись віртуальний процес їхньої зборки з урахуванням реальних розмірів поверхонь деталі, які вже отримані в результаті механічної обробки різанням.

Тоді інформація про послідовність зборки деталей в складальну одиницю стає тією керуючою інформацією, яка задає послідовність обробки деталей, що входять до цього вузла. Такий підхід до проектування технологічних процесів складання і механічної обробки (ТПСіМО) деталей вузла в купі з реальною обробкою деталей та їхньою зборкою в складальну одиницю зображено на рисунку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шелковой А. Имитационное моделирование в задачах механосборочного производства / Шелковой А., Ключко А., Набока Е. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 528 с.

2. Шелковий О. М. Підвищення ефективності зборки складних машинобудівних виробів на засадах інтеграції механоскладальних операцій / О. М. Шелковий, В. А. Фадєєв, О. В. Набока // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук, праць / Під заг. ред. проф. О. М. Шелкового, редкол.: проф. І. М. Пишов (голова) та ін. – Харків: НТУ "ХП", 2018. – Вип. 1 (28). – С.192–205.

3. Шелковой А. Н. Интеграция автоматизированного механосборочного производства высокоточных машиностроительных изделий как альтернатива их селективной сборки / А. Н. Шелковой, Е. В. Набока // Технологические системы: научно-технический журнал. – № 2(87)2019 – Киев : ООО «Компания «Индустриальные технологии». – С. 37–53.

Ярова І.А., Ямпольський І.І., Свіріденко Л.О.
Одеський національний політехнічний університет,
Одеса, Україна

АНАЛІЗ ВИМОГ ВИРОБНИЧОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ СКЛОТЕКСТОЛІТУ

Склотекстоліт – шаруватий композитний матеріал, що виготовлюється методом гарячого пресування склотканин, просочених термореактивними електроізоляційними сполучними речовинами (бакеліт, епоксидні і поліефірні смоли). Поверхня листів склотекстоліту може бути з одної або двох сторін покрита мідною фольгою. В процесі виготовлення фольгованого склотекстоліту застосовується клей марки БФ. Склотекстоліт використовують в якості конструкційного і електроізоляційного матеріалу в електротехніці, медичній техніці і радіотехніці, машинобудуванні, суднобудуванні, літакобудуванні та інших галузях.

Склотекстоліт виготовлюють у вигляді листів товщиною 0,35 – 8 мм і у вигляді плит із товщиною 10 мм і більше. Для одержання заготовок матеріал обробляють штампуванням, розрізанням або розпилюванням, для подальшої обробки обирають операції точіння, свердління, фрезерування, шліфування.

Листи склотекстоліту до 2 мм завтовшки розрізають гільйотинними і вібраційними ножицями або стрічковими пилками. Листи склотекстоліту більшої товщини розрізають дисковими фрезами або дисковими пилами із наступним різальним інструментом: мідні кола з алмазними вставками, абразивні карборундові колами. Також склотекстоліт товщиною до 2 мм можна штампувати штампами з високовуглецевих легованих сталей.

При свердленні листів склотекстоліту товщиною до 5 мм використовують спіральні свердла зі швидкорізальної сталі, а також зносостійкі карбідні і азотовані свердла. Точіння, фрезерування, інші види механічної обробки проводять на

верстатах різцями і фрезами зі швидкорізальної сталі і твердосплавним різальним інструментом з карбідними вставками. Для обрізання припусків по крайках листа використовують електричні лобзики. Для зачистки поверхні мат склотекстоліту використовують абразивні, фіброві і повстяні кола з наждаковим шаром.

Процеси механічної обробки склотекстоліту супроводжуються суттєвим тепловиділенням, тому потребують обов'язкового охолодження різального інструменту і оброблюваного матеріалу струмом охолодженого повітря, мильною водою або емульсіями.

Найбільш шкідливим виробничим фактором процесів обробки склотекстоліту різанням є скляний пил. Він вчинює дратівливу дію на слизові оболонки дихальних шляхів і шкірний покрив працівників. Крім того, скляний пил, потрапляючи до вузлів обладнання, що обертаються, призводить до його зносу і відмов. Гранично допустима концентрація скляного пилу в повітрі робочої зони становить 4 мг/м^3 , клас небезпеки скляного пилу – 4 – малонебезпечні речовини.

Продукти термолітичної деструкції пластику, що утворюються при механічній обробці, мають дратівну і токсичну дію. Під час обробки склопластиків, виготовлених на основі поліефірних смол, в повітря виділяються стирол, перекис метилетилкетону, фталевий і малеїновий ангідриди, метакрилова кислота. Під час обробки склопластиків, виготовлених на основі фенолформальдегідних смол, виділяються фенол і формальдегід. Під час обробки склопластиків, виготовлених на основі епоксидних смол, відбувається виділення в повітря епіхлоргідріна, бутилового спирту, толуолу. Вказані речовини належать до 2 – 4 класів небезпеки, від високонебезпечних до малонебезпечних.

Також дратівну і токсичну дію мають пари емульсій, що використовують в якості мастильно-охолоджувальних рідин для охолодження зони різання.

Тому з метою створення безпечних умов праці, а також для уникання швидкого зносу елементів обладнання, що труться, необхідно застосовувати пристрої місцевої витяжної вентиляції, які відсмоктують стружку і пил безпосередньо із зони різання, з очищенням повітря, що видаляється, за допомогою фільтраційних пиловловлювачів. Для видалення шкідливих речовин з повітря робочої зони необхідно застосовувати системи загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції із подальшим повітроочищенням. Кратність повітрообміну повинна забезпечувати вміст шкідливих речовин в повітрі не більше гранично допустимих концентрацій за ДСН 3.3.6.042-99. Також необхідно оснащати приміщення технічними засобами контролю вмісту шкідливих речовин в повітряному середовищі. Повністю захиститися від впливу шкідливих речовин, що виділяються при механічній обробці шаруватих ізоляційних матеріалів, можна тільки шляхом її автоматизації. Повітря, що видаляється від верстатів, на яких відбувається механічна обробка фольгованих матеріалів, перед викидом в атмосферу підлягає очищенню.

Для виготовлення деталей із склотекстоліту використовують наступне металорізальне обладнання: токарні, фрезерні, свердлильні та стругальні верстати, ножиці, стрічкові пилки. Тому важливими є вимоги безпеки при роботі на металорізальних верстатах.

Склотекстоліт – нетоксичний і вибухобезпечний матеріал. Але більшість марок склотекстоліту є горючими, вони відносяться до важкоспалимих матеріалів. Фольгований склотекстоліт також належить до важкоспалимих матеріалів. Температура займання склотекстоліту різних марок становить 340 – 500 °С. Температура самозаймання склотекстоліту різних марок становить 505 – 600 °С.

Листи склотекстоліту зберігають в закритих складських приміщеннях на полицях або піддонах в горизонтальному положенні при температурі в приміщенні від – 10 °С до 40 °С і відносній вологості не більше 80%. Склотекстоліт повинен зберігатися в сухому закритому складському приміщенні на дощатих піддонах на відстані не менше 5 см від підлоги. Допускається зберігання склотекстоліту на відкритому майданчику на дощатих піддонах на відстані не менше 15 см від землі і закритих вологонепроникним матеріалом або плівкою, протягом не більше одного місяця.

Для зберігання листи склотекстоліту товщиною до 30 мм включно упаковують в обрешітки дощаті за ГОСТ 12082 типу III або в розбірну багатооборотну тару згідно із нормативно-технічною документацією, викладену зсередини звичайним папером або вологонепроникним папером за ГОСТ 8828 або ГОСТ 515.

Для транспортування формують пакети з листів склотекстоліту на двох пласких дерев'яних піддонах типу П2 або П4 розміром 800 × 1200 мм за ГОСТ 9078. Поверхня пакетів з усіх боків повинна бути захищена від механічних пошкоджень прокладками з гофрованого картону, або паперу за ГОСТ 515 або ГОСТ 8828, або іншого пакувального матеріалу.

Таким чином, тара для зберігання і транспортування склотекстоліту виготовлюється з горючих пожежонебезпечних матеріалів. Ступінь транспортної небезпеки склотекстоліту визначається за ДСТУ 4500-3:2008.

У приміщеннях для зберігання або обробки склотекстоліту забороняється користуватися відкритим вогнем, палити, захаращувати проходи.

При виникненні пожежі в приміщеннях для зберігання або обробки склотекстоліту використовують наступні первинні засоби пожежогасіння: розпилену воду, тонкорозпилену піну, сухий пісок, кошми, вуглекислотні, пінні або порошкові вогнегасники.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Новиков Ф.В.</i> К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА ЯКИМОВА АЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬЕВИЧА	3
<i>Андилахай В.А.</i> ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ	15
<i>Бабак Т.Г., Демірський О.В., Пономаренко Є.Д., Хавін Г.Л.</i> МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РЕКТИФІКАЦІЇ СУМІШІ АЦЕТОН-БЕНЗОЛ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	20
<i>Буц Ю.В., Крайнюк О.В.</i> ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ З ВІДНОВЛЕННЯ ЯКОСТЕЙ ТА ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ЕКОСИСТЕМ ПІСЛЯ УРАЖЕННЯ ПОЖЕЖАМИ	26
<i>Варюхно В.В., Довгаль А.Г., Курбет Л.В., Євсюков Є.Ю.</i> ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХОНЬ	28
<i>Гоков А.М.</i> ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ МАССИВОВ ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	31
<i>Гронский В.К., Оргиян А.А.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ВИБРОГАСИТЕЛЕЙ ПРИ ТОНКОМ РАСТАЧИВАНИИ ЖЕСТКАМИ БОРШТАНГАМИ	34
<i>Гусарев В.С., Наддачин В.Б.</i> АВТОМАТИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА ИЗДЕЛИЙ	36
<i>Гусарев В.С., Наддачин В.Б.</i> ОЧЕРЕДЬ ОБЪЕКТОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПОТОКЕ ГПС	42
<i>Гуцаленко Ю.Г., Руднев О.В., Стрельчук Р.М.</i> АЛМАЗНО-ІСКРОВЕ ШЛІФУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТВЕРДИХ МАСТИЛ ЯК ВІДПОВІДЬ ЕКОЛОГІЧНИМ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИМ ВИКЛИКАМ СУЧАСНОСТІ	47
<i>Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К., Степанова И.И.</i> ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПОКРЫТИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ	51
<i>Дерев'янченко О.Г., Євтіфєєв С.Л., Римяк В.І.</i>	

ПОЧАТКОВІ ЕЛЕМЕНТИ ПІДХОДУ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОН УТВОРЕННЯ ТРИЩИН З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФРАКТОГРАФІЇ	56
<i>Дитиненко С.О.</i> ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ПРИ ФІНІШНІЙ АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ	60
<i>Донец С.В., Оргиян А.А.</i> ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШПИНДЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК	63
<i>Калюжный А.Б., Платков В.Я.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТОГО ПОЛИТЕТРАФТОР-ЭТИ- ЛЕНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОКАРБОНАТА НАТРИЯ В КАЧЕСТВЕ ПОРООБРАЗОВАТЕЛЯ	65
<i>Кисилевська А.Ю., Гуров О.Д., Болдусев, О.А.</i> СУЧАСНІ ЗАКОНОДАВЧІ ТА НОРМАТИВНІ ВИМОГИ ДО ПРОЦЕДУР ІНСПЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВАНТАЖОПІДЪЙМАЛЬНИХ КРАНІВ	68
<i>Князев Ю.А., Оргиян А.А.</i> ТОЧНОСТЬ ШПИНДЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК ОТДЕЛОЧНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ	71
<i>Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Кошева Л.В.</i> ОПИТ ІННОВАЦІЙНОГО ВИХОВАННЯ ТАЛАНОВИТОЇ МОЛОДІ	72
<i>Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Боровой І.Б.</i> ОБ'ЄМНА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В РІВНОМІРНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ	80
<i>Коломиец В.В., Антощенко Р.В., Ридный Р.В., Богданович С.А.</i> СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ НОВОЙ ДЕТАЛИ И ВОССТАНОВЛЕННОЙ НАПЛАВКОЙ	85
<i>Костенко В.Л., Кондратьев С.Б., Ядрова М.В., Огиенко М.С.</i> АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА БАЗЕ RASPBERRY PI 3 И STM8L	88
<i>Лавріненко В.І., Пасічний О.О., Солод В.Ю., Тищенко В.А.</i> ДО ПИТАННЯ ВПЛИВУ НА ЗМІНУ КРОКУ МІКРОНЕРІВНОСТЕЙ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ АЛМАЗНІЙ ОБРОБЦІ	90
<i>Ларшин В.П., Новицкая Т.В., Ткаченко Б.О.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПУТЕМ ВЫБОРА ГЛУБИНЫ ШЛИФОВАНИЯ	94
<i>Larshin V.P., Medyuk R.S., Osoba D.O., Lishchenko N.V.</i> TECHNOLOGICAL PROCESSES AND SYSTEMS AUTOMATION METHODOLOGY	97

<i>Lishchenko N.V., Larshin V.P., Buchatsky S.M.</i> COMPUTER-AIDED SUBSYSTEMS FOR GRINDING DESIGNING MONITORING AND DIAGNOSING	101
<i>Логвінков С.М., Борисенко О.М.</i> ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА ПЕРИКЛАЗОШПІНЕЛЬНИХ ВОГНЕТРИВІВ	104
<i>Манохін А.С., Клименко С.А., Копейкіна М.Ю.</i> МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ В ЗОНІ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ ЧИСТОВОМУ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ ІНСТРУМЕНТАМИ З РСВН ГРУП ВН І ВЛ	105
<i>Наддачин В.Б., Рециковец А.М.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ	108
<i>Насакина Е.О., Сударчикова М.А., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г. Копейкина М.Ю., Клименко С.А., Хейфец М.Л.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КАК КОМПОНЕНТА СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	112
<i>Новиков Д.Ф.</i> ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ	115
<i>Новиков Ф.В.</i> ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ	118
<i>Новиков Ф.В., Шкурупий В.Г., Полянский В.И.</i> ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АБРАЗИВНОМ ПОЛИРОВАНИИ	124
<i>Олексійчук О.В., Кисилевська А.Ю.</i> СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО СЕРТИФИКАЦІЇ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕЧНІСТЮ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ В УМОВАХ ТРАНСФОРМАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЗАКОНОДАВЧОЇ ТА НОРМАТИВНОЇ БАЗИ	134
<i>Онофрейчук Н.В.</i> ОРГАНІЗАЦІЙНА КУЛЬТУРА ПІДПРИЄМСТВА, ЇЇ РОЛЬ, МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ	137
<i>Охрімчук Д.М., Волканеско І.І., Баланюк Г.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ ТА НЕРІВНОМІРНОСТІ ПРИПУСКУ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТОЧНОСТНІ ПАРАМЕТРИ	139
<i>Полянский В.И.</i>	

ЗАКОНОМЕРНОСТІ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРИ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЇ ОБРАБОТКЕ	143
<i>Рябенков І.А.</i> УСЛОВІЯ СНИЖЕННЯ СИЛОВОЇ НАПРЯЖЕНОСТІ ПРОЦЕСА ШЛИФОВАНИЯ І ПОВЫШЕННЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТІ ОБРАБОТКИ	149
<i>Савченко М.Ф.</i> РОЗРОБКА НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ МЕТОДАМИ БЕЗПРЕСОВОГО ІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ	154
<i>Сергеев А.С., Андилахай В.А.</i> ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ ЦИЛИНДРОВ	159
<i>Стрельчук Р.М., Шелковой А.Н.</i> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ПОЛЯРНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОДОВ	163
<i>Ткаченко Б.О., Жукова Н.А.</i> ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ФИНИШНЕГО РЕЗЬБОШЛИФОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОЭВМ	167
<i>Федорович В.О., Пижов І.М., Волошкіна І.В.</i> ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНОГО АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ	168
<i>Фесенко А.В., Евсюкова Ф.М., Геймор Н.Н.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АКТИВАЦИИ ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ	174
<i>Харламов Ю.А.</i> ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВЫЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ	178
<i>Шелковий О.М., Феденюк Д.В., Летюк В.І.</i> ІНТЕГРАТИВНІ ТЕНДЕНЕЦІЇ У МЕХАНОСКЛАДАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	182
<i>Ярова І.А., Ямпольський І.І., Свіріденко Л.О.</i> АНАЛІЗ ВИМОГ ВИРОБНИЧОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ СКЛОТЕКСТОЛІТУ	185

НОВЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

(Материалы международной научно-технической
конференции, 23-25 сентября 2020 года, г. Одесса)

Редактор Новиков Ф.В.
Яровой Ю.В.

Подписано в печать 30.10.2020
Формат 60×84
Бумага типографская
Печать офсетная. Уч. изд. л. 11,16
Тираф 100 экз.