

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
ПРИАЗОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Иванов И.Е., Новиков Ф.В., Иванов Е.И.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ОТВЕРСТИЙ
В ГОРЛОВИНАХ БАЛЛОНОВ
НА АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ**

Монография

Мариуполь. Изд. ПГТУ, 2011

УДК 621.922.04
ББК 34.638
И 203

Рецензенты: докт. техн. наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и металлорежущие станки» Национального технического университета «ХПИ» *Сизый Ю.А.*; докт. техн. наук, профессор кафедры «Детали машин и стандартизация» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства *Коломиец В.В.*

Рекомендовано к изданию решением ученого совета Приазовского государственного технического университета

Протокол № 6 от 15.12.2010 г.

Иванов И.Е., Новиков Ф.В., Иванов Е.И

И 203 Высокоэффективная технология изготовления резьбовых отверстий в горловинах баллонов на автоматических линиях. Монография. – Мариуполь: Изд. ПГТУ. – 2011. – 209 с. (Русск. яз.)

Приведены теоретические основы создания прогрессивной технологии изготовления резьбовых отверстий в горловинах баллонов в условиях массового производства. Обоснованы условия повышения точности, качества и производительности механической обработки резьбовых отверстий. Даны практические рекомендации по эффективному использованию разработанной технологии в производстве.

Предназначено для студентов, аспирантов и лиц, углубляющих свои знания в технологической области. Может быть использовано преподавателями вузов.

Наведено теоретичні основи створення прогресивної технології виготовлення різьбових отворів у горловинах балонів в умовах масового виробництва. Обґрунтовано умови підвищення точності, якості й продуктивності механічної обробки різьбових отворів. Дано практичні рекомендації з ефективного використання розробленої технології у виробництві.

Призначено для студентів, аспірантів та осіб, що поглиблюють свої знання в технологічній галузі. Може бути використано викладачами вузів.

ISBN 978-966-604-065-0

УДК 621.922.04
ББК 34.638

© ГВУЗ Приазовский государственный технический университет, 2011
Иванов И.Е.
Новиков Ф.В.
Иванов Е.И.

ВВЕДЕНИЕ

При изготовлении баллонов в условиях массового производства на высокопроизводительных автоматических линиях возникает ряд сложных задач по обеспечению точности и стабильности механической обработки отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов, изготовленных из легированной стали 30ХМА. Потери от брака в связи с низким качеством конической резьбы в отверстиях остаются достаточно высокими – на уровне 15%. Это связано, во-первых, с тем, что в процессе закатывания (методом пластического деформирования) горловины баллона образуется отверстие диаметром 6...16 мм со значительной начальной некруглостью, во-вторых, в сложности точной установки баллона на станке в условиях массового производства. Это приводит к несоосности баллона и шпинделя станка, увеличению неравномерности снимаемого припуска. В результате нарушается равновесие сил резания, которые действуют на режущие лезвия осевого многолезвийного инструмента, деформируются элементы технологической системы и возникают разного рода погрешности обработки отверстия, которые сложно устранить на переходах рассверливания, зенкерования и развертывания, которые предшествуют переходу нарезания конической резьбы метчиком.

Исходя из этого, сделан вывод о необходимости повышения точности обработки отверстия на переходах, которые предшествуют переходу нарезания конической резьбы, за счет уменьшения или даже исключения случайных погрешностей обработки, обусловленных упругими перемещениями в технологической системе. Для решения данной задачи важно математически определить величину упругого перемещения через параметры обработки и теоретически обосновать наиболее эффективные пути ее уменьшения, что собственно, и должно стать основанием разработки нового прогрессивного технологического процесса изготовления отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов. Однако, анализ литературных источников показал, что величина упругого перемещения, как функция силы резания, традиционно математически описывается в виде эмпирических зависимостей, которые в сравнении с аналитическими зависимостями не дают общего представления о технологических возможностях процесса обработки и существенно сужают диапазон возможных решений. Поэтому важно разработать математическую модель определения величины упругого перемещения в технологической системе и соответственно погрешностей обработки на основе аналитического описания силы резания при механической обработке отверстия. Это позволит научно обоснованно подойти к структурно-параметрическому анализу и синтезу технологического процесса, выбору оптимального маршрута и параметров обработки, прогрессивной схеме ба-

зирования заготовок баллонов и в целом – к разработке эффективного технологического процесса изготовления отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов.

В связи с этим в работе проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований и установлено, что в обобщенном виде погрешности обработки отверстия могут быть аналитически описаны величиной смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения. Основными условиями ее уменьшения являются: уменьшение условного касательного напряжения резания, равного отношению равнодействующей нормальной и осевой составляющих силы резания к площади поперечного сечения среза; увеличение жесткости технологической системы и угла сверла в плане; уменьшение несоосности обрабатываемого отверстия и режущего инструмента, а также применение многопереходной обработки отверстия, включающей переходы сверления, зенкерования и развертывания.

В работе аналитически описана возникающая при рассверливании погрешность формы отверстия, которая обусловлена разностью глубин резания, приходящихся на оба лезвия сверла. Теоретически установлено, что погрешности обработки отверстия по двум взаимно перпендикулярным осям отличаются и определяются главным образом величиной отклонения между осями обрабатываемого отверстия горловины баллона и сверла. Этим показано, что при рассверливании отверстия с неравномерно снимаемым припуском имеют место значительные погрешности размера и формы обработанного отверстия, устранить которые можно на последующих переходах финишной обработки.

Аналитически описаны основные параметры силовой напряженности процесса резания при сверлении (условное напряжение резания, коэффициент резания, составляющие силы резания и крутящий момент) с учетом переменности рабочего переднего угла сверла вдоль его лезвия вследствие различной длины винтовой линии, образованной точками лезвия. Это позволило, во-первых, определить длины участков лезвия, реализующие процесс резания и процесс упруго-пластического деформирования обрабатываемого металла без образования стружки. Во-вторых, привести в соответствие теоретические и экспериментальные данные по параметрам силовой напряженности процесса сверления. В-третьих, определить условия уменьшения условного касательного напряжения резания и соответственно погрешностей обработки отверстия, которые состоят главным образом в увеличении коэффициента резания, равного отношению тангенциальной составляющей силы резания к равнодействующей нормальной и осевой составляющих силы резания.

Аналитически определена жесткость технологической системы и показано, что она в одинаковой степени зависит от изгибных жесткостей сверла и горловины обрабатываемого баллона. Из этого сделан вывод о том, что добиться увеличения жесткости технологической системы мож-

но при условии превышения изгибной жесткости горловины обрабатываемого баллона над изгибной жесткостью сверла. Это достигается применением эффективной схемы базирования заготовки баллона. Жесткость технологической системы в данном случае будет определяться изгибной жесткостью сверла, зависящей от его длины и диаметра.

Теоретически обоснована эффективность применения схемы базирования заготовки баллона по кромке, образованной пересечением наружной цилиндрической и торцовой поверхностей горловины баллона. Она повышает жесткость горловины баллона, фактически исключает погрешности базирования в радиальном направлении, а возникающее смещение торца баллона в осевом направлении позволяет достаточно просто устранить применением системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки. Показано, что для осуществления данной схемы базирования необходимо обеспечить перпендикулярность наружной цилиндрической и торцовой поверхностей, а также концентричность наружной и внутренней цилиндрических поверхностей горловины баллона путем совмещения их обработки. Это достигается применением специальной инструментальной головки, содержащей сверло, проходной и подрезной резцы.

На основе структурно-параметрического анализа и синтеза разработан эффективный технологический процесс механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона, реализующий оптимальный маршрут обработки с применением новых технических решений: прогрессивной схемы базирования – по кромке торца горловины баллона с помощью базирующего конуса (обеспечивающего материализацию оси баллона); разработанной конструкции специальной инструментальной головки, обеспечивающей концентрацию переходов и создание чистовой технологической базы; разработанной системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки и специального приспособления для ее точного установления, кондуктора для повышения жесткости технологической системы. Оптимальный маршрут обработки включает пять переходов: на первом переходе производится одновременная обработка поверхностей, обеспечивающих базирование горловины баллона, на втором, третьем, четвертом и пятом переходах – сверление, зенкерование и развертывание отверстия, нарезание в нем конической резьбы. Разработанный новый технологический процесс позволяет существенно снизить отрицательное влияние несоосности цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки, а также отклонение торца горловины баллона от основной поверхности на параметры точности обрабатываемого отверстия.

Проведен комплекс экспериментальных исследований погрешностей базирования баллонов и обработанных в них отверстий. Установлено, что отклонение оси цилиндрической части баллона от оси шпинделя инструментальной головки в базовом технологическом процессе до-

стигает значительной величины 0,8...2,2 мм. Это является основной причиной появления неравномерности припуска. Доказано, что величина отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после расверливания и разность наибольшего диаметра обработанного отверстия и диаметра сверла фактически равны. Это хорошо согласуется с теоретическими результатами и свидетельствует о достоверности разработанной математической модели формирования погрешностей отверстия при механической обработке, которая учитывает неравномерность снимаемого припуска и упругие перемещения в технологической системе.

Установлена связь между процентом брака баллонов по качеству нарезания конической резьбы и отклонением оси горловины баллона от оси отверстия при расверливании и зенкеровании, которая является основой определения оптимальных условий обработки. Произведена экспериментальная оценка качества нарезанной конической резьбы в отверстиях партии баллонов по разработанному технологическому процессу обработки. Установлено, что лишь у 1,31% обработанных баллонов была нарезана некачественная коническая резьба, тогда как при обработке по базовому технологическому процессу выявлено 15,5% баллонов с некачественно нарезанной резьбой. Следовательно, применение разработанного технологического процесса позволило существенно уменьшить потери от брака по резьбе и привести их к экономически приемлемому для производства уровню.

Теоретически определена длина хода метчика в направлении подачи, обеспечивающая формирование качественной конической резьбы. Аналитически установлена связь координаты положения основной плоскости конического отверстия в осевом направлении с количеством витков нарезаемой конической резьбы. Теоретически показано, что обеспечение заданной точности положения основной плоскости конического отверстия в осевом направлении в пределах $\pm 0,15$ мм позволит нарезать 9–10 витков резьбы и тем самым выполнить требования по качеству ее нарезания.

Произведен расчет припусков и оптимальных параметров режимов резания для каждого технологического перехода, что позволило минимизировать время обработки для заданной стойкости режущих инструментов. Произведен также расчет параметров станочного приспособления, обеспечивающего устойчивость баллона в процессе обработки.

Разработанный технологический процесс механической обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов внедрен в ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича». Благодаря его применению обеспечивается повышение точности обработки отверстий и качества нарезанной в них конической резьбы без увеличения времени обработки баллона, существенно снижены потери от брака баллонов по резьбе и расход режущих инструментов.

РАЗДЕЛ 1

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЛЛОНОВ В УСЛОВИЯХ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

1.1. Анализ действующих технологических процессов изготовления баллонов в условиях массового производства

1.1.1. Технические требования, предъявляемые к качеству изготовления баллонов. В настоящее время для нужд различных отраслей производства и сфер обслуживания производится большой ассортимент различных баллонов: автомобильные – применяемые в автомобильной промышленности, бытовые – для бытовых нужд населения, углекислотные – применяемые в пищевой промышленности, кислородные – применяемые в медицине, а также для сварки и резки металла, баллоны-огнетушители, которые применяются для пожаротушения. Наибольшую долю в общем производстве баллонов занимают автомобильные баллоны (рис. 1.1). В странах СНГ они выпускаются в ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» и Уральском металлургическом заводе. Причем, производственных мощностей ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» достаточно для производства автомобильных баллонов для нужд Украины и стран СНГ.

Автомобильный баллон представляет собой емкость для транспортировки газа, находящегося в сжатом состоянии. Сжимаемые газы имеют высокие значения теплоты сгорания ($Н_{и} = 23 - 37,5 \text{ МДж/м}^3$), обычно состоят из смеси метана, свободного водорода, окиси углерода, а также негорючих газов: азота, углекислого газа, кислорода и др. При нормальной температуре газы могут быть сжаты до высокого давления (20 МПа) без перехода в жидкость. Поэтому автомобильные баллоны рассчитаны на высокое рабочее давление 19,6 МПа и объем 50 литров, изготавливаются из легированной (конструкционной хромомолибденовой) стали марки 30ХМА ГОСТ 4543-71. Данная сталь – высококачественная, содержит в своем химическом составе углерод (С) – 0,3% и менее 1,5% легирующих элементов (хрома и молибдена), табл. 1.1.

Таблица 1.1

Химический состав стали 30ХМА (в процентах)

С	Mn	Si	S	P	Сч	Mo
0,26–0,33	0,40–0,70	0,17–0,37	≤0,025	≤0,025	0,80–1,10	0,15–0,25

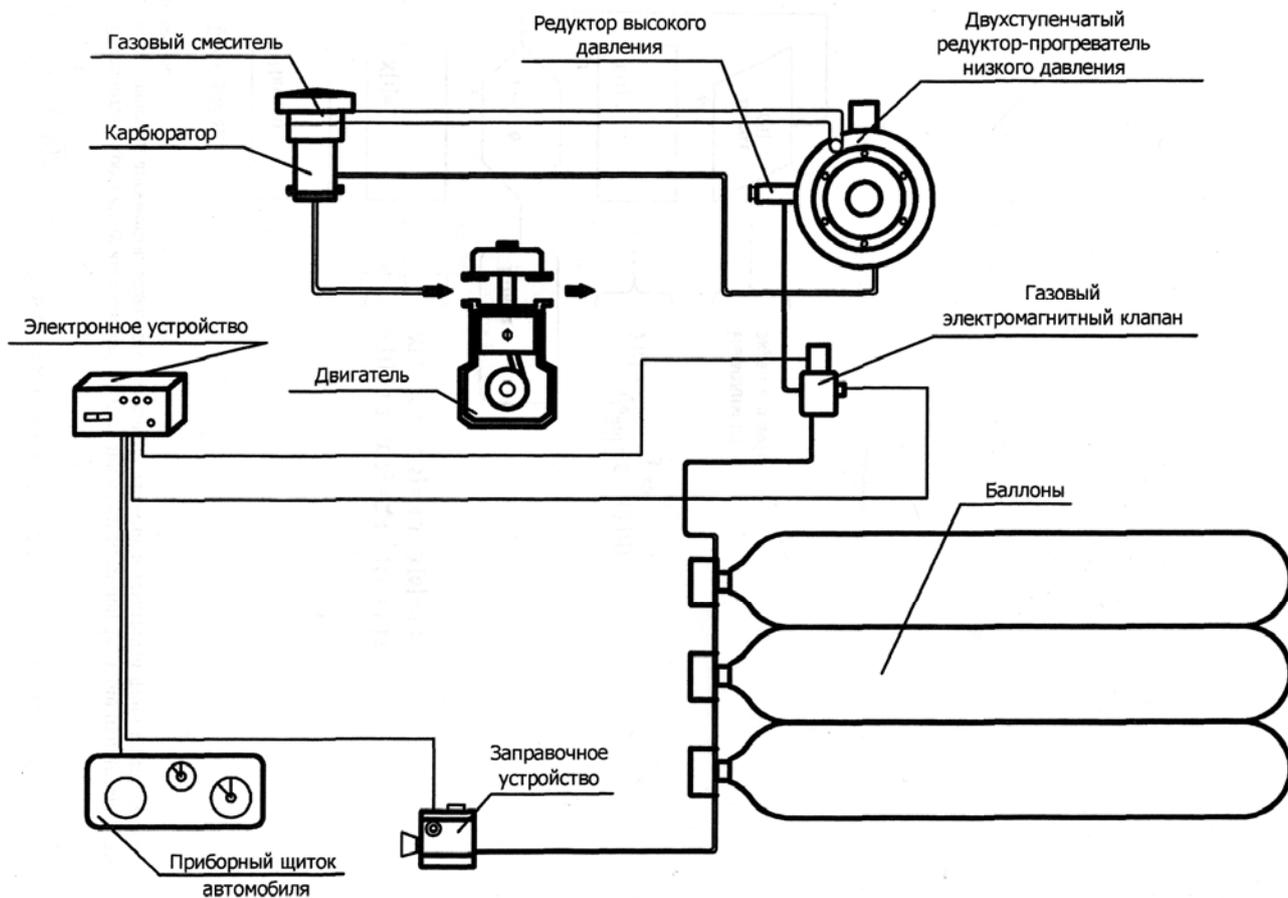


Рис. 1.1. Схема автомобильной газовой топливной системы

Баллоны изготавливаются из стальных бесшовных труб путем последовательной закатки днища и горловины. Для этого используют стальные бесшовные трубы по ТУ 14-242-209-82 или трубы импортной поставки по ГОСТ 8732-78 и ГОСТ 8731-74 с дополнительными техническими требованиями. Баллоны должны соответствовать «Правилам устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением». С этой целью баллоны подвергают термообработке, обеспечивая требуемый уровень механических свойств стали 30ХМА (ГОСТ 4543-71), табл. 1.2.

Таблица 1.2

Механические свойства и условия термической обработки стали 30ХМА

Термическая обработка				Механические свойства			
закалка		отпуск		σ_T	σ_B	σ_B	a_H
темпе- ратура	среда охлаж- дения	темпе- ратура	среда охлаждения	МПа		%	кДж/м ²
880 ⁰ С	масло	550 ⁰ С	масло или вода	735	932	12	883

Основным конструктивным элементом баллона является вентиль, который служит для заполнения газом баллона, а также для «открывания» и «закрывания» подачи топлива.

1.1.2. Действующий технологический процесс изготовления баллонов и его недостатки. Существуют различные маршруты изготовления баллонов, однако в итоге они сводятся к нескольким типовым, которые и положены в основу технологических процессов, используемых в ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» (табл. 1.3) и Уральском металлургическом заводе.

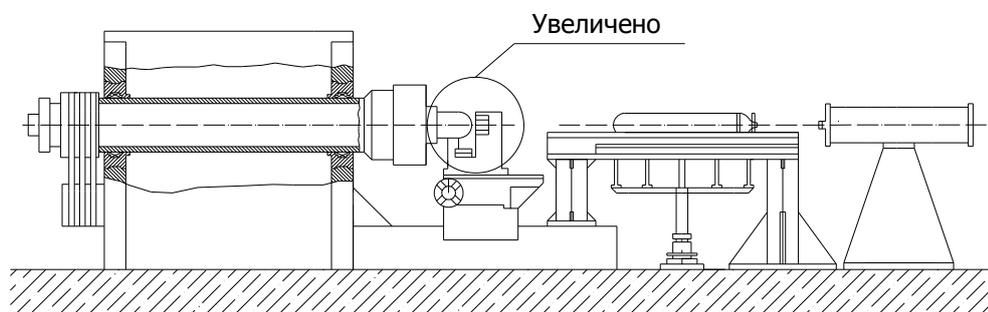
Таблица 1.3

Основные технологические операции

№ п/п	Наименование операции
1	Приемка и подготовка труб
2	Подача пакета на приемную решетку и разборка
3	Поштучная подача труб для входного контроля:
4	Контроль соответствия марки стали
5	Контроль наружного диаметра
6	Контроль толщины стенки
7	Контроль качества металла УЗД, наружной и внутренней поверхности труб
8	Визуальный 100%-ный контроль наружной поверхности труб
9	Ремонт наружной поверхности труб (при необходимости)
10	Контроль толщины стенки в месте ремонта (ручной)
11	Разрезка труб на баллонные заготовки, удаление грата
12	Визуальный контроль внутренней поверхности заготовок
13	Ремонт внутренней поверхности заготовок (при необходимости)
14	Контроль толщины стенки в месте ремонта (ручной)
15	Клеймение технологической маркировки
16	Нагрев первого конца заготовки
17	Закатка днища
18	Перенесение на днище технологической маркировки, клейма ОТК и нанесение клейма вальцовщика
19	Удаление отставшей окалины из внутренней поверхности заготовки
20	Охлаждение заготовки
21	Нагрев второго конца заготовки
22	Закатка горловины
23	Охлаждение баллона
24	Предварительная механическая обработка горловины
25	Удаление из баллона стружки, окалины и СОЖ

26	Продувка баллона сжатым воздухом
27	Визуальный контроль обработанной поверхности горловины
28	Нагрев и закалка
29	Отпуск
30	Зачистка участка поверхности баллона для замера твердости
31	Замер и клеймение твердости материала баллонов. Отбор баллонов для механических испытаний и вырезка из них проб
32	Промежуточное складирование баллонов. Дробеметная очистка наружной поверхности баллонов. Визуальный осмотр. Ремонт (при необходимости). Дробеструйная очистка внутренней поверхности
33	Контроль толщины стенки в месте ремонта (ручной)
34	Окончательная механическая обработка горловин
35	Удаление из баллона стружки и СОЖ
36	Продувка сжатым воздухом
37	Визуальный осмотр резьбы. Контроль резьбы гладкими и резьбовыми калибрами
38	Удаление из горловины баллона сломанного инструмента, ремонт резьбы (при необходимости)
39	Гидроиспытание и сушка. Продувка баллона очищенным от влаги и масла сжатым воздухом
40	Электрозаварка центральной части днища (при необходимости)
41	Визуальный контроль внутренней поверхности баллонов
42	Пневмоиспытание
43	Электрозаварка центральной части днища (при необходимости)
44	Контроль наружного диаметра
45	Визуальный контроль наружной поверхности баллонов
46	Сушка баллонов
47	Ремонт баллонов (при необходимости). Контроль толщины стенки в местах ремонта (ручной)
48	Определение массы баллонов. Определение объема баллонов
49	Клеймение паспорта
50	Визуальный контроль паспорта
51	Исправление (при необходимости) паспорта вручную
52	Установка технологической подвески
53	Подготовка баллонов под окраску
54	Окраска и сушка
55	Нанесение надписи «метан» и сушка
56	Визуальный контроль качества окраски
57	Съем технологической подвески
58	Запрессовка пробки
59	Пакетирование баллонов
60	Складирование пакетов баллонов. Погрузка пакетов баллонов

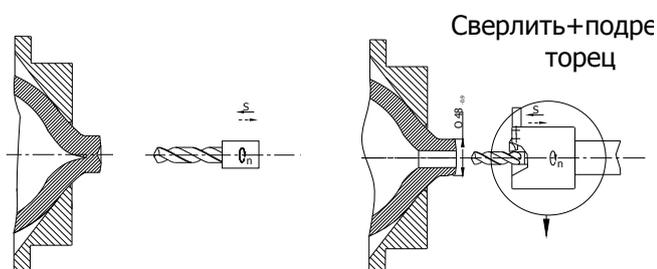
1. Контроль трубы (марка стали, наружный диаметр, толщина стенки, сплошность и др.)
2. Разрезка труб на заготовки плазмотороном, подрезка торцев.
3. Закатка днищ и горловин с предварительным нагревом $t=1150-1200^{\circ}\text{C}$, длина нагреваемой части 200-250мм.



4. Предварительная механическая обработка

Позиция 1

Позиция 2

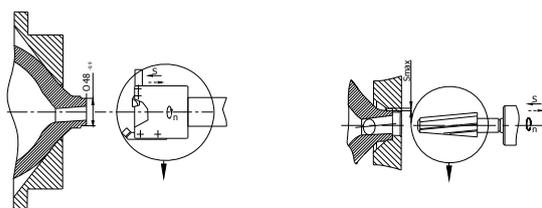


5. Контроль механических свойств.

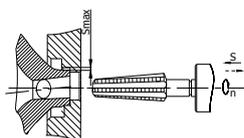
6. Окончательная механическая обработка

Позиция 3

Позиция 4



Позиция 5



7. Гидроиспытания баллонов на прочность.
8. Пневмоиспытания баллонов на герметичность.
9. Контроль ОТК.
10. Окраска наружной поверхности баллона.

Рис. 1.2. Основные технологические операции изготовления баллона

Необходимо отметить, что все производство автомобильных баллонов – массовое и конвейерное, характеризуется применением автоматических и поточных механизмов. Как отмечалось выше, баллоны изготавливаются из трубного проката. В процессе проката стенки трубы подвергаются многократному уплотнению между валками прокатных станов (рис. 1.2). Это придает заготовкам высокую прочность и герметичность даже при небольшой толщине стенки баллона, а также способствует уменьшению веса баллона.

В Приложении А описаны прогрессивные технологии обработки металлов методами пластического деформирования, используемые для производства газовых баллонов.

Поступающие в цех горячекатаные трубы (с температурой нагрева металла 400 – 900⁰С) разрезают на трубрезных станках для резки труб на мерные заготовки длиной 1707 – 1713 мм. Для этого применяют отрезные резцы с напайными твердосплавными пластинками. Рекомендуемые режимы резания: подача – 0,15 мм/об, передний угол резца – 15⁰, задний угол резца – 7⁰, ширина напайной твердосплавной пластинки – 6 мм. После резки производится последовательный нагрев и закатка днища и горловины баллона в закатных машинах методами пластического деформирования. В соответствии с чертежом заготовки баллона диаметр цилиндрической части горловины равен 50 мм, т.е. толщина стенки после закатки для смыкания должна быть равна 50 / 2 = 25 мм.

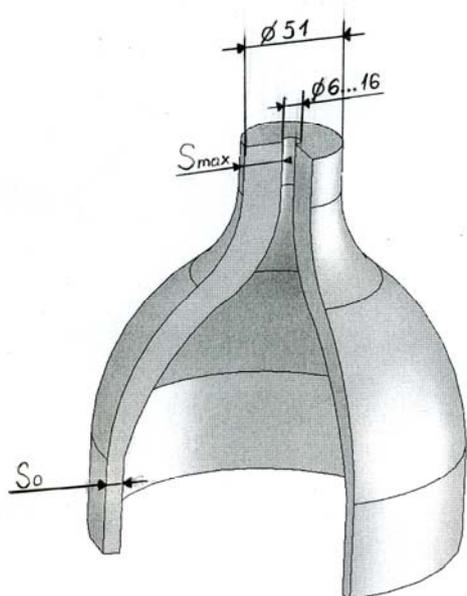


Рис. 1.3. Горловина баллона после закатки

Для оценки наибольшего набора металла при обкатке горловины вблизи центра стыка используются предложенные в работах Капоровича В.Г., Смирнова В.С., Соколовского В.В. [35, 97, 99] следующие зависимости: $S_{max} / S_0 = 2,5...3,5$ при $D / S_0 = 40...20$, где S_{max} – максимальная толщина стенки после закатки, мм; S_0 – толщина стенки трубы до закатки, мм; D – диаметр трубы, мм (рис. 1.3).

При поставке труб из стали 30ХМА, диаметром $\varnothing 219$ мм и толщиной $S_0 = 6$ мм, действительные размеры находятся в следующих пределах: $D = 216,8...221,2$ мм; $S_0 = 5,5...7,3$ мм. С учетом приведенных зависимостей можно сделать вывод, что при формообразовании практически не возможно обеспечить смыкание стенок в горловине баллона, т.к. $S_{max} = 13,75...25,5$ мм при необходимом размере $S_{max} = 24,0...25,0$ мм. Поэтому, при формообразовании горловины баллона вблизи центра стыка образу-

ется отверстие неправильной формы диаметром от 6 мм до 16 мм (см. рис. 1.3). Таким образом, в процессе закатки не удастся получить достаточно точных размеров горловины баллона (рис. 1.4), что отрицательно сказывается на качестве изготовления в ней отверстия с конической резьбой, предназначенного для ввинчивания вентиля.



Рис. 1.4. Горловины баллонов в разрезе

Согласно техническим требованиям, вентиль должен плотно ввинчиваться в отверстие и не допускать подтравливания газа из баллона, т.к. это может привести к его воспламенению и взрыву. Поэтому предусмотрено нарезание в отверстии конической резьбы типа $w27,8$ (по ГОСТ 9909-81) для баллонов среднего

объема. Количество витков резьбы с полным профилем в горловине должно быть не менее 8. Однако, стабильно выполнить указанные технические требования весьма сложно. Это связано с несовершенством действующего технологического процесса механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона. По имеющимся данным, именно при нарезании конической резьбы в горловине баллонов потери от брака достигают чрезвычайно высокого уровня – 15,5%. Технологический процесс изготовления баллонов является типичным для деталей такого вида, его характеристики приведены в табл. 1.4 и на рис. 1.5. Технологический маршрут обработки был разработан в соответствии с таблицами экономической точности обработки [101] для всех обрабатываемых поверхностей, начиная с самой точной и кончая самой неточной поверхностями, табл. 1.5. В дальнейшем действующий технологический процесс (см. табл. 1.4) был изменен. При сверлении вместо сверла $\varnothing 21$ мм предложено использовать сверло $\varnothing 22$ мм, а переход зенкерования отверстия был заменен на переход развертывания с применением конической развертки. Однако, добиться снижения потерь от брака баллонов этим не удалось.

Анализ действующего технологического процесса позволил вскрыть его недостатки, состоящие в том, что базовые приспособления установлены на станинах несоосно со шпинделем станка и зачастую плохо закреплены. Это приводит к перекосу инструмента и баллона, а отсюда и к частым поломкам, большому биению инструмента, износу направляющих станины станка. Кроме того, выбранные базовые поверхности создают значительные погрешности базирования. Так, если у обрабатываемого баллона пояс выполнен с наименьшим допуском, т.е. диаметр пояса равен 47,1 мм, или эксцентриситет пояса относительно

наружной поверхности баллона составляет в среднем 0,64 мм, то погрешность установки баллона в приспособлении равна 1,5 – 1,7 мм. Это приведет к тому, что отверстие в баллоне в данном случае будет обработано не по центру горловины и из-за этого иметь овальную форму.

Таблица 1.4

Характеристики технологического процесса обработки

№ п/п	Содержание переходов	Инструмент	Диаметр обработки, мм	Длина обработки, мм	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Частота вращения, об/мин
1	Зацентровать торцы горловины сверлом $\varnothing 32$ мм	сверло 2301-0113 ГОСТ10903-77	32	14	18,1	0,28	180
2	Сверлить отверстие $\varnothing 21$ мм	сверло 2301-0073 ГОСТ10903-77	21	30	16,5	0,2	250
3	Подрезать торец начерно	резец АМ 14976-503	46	4+1	43,3	0,2	250
4	Обточить поясok $\varnothing 46_{-0,3}$ мм с чистовой подрезкой торца в размер $10_{+0,5}$ мм	резец АМ 14976-502,	55	10+1	43	0,2	250
		резец АМ 14976-503	46/25,4	1	36		250
5	Зенкеровать конус отверстия под резьбу коническую $w27,8$ мм ГОСТ 9909-70	зенкер конический АС14976-500.501	25,4/21		10	0,4	125
6	Нарезать резьбу $w27,8$ мм	метчик АР-2-497	27,8	17,667	3,75	1,814	43

Таблица 1.5

Методы обработки поверхностей горловины баллона

№ п/п	Наименование или обозначение поверхности	Квалитет	Шероховатость	Индекс	Метод получения
1	Поверхность конического отверстия с резьбой $W27,8$	H12	12,5	0	заготовка
		H9	3,2	1	сверление
				2	развертывание
		H6		3	нарезание резьбы
2	Поверхность $\varnothing 48^{0,9}$ h12		6,3	0	заготовка
				1	обтачивание однократное

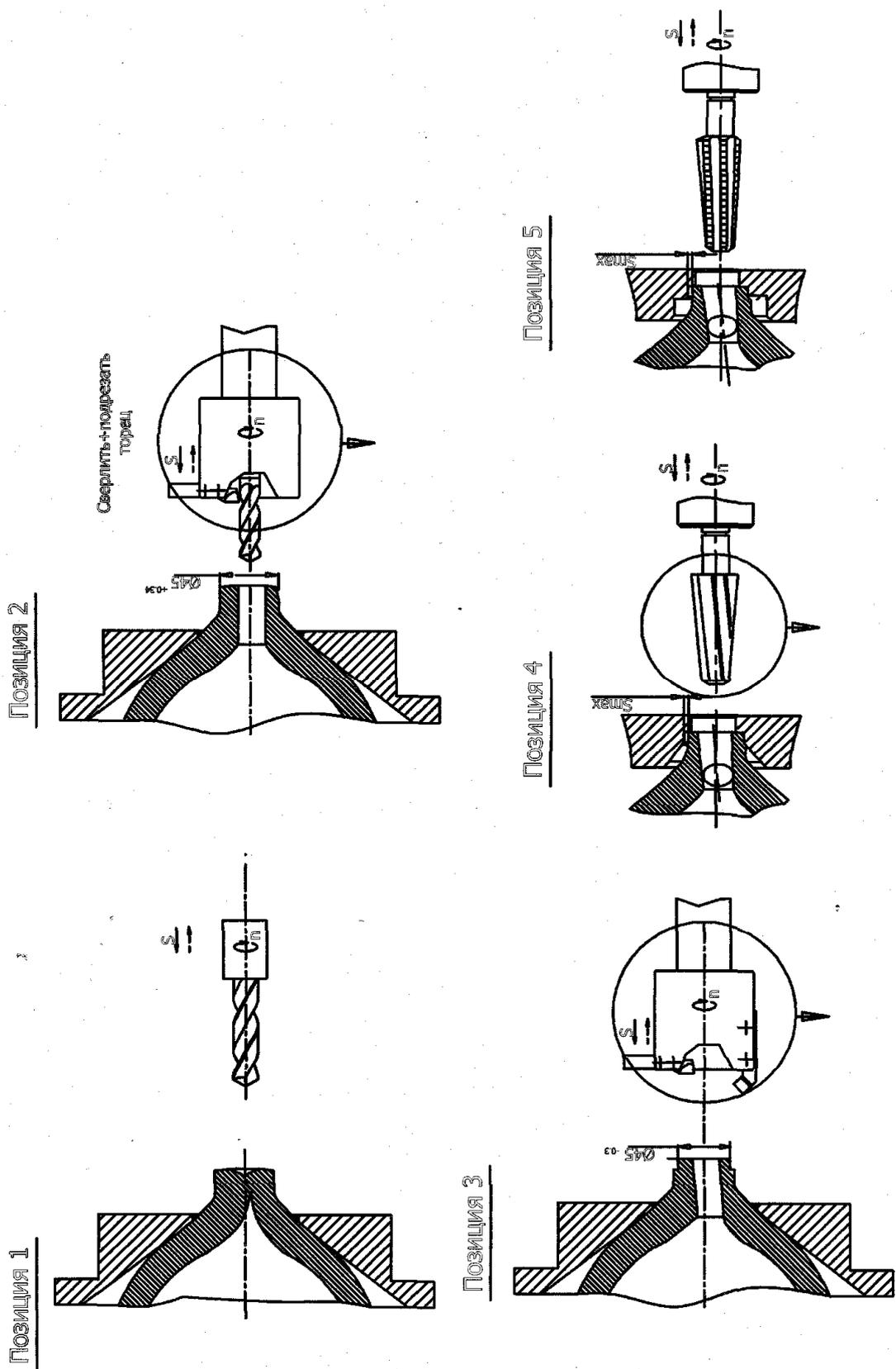


Рис. 1.5. Действующий (базовый) технологический процесс механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона

Следует отметить, что при сверлении отверстия наблюдаются частые поломки сверл, особенно в начальный момент обработки. Это может быть связано с неравномерным снимаемым припуском, поскольку производится обработка отверстия с начальной значительной некруглостью.

После термической обработки перед развёртыванием отверстия, чтобы снять окалину, поясok ещё раз обрабатывается. Однако, это приводит к появлению новых погрешностей, влияющих в ещё большей степени на дальнейшую обработку. Зачастую при развёртывании применяется нестандартный режущий инструмент, изготовленный из сверла. Кроме того, из-за отклонения торца горловины от базовой поверхности после обработки на первом переходе наблюдается колебание высоты горловины, что приводит к появлению брака при развёртывании и особенно при нарезании резьбы. Чтобы как-то этого избежать, оставляют большие припуски под резьбу, что приводит к заклиниванию метчика и его поломке. Из этого можно заключить, что выбранные в действующем технологическом процессе схемы базирования приводят к значительным погрешностям, а именно: отклонению оси отверстия от оси наружного диаметра горловины; отклонению от перпендикулярности торца и оси наружного диаметра горловины. Поэтому достижение заданной точности обработки требует изменения схемы базирования баллона и увеличения жесткости и точности технологической системы.

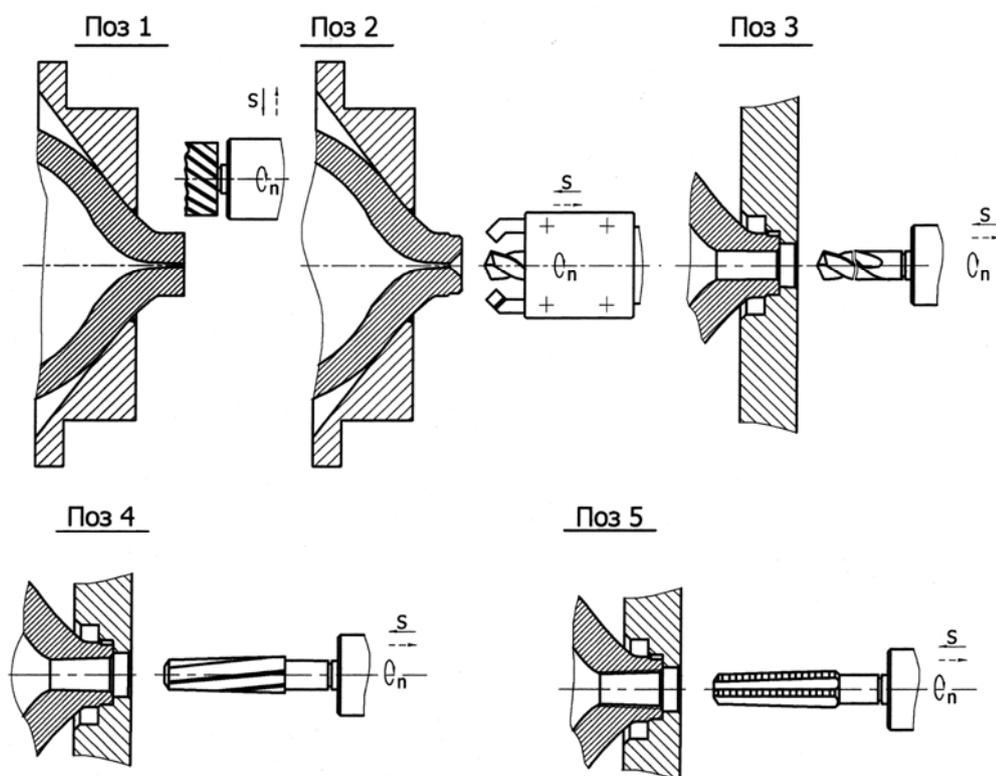


Рис. 1.6. Технологический процесс механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона

Известен способ механической обработки горловины баллона, заключающийся в том, что торец горловины баллона подрезается не резцом в комплексной операции, а отдельно фрезой. С использованием данного способа обработки был разработан новый технологический процесс, рис. 1.6. Однако, его применение не устранило основных недостатков действующего (базового) технологического процесса и, следовательно, не снизило потерь от брака обработки. Всё сказанное выше свидетельствует о необходимости исследования причин, вызывающих высокий процент брака при механической обработке резьбовых отверстий в горловинах баллонов, и создания более совершенного технологического процесса, исключаящего эти причины. Внедрение разработанного технологического процесса на автоматической линии в баллонном цехе ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» позволит решить актуальную проблему снижения потерь от брака изготавливаемых баллонов.

1.2. Анализ путей повышения качества нарезаемой конической резьбы в условиях массового производства

Проблеме резьбонарезания в научно-технической литературе уделено очень большое внимание [5, 21, 44, 47, 56, 57, 59 – 61, 96, 101, 110]. Это связано с тем, что процессы резьбонарезания являются наиболее сложными из всех применяемых на практике процессов резания металлов. Вместе с тем они достаточно хорошо изучены [9, 20, 84], разработаны типовые технологические процессы резьбонарезания, получившие широкое использование и обеспечивающие требуемые параметры точности, качества и экономичности обработки.

В связи с этим возникает вопрос: почему использование типового технологического процесса нарезания конической резьбы в отверстиях горловины баллона, разработанного на основе таблиц экономической точности обработки [101] для всех обрабатываемых поверхностей, не позволило обеспечить требуемые параметры точности конической резьбы и привело к значительным потерям от брака изготавливаемых баллонов. По-видимому, это связано с тем, что типовой технологический процесс разрабатывался применительно к изготовлению резьбового отверстия в сплошном обрабатываемом металле. В данном же случае, после закатки днища и горловины баллона, в горловине образуется отверстие с начальной значительной некруглостью, которое при механической обработке необходимо рассверлить и нарезать в нем коническую резьбу. В условиях крупносерийного и массового производства, несомненно, имеет место значительный разброс размеров отверстий после закатки. В результате случайный фактор приобретает доминирующее значение в процессе обработки, что может стать основной причиной низкой точности обработки отверстия в горловине баллона и нарезания в нем конической резьбы.

Как известно [6, 21, 109, 120], все погрешности обработки условно делятся на систематические и случайные. К систематическим погрешностям можно отнести погрешности, связанные с неточностью и износом станка, приспособления инструмента, в том числе под действием теплового фактора обработки, а также погрешности теоретической схемы обработки. Случайные погрешности обусловлены колебаниями припуска и механических характеристик снимаемого слоя металла. Очевидно, исключить систематические погрешности обработки проще, чем случайные, т.к. первые связаны с периодической настройкой станка, приспособления и инструмента, а вторые – с процессом обработки и характеристиками упругой системы станка.

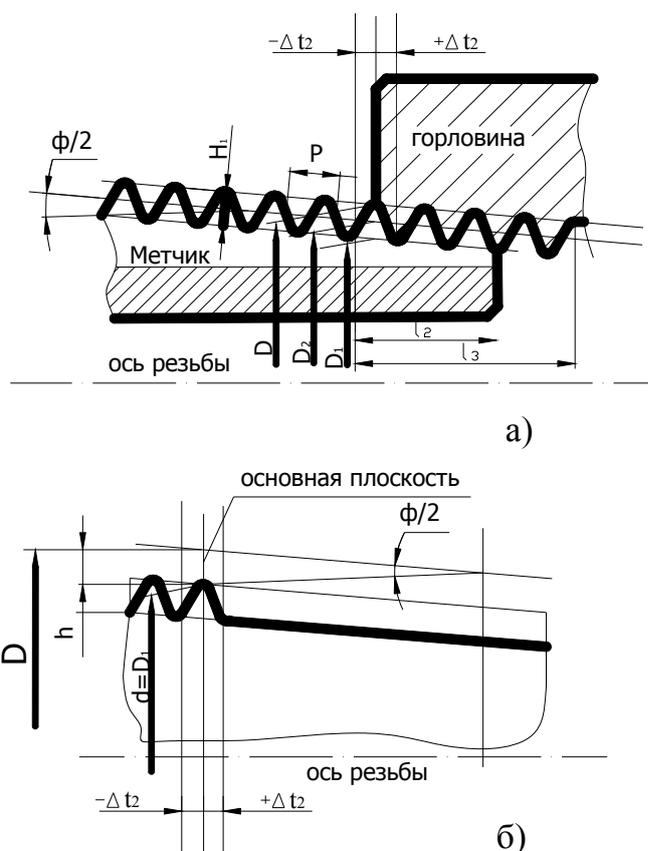


Рис. 1.7. Схема формирования профиля конической резьбы w27,8 в отверстии горловины

диаметра отверстия может привести к образованию неполного профиля резьбы и ослаблению резьбы. Если же диаметр отверстия меньше номинального значения, то увеличится снимаемый припуск, а это может привести к срыву резьбы или заклиниванию метчика в отверстии и его поломке. В итоге будет образовываться некачественная коническая резьба. Можно предположить, что проявление в процессе нарезания конической резьбы в отверстиях горловин баллонов именно этих факторов

Поэтому для исключения случайных погрешностей важно раскрыть физическую сущность формирования параметров точности обработки отверстия под влиянием упругих перемещений, возникающих в технологической системе, неравномерности снимаемого припуска, колебаний механических характеристик обрабатываемого материала и т.д.

Необходимо отметить, что ГОСТ 9909-81 не регламентирует допуск на диаметр отверстия под коническую резьбу, накладывается ограничение на осевое смещение основной плоскости Δl_2 резьбы (рис. 1.7) от ее номинального расположения. Хотя, очевидно, точность отверстия под коническую резьбу будет оказывать существенное влияние на качество нарезаемой резьбы. Так, превышение номинального

предопределило значительные потери от брака по резьбе (15,5%).

На рис. 1.7 приняты следующие обозначения: $\varphi/2$ – угол уклона резьбы ($\varphi/2 = 3^\circ 26' 2''$; $\text{tg } \varphi/2 = 0,06$); H_1 – рабочая высота профиля по нормали к образующей ($H_1 = 1,161553$ мм); P – шаг резьбы ($P = 1,814$ мм); D – наружный (номинальный) диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D = 27,8$ мм); D_1 – внутренний диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D_1 = 25,472$ мм); D_2 – средний диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D_2 = 26,636$ мм); l_2 – длина наружной резьбы на вентиле ($l_2 = 17,667$ мм); l_3 – длина резьбы в горловине, не регламентируется; Δl_2 – осевое смещение основной плоскости от ее номинального расположения ($\Delta l_2 = \pm 1,5$ мм).

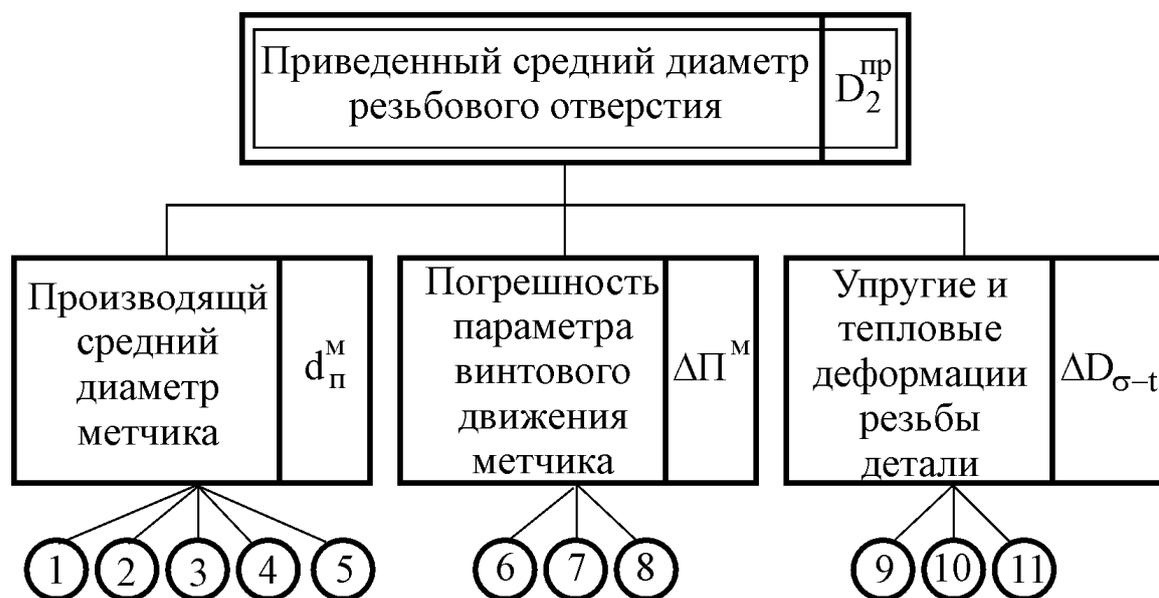


Рис. 1.8. **Схема влияния конструктивных и технологических факторов на размер нарезаемой резьбы метчиками (по В.В. Матвееву)**

Условные обозначения: 1 – собственно средний диаметр резьбы метчика; 2 – отклонения шагов резьбы метчика от номинала; 3 – отклонения половины углов профиля резьбы метчика от номинала; 4 – упругие деформации метчика при работе; 5 – тепловые деформации метчика при работе; 6 – радиальные перемещения оси метчика; 7 – радиальные перемещения оси отверстия; 8 – погрешности перемещения метчика по шагу; 9 – упругие деформации резьбы детали (радиальные); 10 – тепловые деформации резьбы детали (радиальные); 11 – тепловые деформации резьбы вдоль оси

Вопросам формирования погрешностей резьбонарезания мерным инструментом посвящены многие работы. Наиболее полно эти вопросы рассмотрены проф. Матвеевым В.В. [56, 57]. Он впервые предложил схему влияния различных факторов на размер резьбового отверстия, образуемого метчиком, через три обобщенных фактора. Данная схема в

укрупненном виде приведена на рис. 1.8. Поэтому при исследовании процессов обработки необходимо из всего указанного перечня факторов определить основные, в наибольшей степени влияющие на формирование погрешностей резьбы.

1.3. Особенности обработки отверстий с начальной значительной некруглостью в условиях массового производства

Высокий уровень брака по нарезанию резьбы в отверстиях горловины баллона, как показано в предыдущем параграфе, может быть обусловлен относительно низкой точностью обработки отверстия с начальной значительной некруглостью (после закатки днища и горловины баллона в закатных машинах методами пластического деформирования). К данному выводу можно также прийти, анализируя работы [39, 65], посвященные исследованию формирования погрешностей при обработке отверстий с неравномерным снимаемым припуском. В этих работах показано, что вследствие неуравновешенности сил, действующих на режущие зубья осевого инструмента, будет иметь место его изгиб. Это приведет к смещению оси отверстия относительно его номинального положения $\Delta_{см}$, что собственно и является основной погрешностью обработанного отверстия. Для расчета величины $\Delta_{см}$ предложена аналитическая зависимость [39]:

$$\Delta_{см} = n_1 \cdot S_1 \cdot \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вТ}} \right) + \frac{1}{m} \cdot \sqrt{k_1^2 \cdot \varepsilon^2 + k_2^2 \cdot \Delta_{пр}^2 + k_3^2 \cdot \Delta_p^2}, \quad (1.1)$$

где $m = \frac{6EI}{n_2 \cdot z \cdot l_x \cdot \sqrt{(C_1 \cdot S_k^{y_1} HB^{n_1})^2 + (C_2 \cdot S_k^2 HB^{n_2})^2}}$;

l_x – величина вылета инструмента за торец втулки;

$l_{вТ}$ – длина сменной кондукторной втулки;

n_1 – коэффициент, учитывающий влияние погрешностей, вносимых сменной втулкой;

EI – изгибная жесткость инструмента;

z – число зубьев режущего инструмента;

n_2 – коэффициент, учитывающий влияние продольного изгиба инструмента;

S_k – подача за зуб инструмента;

HB – твердость обрабатываемого материала;

$C_1, C_2, y_1, y_2, n_1, n_2$ – постоянные процесса обработки;

$\varepsilon, \Delta_{пр}$ – соответственно погрешности установки и расположения оси

отверстия, полученные на предшествующем переходе обработки;

Δ_p – погрешность обработки, зависящая от нарушения параметра приемственности (спаренности) технологически связанных позиций;

k_1, k_2, k_3 – коэффициенты относительного рассеивания рассматриваемых погрешностей $\varepsilon, \Delta_{пр}, \Delta_p$.

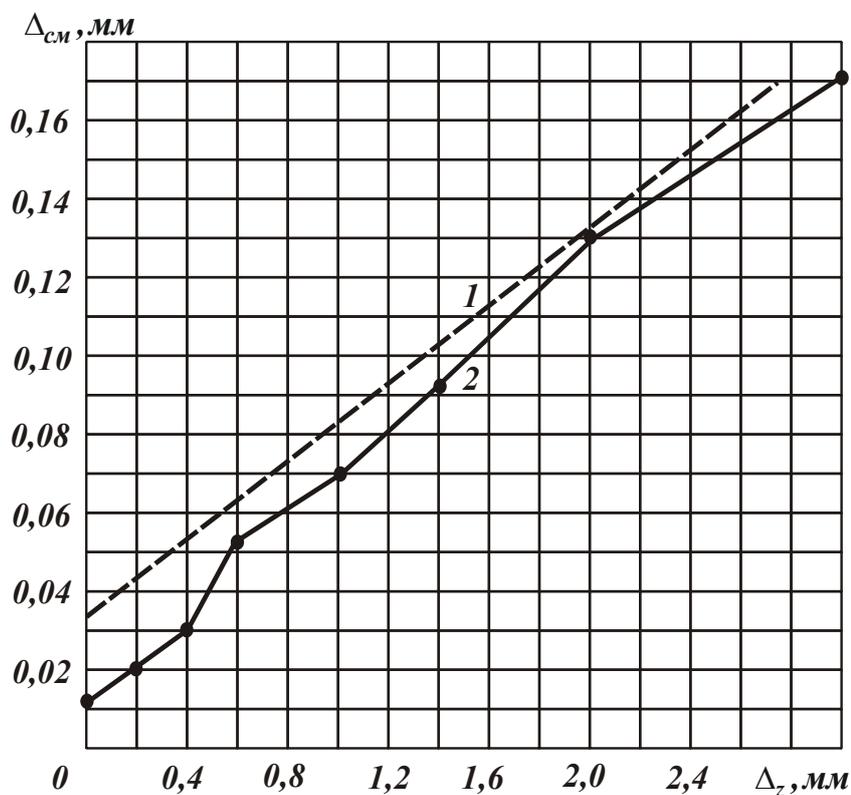


Рис. 1.9. Зависимость величины смещения оси отверстия с номинального положения от неравномерной загрузки кромок режущего инструмента

Условные обозначения: 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

Зависимость (1.1) отражает основной характер взаимосвязи геометрического состояния узлов направления инструмента и узлов установки деталей, погрешности в их взаимном расположении с учетом точности выполнения отверстия на предшествующем переходе.

На рис. 1.9 [39] представлены теоретическая и экспериментальная зависимости смещения оси отверстия $\Delta_{см}$ при зенкеро-вании от неравномерности распределения припуска Δ_z по кромкам режущего инструмента. Как видно, с увеличением Δ_z параметр $\Delta_{см}$ изменяется

почти по линейной зависимости, что свидетельствует о существенном влиянии Δ_z на параметр $\Delta_{см}$. Влияние технологических факторов на пространственное положение оси отверстия $\Delta_{см}$ показано на рис. 1.10 [65]. Глубина резания t оказывает заметное влияние на параметр $\Delta_{см}$ только при неравномерной загрузке кромок режущего инструмента. При небольших значениях Δ_z параметр $\Delta_{см}$ мало зависит от глубины резания. Из технологических факторов подача инструмента S оказывает наибольшее влияние на параметр $\Delta_{см}$. С уменьшением Δ_z интенсивность влияния подачи S на параметр $\Delta_{см}$ уменьшается.

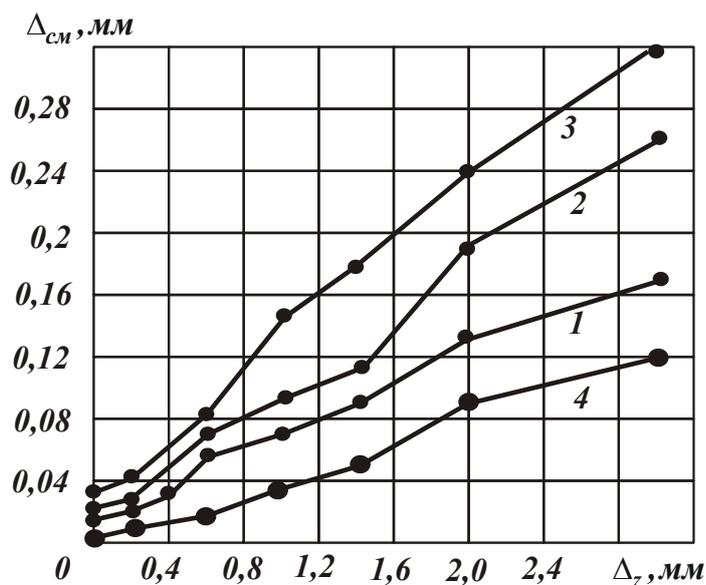


Рис. 1.10. Зависимость величины смещения оси отверстия с номинального положения от неравномерной загрузки кромок режущего инструмента при изменении технологических параметров

Условия обработки: 1 – $S_1 = 0,024$ мм; $S = 0,5$ мм/об; $t = 2,2$ мм (материал СЧ 15-32); 2 – $S_1 = 0,024$ мм; $S = 0,5$ мм/об; $t = 3,0$ мм (материал СЧ 15-32); 3 – $S_1 = 0,024$ мм; $S = 1,26$ мм/об; $t = 2,2$ мм (материал СЧ 15-32); 4 – $S_1 = 0,024$ мм; $S = 0,5$ мм/об; $t = 2,2$ мм (материал АЛ-2)

изводится без направляющих (кондукторных) втулок, например, при зенкеровании или развертывании отверстий в корпусных деталях, в частности, на станках с программным управлением, станках типа «обрабатывающий центр». Поэтому предлагается все факторы, вызывающие погрешности при бескондукторной обработке отверстий многолезвийным инструментом типа зенкер-развертка, разделить на две группы. К первой группе предлагается отнести погрешности изготовления и установки заготовок (смещение или увод оси исходного отверстия, неперпендикулярность входного торца исходного отверстия и др.). Ко второй группе – погрешности изготовления и установки инструмента (смещение или непараллельность оси его рабочей части относительно оси смещения шпинделя станка, неравномерность шага зубьев и др.). Отмечается, что первая группа факторов вызывает появление неуравновешенных сил резания (нормальных к оси инструмента), неподвижных относительно

Следует отметить, что при выводе зависимости (1.1) была использована эмпирическая зависимость для определения радиальной составляющей силы резания, справедливая для частных условий обработки и не позволяющая получить теоретические решения общего характера. В связи с этим важно установить аналитическое решение, связывающее погрешность обработки отверстия с параметрами процесса резания.

Математическому моделированию процесса формирования погрешностей обработки отверстия от возникающих в технологической системе упругих перемещений инструмента посвящен ряд работ Кравцова В.И. и Стрельцова В.А., в частности, работа [45]. В этой работе отмечается, что упругие перемещения инструмента могут быть значительны, если обработка про-

заготовки. Они вызывают в основном начальное смещение режущей части инструмента в момент врезания его в исходное отверстие и дальнейший увод его. Вторая группа факторов вызывает появление неуравновешенных сил резания (нормальных к оси инструмента), неподвижных относительно инструмента. Они вызывают разбивку отверстия и погрешности геометрической формы поперечного сечения его. Это справедливо для станков с вращающейся заготовкой и с вращающимся инструментом.

На основе сказанного, предложена расчетная схема, в которой равнодействующая силы резания P_e направлена под определенным углом E_e к смещению e оси исходного отверстия относительно оси вращения шпинделя. Исходя из данной расчетной схемы, определены сила P_e , ее направление, начальное смещение $C_{не}$, являющееся погрешностью обработки (расположения оси обработанного отверстия), когда исходное отверстие в заготовке смещено на величину e , а также остаточное смещение C_o , являющееся погрешностью обработки (расположения оси обработанного отверстия), когда заготовка при установке смещена на величину e :

$$P_e = \frac{n \cdot j \cdot e \cdot \sqrt{C_p^2 + C_T^2}}{\sqrt{(C_p \cdot n + 2 \cdot j \cdot \sin \varphi)^2 + C_T^2 \cdot n^2}}, \quad (1.2)$$

$$\operatorname{tg} E_e = \frac{2 \cdot C_T \cdot j \cdot \sin \varphi}{2 \cdot C_p \cdot j \cdot \sin \varphi + n \cdot (C_p^2 + C_T^2)}, \quad (1.3)$$

$$C_{не} = \frac{n \cdot e \cdot \sqrt{C_p^2 + C_T^2}}{\sqrt{(C_p \cdot n + 2 \cdot j \cdot \sin \varphi)^2 + C_T^2 \cdot n^2}}, \quad (1.4)$$

$$C_o = \frac{2 \cdot j \cdot e \cdot \sin \varphi}{\sqrt{(C_p \cdot n + 2 \cdot j \cdot \sin \varphi)^2 + C_T^2 \cdot n^2}}, \quad (1.5)$$

где j – жесткость технологической системы;

φ – главный угол в плане режущих лезвий инструмента;

n – число зубьев инструмента;

C_p, C_T – коэффициенты, учитывающие прочие постоянные условия резания (подачу на зуб, обрабатываемый материал и др.).

Погрешность обработки $C_{не}$ является стрелой прогиба режущей части инструмента в результате упругих перемещений в технологиче-

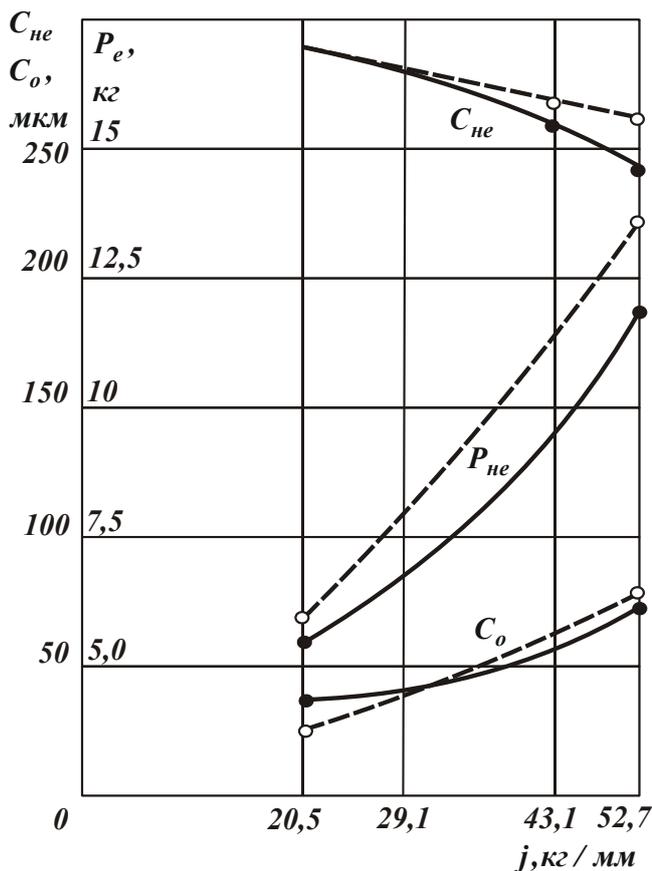


Рис. 1.11. Зависимость изменения неуравновешенной силы P_e и погрешностей обработки $C_{не}$ и C_o от жесткости технологической системы j

ской системе под действием неуравновешенной силы P_e . Из зависимости (1.3) следует, что направление силы P_e , а значит, и погрешности расположения оси обработанного отверстия зависят от различных факторов. На рис. 1.11 представлены расчетные (пунктирные линии) и экспериментальные (сплошные линии) графики влияния жесткости технологической системы на неуравновешенную силу и вышеуказанные погрешности обработки при развертывании отверстий диаметром 30 мм на вертикально-сверлильном станке 2А135 десятизубой насадной разверткой с главным углом в плане 15 градусов в стальных сырых заготовках (при наличии смещения оси исходного отверстия $e = 0,3$ мм) и режиме резания $t = 0,2$ мм; $S = 0,57$ мм/об; $V = 6,8$ мм/об. Жесткость системы изменялась путем изменения длины шейки оправки развертки от 75 до 150 мм. Как видно из рисунка, сходимость расчетных и экспериментальных данных удовлетворительна.

ных удовлетворительна.

К сожалению, приведенные зависимости (1.2) – (1.5) содержат коэффициенты C_p, C_T , которые определяются на основе экспериментальных данных, т.е. для частных условий обработки. Поэтому, пользуясь приведенными зависимостями, нельзя выйти на общие решения по обоснованию условий уменьшения погрешностей обработки отверстия. Для этого нужны аналитические зависимости для определения составляющих силы резания при обработке отверстия.

Учитывая то, что формирование погрешностей обработки отверстий в значительной мере обусловлено жесткостью технологической системы, исследованию данного вопроса в научно-технической литературе уделено достаточно большое внимание. Известны работы [11, 41, 62, 63, 119], посвященные как экспериментальным, так и теоретическим исследованиям жесткости технологической системы и ее влиянию на точность обра-

ботки отверстий на агрегатных станках. Однако в них отсутствуют чисто аналитические решения по расчету параметров силовой напряженности процесса и параметров точности обработки отверстий, что собственно и должно составить основу предмета исследований в настоящей работе. Научными предпосылками работы должны стать важные теоретические результаты, полученные при математическом моделировании силовой напряженности процессов механической обработки и опубликованные в работах [22, 67–70, 86, 95, 105, 106, 115 – 118].

На основе проведенного анализа установлено, что неравномерность снимаемого припуска при обработке отверстия с начальной значительной некруглостью приводит к снижению точности его обработки. Поэтому, как показано в работе [65], с целью получения высокоточного отверстия необходимо использовать многопереходную обработку. Требуется также проведение дальнейших теоретических исследований формирования погрешностей обработки отверстия с начальной значительной некруглостью и обоснования наиболее эффективных путей их устранения. В особой мере это относится к обработке отверстий под коническую резьбу в горловинах баллонов в условиях массового производства. В данном случае важно обеспечить стабильность точности размера и формы отверстия для всех изготавливаемых баллонов. Поэтому необходимо обосновать выбор прогрессивной схемы базирования баллона, оптимального технологического маршрута и параметров обработки.

1.4. Анализ существующих подходов к определению точности обработанных деталей методами математической статистики

Как известно [15, 43, 45, 56, 57, 66, 130], при обработке на станках, настроенных на размер в массовом и крупносерийном производствах, оценку точности деталей удобно производить с использованием методов математической статистики и теории вероятностей. Это позволяет в обобщенном виде учесть влияние всех факторов, определяющих точность обработки: неравномерность снимаемого припуска, погрешности базирования, износ инструмента, неодинаковую жесткость технологической системы в различных направлениях.

Исследованиями установлено [6,10,114], что распределение действительных размеров заготовок, обработанных на станках, как правило, подчиняются закону нормального распределения (закону Гаусса). Уравнение кривой нормального распределения имеет вид

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L_i - L_{cp})^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.6)$$

где L_i – текущий действительный размер;

σ – среднее квадратичное отклонение, определяемое по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^f (L_i - L_{cp})^2 \frac{m_i}{n}}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^f (L_i - L_{cp})^2 m_i} \quad (1.7)$$

L_{cp} – среднее взвешенное арифметическое значение действительных размеров заготовок данной партии;

$$L_{cp} = \sum_{i=1}^f L_i \frac{m_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^f L_i m_i, \quad (1.8)$$

m_i – частота (количество заготовок данного интервала размеров);

n – количество заготовок в партии.

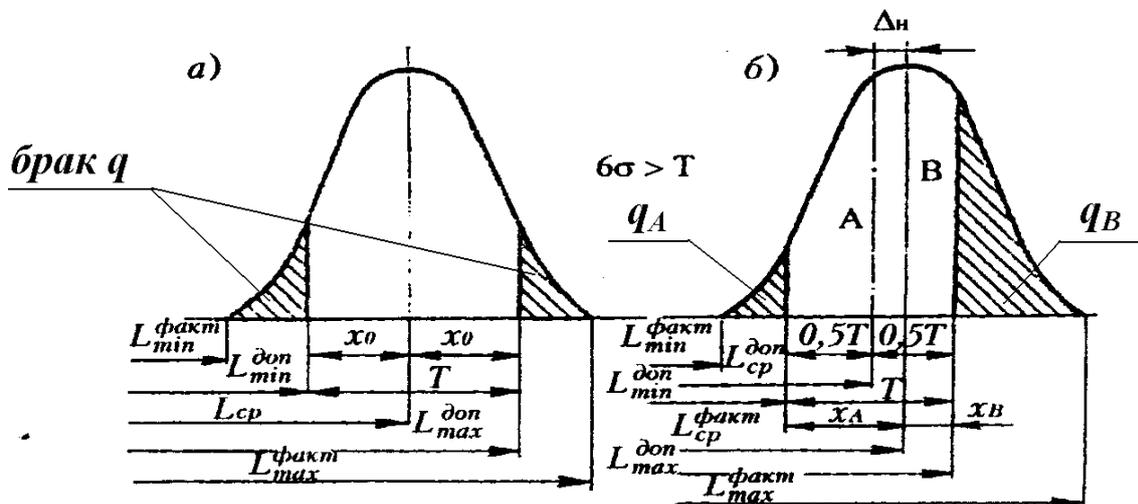


Рис. 1.12. Количество вероятного брака при симметричном (а) и асимметричном (б) расположении поля рассеяния размеров относительно поля допуска

Для практических расчетов принимают, что поле рассеяния размеров равно $\omega = 6 \cdot \sigma$. Используя установленный вполне конкретный закон распределения интересующего размера, можно оценить, например, надежность обработки заготовок без брака. Она характеризуется запасом точности данной операции $\psi = T/\omega$, где T – допуск на обработку заготовок; ω – фактическое поле рассеяния размеров заготовок. При условии $\psi = 1$ обработка заготовок будет осуществлена без брака и поле рассеяния значений размера будет совпадать с серединой поля допуска T . При условии $\omega < T$ поле рассеяния значений размера будет меньше допуска и, следовательно, будут заведомо отсутствовать бракованные детали. По данному закону распределения можно также определить количество вероятного процента бракованных деталей (на рис. 1.12 он соответствует площади заштрихованной части графика распре-

деления) и обеспечить настройку станка для обработки вала или отверстия с исправимым браком. Таким образом показано, что, используя методы математической статистики, можно научно обоснованно подойти к оценке систематической и случайной составляющих погрешностей обработки и изысканию путей их устранения. Это чрезвычайно важно для рассматриваемого в работе случая, когда необходимо оценить точность обработки отверстий в горловинах баллонов в условиях массового производства.

1.5. Научные предпосылки повышения точности и стабильности изготовления резьбовых отверстий в горловинах баллонов в условиях массового производства

Проведенный анализ уровня действующего технологического процесса механической обработки отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов показал на его низкую эффективность применения, поскольку потери от брака в связи с некачественным нарезанием конической резьбы достигают большого значения – 15,5%. Установлено, что основной причиной такого высокого уровня брака является низкая точность обработки отверстия с начальной значительной некруглостью (т.е. с неравномерным снимаемым припуском). Показано, что устранить данную причину брака известными технологическими приемами в рамках применяемого технологического процесса не удастся. Это требует установления новых теоретических решений по обеспечению точности и стабильности обработки отверстия с конической резьбой в горловинах баллона в условиях массового производства и на их основе разработки нового эффективного технологического процесса.

Поэтому целью работы является повышение точности механической обработки резьбовых отверстий в баллонах в условиях массового производства на основе теоретически обоснованного выбора оптимального маршрута обработки и параметров технологических переходов.

Для достижения указанной цели в работе поставлены задачи:

- разработать математическую модель определения погрешностей при механической обработке отверстия с учетом неравномерности снимаемого припуска и упругих перемещений в технологической системе и установить основные условия повышения точности обрабатываемого отверстия;
- на основе разработанной математической модели провести структурно-параметрический анализ и синтез технологического процесса механической обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов в условиях массового производства;
- теоретически обосновать выбор прогрессивной схемы базирования заготовок баллонов, оптимального технологического маршрута и параметров технологических переходов обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов в условиях массового производства;

- провести экспериментальные исследования параметров точности обработки отверстий и качества нарезания в них конической резьбы с использованием методов математической статистики, проверить и уточнить полученные теоретические решения;
- разработать эффективный технологический процесс обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов в условиях массового производства.



Рис. 1.13. Структурная схема работы

Работа выполнялась в соответствии со структурной схемой, показанной на рис. 1.13.

1.6. Выводы

1. Произведена оценка уровня действующего (базового) технологического процесса механической обработки отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов и установлена его низкая эффективность в плане обеспечения точности и стабильности обработки, что приводит к значительным потерям от брака (15,5%). Показана необходимость разработки нового более эффективного технологического процесса обработки на основе его структурно-параметрического анализа и синтеза, включающего исследование точности обработанных отверстий в горловинах баллонов и качества нарезанной в них конической резьбы, выбор и обоснование оптимального маршрута обработки и параметров технологических переходов, прогрессивных схем базирования заготовки баллона.

2. Выявлены основные причины некачественного нарезания конической резьбы, состоящие, во-первых, в том, что в процессе закатки (методами пластического деформирования) горловины баллона образуется отверстие диаметром 6...16 мм значительной некруглости, которую трудно устранить на переходах рассверливания и развертывания, предшествующих переходу нарезания конической резьбы метчиком. Во-вторых, в сложности точной установки баллона на станке в условиях массового производства, что приводит к несоосности баллона и шпинделя станка, увеличению неравномерности снимаемого припуска и, как следствие, нарушению равновесия сил резания, действующих на режущие зубья осевого многолезвийного режущего инструмента, деформированию элементов технологической системы и появлению различного рода погрешностей обработки отверстия. Исходя из этого, сделан вывод о необходимости повышения точности обработки отверстия на переходах, предшествующих переходу нарезания конической резьбы, за счет уменьшения или даже исключения образования случайных погрешностей обработки, обусловленных упругими перемещениями в технологической системе.

3. Для определения условий повышения точности обработки отверстий важно математически выразить величину упругого перемещения через параметры обработки и теоретически обосновать наиболее эффективные пути ее уменьшения, что собственно, и должно стать основой разработки нового прогрессивного технологического процесса изготовления отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов. Однако, как показал анализ литературных источников, величина упругого перемещения, являясь функцией силы резания, традиционно математически описывается в виде эмпирических зависимостей, которые по сравнению с аналитическими зависимостями не дают общего представ-

ления о технологических возможностях процесса обработки и значительно сужают диапазон возможных решений. Поэтому важно разработать математическую модель определения величины упругого перемещения в технологической системе на основе аналитического представления силы резания. Это позволит научно-обоснованно подойти к структурно-параметрическому анализу и синтезу технологического процесса, включающего исследования точности обработанных отверстий в горловинах баллонов и качества нарезаемой в них конической резьбы, выбор и обоснование оптимального маршрута и параметров обработки, прогрессивной схемы базирования заготовок баллонов и в конечном счете разработку эффективного технологического процесса изготовления отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов.

4. Показано, что в условиях механической обработки, когда преобладает случайный фактор, выбор оптимальных условий резания следует производить с учетом результатов экспериментальных исследований, полученных с использованием методов математической статистики. В особой мере это относится к исследованию параметров точности обработки отверстий в горловинах баллонов и выработки на их основе новых технологических решений. В связи с этим, в разделе проведен анализ применяемых методов математической статистики.

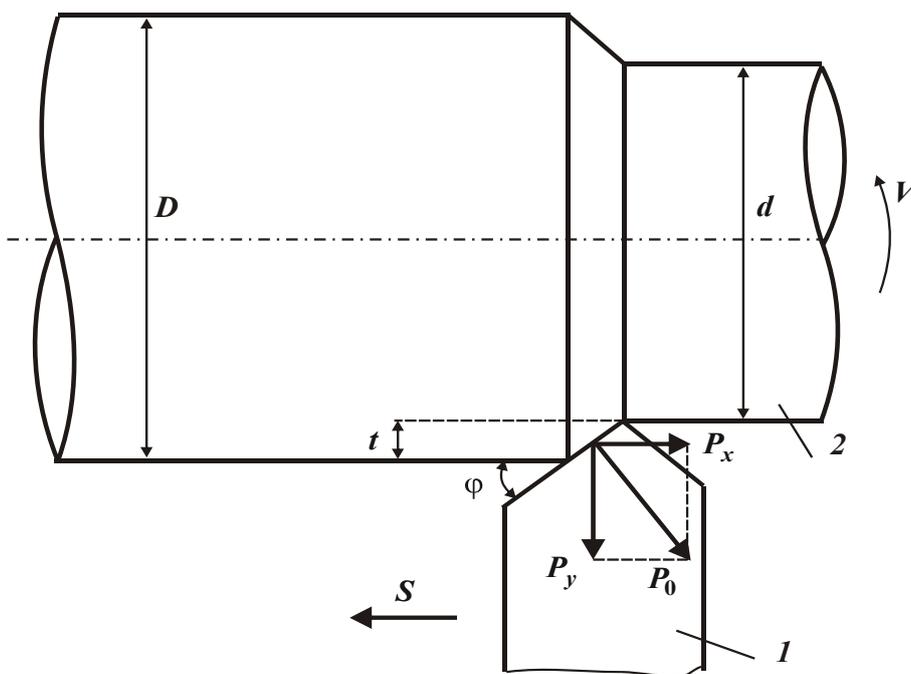
5. Проведен анализ существующих теоретических подходов по обеспечению точности и стабильности механической обработки. Показано, что в настоящее время сформировалась формализованная теория точности и надежности механической обработки. Математически описаны основные параметры точности и надежности обработки. Вместе с тем, требуется проведение дальнейших работ по разработке новых более совершенных математических (аналитических) моделей определения погрешностей обработки отверстий, позволяющих более полно учесть факторы, влияющие на закономерности формирования погрешностей обработки. При этом важно установить взаимосвязи между погрешностями обработанных отверстий и условиями резания и на их основе выявить новые резервы повышения точности обработки.

РАЗДЕЛ 2

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЯ

2.1. Теоретический анализ формирования погрешностей при обработке отверстия с начальной значительной некруглостью

Для обобщенного анализа погрешностей обработки отверстия, обусловленных упругими перемещениями в технологической системе, рассмотрим первоначально более простую схему механической обработки – схему продольного точения, рис. 2.1. Как известно [5, 20, 26], возникающую в процессе обработки силу резания P можно разложить на три составляющие:



тангенциальную P_z , радиальную P_y и осевую P_x . Под действием радиальной составляющей силы резания P_y происходит упругое перемещение (преимущественно обрабатываемой детали) в направлении оси ou . Величина упругого перемещения y аналитически может быть описана:

$$y = \frac{P_y}{c}, \quad (2.1)$$

где c – жесткость технологической системы в направлении оси ou , Н/м.

Рис. 2.1. Расчетная схема продольного точения
Условные обозначения: 1 – резец; 2 – обрабатываемая деталь

Радиальную P_y и осевую P_x составляющие силы резания выразим через равнодействующую силу $P_y = P_0 \cdot \cos\varphi = \sqrt{P_y^2 + P_x^2}$, возникающую в плоскости uox :

$$P_y = P_0 \cdot \cos \varphi, \quad (2.2)$$

$$P_x = P_0 \cdot \sin \varphi, \quad (2.3)$$

где φ – угол резца в плане, град.

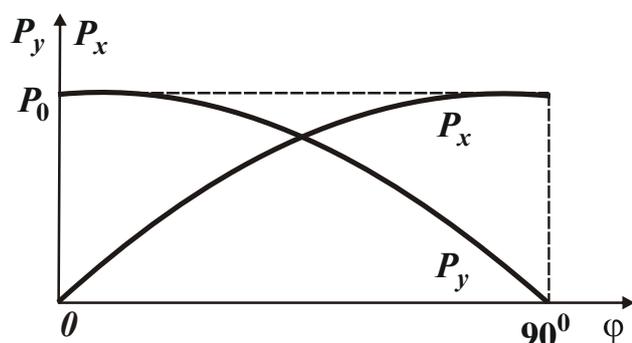


Рис. 2.2. Зависимости составляющих силы резания P_y и P_x от угла резца в плане φ

Характер изменения составляющих силы резания P_y и P_x от угла резца в плане φ показан на рис. 2.2. Как видно, с увеличением угла φ радиальная составляющая силы резания P_y уменьшается, а осевая составляющая силы резания P_x , наоборот, увеличивается. Следовательно, изменение угла резца в плане φ позволяет регулировать направлением действия силы резания, что очень важно с точки зрения уменьшения упругого перемещения в технологической системе в радиальном направлении, определяющего погрешность обработки.

Теоретические результаты согласуются с известными экспериментальными данными, приведенными в работе [9]. Так, с увеличением угла резца в плане φ осевая составляющая силы резания P_x увеличивается, а радиальная составляющая силы резания P_y , наоборот, уменьшается, рис. 2.3. Используя экспериментальные данные P_x и P_y , в табл. 2.1 приведены расчетные значения отношения P_x / P_y , равного, исходя из зависимостей (2.2) и (2.3), тангенсу угла φ' (соответствующего углу резца в плане). Иными словами, $P_x / P_y = \operatorname{tg} \varphi'$.

Таблица 2.1

Расчетные значения P_x / P_y и φ'

φ , град	30	45	60	75	90
P_x / P_y	0,437	0,818	1,294	2,076	2,42
φ' , град	24	40	53	65	68

Как следует из табл. 2.1, угол φ' меньше угла резца в плане φ . Причем, в диапазоне $\varphi = 30 \dots 75^\circ$ их отличие не столь значительно. Наибольшее расхождение значений углов φ и φ' имеет место при $\varphi = 90^\circ$. Это может быть связано с особенностями процесса стружкообразования при несвободном резании.

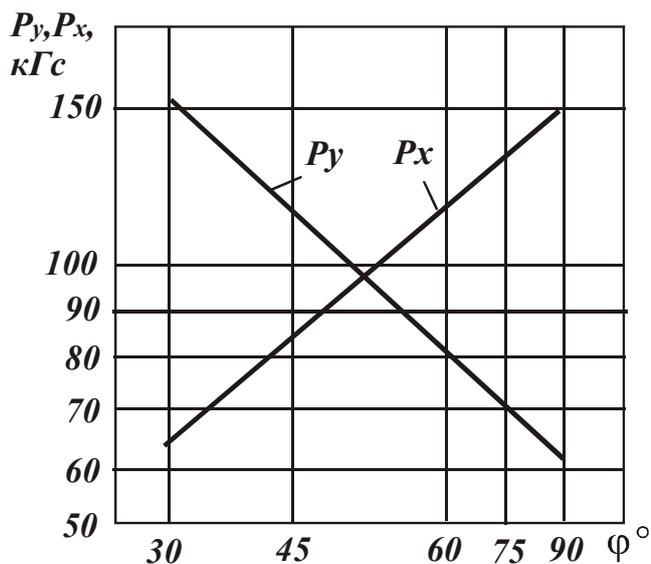


Рис. 2.3. Влияние главного угла в плане на составляющие силы резания P_y и P_x при точении

Условия обработки: сталь 40;
 $t = 3$ мм; $S = 0,6$ мм/об

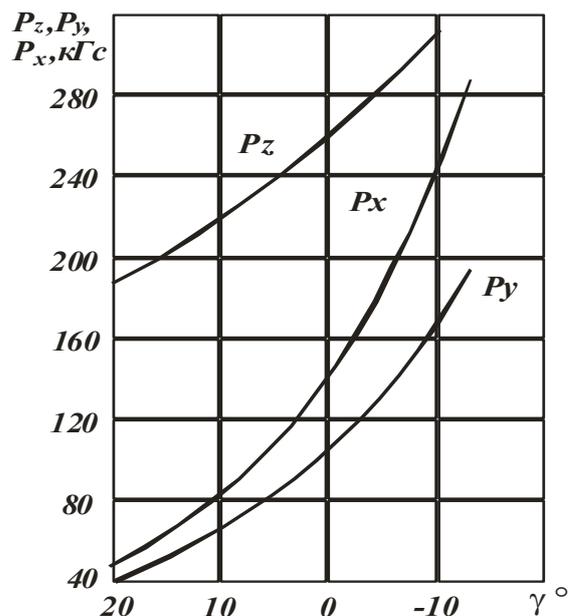


Рис. 2.4. Влияние переднего угла на составляющие силы резания P_z, P_y, P_x при точении

Условия обработки: сталь 40;
 $\varphi = 60^\circ$; $t = 4$ мм; $S = 0,285$ мм/об;
 $V = 40$ м/мин

К аналогичным результатам приходим, анализируя экспериментальные данные, приведенные на рис. 2.4 [9]. Как видно, с уменьшением переднего угла резца γ тангенциальная P_z , радиальная P_y и осевая P_x составляющие силы резания увеличиваются, но с разной интенсивностью. В табл. 2.2 приведены расчетные значения $P_x / P_y = \tan \varphi'$, а также значения угла φ' .

Как следует из табл. 2.2, экспериментально установленные значения φ' меньше истинного значения угла резца в плане $\varphi = 60^\circ$. Однако их расхождение незначительно – в пределах 8...16%. Это свидетельствует о возможности практического использования полученных аналитических зависимостей (2.2) и (2.3).

Таблица 2.2

Расчетные значения P_x / P_y и φ' для $\varphi = 60^\circ$

γ , град	20	10	0	-10
P_x / P_y	1,125	1,23	1,33	1,41
φ' , град	50	51	54	55

Выразим силу P_0 в зависимостях (2.2) и (2.3) через тангенциальную составляющую силы резания P_z :

$$P_0 = \frac{P_z}{K_{рез}}, \quad (2.4)$$

где $K_{рез}$ – коэффициент резания (при точении, как правило, $K_{рез} \geq 1$).

С учетом зависимостей (2.2) и (2.3) величина упругого перемещения y , определяемая зависимостью (2.1), выразится

$$y = \frac{P_z}{c \cdot K_{рез}} \cdot \cos \varphi. \quad (2.5)$$

Тангенциальную составляющую силы резания P_z представим [105]:

$$P_z = \sigma \cdot S_{срез}, \quad (2.6)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²;
 $S_{срез}$ – площадь поперечного сечения среза, м².

Тогда зависимость (2.5) примет вид

$$y = \frac{\sigma \cdot S_{срез}}{c \cdot K_{рез}} \cdot \cos \varphi. \quad (2.7)$$

Как следует из зависимости (2.7), уменьшить величину упругого перемещения y можно уменьшением параметров σ , $S_{срез}$ и увеличением c , $K_{рез}$ и φ . Выразим площадь поперечного сечения среза $S_{срез}$ через параметры режима резания. Для этого рассмотрим расчетную схему продольного точения, представленную на рис. 2.1. Толщина a и ширина b среза выражаются тригонометрическими соотношениями:

$$a = S \cdot \sin \varphi, \quad (2.8)$$

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}, \quad (2.9)$$

где S – продольная подача, м/об;

$t = \frac{D - d}{2}$ – глубина резания, м;

D, d – соответственно диаметры обрабатываемой и обработанной поверхностей детали, м.

Очевидно, произведение параметров $a \cdot b$ определяет площадь поперечного сечения среза $S_{\text{срез}}$, т.е.

$$S_{\text{срез}} = a \cdot b = S \cdot t . \quad (2.10)$$

Как видно, $S_{\text{срез}}$ выражается произведением подачи S и глубины резания t . Угол резца в плане φ на $S_{\text{срез}}$ влияния не оказывает.

Необходимо отметить, что площадь поперечного сечения среза $S_{\text{срез}}$ функционально связана с производительностью обработки Q зависимостью

$$Q = S_{\text{срез}} \cdot V = S \cdot t \cdot V , \quad (2.11)$$

где V – скорость резания, м/с.

Из зависимости (2.11) следует, что чем больше параметры режима резания S, t и V , тем больше производительность обработки Q .

Подставим зависимость (2.10) в зависимость (2.7):

$$y = \frac{\sigma \cdot S \cdot t}{c \cdot K_{\text{рез}}} \cdot \cos \varphi . \quad (2.12)$$

Из зависимости (2.12) следует, что уменьшить величину упругого перемещения y и соответственно погрешность обработки можно, в первую очередь, за счет уменьшения параметров режима резания S, t , поскольку они линейно связаны с величиной y . Однако, исходя из зависимости (2.11), это предполагает уменьшение производительности обработки Q , что не всегда эффективно. Поэтому более эффективно в зависимости (2.12) уменьшить отношение $\sigma / K_{\text{рез}}$ или увеличить жесткость технологической системы c и угол резца в плане φ . Представим отношение $\sigma / K_{\text{рез}}$ в виде

$$\frac{\sigma}{K_{\text{рез}}} = \sigma \cdot \frac{P_0}{P_z} = \frac{P_0}{S_{\text{срез}}} = \frac{\sqrt{P_y^2 + P_x^2}}{S \cdot t} . \quad (2.13)$$

По аналогии с условным напряжением резания $\sigma = P_z / S_{\text{срез}}$ (по сути, условным нормальным напряжением резания) отношение

$\sigma/K_{рез} = P_0 / S_{срез}$ определяет условное касательное напряжение резания. Поэтому в дальнейшем $\sigma/K_{рез}$ будем рассматривать как условное касательное напряжение резания.

С физической точки зрения, существенно уменьшить и даже исключить упругие перемещения в технологической системе при точении можно, приложив к обрабатываемой детали силу P_y , противоположно направленную действующей силе P_y . Это возможно, например, при точении детали двумя резцами, расположенными в соответствии со схемой (рис. 2.5), с их абсолютно жестким закреплением.

Кроме исключения упругих перемещений, данная схема точения позволит в два раза увеличить производительность обработки.

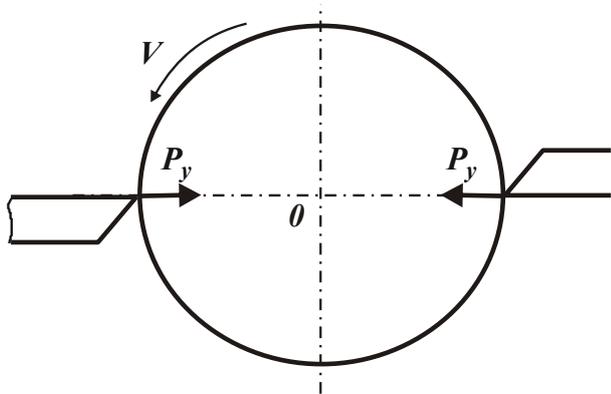


Рис. 2.5. Схема точения детали двумя резцами

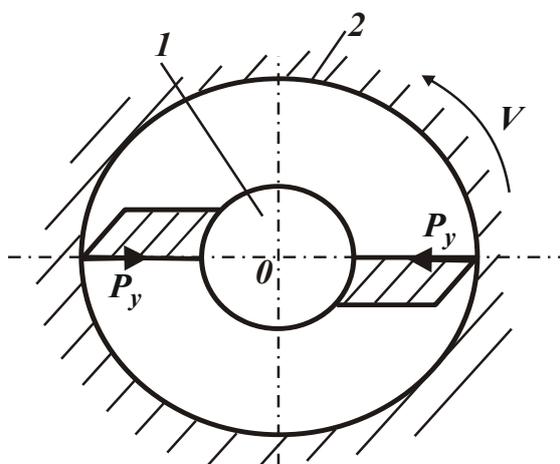


Рис. 2.6. Схема обработки отверстия
Условные обозначения: 1 – осевой многолезвийный инструмент; 2 – обрабатываемая деталь

Исключить упругие перемещения в технологической системе при обработке отверстия можно аналогичным способом, расположив два резца в соответствии со схемой, показанной на рис. 2.6. Жестко соединив резцы между собой, мы приходим к осевому многолезвийному инструменту, в частности, сверлу, и к принципиальной схеме сверления. Из этого вытекает, что существующая на практике схема сверления по своей сути исключает образование упругих перемещений в технологической системе, т.е. представляет собой идеальную в данном плане схему обработки. При традиционном способе точения цилиндрической поверхности одним резцом, в отличие от схемы сверления, возникают упругие перемещения y , которые приводят к погрешностям обработки.

Сделанный выше вывод справедлив при сверлении отверстия в сплошном материале или же при рассверливании отверстия симметричной формы, ось которого совпадает с осью сверла, рис. 2.7. Если же

рассматривать рассверливание отверстия (в горловине баллона) с начальной значительной некруглостью и характеризующегося неравномерным снимаемым припуском, то вследствие разных значений глубины резания оба лезвия сверла будут испытывать неодинаковые нагрузки. Это приведет к нарушению условия равновесия сил P_{y1} и P_{y2} , действующих на

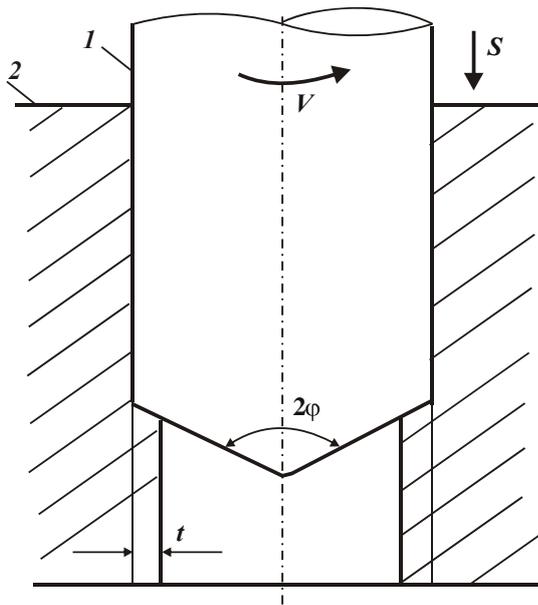


Рис. 2.7. Принципиальная схема рассверливания отверстия

Условные обозначения:
1 – сверло; 2 – обрабатываемая деталь

оба лезвия, соответственно к возникновению упругих деформаций (изгибу) сверла и обрабатываемого баллона и появлению погрешностей обработки в виде смещения оси отверстия от номинального положения и отклонения оси отверстия от прямолинейности. При значительной неравномерности нагрузки, вызывающей изгиб сверла, возможна его поломка.

Исходя из этого, величина упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, определится

$$y = \frac{\Delta P_y}{c}, \quad (2.14)$$

где $\Delta P_y = P_{y1} - P_{y2}$ – наибольшая разница радиальных составляющих сил резания, действующих на оба лезвия сверла, Н;

c – жесткость технологической системы, Н/м (зависит от жесткости инструмента и обрабатываемого баллона).

С учетом зависимости (2.12) зависимость (2.14) примет вид

$$y = \frac{\sigma \cdot S \cdot t_1}{c \cdot K_{рез}} \cdot \cos \varphi - \frac{\sigma \cdot S \cdot t_2}{c \cdot K_{рез}} \cdot \cos \varphi = \frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot \frac{S \cdot \Delta t}{c} \cdot \cos \varphi, \quad (2.15)$$

где $\Delta t = t_1 - t_2$ – разность глубин резания, приходящихся на оба лезвия сверла, м;

S – подача, приходящаяся на одно лезвие сверла, м/об.

Как видно, в зависимость (2.15) входит неопределенная величина Δt , требующая математического представления и анализа.

Необходимо отметить, что в образовании погрешности обработки отверстия кроме радиальной составляющей силы резания будет участ-

воват и тангенциальная составляющая силы резания. Так, сила $\Delta P_z = P_{z_1} - P_{z_2}$ (где P_{z_1} , P_{z_2} – значения тангенциальной составляющей силы резания, действующей на оба лезвия сверла, Н) вызовет смещение оси сверла O_1 вдоль координатной оси ou на величину Δ в положение O_2 , рис. 2.8,а. Оценим, как это повлияет на погрешность размера обрабатываемого отверстия $\Delta_R = O_1A - R$, где R – радиус сверла, м ($O_2A = R$).

Длина отрезка O_1A определяется по теореме Пифагора: $O_1A = \sqrt{R^2 + \Delta^2}$. Тогда $\Delta_R = \sqrt{R^2 + \Delta^2} - R$. В табл. 2.3 приведены расчетные значения Δ_R в зависимости от величины Δ для $R = 11$ мм.

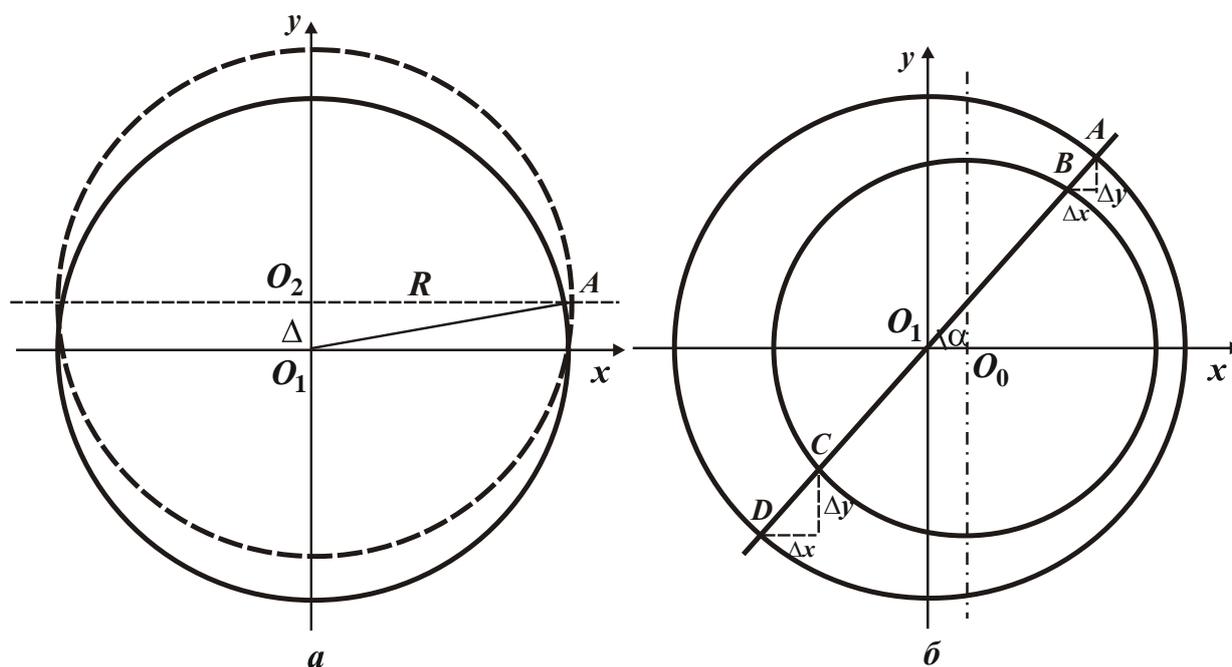


Рис. 2.8. Расчетные схемы погрешностей обработки отверстия

Таблица 2.3

Расчетные значения Δ_R и отношения Δ/Δ_R

Δ , мм	0,1	0,3	0,5	1,0
Δ_R , мм	0,00045	0,004	0,011	0,045
Δ/Δ_R	222,2	75,0	45,5	22,2

Как следует из табл. 2.3, погрешность обработки отверстия Δ_R , вызванная смещением оси сверла Δ от действия силы $\Delta P_z = P_{z_1} - P_{z_2}$, весьма незначительно, на много меньше самого смещения Δ . Например, если от действия силы $\Delta P_y = P_{y_1} - P_{y_2}$ погрешность обработки отверстия равна

$\Delta = 1$ мм, то от действия силы ΔP_z она в 22,2 раза меньше, табл. 2.3. При $\Delta < 1$ мм это отличие еще больше. Этим показано, что погрешность обработки отверстия при рассверливании будет определяться главным образом силой ΔP_y в соответствии с зависимостью (2.15). Погрешностью обработки отверстия, связанной с действием силы ΔP_z , можно пренебречь.

2.2. Аналитическое определение переменной глубины резания при рассверливании отверстия

Если предположить, что обрабатываемое отверстие имеет вид идеальной цилиндрической поверхности, то величину Δt , входящую в зависимость (2.15), можно выразить аналитически.

Для этого рассмотрим расчетную схему (рис. 2.8,б), на которой показано взаимное расположение начального (рассверливаемого) отверстия горловины баллона с осью O_0 и обработанного отверстия с номинальным положением оси сверла O_1 . Рассматривая расстояние O_0-O_1 как величину отклонения между осями отверстия горловины баллона и сверла и обозначая ее через Δ_0 , установим значения глубин резания t_1 и t_2 , приходящихся на оба лезвия сверла. Исходя из рис. 2.8,б примем, что $t_1 = CD$, а $t_2 = AB$. Для определения длин отрезков CD и AB необходимо знать координаты точек пересечения прямой $y = k \cdot x$ (где $k = \operatorname{tg} \alpha$, α – текущее значение угла наклона лезвий сверла к оси ox) с двумя окружностями радиусами R и r . В данном случае R определяет радиус сверла, а r – радиус рассверливаемого отверстия. Уравнения окружностей имеют вид

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R^2 \\ (x - \Delta_0)^2 + y^2 = r^2 \end{cases} \quad (2.16)$$

Первоначально установим координаты точек A и D пересечения окружности радиусом R (с центром O_1 , совмещенным с началом координат) и прямой $y = k \cdot x$, для чего разрешим систему двух уравнений с неизвестными x и y :

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R^2 \\ y = k \cdot x \end{cases} \quad (2.17)$$

Подставляя второе уравнение системы в первое, и разрешая полученное выражение относительно координаты x , имеем

$$x = \pm \frac{R}{\sqrt{1+k^2}}, \quad (2.18)$$

откуда получим $x_A = \frac{R}{\sqrt{1+k^2}}$; $x_D = -\frac{R}{\sqrt{1+k^2}}$.

Установим теперь координаты точек В и С пересечения окружности радиусом r (с центром O_1 , смещенным относительно начала координат на величину Δ_0) и прямой $y = k \cdot x$, для чего разрешим систему двух уравнений с двумя неизвестными x и y :

$$\begin{cases} (x - \Delta_0)^2 + y^2 = r^2 \\ y = k \cdot x \end{cases} \quad (2.19)$$

Подставляя второе уравнение системы в первое, приходим к квадратному уравнению:

$$x^2 - \frac{2 \cdot \Delta_0}{(1+k^2)} \cdot x + \frac{(\Delta_0^2 - k^2)}{(1+k^2)} = 0 \quad (2.20)$$

Решение квадратного уравнения:

$$x = \frac{1}{(1+k^2)} \cdot \left[\Delta_0 \pm \sqrt{r^2 \cdot (1+k^2) - \Delta_0^2 \cdot k^2} \right], \quad (2.21)$$

откуда

$$x_B = \frac{1}{(1+k^2)} \cdot \left[\Delta_0 + \sqrt{r^2 \cdot (1+k^2) - \Delta_0^2 \cdot k^2} \right];$$

$$x_C = \frac{1}{(1+k^2)} \cdot \left[\Delta_0 - \sqrt{r^2 \cdot (1+k^2) - \Delta_0^2 \cdot k^2} \right].$$

Из рис. 2.8,б следует, что согласно теореме Пифагора $AB = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$. С учетом того, что $(y_A - y_B) = k \cdot (x_A - x_B)$, имеем

$$t_2 = AB = (x_A - x_B) \cdot \sqrt{1+k^2} \quad (2.22)$$

Аналогичным образом определяется $t_1 = CD = (x_C - x_D) \cdot \sqrt{1+k^2}$. Тогда

$$\Delta t = t_1 - t_2 = CD - AB = (x_C - x_D - x_A + x_B) \cdot \sqrt{1+k^2} \quad (2.23)$$

Подставляя в зависимость (2.23) координаты x_A, x_B, x_C, x_D , получим

$$\Delta t = \frac{2 \cdot \Delta_0}{\sqrt{1+k^2}}. \quad (2.24)$$

В результате математических преобразований пришли к очень простой аналитической зависимости, из которой следует, что разность глубин резания $\Delta t = t_1 - t_2$, приходящихся на оба лезвия сверла, определяется параметрами Δ_0 и k , и не зависит от радиусов R и r .

Зависимость (2.24) с учетом выражения $k = \operatorname{tg} \alpha$ можно представить:

$$\Delta t = 2 \cdot \Delta_0 \cdot \cos \alpha. \quad (2.25)$$

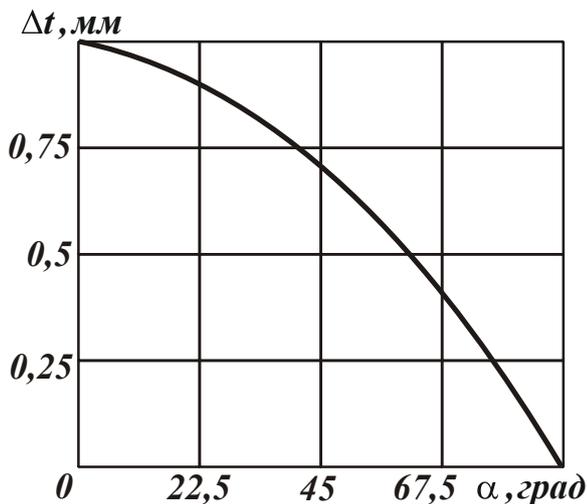


Рис. 2.9. Зависимость величины Δt от угла α

В табл. 2.4 и на рис. 2.9 приведены рассчитанные по зависимости (2.24) значения величины Δt в зависимости от угла α наклона прямой $y = k \cdot x$ к оси ox , а также в зависимости от $k = \operatorname{tg} \alpha$. Как видно, с увеличением угла α и соответственно k величина Δt уменьшается от значения $2 \cdot \Delta_0$ до нуля. Следовательно, наибольшее значение величины Δt достигается при $\alpha = 0$ (или $k = 0$) и оно равно $2 \cdot \Delta_0$, т.е. равного двойному значению величины отклонения между осями Δ_0 отверстия горловины баллона и сверла.

Установим проекции величины Δt на оси oy и ox с учетом (2.25):

Таблица 2.4

Расчетные значения величины Δt для условия $2 \cdot \Delta_0 = 1$ мм

α , град	0	30	45	60	80	90
$k = \operatorname{tg} \alpha$	0	0,577	1,0	1,732	5,671	∞
Δt , мм	1	0,87	0,71	0,5	0,17	0

Установим проекции величины Δt на оси oy и ox с учетом (2.25):

$$\Delta t_y = \Delta t \cdot \sin \alpha = 2 \cdot \Delta_0 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha = \Delta_0 \cdot \sin 2\alpha, \quad (2.26)$$

$$\Delta t_x = \Delta t \cdot \cos \alpha = 2 \cdot \Delta_0 \cdot \cos^2 \alpha. \quad (2.27)$$

На рис. 2.10,а показан график изменения проекции величины Δt на ось oy в зависимости от угла α , рассматривая изменение угла α в от-

рицательном направлении (при вращении сверла против часовой стрелки). Как видно, проекция Δt_y изменяется по экстремальной зависимости с увеличением угла α . Наибольшее значение Δt_y достигается при условии $\alpha = 45^\circ$ и равно Δ_0 . Соответственно, исходя из зависимости (2.15), при условии $\alpha = 45^\circ$ будет достигаться наибольшая погрешность обработки отверстия в направлении оси ou . В результате обработанное отверстие будет принимать несимметричный, т.е. отличный от окружности, вид. Как следует из зависимости (2.26) и рис. 2.10,а, наименьшее значение Δt_y (при $\alpha = 90^\circ$) равно нулю, т.е. наименьший диаметр обрабатываемого отверстия равен диаметру сверла.

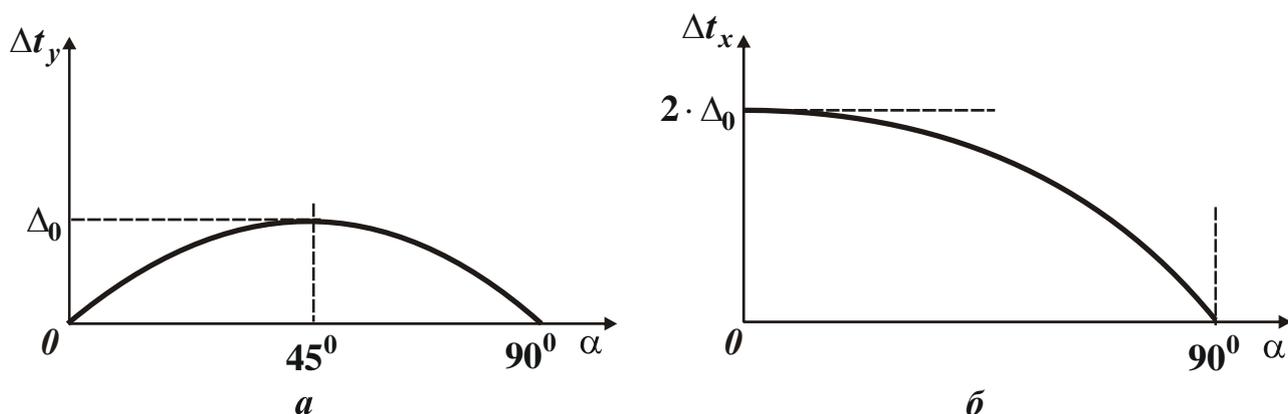


Рис. 2.10. Зависимости величин проекций Δt_y (а) и Δt_x (б) от угла α

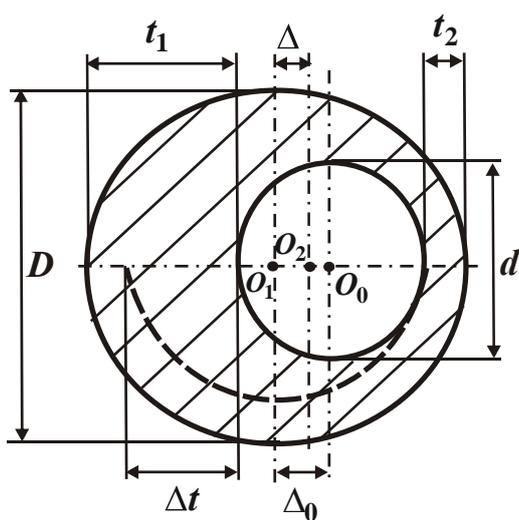
На рис. 2.10,б показан график изменения проекции величины Δt на ось ox в зависимости от угла α , рассматривая изменение угла α в отрицательном направлении (при вращении сверла против часовой стрелки).

Как видно, величина проекции Δt_x непрерывно уменьшается с увеличением угла α . Наибольшее значение Δt_x достигается при условии $\alpha = 0$ и равно $2 \cdot \Delta_0$. Следовательно, при рассверливании отверстия с неравномерным снимаемым припуском его разбивка будет происходить по двум осям. Наименьшее значение диаметра обработанного отверстия, как показано выше, равно диаметру сверла, а наибольшее значение диаметра обработанного отверстия будет превышать диаметр сверла на величину упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, определяемую зависимостью (2.15) при условии

$$\Delta t = \Delta t_x = 2 \cdot \Delta_0: \quad y = \frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot \frac{2 \cdot S \cdot \Delta_0}{c} \cdot \cos \varphi.$$

Как следует из приведенной зависимости, при одинаковых условиях обработки величина упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, линейно зависит от величины Δ_0 . Поэтому, чем больше величина Δ_0 , тем больше погрешность обработки и значитель-

нее отличие диаметра обработанного отверстия от диаметра сверла. Этим показано, что в процессе рассверливания отверстия с неравномерным припуском формируются значительные погрешности обработки, для устранения которых необходимы последующие операции зенкерования и развертывания. Из этого следует также, что для высокоточной обработки отверстия с начальной значительной некруглостью не обязательно применение процесса рассверливания, который не позволяет получить высокую точность обработки. Возможны и другие варианты обработки, например, связанные с фрезерованием, шлифованием отверстия и др., которые позволяют кардинальным образом изменить характер формирования погрешностей обработки. Однако в данной работе рассматривается случай рассверливания, как наиболее приемлемый для обработки отверстия в горловине баллона. Для проверки правильности выполненных расчетов определим величину Δt для случая $\alpha = 0$ (т.е. определим наибольшее значение величины Δt) более простым методом. Для этого рассмотрим расчетную схему (рис. 2.11), аналогичную предыдущей схеме (рис. 2.8,б), и составим два уравнения:



$$\begin{cases} \Delta_0 = \frac{d}{2} - \left(\frac{D}{2} - t_1 \right) \\ \frac{D}{2} = \Delta_0 + \frac{d}{2} + t_2 \end{cases}, \quad (2.28)$$

где d, D – диаметры обрабатываемого и обработанного отверстий, м.

Из системы уравнений (2.28) можно определить значения максимальной t_1 и минимальной t_2 глубин резания, приходящихся на оба лезвия сверла:

Рис. 2.11. Расчетная схема величины смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ

$$\begin{cases} t_1 = \frac{D}{2} - \frac{d}{2} + \Delta_0, \\ t_2 = \frac{D}{2} - \frac{d}{2} - \Delta_0. \end{cases} \quad (2.29)$$

Откуда разность глубин резания $\Delta t = t_1 - t_2$ равна

$$\Delta t = 2 \cdot \Delta_0. \quad (2.30)$$

В результате получена аналитическая зависимость, идентичная зависимости (2.24) для случая $k = 0$ (или $\alpha = 0$). Это свидетельствует о

правильности выполненных расчетов. Зависимость (2.30) увязывает величину Δt с величиной отклонения между осями Δ_0 , т.е. по сути, получена аналитическая зависимость для определения несоосности отверстий. Как видно, с увеличением Δ_0 величина Δt увеличивается. При $\Delta_0 \rightarrow 0$ имеем $\Delta t \rightarrow 0$. Величина Δt не зависит от диаметров обрабатываемого и обработанного отверстий, а определяется Δ_0 .

В процессе резания под действием неуравновешенной силы ΔP_y , обусловленной изменением глубины резания за один оборот инструмента, ось рассверливаемого отверстия O_1 сместится в направлении оси O_0 и примет положение O_2 , рис. 2.11. Расстояние от оси O_1 до оси O_2 равно величине упругого перемещения y , описываемой зависимостью (2.15). Этим показано, что величина y равна смещению оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения O_1 . Для удобства анализа обозначим расстояние между осями O_1 и O_2 через Δ , тогда $\Delta = y$ и зависимость (2.15) с учетом (2.30) выразится

$$\Delta = \frac{\sigma}{K_{\text{рез}}} \cdot \frac{2 \cdot S \cdot \Delta_0}{c} \cdot \cos \varphi. \quad (2.31)$$

В результате получена аналитическая зависимость для определения величины смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ . Очевидно, при $\Delta_0 = 0$ величина $\Delta = 0$ и мы приходим к обработанному отверстию симметричной формы. При $\Delta_0 > 0$ будет образовываться отверстие овальной формы с наибольшим диаметром $D + \Delta$. Таким образом, задача определения погрешностей обработки отверстия свелась к определению величины смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ . Учитывая то, что $\Delta = y$, а $\Delta_0 = 0,5 \cdot \Delta t$, справедливо соотношение

$$\frac{\Delta}{\Delta_0} = \frac{y}{0,5 \cdot \Delta t}. \quad \text{Очевидно, } y < 0,5 \cdot \Delta t. \quad \text{Следовательно, } \Delta < \Delta_0. \quad \text{Тогда, исходя}$$

из зависимости (2.31), имеем

$$\frac{\Delta}{\Delta_0} = \frac{\sigma}{K_{\text{рез}}} \cdot \frac{2 \cdot S \cdot \cos \varphi}{c} < 1, \quad (2.32)$$

т.е. выражение $\frac{\sigma}{K_{\text{рез}}} \cdot \frac{2 \cdot S \cdot \cos \varphi}{c}$ по физической сути является переда-

точной функцией между величинами Δ , Δ_0 и оно всегда меньше единицы. Чем меньше данное выражение, тем меньше величина Δ и соответственно выше точность обработанного отверстия. При условии

$\Delta/\Delta_0 \rightarrow 1$ фактически будет иметь место копирование положения оси O_0 обрабатываемого отверстия, что отрицательно скажется на точности его обработки.

Зависимость (2.31) отличается от аналогичных зависимостей (1.1) и (1.2) – (1.5), которые получены на основе эмпирических зависимостей для определения радиальной составляющей силы резания, т.е. для частных условий обработки. Зависимость (2.31) в явном виде не содержит составляющие силы резания. Вместо них в зависимость входят параметры силовой напряженности процесса резания σ и $K_{рез}$, которые выражаются через параметры обработки.

Благодаря этому зависимость (2.31), в отличие от указанных зависимостей, позволяет в общем виде проанализировать закономерности изменения погрешностей обработки и выявить предпочтительные пути их уменьшения. В случае достижения значений величины Δ , соизмеримых со значениями Δ_0 , в зависимости (2.31) вместо величины Δ_0 следует рассматривать $(\Delta_0 - \Delta)$. Тогда зависимость (2.31) примет вид

$$\Delta = \frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot \frac{2 \cdot S \cdot (\Delta_0 - \Delta)}{c} \cdot \cos \varphi.$$

В результате пришли к линейному уравнению относительно величины Δ . Разрешая его относительно величины Δ , имеем

$$\Delta = \frac{\Delta_0}{\left(1 + \frac{K_{рез}}{\sigma} \cdot \frac{c}{2 \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)}. \quad (2.33)$$

Полученная зависимость (2.33) отличается от исходной зависимости (2.31) тем, что входящие в нее параметры $K_{рез}, \sigma, c, S, \varphi$ в меньшей мере влияют на величину Δ . При условии $\frac{K_{рез}}{\sigma} \cdot \frac{c}{2 \cdot S \cdot \cos \varphi} < 1$ указанные выше параметры практически не будут влиять на величину Δ , которая в данном случае фактически будет равна величине Δ_0 . Этот случай может иметь место при весьма малой жесткости технологической системы c , при резании затупленным инструментом, вызывающим большие значения $\sigma/K_{рез}$, и увеличенных значениях S .

С увеличением жесткости технологической системы c и уменьшением отношения $\sigma/K_{рез}$ второе слагаемое знаменателя зависимости (2.33) увеличится и при его существенном превышении единицы зависимость (2.33) трансформируется в исходную зависимость (2.31). Таким

образом показано, что при условии $\Delta \rightarrow \Delta_0$ расчет и анализ величины Δ следует производить по зависимости (2.33), а при условии $\Delta \ll \Delta_0$ – по зависимости (2.31). Учитывая то, что в настоящей работе решается задача существенного уменьшения погрешностей обработки отверстия, в дальнейших исследованиях будем использовать зависимость (2.31). Это позволит обосновать условия обработки, реализующие случай $\Delta \ll \Delta_0$, т.е. случай высокоточной обработки отверстия.

2.3. Теоретический анализ условий уменьшения погрешностей обработки отверстия при его рассверливании

Используя зависимость (2.31), можно сформулировать основные условия уменьшения погрешностей при обработке отверстия с начальной значительной некруглостью и характеризующегося неравномерным снимаемым припуском. Они состоят в уменьшении отношения $\sigma/K_{рез}$, величины отклонения между осями Δ_0 отверстия горловины баллона и сверла, подачи S и увеличении жесткости c технологической системы и угла сверла в плане φ .

С физической точки зрения уменьшение отношения $\sigma/K_{рез}$ означает снижение силовой напряженности процесса рассверливания, например, за счет повышения режущей способности инструмента путем увеличения переднего угла лезвия или использования вибраций при обработке [47, 82]. Однако в научно-технической литературе отсутствуют аналитические зависимости для определения параметров σ и $K_{рез}$ при рассверливании, что требует их аналитического описания и исследования. Очевидно, наиболее простым путем уменьшения величины Δ является уменьшение подачи S при рассверливании (см. рис. 2.7). Однако, как отмечалось выше, это ведет к уменьшению производительности обработки Q , что не всегда целесообразно.

Уменьшить величину отклонения между осями Δ_0 отверстия горловины баллона и сверла можно обеспечением соосности режущего инструмента и обрабатываемого отверстия путем уменьшения погрешностей базирования обрабатываемого баллона. Для этого необходимо использовать более эффективную схему базирования заготовки баллона, обеспечивающую соосность горловины баллона и шпинделя станка. Необходимо также использовать специальные приспособления для точного установления оси горловины баллона относительно оси шпинделя станка, это позволит уменьшить величину Δ_0 .

Исходя из зависимости (2.31), уменьшить погрешность обработки отверстия Δ можно увеличением двойного угла сверла в плане

$2\varphi \rightarrow 180^0$ ($\cos\varphi \rightarrow 0$). В этом случае произойдет перераспределение составляющих силы резания P_y и P_x . Радиальная составляющая силы резания P_y уменьшится, а осевая составляющая P_x – увеличится, рис. 2.2. Реализация данного условия требует создания специальных конструкций сверл с углом $2\varphi \rightarrow 180^0$ (см. рис. 2.7).

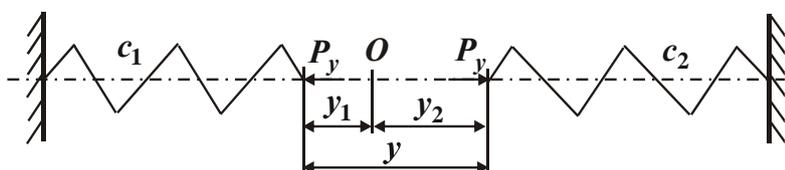


Рис. 2.12. Расчетная схема жесткости с технологической системы

Жесткость с технологической системы, входящая в зависимость (2.31), в общем случае определяется изгибной жесткостью c_1 подсистемы «инструмент» и изгибной жесткостью c_2 подсистемы «обрабатываемый баллон».

Для определения жесткости с рассмотрим расчетную схему (рис. 2.12), в которой подсистема «инструмент» представлена пружиной жесткостью c_1 , а подсистема «обрабатываемый баллон» – пружиной жесткостью c_2 . Обе пружины под действием силы P_y сжимаются на величины y_1 и y_2 . Тогда величина упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, равна

$$y = y_1 + y_2 = \frac{P_y}{c_1} + \frac{P_y}{c_2}. \quad (2.34)$$

Учитывая то, что $P_y / y = c$, имеем

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \quad \text{или} \quad c = \frac{1}{\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}\right)}. \quad (2.35)$$

Таким образом, получена аналитическая зависимость для определения жесткости с технологической системы, которая выражена через изгибные жесткости c_1 и c_2 . Как видно, изгибные жесткости c_1 и c_2 в одинаковой степени влияют на жесткость с технологической системы. С увеличением c_1 и c_2 жесткость с технологической системы увеличивается и при $c_1 \rightarrow \infty$, $c_2 \rightarrow \infty$ стремится к бесконечности, т.е. $c \rightarrow \infty$. Следовательно, уменьшить величину y , определяемую зависимостью (2.14), можно увеличением величин c_1 и c_2 . Увеличить изгибную жесткость сверла c_1 можно за счет применения более прочных инструментальных материалов и конструкций сверл, использования сверл с укорочен-

ченной рабочей частью, повышения жесткости крепления сверла и т.д. Увеличить изгибную жесткость c_2 обрабатываемого баллона можно в первую очередь путем повышения жесткости его крепления, применяя для этого одну из прогрессивных схем базирования.

Следует отметить, что обеспечить более высокие значения изгибной жесткости сверла c_1 значительно сложнее, чем изгибной жесткости c_2 горловины обрабатываемого баллона. Это связано со спецификой крепления сверла и баллона. Так, сверло имеет консольное закрепление, тогда как обрабатываемый баллон «зажимается» по торцу горловины и днищу баллона. В этом случае изгибная жесткость c_2 горловины обрабатываемого баллона может быть увеличена фактически неограниченно: $c_2 \rightarrow \infty$. Тогда, исходя из зависимости (2.35), жесткость с технологической системы будет определяться лишь изгибной жесткостью сверла c_1 , которая является ограниченной величиной, определяемой, по сути, длиной вылета сверла. Более полный анализ условий увеличения величины c_1 и соответственно жесткости с технологической системы будет проведен в последующих параграфах раздела.

Еще один подход, позволяющий уменьшить величину упругого перемещения y по зависимости (2.14) и соответственно величину смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ , определяемую зависимостью (2.31) – это увеличение количества лезвий инструмента. В данном случае при одинаковой производительности обработки можно уменьшить подачу, приходящуюся на одно лезвие, и, следовательно, величину Δ . Зависимость (2.31) с учетом сказанного примет вид

$$\Delta = \frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot \frac{4 \cdot S \cdot \Delta_0}{\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}\right) \cdot p} \cdot \cos \varphi, \quad (2.36)$$

где p – количество лезвий инструмента;
 S – подача, м/об.

Чем больше лезвий инструмента будет участвовать в процессе резания, тем меньше будет нагрузка, приходящаяся на одно лезвие, и соответственно величина смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ . Данный подход получил широкое применение на практике, в особенности для окончательной обработки высокоточных отверстий. На его основе разработаны конструкции осевых многолезвийных инструментов – зенкеров и разверток. Зенкер, как правило, имеет 3 – 4 режущих зуба (лезвия), развертка – более 10. Сверла изготавливаются с количеством лезвий не более 4.

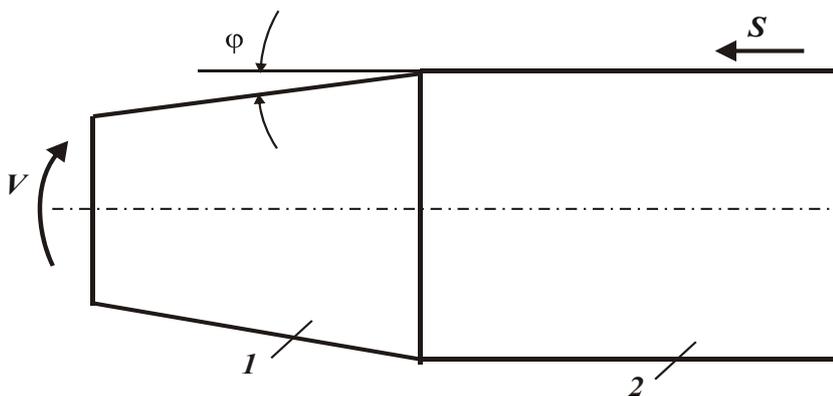


Рис. 2.13. Принципиальная схема конструкции развертки и основные ее движения при обработке

Условные обозначения: 1 – заборная часть; 2 – калибрующая часть

Развертка конструктивно состоит из заборной и калибрующей частей, рис. 2.13. Заборная часть предназначена для удаления припуска на обработку, а калибрующая – для обеспечения высоких показателей шероховатости и точности обрабатываемой поверхности. Угол заборного конуса развертки φ относительно небольшой – изменяется в пределах

10° , тогда как такой же угол у сверла принимает значительно большие значения. Исходя из зависимости (2.36), уменьшение угла φ ведет к увеличению величины смещения оси обработанного отверстия относительно его номинального положения Δ .



Рис. 2.14. Структурная схема условий уменьшения погрешности обработки отверстия с начальной значительной некруглостью

Рассмотрим, с чем может быть связано уменьшение угла заборного конуса и увеличение длины заборной части развертки, поскольку это, как показано выше, приводит к увеличению величины смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ . Развертка применяется для окончательной обработки отверстия. Поэтому для нее важно обеспечить высокую размерную стойкость, что достигается снижением нагрузки, действующей на каждое режущее лезвие. Согласно зависимостям (2.8) и (2.9), это предполагает уменьшение толщины среза a за счет уменьшения угла φ и соответственно увеличения ширины среза b . Следовательно, развертка должна иметь небольшой угол заборного конуса и достаточно протяженную заборную часть.

Таким образом, теоретически показано, что для создания высокоточных отверстий с начальной значительной некруглостью необходимо использовать несколько технологических переходов, включая переходы сверления, зенкерования и развертывания. В обобщенном виде выявленные условия уменьшения погрешности обработки отверстия с начальной значительной некруглостью показаны на рис. 2.14. Задача дальнейших исследований состоит в научно-обоснованном выборе тех условий, которые обеспечивают наиболее существенное уменьшение погрешности обработки отверстия.

2.4. Аналитическое описание и исследование параметров силовой напряженности процесса сверления

Приведенные в предыдущем параграфе аналитические зависимости содержат неопределенные параметры σ и $K_{рез}$, характеризующие силовую напряженность процесса резания. Поэтому важно их аналитически описать и проанализировать.

Для этого рассмотрим упрощенную расчетную схему процесса стружкообразования при резании (рис. 2.15), согласно которой съем материала происходит в результате сдвига элементов образующейся стружки вдоль условной плоскости сдвига, расположенной под углом β к направлению движения инструмента. Под действием составляющих силы резания P_z и P_y в плоскости сдвига возникает касательное напряжение τ , описываемое зависимостью [115]:

$$\tau = \frac{P_y}{a \cdot b} \cdot (0,5 \cdot K_{рез} \cdot \sin 2\beta - \sin^2 \beta),$$

где $K_{рез} = P_z / P_y$ - коэффициент резания;

a, b - соответственно толщина и ширина среза, м;

β - условный угол сдвига материала.

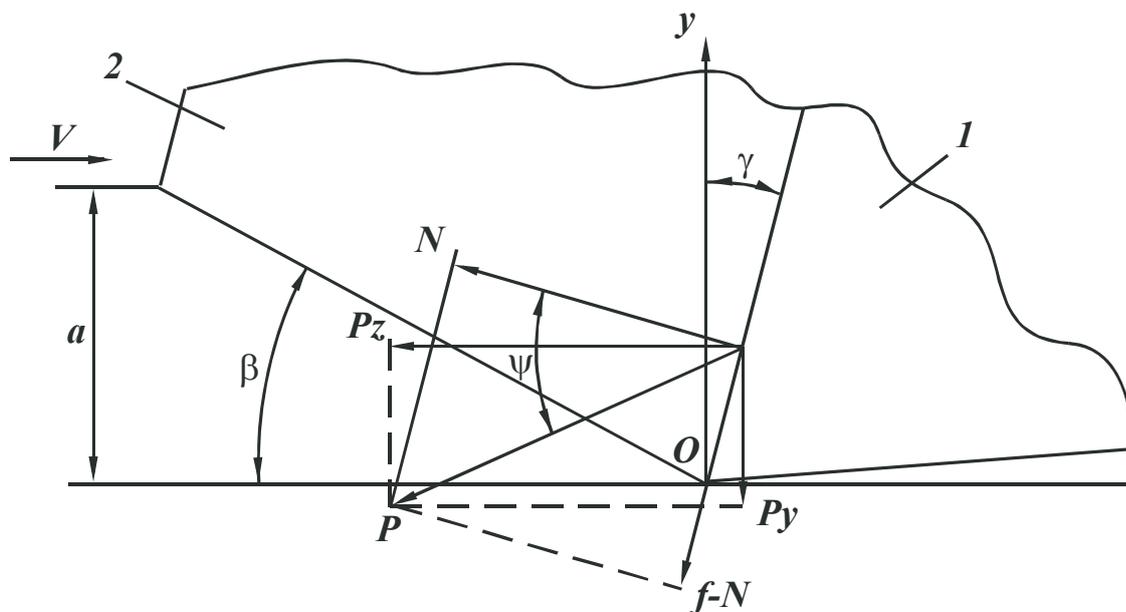


Рис. 2.15. Расчетная схема процесса резания
Условные обозначения: 1 – резец; 2 – стружка

Исходя из данной зависимости, касательное напряжение τ имеет максимум от угла β . Экстремальное значение β определяется из соотношения $\operatorname{tg}2\beta = K_{\text{рез}}$. С учетом условия $\tau = \tau_{\text{сдв}}$ (где $\tau_{\text{сдв}}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сдвиг) составляющие силы резания P_z и P_y , а также условное напряжение резания σ опишутся

$$P_y = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{\text{сдв}}}{K_{\text{рез}}^2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{\text{рез}}^2}\right),$$

$$P_z = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{\text{сдв}}}{K_{\text{рез}}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{\text{рез}}^2}\right),$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{\text{сдв}}}{K_{\text{рез}}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{\text{рез}}^2}\right). \quad (2.37)$$

Составляющие силы резания P_z и P_y зависят от площади поперечного сечения среза $a \cdot v$, прочности обрабатываемого материала на сдвиг $\tau_{\text{сдв}}$ и коэффициента резания $K_{\text{рез}}$, а условное напряжение резания σ – от $\tau_{\text{сдв}}$ и $K_{\text{рез}}$.

С увеличением $K_{\text{рез}}$ от 0 до ∞ параметры P_z , P_y и σ уменьшаются от ∞ до значений: $P_z \rightarrow 2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{\text{сдв}}$; $P_y \rightarrow 0$; $\sigma \rightarrow 2 \cdot \tau_{\text{сдв}}$. С учетом приближенного соотношения $\tau_{\text{сдв}} \approx 0,5 \cdot \sigma_{\text{сж}}$ (где $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности

обрабатываемого материала на сжатие) при $K_{рез} \rightarrow \infty$, имеем: $P_z \rightarrow a \cdot v \cdot \sigma_{сж}$; $\sigma \rightarrow \sigma_{сж}$, т.е. минимальное значение σ равно $\sigma_{сж}$.

Выразим коэффициент $K_{рез}$ через составляющие силы резания N и $f \cdot N$, возникающие на передней поверхности инструмента (см. рис. 2.15):

$$\begin{cases} P_z = N \cdot \cos \gamma + f \cdot N \cdot \sin \gamma, \\ P_y = -N \cdot \sin \gamma + f \cdot N \cdot \cos \gamma, \end{cases}$$

где f – коэффициент трения на передней поверхности инструмента;
 γ – передний угол инструмента.

Откуда

$$K_{рез} = \operatorname{ctg}(\psi - \gamma), \quad (2.38)$$

где ψ – условный угол трения материала с передней поверхностью инструмента ($\operatorname{tg} \psi = f$ – коэффициент трения).

Угол $\omega = \psi - \gamma$ в теории резания материалов называется углом действия.

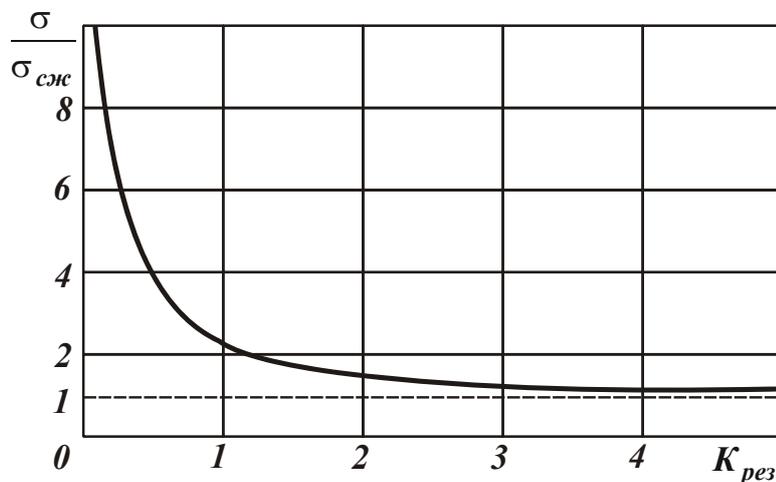


Рис. 2.16. Зависимость $\sigma/\sigma_{сж}$ от коэффициента резания $K_{рез}$

Как следует из зависимости (2.37), условное напряжение резания σ тем меньше, чем больше коэффициент резания $K_{рез}$, рис 2.16. Увеличить коэффициент резания $K_{рез}$, согласно зависимости (2.38), можно увеличением переднего угла инструмента γ и уменьшением условного коэффициента трения ψ обрабатываемого материала с передней по-

верхностью инструмента. Задавая значения $\sigma_{сж}$, γ , ψ , по зависимостям (2.37) и (2.38) несложно определить параметры σ и $K_{рез}$.

Применим зависимости (2.37) и (2.38) для расчета параметров σ и $K_{рез}$ при сверлении отверстия. Для упрощения расчетов и получения принципиальных решений примем, что двойной угол сверла в плане $2\varphi = 180^\circ$, а

передняя поверхность режущего лезвия сверла имеет вид, показанный на рис. 2.17, т.е. передний угол лезвия сверла равен нулю.

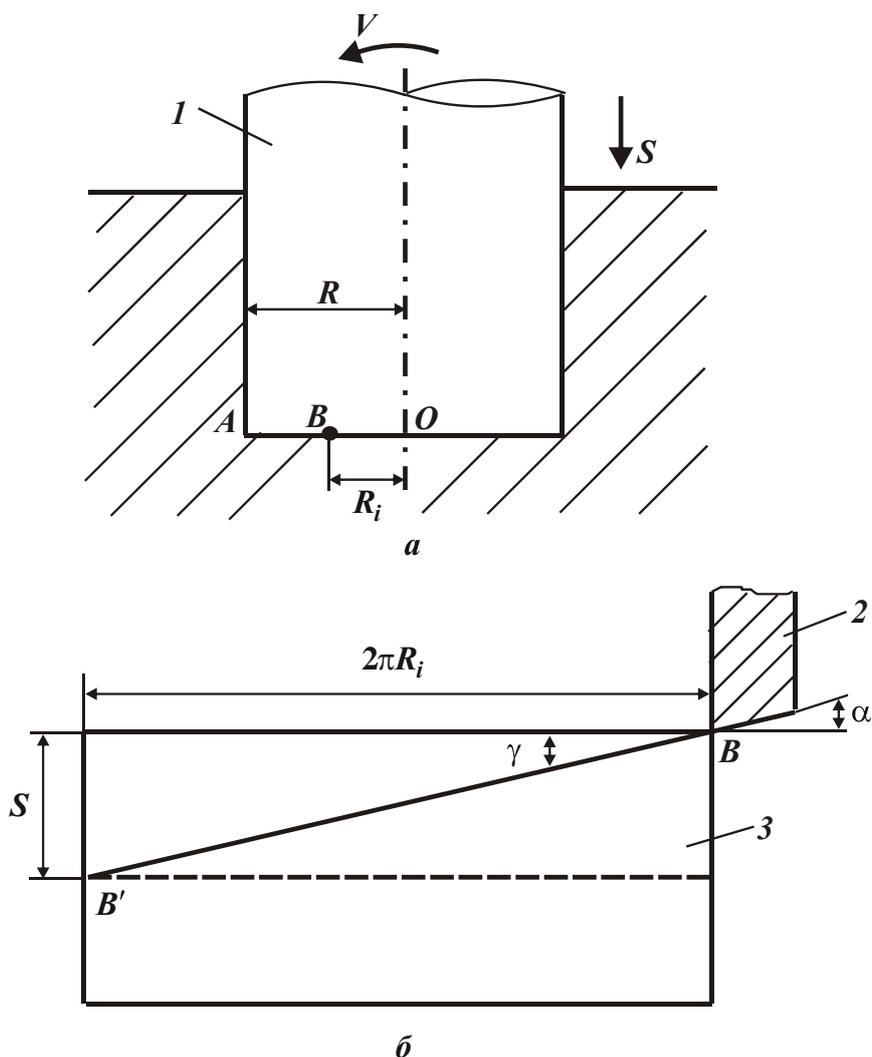


Рис. 2.17. Упрощенная расчетная схема процесса сверления (а) и развертка траектории перемещения точки, расположенной на режущем лезвии сверла (б)

Условные обозначения: 1 – сверло; 2 – лезвие сверла; 3 – обрабатываемый материал

За время одного вращения сверло перемещается в осевом направлении на величину подачи S . Каждая точка режущего лезвия проходит разную длину пути: точка А – наибольшую, а точка О – наименьшую. На рис. 2.17,б показана развертка траектории перемещения (по винтовой линии) точки В, расположенной на режущем лезвии сверла, в точку В' за одно вращение сверла. В результате такого перемещения точки В рабочий передний угол инструмента увеличится от нуля до величины γ , определяемой следующей зависимостью:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{S}{2\pi \cdot R_i}, \quad (2.39)$$

где R_i – текущий радиус сверла, м.

Как следует из зависимости (2.39), передний угол сверла γ тем больше, чем больше подача S и меньше текущий радиус сверла R_i . Очевидно, для точки А режущего лезвия сверла радиусом R передний угол примет наименьшее значение $\operatorname{tg} \gamma = \frac{S}{2\pi \cdot R}$. Для точки О режущего лезвия сверла передний угол будет наибольшим: $\gamma = 90^\circ$, т.к. $R_i = 0$. В этом случае, как будет показано далее, процесс резания неосуществим,

возможен лишь процесс упруго-пластического деформирования обрабатываемого металла. Этим показано, что при сверлении рабочий передний угол инструмента зависит от подачи и радиуса сверла. Разрешим зависимость (2.39) относительно R_i :

$$R_i = \frac{S}{2\pi} \cdot \operatorname{ctg}\gamma . \quad (2.40)$$

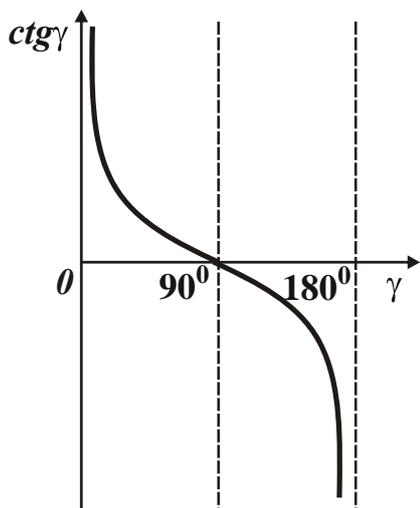


Рис. 2.18. График изменения функции $\operatorname{ctg}\gamma$

На рис. 2.18 показан график изменения функции $\operatorname{ctg}\gamma$, а в табл. 2.5 приведены ее численные значения. Как видно, с увеличением угла γ от 0 до 90° функция $\operatorname{ctg}\gamma$ уменьшается от бесконечности до нуля. Соответственно по такому закону уменьшается и текущий радиус R_i . Необходимо отметить, что, исходя из рис. 2.17,б, угол γ не должен превышать задний угол режущего лезвия сверла α , т.к. процесс резания будет неосуществим. Следовательно, задний угол лезвия сверла α должен определяться из условия

$$\operatorname{tg}\alpha \geq \frac{S}{2\pi \cdot R_i} . \quad (2.41)$$

Таблица 2.5

Значения функции $\operatorname{ctg}\gamma$

γ , град	10	30	50	70	90
$\operatorname{ctg}\gamma$	5,67	1,73	0,84	0,36	0

Из условия (2.41) следует, что задний угол лезвия сверла α должен быть переменным по длине лезвия сверла. Наименьшее значение угол α должен принимать в точке А, а наибольшее значение – $\alpha = 90^\circ$ в точке О.

Располагая зависимостью (2.39), можно подойти к определению параметров силовой напряженности процесса сверления σ и $K_{\text{рез}}$, описываемых зависимостями (2.37) и (2.38). Для этого преобразуем зависимость (2.38) с помощью известного тригонометрического соотношения:

$$\operatorname{tg}(\psi - \gamma) = \frac{\operatorname{tg}\psi - \operatorname{tg}\gamma}{1 + \operatorname{tg}\psi \cdot \operatorname{tg}\gamma} = \frac{f - \operatorname{tg}\gamma}{1 + f \cdot \operatorname{tg}\gamma} . \quad (2.42)$$

Подставляя его в зависимость (2.39), получим

$$\operatorname{tg}(\psi - \gamma) = \frac{\left(f - \frac{S}{2\pi \cdot R_i} \right)}{\left(1 + f \cdot \frac{S}{2\pi \cdot R_i} \right)}. \quad (2.43)$$

Тогда $K_{\text{рез}}$, определяемый зависимостью (2.38), примет вид:

$$K_{\text{рез}} = \operatorname{ctg}(\psi - \gamma) = \frac{\left(1 + f \cdot \frac{S}{2\pi \cdot R_i} \right)}{\left(f - \frac{S}{2\pi \cdot R_i} \right)}. \quad (2.44)$$

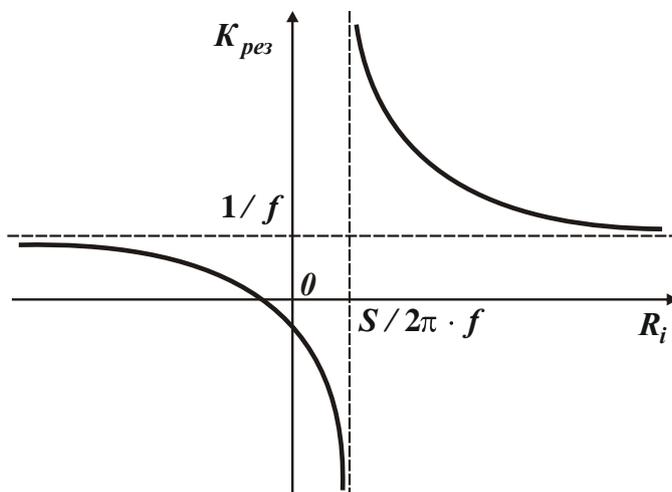


Рис. 2.19. **Общий вид зависимости**
 $K_{\text{рез}} - R_i$

Как видно, коэффициент резания $K_{\text{рез}}$ в значительной степени зависит от текущего радиуса R_i . Чем меньше R_i , тем больше $K_{\text{рез}}$ и соответственно меньше условное напряжение резания σ , определяемое зависимостью (2.37). Следовательно, ниже силовая напряженность процесса резания при сверлении.

С физической точки зрения коэффициент резания $K_{\text{рез}}$ положительная величина. Од-

нако, исходя из зависимости (2.44), при условии $f < \frac{S}{2\pi \cdot R_i}$ он принимает

отрицательные значения, рис. 2.19. В этом случае процесс резания не осуществим, возможен лишь процесс упруго-пластического деформирования обрабатываемого металла без образования стружки. Таким обра-

зом, при условии $f = \frac{S}{2\pi \cdot R_i}$ с увеличением текущего радиуса сверла R_i

(рис. 2.19) происходит переход от упруго-пластического деформирования металла к процессу резания. Коэффициент резания $K_{\text{рез}}$ при этом увеличивается. Из данного условия можно определить предельное значение текущего радиуса R_i , при котором осуществим процесс стружкообразования при резании:

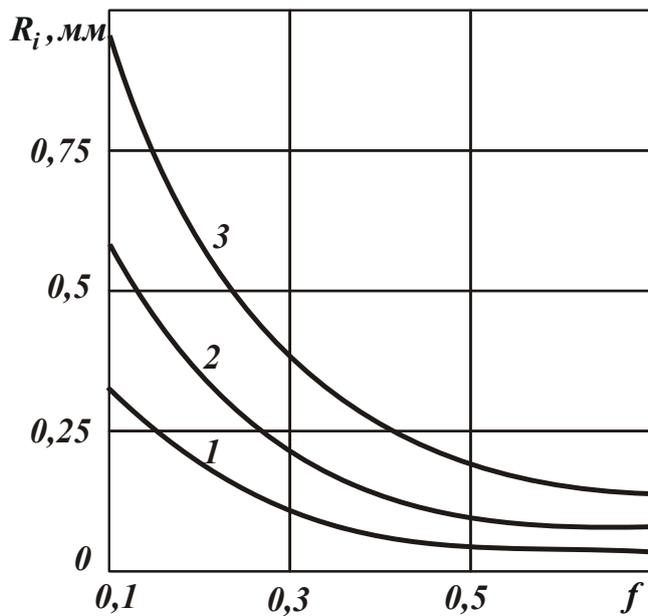


Рис. 2.20. Зависимость R_i от f
 Условия обработки: 1 – $S = 0,2$ мм/об; 2 – $S = 0,4$ мм/об; 3 – $S = 0,6$ мм/об

визия, т.е. фактически в центре сверла. Поскольку на данном участке невозможно срезать металл, его необходимо переместить за пределы этого участка методом пластического деформирования, а затем срезать. Это достигается созданием на сверле конуса или перемычки [20, 26, 50, 82–85].

Подводя итоги, можно заключить, что зависимость (2.44) справедлива в диапазоне изменения

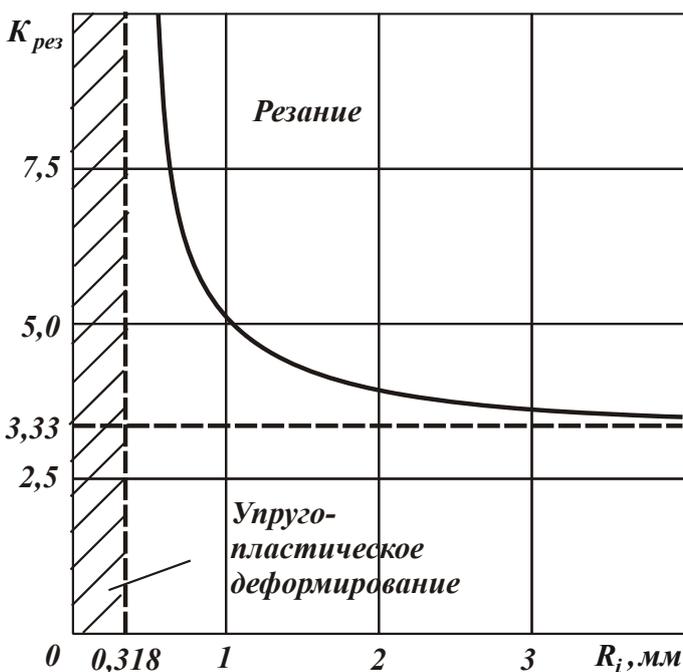


Рис. 2.21. Зависимость $K_{рез}$ от R_i
 Условия обработки: $f = 0,3$; $S = 0,6$ мм/об

$$R_i = \frac{S}{2\pi \cdot f} \quad (2.45)$$

Из зависимости (2.44) следует, что при условии $R_i \rightarrow \infty$ коэффициент резания $K_{рез}$ принимает значение $K_{рез} = 1/f$.

На рис. 2.20 приведены расчетные значения R_i в зависимости от коэффициента трения f обрабатываемого металла с передней поверхностью режущего лезвия сверла и подачи S . Как следует из рис. 2.20, эти значения относительно небольшие, не превышают 1 мм. Следовательно, процесс стружкообразования неосуществим лишь на небольшом участке длины лезвия,

т.е. фактически в центре сверла. Поскольку на данном участке невозможно срезать металл, его необходимо переместить за пределы этого участка методом пластического деформирования, а затем срезать. Это достигается созданием на сверле конуса или перемычки [20, 26, 50, 82–85].

Подводя итоги, можно заключить, что зависимость (2.44) справедлива в диапазоне изменения текущего радиуса R_i от значения $\frac{S}{2\pi \cdot f}$ до радиуса сверла R . Графически данная закономерность проиллюстрирована на рис. 2.21. Для значений $f = 0,3$; $S = 0,6$ мм/об текущий радиус R_i изменяется в диапазоне $R_i \geq 0,318$ мм, поскольку при $R_i < 0,318$ мм процесс резания неосуществим.

Коэффициент резания $K_{рез}$ при этом уменьшается от бесконечности до значения 3,33. Следует обратить вни-

мание на то, что с увеличением R_i коэффициент резания $K_{рез}$ уменьшается довольно интенсивно. Поэтому существенному изменению $K_{рез}$ подвержен лишь при относительно небольших значениях R_i . На рис. 2.22 показан характер изменения коэффициента резания $K_{рез}$ от текущего радиуса сверла R_i для различных значений S и f . Как видно, с увеличением подачи S коэффициент резания $K_{рез}$ увеличивается, а с увеличением коэффициента трения f , наоборот, уменьшается.

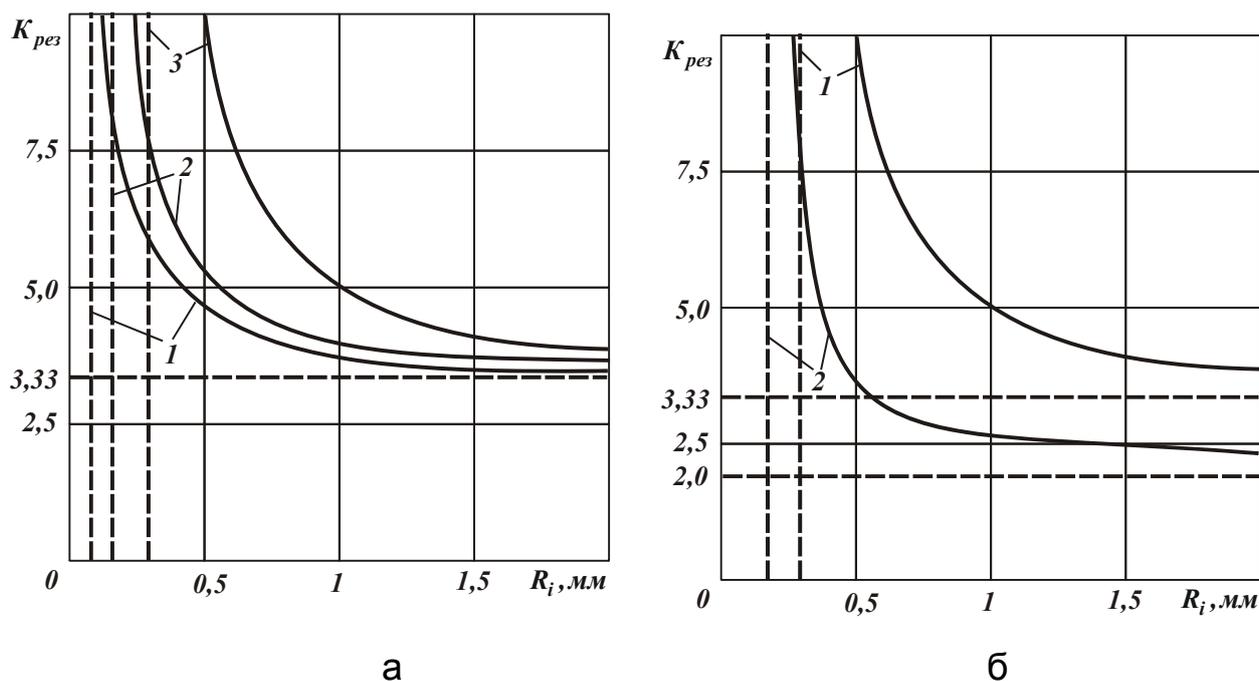


Рис. 2.22. Зависимость $K_{рез}$ от R_i для различных значений подачи S (а) и коэффициента трения f (б)

Условия обработки: а – $f = 0,3$; 1 – $S = 0,1$ мм/об; 2 – $S = 0,3$ мм/об; 3 – $S = 0,6$ мм/об; б – $S = 0,6$ мм/об; 1 – $f = 0,3$; 2 – $f = 0,5$

Для определения условного напряжения резания σ преобразуем зависимость (2.37) с учетом зависимости (2.38):

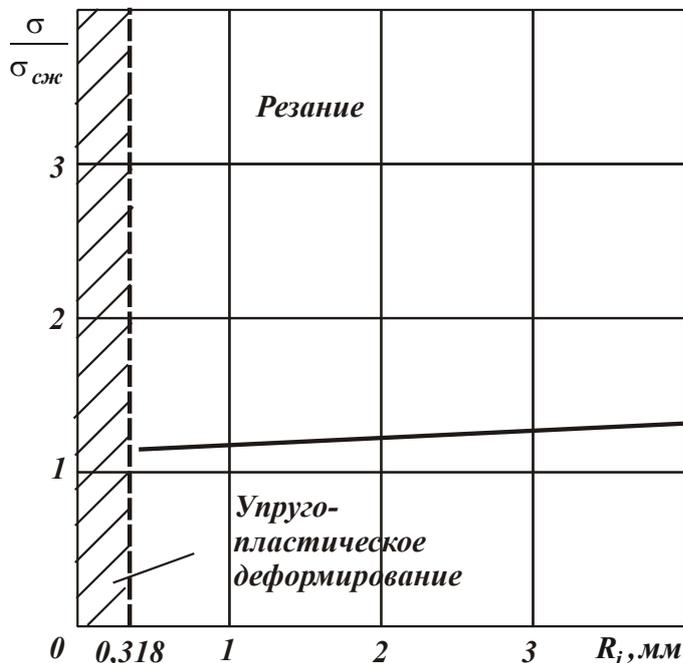
$$\sigma = \sigma_{сж} \cdot \left[\operatorname{tg}(\psi - \gamma) + \frac{1}{\cos(\psi - \gamma)} \right]. \quad (2.46)$$

При изменении угла трения ψ в пределах до $30 - 40^\circ$, независимо от переднего угла режущего лезвия сверла γ , функция $\cos(\psi - \gamma)$ будет принимать значения, близкие к единице. Поэтому для упрощения расчетов в первом приближении примем $\cos(\psi - \gamma) \approx 1$.

Тогда зависимость (2.46) опишется

$$\sigma = \sigma_{сж} \cdot [\operatorname{tg}(\psi - \gamma) + 1] = \sigma_{сж} \cdot \left(\frac{1}{K_{рез}} + 1 \right). \quad (2.47)$$

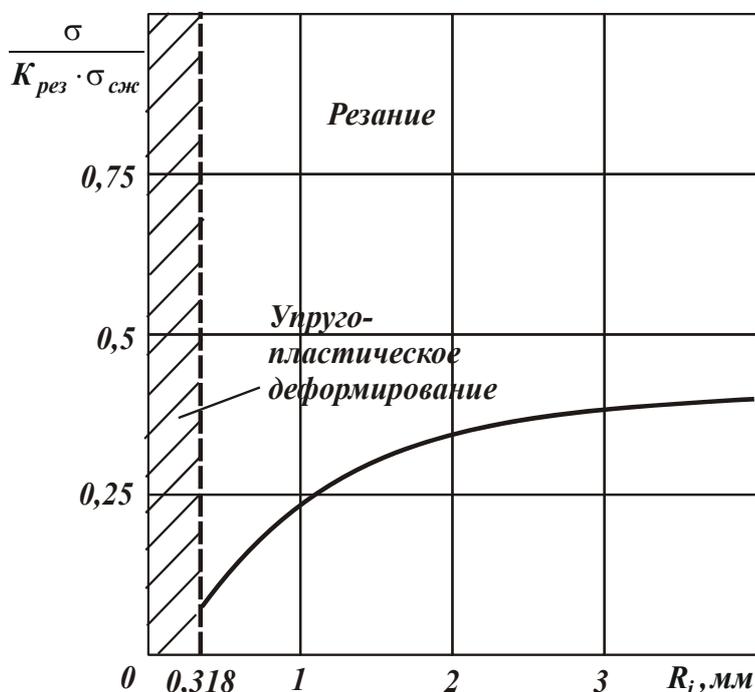
Подставляя в (2.47) зависимость (2.43), получим



а

$$\sigma = \sigma_{сж} \cdot \left[\frac{\left(f - \frac{S}{2\pi \cdot R_i} \right)}{\left(1 + f \cdot \frac{S}{2\pi \cdot R_i} \right)} + 1 \right]. \quad (2.48)$$

Также как и коэффициент резания $K_{рез}$, условное напряжение резания σ зависит от текущего радиуса R_i . Чем меньше R_i , тем меньше σ (рис. 2.23,а), т.е. ниже силовая напряженность процесса резания при сверлении. Однако, условное напряжение резания σ с увеличением R_i изменяется в меньшей мере, чем коэффициент резания $K_{рез}$. С учетом зависимости (2.47) отношение $\sigma/K_{рез}$, входящее в зависимость (2.13), выразится



б

Рис. 2.23. Зависимости $\sigma/\sigma_{сж}$ (а) и $\sigma/K_{рез} \cdot \sigma_{сж}$ (б) от R_i

Условия обработки: $f = 0,3$; $S = 0,6$ мм/об

$$\frac{\sigma}{K_{рез}} = \frac{\sigma_{сж}}{K_{рез}} \cdot \left(\frac{1}{K_{рез}} + 1 \right). \quad (2.49)$$

Расчетами установлено, что с увеличением R_i отношение $\sigma/K_{рез}$ не остается постоянным, а увеличивается, рис. 2.23,б. Это связано с переменностью рабочего переднего угла сверла вдоль его лезвия

вследствие различной длины винтовой линии, образованной точками лезвия. Причем, с увеличением R_i (в диапазоне $R_i > 2$ мм) интенсивность роста отношения $\sigma/K_{рез}$ существенно уменьшается. Следовательно, при рассверливании отверстия отношение $\sigma/K_{рез}$ в зависимости (2.31) в первом приближении можно рассматривать не зависящим от текущего радиуса R_i , а определяемым из условия $R_i = R$. Очевидно, чем больше R , тем больше отношение $\sigma/K_{рез}$.

Поскольку отношение $\sigma/K_{рез}$ вполне однозначно определяется коэффициентом резания $K_{рез}$, то уменьшить отношение $\sigma/K_{рез}$ можно увеличением подачи S и уменьшением коэффициента трения f . Этим показано, что подача S неоднозначно влияет на величину отклонения оси обработанного отверстия от ее номинального положения Δ , определяемую зависимостью (2.31). Вместе с тем, расчетами установлено, что в конечном итоге с увеличением подачи S величина Δ увеличивается, однако с интенсивностью ниже линейной.

Из рис. 2.23 следует, что отношение $\sigma/K_{рез}$ более интенсивно изменяется с увеличением R_i , чем условное напряжение резания σ . Это связано с тем, что отношение $\sigma/K_{рез}$ (по нашему определению – условное касательное напряжение резания) более чувствительно к изменению условий обработки и поэтому более полно отражает ее физическую сущность.

2.5. Аналитическое определение составляющих силы резания при рассверливании и сверлении отверстий

Рассматривая при рассверливании отверстия отношение $\sigma/K_{рез}$ не зависящим от R_i , а определяемым радиусом отверстия R , можно рассчитать составляющие силы резания. Тангенциальная составляющая силы резания P_z , определяемая зависимостью (2.6), с учетом зависимости (2.10), выразится

$$P_z = \sigma \cdot S \cdot t, \quad (2.50)$$

где t – глубина резания, м;

S – подача, приходящаяся на лезвие сверла, м/об.

Радиальная P_y и осевая P_x составляющие силы резания будут определяться зависимостями (2.2) и (2.3) с учетом зависимостей (2.4) и (2.50):

$$P_y = \frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot S \cdot t \cdot \cos \varphi; \quad P_x = \frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot S \cdot t \cdot \sin \varphi. \quad (2.51)$$

Как видно, с увеличением угла сверла в плане φ радиальная составляющая силы резания P_y уменьшается, а осевая составляющая P_x – увеличивается, что способствует уменьшению величины упругого перемещения y , возникающего в технологической системе, и повышению точности обработки отверстия. Используя полученные зависимости (2.44) и (2.48), определим составляющие силы резания P_z , P_y и P_x при сверлении. Составляющая P_z , согласно зависимости (2.6), определяется произведением условного напряжения резания σ и площади поперечного сечения среза $S_{\text{срез}}$. Поскольку условное напряжение резания σ является переменной величиной по длине режущего лезвия сверла, т.е. зависит от R_i , то зависимость (2.6) можно представить в виде

$$P_z = \sum_i P_{z_i} = \sum_i \sigma_i \cdot \Delta S_{\text{срез}}, \quad (2.52)$$

где P_{z_i} – элементарная составляющая силы P_z , действующая на элементарную площадку режущего лезвия площадью $\Delta S_{\text{срез}} = a \cdot \Delta R_i$ (рис. 2.24);

a – толщина среза, м;

ΔR_i – длина элементарной площадки режущего лезвия сверла, м.

Условное напряжение резания σ_i , входящее в зависимость (2.52), определяется зависимостью (2.48). В данном случае, поскольку угол сверла в плане φ принят равным нулю, толщина среза a определится как $a = S/2$. Заменим в зависимости (2.52) суммирование интегрированием. Поскольку нижний предел интегрирования $R_1 = \frac{S}{2\pi \cdot f}$, как было показано выше, принимает весьма малые значения, для упрощения расчетов будем считать, что $R_1 = 0$, тогда

$$P_z = \int_0^R \sigma_i \cdot dS_{\text{среза}} = \int_0^R \sigma_i \cdot a \cdot dR_i = 0,5 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot S \cdot \int_0^R \left[\frac{\left(f - \frac{S}{2\pi \cdot R_i} \right)}{\left(1 + f \cdot \frac{S}{2\pi \cdot R_i} \right)} + 1 \right] \cdot dR_i. \quad (2.53)$$

Преобразуя подинтегральное выражение в зависимости (2.53), получим

$$P_z = 0,5 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot S \cdot \left[(1 + f) \cdot R - \frac{S}{2\pi} \cdot (1 + f^2) \cdot \ln \left(1 + \frac{2\pi \cdot R}{S \cdot f} \right) \right]. \quad (2.54)$$

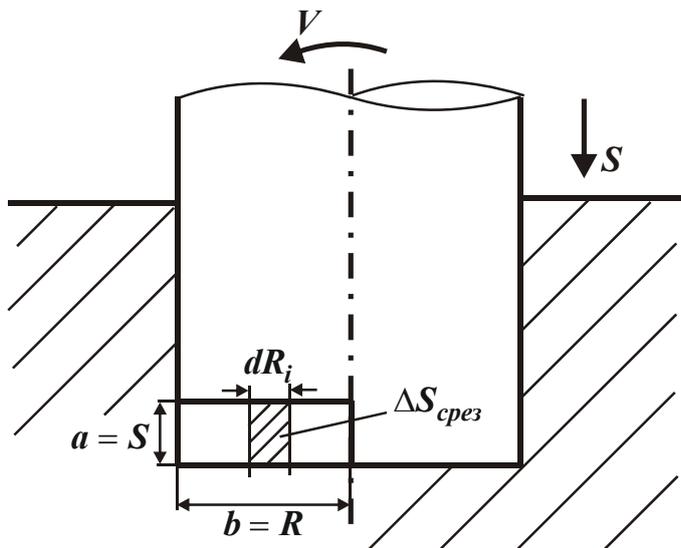


Рис. 2.24. Расчетная схема параметров процесса сверления

В результате интегрирования пришли к довольно сложной аналитической зависимости для определения P_z . Из нее вытекает, что вполне однозначное влияние на P_z оказывает лишь параметр $\sigma_{сж}$. Остальные параметры (S, f, R) неоднозначно влияют на тангенциальную составляющую силы резания P_z .

Для количественной оценки влияния указанных параметров на P_z , следует провести исследование функции P_z на экстремум. Однако, как нами

установлено, решить данную задачу чисто аналитически чрезвычайно трудно, т.к. подчиняя функцию P_z условию экстремума (после ее дифференцирования по переменным S, f, R), приходим к очень сложным трансцендентным уравнениям, требующим применения численных расчетов. Это снижает наглядность полученных решений. Поэтому проведем упрощенный анализ характера изменения тангенциальной составляющей силы резания P_z от параметров S, f, R .

Из зависимости (2.54) нетрудно видеть, что второе слагаемое, заключенное в квадратные скобки, меньше первого слагаемого. Следовательно, при определении P_z будет доминировать первое слагаемое. Из этого можно заключить, что с увеличением подачи S первое слагаемое будет увеличиваться по линейной зависимости, а второе слагаемое будет уменьшаться, однако с меньшей интенсивностью. Следовательно, с увеличением подачи S тангенциальная составляющая P_z будет увеличиваться с интенсивностью ниже линейной.

С увеличением радиуса сверла R первое слагаемое зависимости (2.54) будет увеличиваться по линейному закону, а второе слагаемое будет уменьшаться, но с меньшей интенсивностью. В результате тангенциальная составляющая силы резания P_z с увеличением радиуса сверла R , как и с увеличением подачи S , будет увеличиваться с интенсивностью ниже линейной.

С увеличением коэффициента трения f обрабатываемого материала с передней поверхностью режущего лезвия сверла будет наблюдаться аналогичная закономерность, т.е. в результате доминирования первого слагаемого в зависимости (2.54) тангенциальная составляющая силы резания P_z будет увеличиваться с интенсивностью ниже линейной.

Используя зависимость (2.54), определим крутящий момент $M = 0,5 \cdot R \cdot P_z$ при сверлении:

$$M = 0,25 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot R \cdot \left[(1+f) \cdot R - \frac{S}{2\pi} \cdot (1+f^2) \cdot \ln \left(1 + \frac{2\pi \cdot R}{S \cdot f} \right) \right]. \quad (2.55)$$

Как видно, радиус сверла R в большей степени влияет на крутящий момент M , чем на тангенциальную составляющую силы резания P_z . Это хорошо согласуется с известными экспериментальными данными, выраженными в виде эмпирической зависимости [9]:

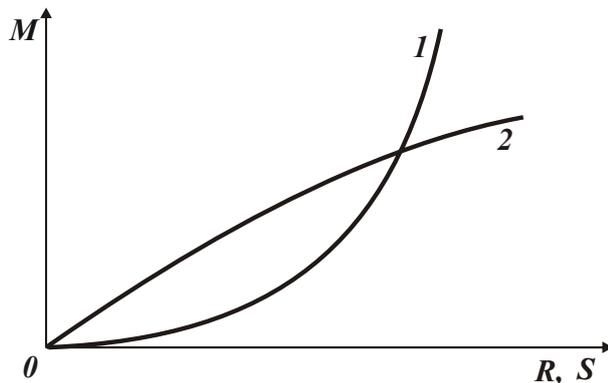


Рис. 2.25. Примерные зависимости крутящего момента M от радиуса сверла R (1) и подачи S (2)

$$M = C_2 \cdot D^{x_M} \cdot S^{y_M}, \quad (2.56)$$

где D – диаметр сверла, м;
 C_2 – постоянная, определяемая параметрами обработки (кроме диаметра сверла D и подачи S);
 $x_M = 2,0$; $y_M = 0,8 - 0,9$.

Учитывая преобладание первого слагаемого над вторым в зависимости (2.55), нетрудно видеть, что с увеличением радиуса сверла R (или его диаметра D) крутящий

момент M будет увеличиваться по квадратичной зависимости, а с увеличением подачи S – увеличиваться примерно по линейной зависимости, рис. 2.25. Такие же закономерности изменения крутящего момента M вытекают из эмпирической зависимости (2.56), что свидетельствует о достоверности полученной аналитической зависимости (2.55).

Проведенный теоретический анализ изменения тангенциальной составляющей силы резания P_z и крутящего момента M справедлив для условия $2\varphi = 180^\circ$. Представляет интерес оценка влияния угла сверла в плане φ (изменяющегося в пределах $0 \dots 90^\circ$) на параметры P_z и M . Как показано в параграфе 2.1, влияние угла φ проявляется в уменьшении толщины среза a и увеличении ширины среза b в соответствии с зависимостями (2.8) и (2.9). Поэтому, чтобы учесть угол φ в зависимости (2.54), необходимо вместо подачи S подставить выражение для определения толщины среза $a = S \cdot \sin \varphi$, а вместо радиуса сверла R – выражение $b = R / \sin \varphi$. Это связано с тем, что в зависимости (2.54) подача S была равна толщине среза a , а радиус сверла R выполнял роль ширины среза b , т.к. угол $2\varphi = 180^\circ$. С учетом сказанного (2.54) примет вид

$$P_z = 0,5 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot \sin \varphi \times \left[(1+f) \cdot \frac{R}{\sin \varphi} - \frac{S \cdot \sin \varphi}{2\pi} \cdot (1+f^2) \cdot \ln \left(1 + \frac{2\pi}{S \cdot \sin^2 \varphi} \cdot \frac{R}{f} \right) \right]. \quad (2.57)$$

Преобразуем зависимость (2.57):

$$P_z = 0,5 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot \left[(1+f) \cdot R - \frac{S \cdot \sin^2 \varphi}{2\pi} \cdot (1+f^2) \cdot \ln \left(1 + \frac{2\pi}{S \cdot \sin^2 \varphi} \cdot \frac{R}{f} \right) \right]. \quad (2.58)$$

Используя зависимость (2.58), определим крутящий момент $M = 0,5 \cdot R \cdot P_z$ при сверлении:

$$M = 0,25 \cdot \sigma_{сж} \cdot S \cdot R \times \left[(1+f) \cdot R - \frac{S \cdot \sin^2 \varphi}{2\pi} \cdot (1+f^2) \cdot \ln \left(1 + \frac{2\pi}{S \cdot \sin^2 \varphi} \cdot \frac{R}{f} \right) \right]. \quad (2.59)$$

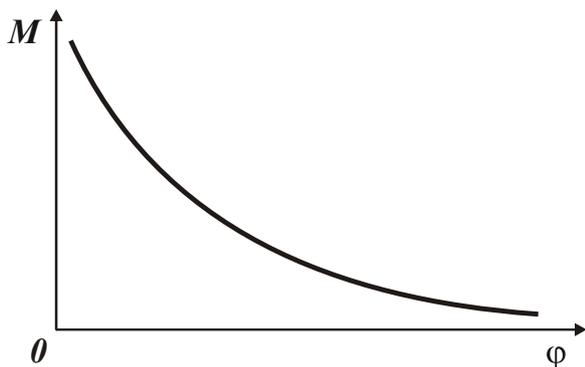


Рис. 2.26. Примерная зависимость крутящего момента M от угла φ

Как следует из зависимости (2.59), угол φ входит лишь во второе слагаемое зависимости. Причем, оказывает на него неоднозначное влияние, т.к. входит функцией синус в числитель и знаменатель. Очевидно, что с увеличением угла φ логарифмическая функция будет уменьшаться с меньшей интенсивностью по сравнению с ростом функции $\sin^2 \varphi$, входящей в числитель второго слагаемого. Поэтому с увеличением угла φ второе слагаемое будет

увеличиваться, вызывая уменьшение M . Этим теоретически показано, что с увеличением угла φ крутящий момент M должен уменьшаться, рис. 2.26.

Полученное теоретическое решение согласуется с известными экспериментальными данными, рис. 2.27 [9]. Следовательно, увеличение угла φ способствует снижению P_z и крутящего момента M .

Необходимо отметить, что такой же характер изменения P_z от угла резца в плане φ имеет место и при продольном точении, рис. 2.28 [9]. С физической точки зрения это обусловлено уменьшением условного напряжения резания σ , т.к. площадь поперечного сечения среза $S_{срез}$ в зависимости (2.6)

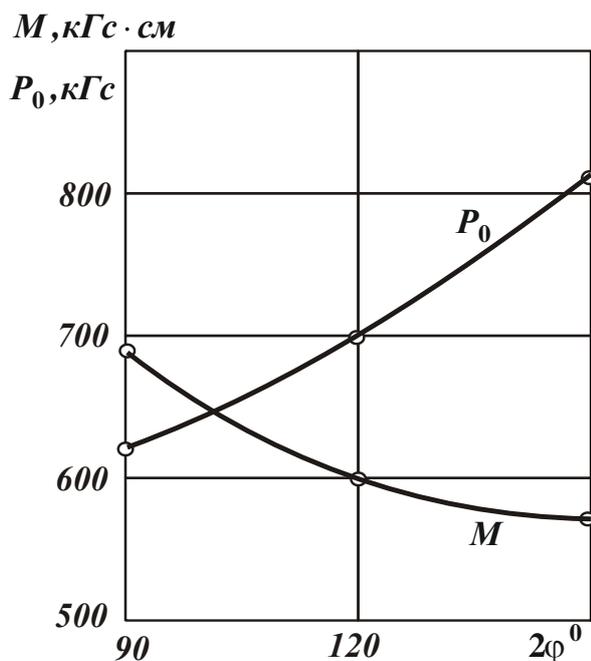


Рис. 2.27. Влияние угла 2φ на P_0 и M при сверлении стали

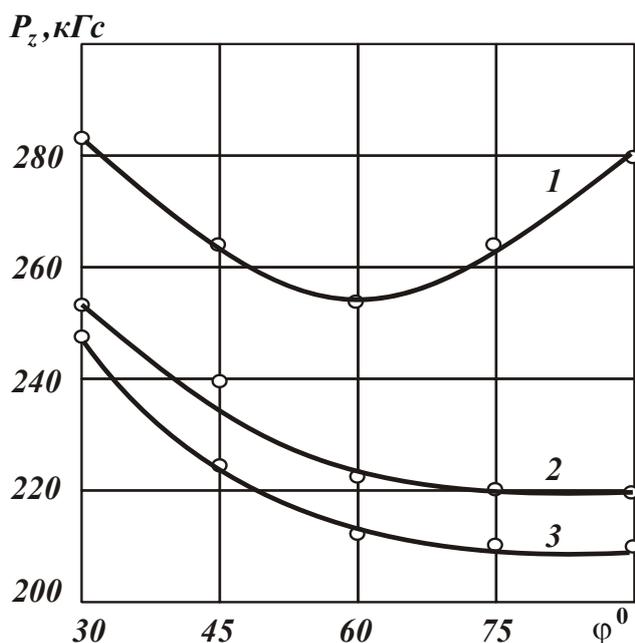


Рис. 2.28. Влияние главного угла в плане φ на силу P_z при точении

Условия обработки: сталь; $t = 2$ мм; $S = 0,48$ мм/об; 1 – несвободное точение резцом с $r = 2$ мм при $V = 40$ м/мин; 2 – несвободное точение резцом с $r = 0$ при $V = 40$ м/мин; 3 – свободное точение при $V = 44$ м/мин

остается постоянной. Уменьшение σ обусловлено увеличением коэффициента резания $K_{рез}$ в соответствии с зависимостью (2.37) за счет увеличения фактического переднего угла инструмента γ (в связи с увеличением соотношения a/b и улучшением условий стружкообразования). Возможна также экстремальная зависимость P_z от φ (см. рис. 2.28), что согласуется с теоретическими данными.

Аналогично тангенциальной составляющей силы резания P_z , можно определить радиальную P_y и осевую P_x составляющие силы резания. Для этого, исходя из зависимостей (2.2) и (2.3), необходимо определить силу $P_0 = P_z / K_{рез}$, выражаемую зависимостью (2.4). Поскольку параметры P_z и $K_{рез}$, описываемые (2.44) и (2.48), являются функциями от текущего радиуса R_i , то силу P_0 необходимо представить

$$P_0 = \sum_i \frac{P_{z_i}}{K_{рез}} = \sum_i \frac{\sigma_i \cdot \Delta S_{срез}}{K_{рез}} \quad (2.60)$$

Перейдем от суммирования к интегрированию в соответствии с методикой определения P_z , приведенной выше, а также с учетом того, что угол φ изменяется в пределах $0 < \varphi \leq 90^\circ$:

$$P_0 = \int_0^b \frac{\sigma_i}{K_{рез}} \cdot dS_{срез} = \int_0^b \frac{\sigma_i \cdot a}{K_{рез}} \cdot dR_i, \quad (2.61)$$

где $a = 0,5 \cdot S \cdot \sin \varphi$ – толщина среза, м;

$b = \frac{R}{\sin \varphi}$ – ширина среза, м.

Подставим в зависимость (2.61) зависимости (2.38) и (2.47):

$$P_0 = 0,5 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot S \cdot \sin \varphi \cdot \int_0^b \left[\operatorname{tg}^2(\psi - \gamma) + \operatorname{tg}(\psi - \gamma) \right] \cdot dR_i. \quad (2.62)$$

С учетом зависимости (2.43), после преобразований, имеем

$$\begin{aligned} P_0 &= 0,5 \sigma_{\text{сж}} \cdot S \cdot \sin \varphi \cdot \int_0^b \left[\left(\frac{f \cdot R_i - \frac{S}{2\pi}}{R_i + f \cdot \frac{S}{2\pi}} \right)^2 + \left(\frac{f \cdot R_i - \frac{S}{2\pi}}{R_i + f \cdot \frac{S}{2\pi}} \right) \right] \cdot dR_i = \\ &= 0,5 \sigma_{\text{сж}} \cdot S \left\{ R \cdot f(1+f) - \frac{S \cdot \sin \varphi}{2\pi} \cdot (1+f^2) \cdot (1+2f) \ln \left(1 + \frac{2\pi R}{f \cdot S \cdot \sin \varphi} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{S}{2\pi} \right)^2 (1+f^2)^2 \sin \varphi \cdot \left[\frac{2\pi}{f \cdot S} - \frac{1}{\left(\frac{R}{\sin \varphi} + \frac{f \cdot S}{2\pi} \right)} \right] \right\}. \quad (2.63) \end{aligned}$$

Подставляя полученную зависимость (2.63) в зависимости (2.2) и (2.3), определим составляющие силы резания $P_y = P_0 \cdot \cos \varphi$ и $P_x = P_0 \cdot \sin \varphi$:

$$\begin{aligned} P_y &= 0,5 \sigma_{\text{сж}} S \cos \varphi \left\{ R \cdot f(1+f) - \frac{S \sin \varphi}{2\pi} (1+f^2) (1+2f) \ln \left(1 + \frac{2\pi R}{f \cdot S \sin \varphi} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{S}{2\pi} \right)^2 (1+f^2)^2 \sin \varphi \cdot \left[\frac{2\pi}{f \cdot S} - \frac{1}{\left(\frac{R}{\sin \varphi} + \frac{f \cdot S}{2\pi} \right)} \right] \right\}, \quad (2.64) \end{aligned}$$

$$P_x = 0,5\sigma_{сж} S \sin \varphi \left\{ R \cdot f(1+f) - \frac{S \sin \varphi}{2\pi} (1+f^2)(1+2f) \ln \left(1 + \frac{2\pi R}{f \cdot S \sin \varphi} \right) + \left(\frac{S}{2\pi} \right)^2 (1+f^2)^2 \sin \varphi \cdot \left[\frac{2\pi}{f \cdot S} - \frac{1}{\left(\frac{R}{\sin \varphi} + \frac{f \cdot S}{2\pi} \right)} \right] \right\}. \quad (2.65)$$

Из приведенных зависимостей (2.63), (2.64) и (2.65) следует, что с увеличением угла в плане сверла φ радиальная составляющая силы резания P_y уменьшается, а осевая составляющая силы резания P_x увеличивается (см. рис. 2.2). Это согласуется с экспериментальными данными (см. рис. 2.27) [9].

Таким образом, аналитически описаны параметры силовой напряженности процесса сверления, что позволило провести теоретический анализ условий уменьшения составляющих силы резания (с целью уменьшения погрешностей обработки отверстия) и тем самым расширить наши представления о возможностях сверления.

2.6. Исследование упругих деформаций в технологической системе и жесткости сверла при обработке отверстия с начальной значительной некруглостью

Как показано в параграфе 2.1, при рассверливании отверстия с начальной значительной некруглостью режущие лезвия сверла будут испытывать неодинаковые нагрузки, что приведет к упругим деформациям (изгибу) сверла и появлению различных погрешностей обработки. Для количественной оценки величины упругих деформаций сверла рассмотрим расчетную схему (рис. 2.29), в которой сверло представлено в форме жестко заземленной консольной балки, нагруженной на свободном конце сосредоточенной поперечной силой ΔP_y . Данная сила равна разности радиальных составляющих силы резания при рассверливании, действующих на оба лезвия сверла, и определяется зависимостью, полученной на основе зависимости (2.15):

$$\Delta P_y = \frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot S \cdot \Delta t \cdot \cos \varphi. \quad (2.66)$$

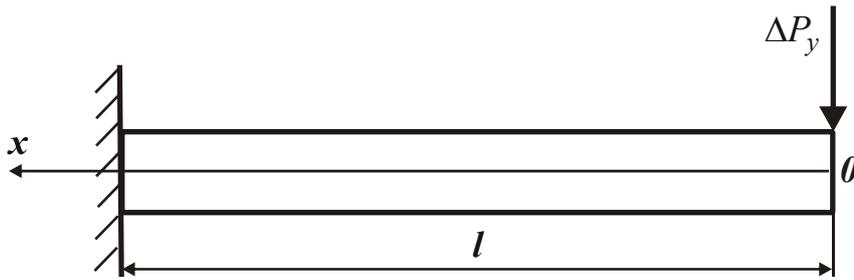


Рис. 2.29. Расчетная схема изгиба сверла

Как следует из зависимости (2.66), уменьшить силу ΔP_y можно уменьшением отношения $\sigma/K_{рез}$ (за счет повышения режущей способности инструмента), параметров S , Δt и увеличением угла $\varphi \rightarrow 90^\circ$.

Подача S и разность глубин резания Δt в одинаковой степени влияют на силу ΔP_y .

Исходя из рис. 2.29, под действием силы ΔP_y консольная балка будет изгибаться. Наибольший прогиб (упругое перемещение) балки, очевидно, будет достигаться в точке приложения силы ΔP_y . Формула для расчета величины прогиба (упругого перемещения) балки y в точке приложения силы ΔP_y общеизвестна [100] и имеет вид

$$y = \frac{\Delta P_y \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I}, \quad (2.67)$$

где l – длина балки (сверла), м;

E – модуль упругости материала балки, Н/м²;

I – осевой момент инерции формы поперечного сечения балки, м⁴.

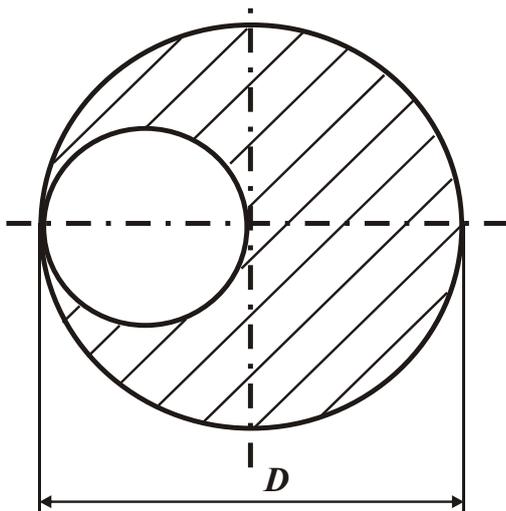


Рис. 2.30. Форма поперечного сечения обрабатываемого отверстия диаметром D

Для круга (рис. 2.30) осевой момент инерции I определяется [100]:

$$I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \approx 0,049 \cdot D^4, \quad (2.68)$$

где D – диаметр круга (сверла), м.

Подставляя зависимость (2.68) в (2.67), получим

$$y = \frac{64 \cdot \Delta P_y \cdot l^3}{3 \cdot \pi \cdot E \cdot D^4} \approx \frac{6,79 \cdot \Delta P_y \cdot l^3}{E \cdot D^4}. \quad (2.69)$$

В общем виде осевой момент инерции I определяется зависимостью

$$I = C_1 \cdot D^4, \quad (2.70)$$

где C_1 – коэффициент (для сверла $C_1 = 0,011$, для зенкера $C_1 = 0,023$, для развертки $C_1 = 0,030$ [101]).

Величина упругого перемещения y сверла в его концевом сечении:

$$y = \frac{30,3 \cdot \Delta P_y \cdot l^3}{E \cdot D^4}. \quad (2.71)$$

Как видно, величина упругого перемещения y , определяемая зависимостью (2.71), будет больше соответствующего значения y , определяемого зависимостью (2.69), что связано с более высоким значением осевого момента инерции I для круга. Согласно зависимости (2.71), уменьшить величину упругого перемещения балки (сверла) y можно уменьшением параметров ΔP_y , l и увеличением E и D . Наибольшее влияние на величину y оказывают длина l и диаметр балки (сверла) D . Однако, диаметр D ограничен диаметром обрабатываемого отверстия. Поэтому добиться существенного уменьшения y можно уменьшением длины балки l , т.е. применяя для обработки сверла с укороченной рабочей частью.

Исходя из зависимости (2.69), значения y могут изменяться существенно, что свидетельствует о возможном возникновении погрешностей обработки, связанных с изгибом сверла. С геометрической точки зрения изгиб сверла приведет, во-первых, к смещению оси отверстия относительно номинального положения, т.е. величины Δ , определяемой зависимостью (2.31). Во-вторых, к отклонению оси отверстия от прямолинейности и в-третьих, к возникновению некруглости отверстия (рис. 2.31), что вытекает из зависимостей (2.26) и (2.27).

Из зависимости (2.64) можно сделать также вывод о том, что за счет изменения параметров D , l (т.к. они входят в зависимость с большими степенями) можно существенно уменьшить прогиб сверла и тем самым фактически исключить его влияние на формирование точности обработки отверстия. В этом случае погрешности обработки отверстия будут образовываться лишь в результате деформирования горловины баллона.

Используя зависимость (2.67), определим изгибную жесткость балки (сверла) s_1 . Это позволит расширить наши представления (рассмотренные в параграфе 2.3) о возможностях уменьшения погрешностей обработки поверхности за счет повышения изгибной жесткости балки (сверла) s_1 . С учетом зависимости (2.71) для определения величины упругого перемещения y сверла в его концевом значении, изгибная жесткость сверла s_1 аналитически опишется

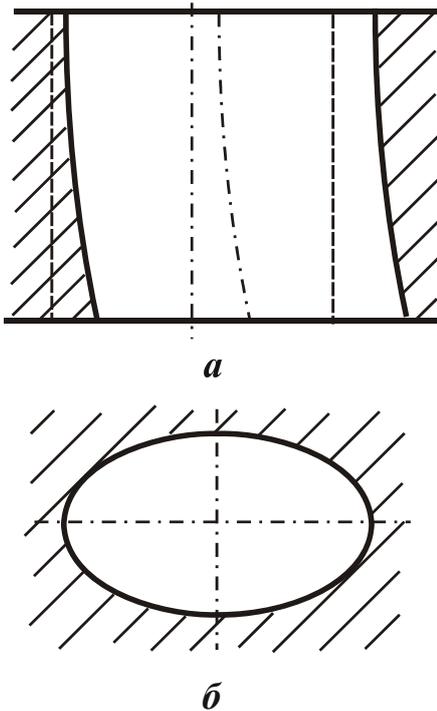


Рис. 2.31. Погрешности формы отверстия

деляться в основном изгибной жесткостью горловины обрабатываемого баллона c_2 .

Следовательно, для того чтобы обеспечить увеличение жесткости с технологической системы за счет увеличения изгибной жесткости сверла c_1 необходимо существенно увеличить изгибную жесткость горловины обрабатываемого баллона $c_2 \rightarrow \infty$, применяя для этого в первую очередь более эффективную схему базирования заготовки баллона. Данная схема базирования должна способствовать также уменьшению величины отклонения между осями Δ_0 отверстия горловины баллона и сверла, которое существенно влияет, исходя из зависимости (2.31), на величину Δ .

Необходимо отметить, что указанные выше погрешности обработки обусловлены различными значениями радиальных составляющих сил резания, действующих на оба лезвия сверла. При сверлении отверстия в сплошном материале оба режущих лезвия сверла будут испытывать примерно одинаковые радиальные составляющие сил резания, что уравнивает сверло и не приведет к его изгибу и появлению указанных выше погрешностей обработки.

Изгиб сверла при обработке отверстия с начальной значительной некруглостью может вызвать его разрушение при достижении напряжением предела прочности на изгиб $\sigma_{изг}$. Поэтому интересен анализ условий снижения нормальных напряжений σ в крайних волокнах рассматриваемой консольной балки (см. рис. 2.29), моделирующей работу сверла [100]:

$$c_1 = \frac{\Delta P_y}{y} = \frac{0,033 \cdot E \cdot D^4}{l^3}. \quad (2.72)$$

Как видно, увеличить изгибную жесткость сверла c_1 можно, прежде всего, путем уменьшения длины сверла l и увеличения его диаметра D . Поскольку указанные параметры входят в зависимость (2.72) с большими степенями, то появляется возможность значительного увеличения жесткости c_1 . Исходя из зависимости (2.35), это будет способствовать увеличению жесткости с технологической системы и в соответствии с зависимостью (2.31) уменьшению величины смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ . Однако, данная закономерность будет выполняться при условии $c_2 > c_1$. В противном случае жесткость с технологической системы в соответствии с зависимостью (2.35) будет определяться в основном изгибной жесткостью горловины обрабатываемого баллона c_2 .

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (2.73)$$

где $M = \Delta P_y \cdot l$ – изгибающий момент, Н·м;

W – момент сопротивления, определяемый по форме и размерам поперечного сечения консольной балки, м³.

Для круглого сечения диаметром D справедлива зависимость: $W = \frac{\pi \cdot D^3}{32}$. Тогда после преобразования зависимости (2.73), получим

$$\sigma = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot D^3}. \quad (2.74)$$

Согласно зависимости (2.74), напряжение σ тем меньше, чем меньше изгибающий момент $M = \Delta P_y \cdot l$ и больше диаметр круглого сечения D . Как видно, сила ΔP_y и длина выступающей части сверла l в одинаковой степени влияют на напряжение σ . Поэтому для уменьшения напряжения σ необходимо использовать сверла с укороченной рабочей частью и уменьшать силу ΔP_y в соответствии с зависимостью (2.66). Наибольшее влияние на напряжение в сверле оказывает его диаметр D . Однако, он равен диаметру обрабатываемого отверстия, в связи с чем отсутствует возможность его увеличения.

Следовательно, единственным путем уменьшения напряжения σ является уменьшение изгибающего момента M . Для заданного значения $\sigma = \sigma_{\text{изг}}$ изгибающий момент M , исходя из зависимости (2.74), определяется

$$M = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot \sigma_{\text{изг}}}{32}. \quad (2.75)$$

Кроме нормальных напряжений сверло будет испытывать касательные напряжения τ , которые также могут привести к его разрушению:

$$\tau = \frac{\Delta P_y}{F}, \quad (2.76)$$

где $F = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ – площадь поперечного сечения сверла (круга $\varnothing D$), м².

При достижении касательным напряжением предела прочности материала сверла на сдвиг $\tau_{\text{сдв}}$ сила ΔP_y , исходя из (2.76), определится

$$\Delta P_y = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \tau_{сдв} \cdot \quad (2.77)$$

Таким образом, показано принципиальное отличие в формировании погрешности обработки и напряженного состояния сверла при рас­сверливании отверстия. По сравнению со сверлением отверстия, оно состоит в появлении неуравновешенной радиальной составляющей силы резания ΔP_y , которая приводит к изгибу сверла и возникновению связанных с этим явлением погрешностей обработки отверстия, а также к разрушению сверла.

2.7. Теоретический анализ и выбор эффективной схемы базирования заготовки баллона на станке

Для точного установления и обеспечения высокой жесткости крепления обрабатываемого баллона на станке важно правильно выбрать чистовую технологическую базу, с помощью которой можно было бы надежно и с требуемой точностью вести дальнейшую обработку. Такой базой может служить образующая кромки горловины баллона, рис. 2.32.

Базирование может быть осуществлено на внутреннюю поверхность опорного элемента (тарелки), рис. 2.32. С целью материализации оси баллона следует использовать базирующий конус. Это позволит по-

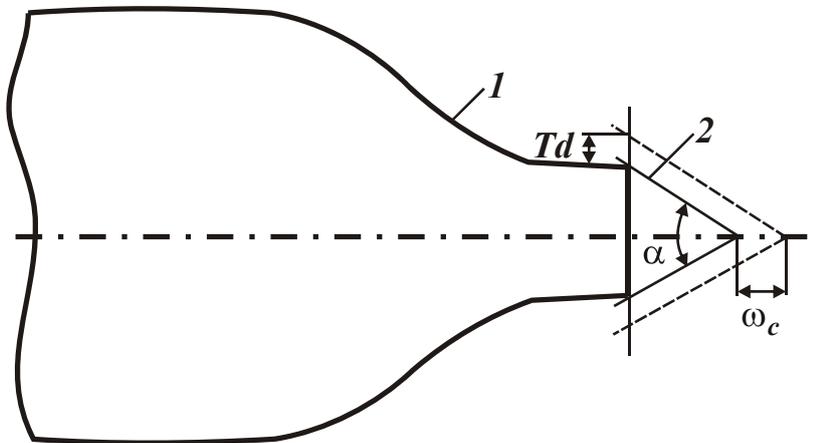


Рис. 2.32. Расчетная схема смещения торца горловины баллона ω_c

Условные обозначения: 1 – горловина баллона; 2 – базирующий конус

высить жесткость крепления горловины баллона, устранить погрешности ее базирования в радиальном направлении и уменьшить погрешности обработки отверстия.

Следует отметить, что, обеспечивая требования по соосности оси отверстия баллона и шпинделя станка, данная схема базирования вызовет смещение торца горловины баллона ω_c , которое вызовет по-

грешности обработки отверстия на переходах зенкерования коническим зенкером и развертывания конической разверткой.

Исходя из рис. 2.32, смещение торца горловины баллона ω_c можно определить по зависимости

$$\omega_c = \frac{Td}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.78)$$

где Td – допуск наружного диаметра, мм;
 α – угол базирующего конуса.

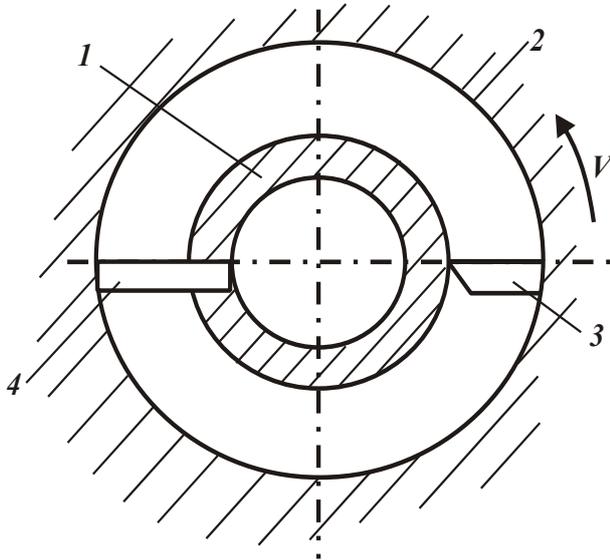


Рис. 2.33. Схема совместной обработки цилиндрической и торцевой поверхностей горловины баллона

Условные обозначения: 1 – горловина баллона; 2 – инструментальная головка; 3 – проходной резец; 4 – подрезной резец

Для создания чистой технологической базы по кромке горловины баллона, с целью обеспечения перпендикулярности наружной цилиндрической и торцевой поверхностей, их обработку целесообразно выполнить одновременно с одного установка. Важно также при этом произвести предварительную обработку отверстия сверлом (с целью обеспечения концентричности наружной и внутренней цилиндрических поверхностей). Для этого необходимо использовать специальную инструментальную головку, обеспечивающую одновременно точение цилиндрической наружной и торцевой поверхностей и сверление отверстия, рис. 2.33. Инструментальная головка должна содержать проходной и подрезной резцы и сверло. Совмещенная обработка

двумя резцами и сверлом, кроме повышения точности взаимного расположения торцевой, наружной и внутренней цилиндрических поверхностей, позволит повысить производительность и снизить трудоемкость обработки.

Из зависимости (2.78) следует, что чем меньше величина Td , тем меньше смещение торца горловины баллона и соответственно выше будет точность обработки отверстия. Поэтому проведем теоретический анализ путей повышения точности обработки (при точении) наружной цилиндрической и торцевой поверхностей, позволяющих уменьшить величину Td .

Оценим погрешности обработки, обусловленные появлением упругих перемещений y в технологической системе при продольном точении проходным резцом (см. рис. 2.1). Для нормального протекания процесса резания возникающая радиальная составляющая силы резания P_y должна уравниваться упруго-восстанавливающей силой $c_3 \cdot y$, где

c_3 – жесткость технологической системы в радиальном направлении при точении, Н/м. Под действием радиальной составляющей силы резания P_y в технологической системе возникает упругое перемещение y , что приводит к уменьшению фактической глубины резания $t - y$, где t – номинальная глубина резания, м. С учетом этого величина упругого перемещения y , определяемая зависимостью (2.12), опишется

$$y = \frac{\sigma \cdot S \cdot (t - y)}{c_3 \cdot K_{\text{рез}}} \cdot \cos \varphi \quad \text{или} \quad c_3 \cdot y = \frac{\sigma \cdot S \cdot (t - y)}{K_{\text{рез}}} \cdot \cos \varphi. \quad (2.79)$$

Разрешим уравнение (2.79) относительно неизвестной величины y :

$$y = \frac{\frac{\sigma}{K_{\text{рез}}} \cdot S \cdot t \cdot \cos \varphi}{\left(c_3 + \frac{\sigma}{K_{\text{рез}}} \cdot S \cdot \cos \varphi \right)}. \quad (2.80)$$

Входящее в числитель зависимости (2.80) выражение равно номинальному значению радиальной составляющей силы резания P_y . Входящее в знаменатель зависимости (2.80) выражение равно условной жесткости технологической системы, которая больше исходной жесткости c . Второе слагаемое $\frac{\sigma}{K_{\text{рез}}} \cdot S \cdot \cos \varphi$ по физической сути определяет «жесткость» процесса резания. Из этого вытекает, что жесткость технологической системы в процессе резания как бы увеличивается. Преобразуем зависимость (2.80):

$$y = \frac{t}{\left(1 + \frac{c_3 \cdot K_{\text{рез}}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi} \right)}. \quad (2.81)$$

Как следует из зависимости (2.81), величина y всегда меньше номинальной глубины резания t . При однопроходном точении t равна величине снимаемого припуска, который в условиях массового производства может изменяться в широких пределах. Поэтому в широких пределах будет изменяться и величина y , а соответственно и исследуемая величина T_d .

Следовательно, основным путем уменьшения этих величин следует рассматривать существенное увеличение второго слагаемого знаменателя зависимости (2.81). Это достигается увеличением жесткости техноло-

гической системы c_3 , отношения $K_{рез}/\sigma$ и уменьшением продольной подачи S . Как известно, уменьшение S ведет к уменьшению производительности обработки. Поэтому более целесообразно уменьшать величину y за счет увеличения c_3 и отношения $K_{рез}/\sigma$. Увеличить c_3 можно, например, за счет создания специальной конструкции кондуктора.

Для анализа отношения $K_{рез}/\sigma$ при продольном точении воспользуемся аналитической зависимостью (2.37) для определения условного напряжения резания σ . Тогда зависимость (2.81) опишется

$$y = \frac{t}{\left[1 + \frac{c_3}{\sigma_{сж} \cdot S \cdot \cos \varphi} \cdot \frac{K_{рез}^2}{\left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2} \right)} \right]} \quad (2.82)$$

Известно, что коэффициент резания $K_{рез}$ может изменяться в широких пределах. При абразивной обработке он принимает небольшие значения, в пределах 0,1 – 1,0. При лезвийной обработке – большие значения, в пределах 0,5 – 10 [9, 88, 115, 116].

В табл. 2.6 приведены расчетные значения функции $z = \frac{K_{рез}^2}{\left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2} \right)}$ от коэффициента резания $K_{рез}$. Как следует из таблицы, с увеличением коэффициента резания $K_{рез}$ функция z увеличивается. Очевидно, при $K_{рез} > 3,0$ с достаточной для практики точностью функцию z можно упростить и привести к виду

$$z \approx K_{рез} \quad (2.83)$$

Подставляя зависимость (2.83) в (2.82), имеем

$$y = \frac{t}{\left(1 + \frac{c_3 \cdot K_{рез}}{\sigma_{сж} \cdot S \cdot \cos \varphi} \right)} \quad (2.84)$$

Таблица 2.6

Расчетные значения функции z

$K_{рез}$	0,1	0,6	1,0	3,0	5,0	10,0
z	0,005	0,18	0,42	2,2	4,2	9,1

Зависимость (2.84) отличается от исходной зависимости (2.81) тем, что вместо условного напряжения резания σ она содержит параметр $\sigma_{сж}$. Следовательно, выводы, вытекающие из зависимости (2.81) относительно условий уменьшения величины y , справедливы и для зависимости (2.84).

Из зависимости (2.38) следует, что $K_{рез} = \frac{1}{\text{tg}(\psi - \gamma)}$, где ψ – условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью резца ($\text{tg}\psi = f$ – коэффициент трения инструментального и обрабатываемого материалов); γ – положительный передний угол резца.

Для отрицательного переднего угла резца γ коэффициент резания $K_{рез}$ выразится следующей зависимостью $K_{рез} = \frac{1}{\text{tg}(\psi + \gamma)}$. В этом случае, очевидно, коэффициент резания $K_{рез}$ будет меньше, чем для положительного переднего угла резца. Это характерно, например, для процессов абразивной обработки, где передние углы режущих абразивных зерен принимают отрицательные значения [88, 93, 94].

Как следует из приведенной зависимости, для положительного переднего угла резца γ коэффициент резания $K_{рез}$ тем больше, чем больше данный угол γ и меньше условный угол трения ψ . Естественно, увеличение переднего угла γ ограничено прочностью инструмента, поэтому необходимо стремиться уменьшать угол ψ до значения γ . Тогда при условии $\psi = \gamma$ коэффициент резания $K_{рез} \rightarrow \infty$. Например, при $\gamma = 0$ условный угол трения ψ должен также приближаться к нулю. Однако, это условие выполнить трудно. Проще увеличить передний угол резца γ до значения ψ . Поэтому применяемые на практике передние углы резцов – положительные ($\gamma = 0 \dots 20^\circ$) [5, 20]. Условный угол трения ψ изменяется в пределах $20 \dots 40^\circ$, что соответствует коэффициенту трения $f \geq 0,3$. Как видно, при этих условиях коэффициент резания $K_{рез}$ может принимать достаточно большие значения (до 10).

Подводя итоги, можно заключить, что основными условиями уменьшения величины упругого перемещения y при обработке лезвийным инструментом является уменьшение подачи и увеличение коэффициента резания $K_{рез}$ (главным образом за счет увеличения переднего угла резца до значения условного угла трения обрабатываемого металла с передней поверхностью резца) и жесткости технологической системы путем применения специальной конструкции кондуктора. При этом уменьшение подачи S необходимо согласовать с применяемыми параметрами режима резания при сверлении отверстия, поскольку при обработке горловины баллона точение и сверление будут производиться

одновременно с использованием специальной инструментальной головки. Таким образом, обоснованы условия уменьшения величины T_d при точении наружной поверхности горловины баллона, которая определяет смещение торца горловины баллона в соответствии с зависимостью (2.78). Необходимо отметить, что кроме величины T_d на смещение торца горловины баллона будет оказывать влияние длина хода инструментальной головки.



Рис. 2.34. Структурная схема условий повышения точности и стабильности изготовления резьбовых отверстий в баллонах при их массовом производстве

Очевидно, эта длина при обработке каждого баллона будет различной в связи с неточностью останова перемещения резца. При нарезании резьбы в обработанном сквозном цилиндрическом отверстии данный фактор фактически не будет влиять на ее точность. При нарезании же конической резьбы данный фактор будет играть определенную роль в формировании погрешностей обработки и его необходимо учитывать. Так, смещение торца горловины баллона относительно номинального положения приведет к тому, что на операции развертывания конической разверткой будет образовываться отверстие с диаметром, отличным от номинального. Это, в свою очередь, приведет к погрешностям при нарезании конической резьбы, что подтверждается практическими данными. Поэтому, чтобы исключить указанные погрешности, необходимо контролировать длину хода конической развертки и конического метчика при обработке каждого баллона. Наиболее эффективным путем следует рассматривать создание и применение системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки. С учетом сказанного, на рис. 2.34 приведена структурная схема условий повышения точности и стабильности изготовления резьбовых отверстий в баллонах при их массовом производстве.

2.8. Выводы

1. Разработана математическая модель определения погрешностей при механической обработке отверстия, основанная на аналитическом представлении силы резания и учитывающая неравномерность снимаемого припуска и возникающие в технологической системе упругие перемещения вследствие нарушения условия равновесия радиальных составляющих сил резания, действующих на лезвия режущего инструмента. Установлено, что в обобщенном виде погрешности обработки отверстия могут быть аналитически описаны величиной смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения. В связи с этим, получена аналитическая зависимость для определения данной величины и теоретически установлены условия ее уменьшения. Они состоят в уменьшении условного касательного напряжения резания, равного отношению равнодействующей нормальной и осевой составляющих силы резания к площади поперечного сечения среза; в увеличении жесткости технологической системы и угла сверла в плане; в уменьшении несоосности обрабатываемого отверстия и режущего инструмента, а также в применении многопереходной обработки отверстия, включающей переходы сверления, зенкерования и развертывания.

2. Аналитически описана возникающая при рассверливании погрешность формы отверстия, которая обусловлена разностью глубин резания, приходящихся на оба лезвия сверла. Теоретически установлено, что погрешности обработки отверстия по двум взаимно перпендику-

лярным осям отличаются и определяются главным образом величиной отклонения между осями обрабатываемого отверстия горловины баллона и сверла. Этим показано, что при рассверливании отверстия с неравномерно снимаемым припуском имеют место значительные погрешности размера и формы обработанного отверстия, устранить которые можно на последующих переходах финишной обработки.

3. Аналитически описаны основные параметры силовой напряженности процесса резания при сверлении и рассверливании отверстия (условное напряжение резания, коэффициент резания, составляющие силы резания и крутящий момент) с учетом переменности рабочего переднего угла сверла вдоль его лезвия вследствие различной длины винтовой линии, образованной точками лезвия. Это позволило, во-первых, определить длины участков лезвия, реализующие процесс резания и процесс упруго-пластического деформирования обрабатываемого металла без образования стружки. Во-вторых, привести в соответствие теоретические и экспериментальные данные по параметрам силовой напряженности процесса сверления. В-третьих, определить условия уменьшения условного касательного напряжения резания и соответственно погрешностей обработки отверстия, которые состоят главным образом в увеличении коэффициента резания, равного отношению тангенциальной составляющей силы резания к равнодействующей нормальной и осевой составляющих силы резания.

4. Аналитически определена жесткость технологической системы и показано, что она в одинаковой степени зависит от изгибных жесткостей сверла и горловины обрабатываемого баллона. Из этого сделан вывод о том, что добиться увеличения жесткости технологической системы можно при условии превышения изгибной жесткости горловины обрабатываемого баллона над изгибной жесткостью сверла. Это достигается применением эффективной схемы базирования заготовки баллона. Жесткость технологической системы в данном случае будет определяться изгибной жесткостью сверла, зависящей от его длины и диаметра.

5. Проведен теоретический анализ и выбор эффективной схемы базирования заготовки баллона. Установлено, что за счет базирования заготовки баллона по кромке торца его горловины (образованной пересечением наружной цилиндрической и торцевой поверхностей горловины баллона) можно фактически исключить погрешности базирования в радиальном направлении и повысить жесткость технологической системы, а возникающее смещение торца баллона в осевом направлении – устранить применением системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки. Показано, что для осуществления данной схемы базирования необходимо обеспечить перпендикулярность наружной цилиндрической и торцевой поверхностей горловины баллона путем совмещения их обработки. Необходимо также

совместить обработку наружной и внутренней цилиндрических поверхностей горловины баллона с целью обеспечения их концентричности. Это достигается применением специальной инструментальной головки, содержащей проходной резец (для обработки наружной цилиндрической поверхности), сверло (для обработки внутренней цилиндрической поверхности – отверстия) и отрезной резец (для обработки торцовой поверхности). Имеющая место концентрация переходов, наряду с повышением точности базирования заготовки баллона, позволит существенно увеличить производительность обработки.

6. Теоретически обоснованы условия уменьшения возникающего смещения торца баллона в осевом направлении, обусловленные погрешностью обработки при точении наружной цилиндрической и торцовой поверхностей горловины баллона, используемых для базирования заготовки баллона. Они состоят в увеличении жесткости технологической системы путем применения специальной конструкции кондуктора и увеличении коэффициента резания (главным образом за счет увеличения переднего угла резца до значения условного угла трения обрабатываемого металла с передней поверхностью резца), а также в снижении неравномерности снимаемого припуска (глубины резания) и уменьшении подачи.

РАЗДЕЛ 3

СТРУКТУРНО–ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗЬБОВОГО ОТВЕРСТИЯ В ГОРЛОВИНЕ БАЛЛОНА

3.1. Экспериментальные исследования параметров точности обработки отверстий в горловинах баллонов по базовой технологии

3.1.1. Общие условия проведения экспериментальных исследований. Во втором разделе работы на основе полученной аналитической зависимости (2.31) обоснованы условия уменьшения погрешности обработки отверстия Δ за счет уменьшения отношения $\sigma/K_{рез}$ и увеличения жесткости с технологической системы и угла сверла в плане φ . В данном разделе оценим влияние величины отклонения между осями Δ_0 отверстия горловины баллона и осевого режущего инструмента на погрешность обработки отверстия Δ , что позволит окончательно подойти к выбору оптимального маршрута обработки и параметров технологических переходов.

Для этого проведем структурно-параметрический анализ и синтез технологического процесса механической обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов в условиях массового производства. В общем виде он включает: оценку качества изготовления заготовок баллонов и погрешностей их установки на станке; оценку точности обработки отверстий в горловинах баллонов и качества нарезания в них конической резьбы; разработку прогрессивной схемы базирования заготовки и специальных приспособлений для ее реализации; разработку оптимального технологического маршрута обработки резьбового отверстия и определение параметров технологических переходов; разработку специальной инструментальной головки, позволяющей совместить обработку торцевой, наружной и внутренней цилиндрических поверхностей горловины баллона, и разработку практических рекомендаций по эффективному использованию нового технологического процесса в производстве.

В связи с этим в качестве объекта исследования были использованы баллоны объемом 50 литров, изготовленные из труб $\varnothing 216,8...221,2$ мм методом обкатки с локальным нагревом очага деформации. Материал трубы – сталь 30ХМА ГОСТ 8732-78, температура нагрева трубы – $1150...1200^{\circ}\text{C}$. Механические свойства материала баллона приведены в табл. 1.2.

Экспериментальные исследования проводились на автоматической линии АПБ-200-1 по изготовлению баллонов. Механическая обработка осуществлялась на встроенных в линию агрегатных станках с силовыми самодействующими головками модели 5У4035. С целью обеспечения требуемого качества баллонов проведена модернизация технологического процесса, при которой учтено требование о том, что основное оборудование не подвергается замене.



а



б

Рис. 3.1. Положения зенкера (а) и метчика (б) в отверстии горловины баллона

Обработка отверстий горловин баллонов производилась сверлами из быстрорежущей стали Р6М5 $\varnothing 22$ мм и $\varnothing 24$ мм (ГОСТ 10903-77), зенкером коническим АМ 14977-500 из быстрорежущей стали Р6М5 $\varnothing 22 / 25$ мм с конусностью $2 \cdot \text{tg} \varphi / 22 = 3 : 25$, $\varphi = 6^{\circ}51'36''$, рис. 3.1,а. Нарезание конической резьбы $w 27,8$ мм (ГОСТ 9909-70) в отверстии производилось метчиком АР-2-497, рис. 3.1,б. Наружная цилиндрическая поверхность горловины баллона обрабатывалась за один проход проходным левым резцом с механическим креплением твердосплавной пластины ВК8, торцевая поверхность горловины баллона обрабатывалась подрезным резцом с пластиной из твердого сплава ВК8.

Была разработана и изготовлена специальная инструментальная головка (рис. 3.2), позволяющая одновременно обрабатывать торцовую, наружную и внутреннюю цилиндрические

поверхности горловины баллонов с помощью установленных на ней сверла, подрезного и проходного резцов. Целесообразность применения данной инструментальной головки обоснована ниже.

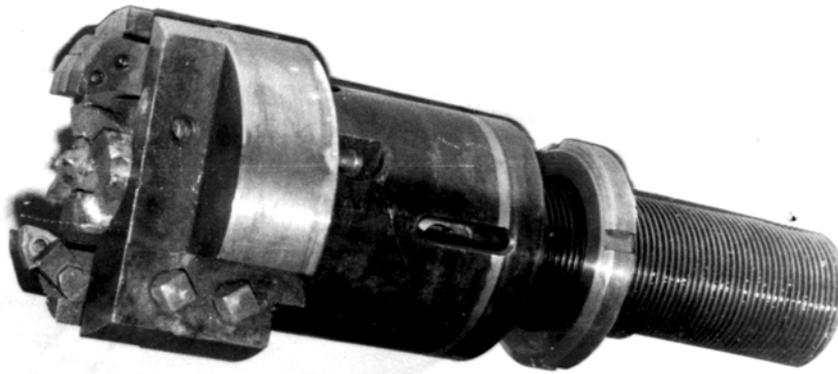


Рис. 3.2. Общий вид специальной инструментальной головки

Механическая обработка производилась с применением СОТС на основе эмульсола «ЭТ» (при предварительной обработке) и 5%-ого водного раствора Аквола-14 (ТУ38-101971-84, при окончательной обработке). Удаление стружки и СОТС из горловины баллона осуществлялось с помощью специального механизма

для очистки баллонов путем поворота баллона на угол 90° и его продувки сухим сжатым воздухом давлением $0,4 - 0,6$ МПа ($4 - 6$ кгс/см²) в течении $3 - 5$ секунд. Производились измерения твердости поверхностей горловин баллонов под отпечатком. Замеры твердости осуществлялись на приборе 2110ТБ шариком диаметром 10 мм по ГОСТ 9012-59.

Качество наружных поверхностей закатанных днищ и горловин контролировалось визуально. Диаметр цилиндрической части горловины после закатки $\varnothing 48...51$ мм контролировался скобой. Пределы измерений – $\varnothing 48$ -НЕ, $\varnothing 51$ -ПР. Высота цилиндрической части горловины не более $33,5$ мм контролировалась кольцом. Пределы измерений – $0...33,5$ мм.

Необходимо отметить, что точность сферической части горловины и днища баллона, поверхностей, принятых в качестве технологических баз по заводскому технологическому процессу, не контролируется. Объем выборки для статистического анализа в производственных условиях параметров точности обработки отверстий в горловинах баллонов составлял $n = 50$ штук. Каждая деталь, входящая в выборку, измерялась с помощью специальных и универсальных измерительных средств. Цена деления измерительной шкалы выбиралась с учетом допуска на измеряемый параметр: $\Delta_{\text{изм}} = (0,1...0,15) \cdot iT$, где iT – допуск на измеряемый параметр детали.

Для измерения радиального биения цилиндрической части горловины относительно цилиндрической части баллона и сферической части горловины диаметром $\varnothing 70$ мм нами разработаны контрольные приспособления, рис. 3.3. Цена деления индикатора часового типа $i = 0,01$ мм. Приспособление состоит из кронштейна (1) с роликами (2), штанги (3), диска (4) с базовым отверстием – $\varnothing 70$ мм и индикатором часового типа (5). Приспособление устанавливается на баллон и обкатывается вокруг цилиндрической части баллона.

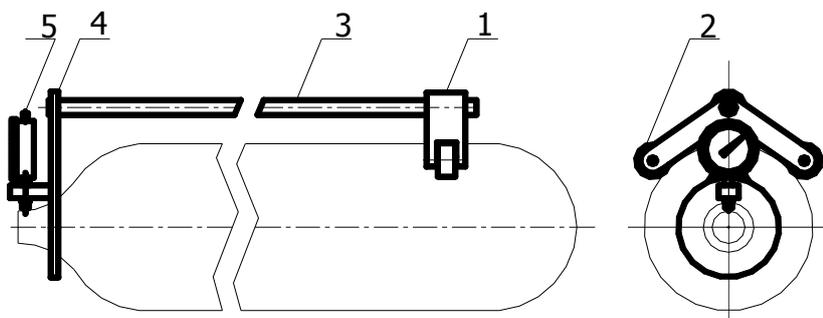


Рис. 3.3. Контрольное приспособление для измерения радиального биения цилиндрической части горловины относительно цилиндрической части баллона

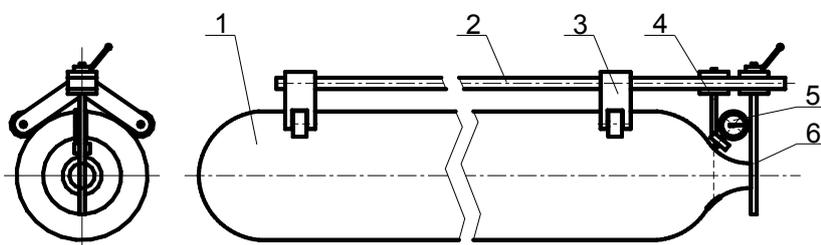


Рис. 3.4. Контрольное приспособление для измерения радиального биения сферической части горловины $\varnothing 70$ мм относительно цилиндрической части баллона

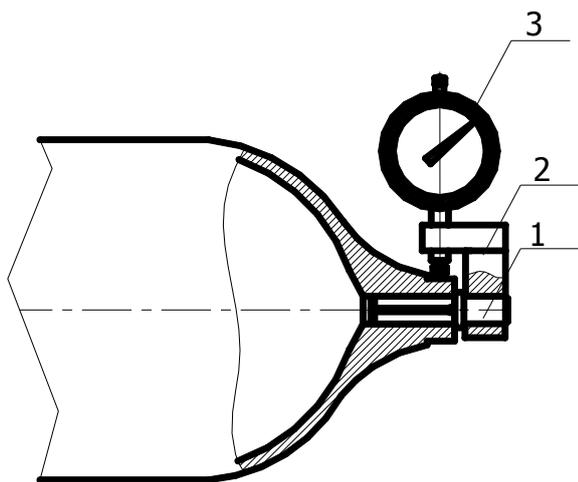


Рис. 3.5. Контрольное приспособление для измерения радиального биения цилиндрической части горловины баллона относительно отверстия

Для измерения радиального биения сферической части горловины баллона $\varnothing 70$ мм относительно цилиндрической части баллона нами разработано контрольное приспособление (рис. 3.4). Приспособление состоит из кронштейнов (1) с роликами (2), штанги (3), кронштейна (4) с индикатором (5), регулируемого упора (6). Кронштейн (4) с индикатором устанавливается на сферическую часть горловины $\varnothing 70$ мм с помощью шаблона и в этом положении закрепляется регулируемый упор (6) по торцу горловины баллона.

Изменения размеров и овальности отверстий после сверления производили с помощью штангенциркуля. Цена деления $i = 0,05$ мм. Измерения овальности производили в двух взаимно перпендикулярных сечениях. Диаметр цилиндрической части горловины после обтачивания контролировался скобой. Пределы измерений $\varnothing 48$ -ПР, $\varnothing 47,1$ -НЕ. Длина горловины контролировалась шаблоном.

Пределы измерений 23...24 мм. Для измерения радиального биения цилиндрической части горловины баллона относительно отверстия разработано контрольное приспособление (рис. 3.5). Цена деления индикатора $i = 0,01$ мм. Приспособление состоит из валика (1), один конец которого пред-

ставляет собой разжимную цангу, а другой цилиндрическую поверхность, на которой с зазором базируется кронштейн (2) с индикатором (3).

Коническая резьба w27.8 ГОСТ 9909-81 в отверстиях баллонов, согласно действующему технологическому процессу, подвергается 100% визуальному контролю и обязательному контролю резьбовыми калибрами (ГОСТ 24998-81). В связи с тем, что для конической резьбы осевое смещение основной плоскости является суммарным результатом отклонений среднего диаметра, шага, угла наклона боковой стороны профиля и угла конуса резьбы, то резьбовые калибры контролируют осевое смещение основной плоскости резьбы (рис. 3.6).

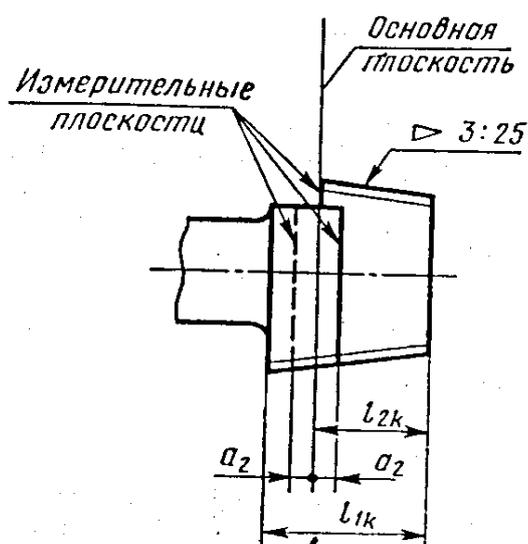


Рис. 3.6. Калибр-пробка резьбовая конусная

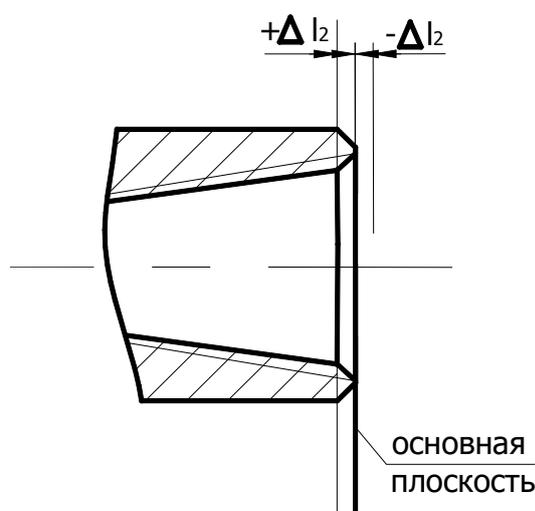


Рис. 3.7. Горловина баллона

При визуальном контроле бракуются баллоны, у которых количество годных ниток резьбы менее 8 («рваная» резьба, неполный профиль). При контроле резьбовым калибром смещение измерительной плоскости калибра в тело баллона превышает допуск ($+\Delta l_2 = 1,5$ мм) – баллон бракуется, с характеристикой «прослабленная» резьба. Если же смещение измерительной плоскости калибра превышает допуск ($-\Delta l_2 = 1,5$ мм) – баллон бракуется с характеристикой «тугая» резьба (рис. 3.7).

Проводились исследования структурного состояния и твердости металла стенок баллонов в различных зонах вертикального сечения. Методика проведения исследований описана ниже. Шероховатость поверхности определялась с помощью профилографа-профилометра мод. 201.

Технологические процессы серийного и массового производства характеризуются тем, что каждая отдельно взятая операция и весь процесс в целом совершаются примерно в одних и тех же производственных условиях. Поэтому эти процессы можно рассматривать как сложные преобразующие системы с большим числом входных и выходных переменных, носящих случайный характер [110]. Следовательно,

для анализа (исследования) точности технологических процессов на автоматической линии должны быть использованы статистические (экспериментальные) и теоретические методы. Статистические методы позволяют провести оперативно исследование процесса в фактических производственных условиях.

Цель исследования состоит в том, чтобы раскрыть характер и степень влияния технологических факторов на выходные погрешности обработки. При изучении взаимосвязей между входными и выходными переменными технологического процесса необходимо найти аналитические выражения, показывающие, как связаны между собой погрешности обработки, определяющие их технологические факторы. В конечном итоге они позволят обосновать решения по созданию нового технологического процесса изготовления резьбовых отверстий в горловинах баллонов и модернизации автоматической линии. Поэтому экспериментальные исследования параметров точности обработки отверстий и расположения поверхностей горловин баллонов производилась с использованием методов математической статистики, описанных в параграфе 1.4.

3.1.2. Экспериментальные исследования погрешностей базирования заготовок баллонов на станке. С помощью специально разработанных контрольных приспособлений для измерения радиального отклонения цилиндрической и сферической частей горловины $\varnothing 70$ мм относительно цилиндрической части баллона были определены отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона и отклонение оси цилиндрической части баллона от оси шпинделя инструментальной головки, т.е. величины Δ_0 .

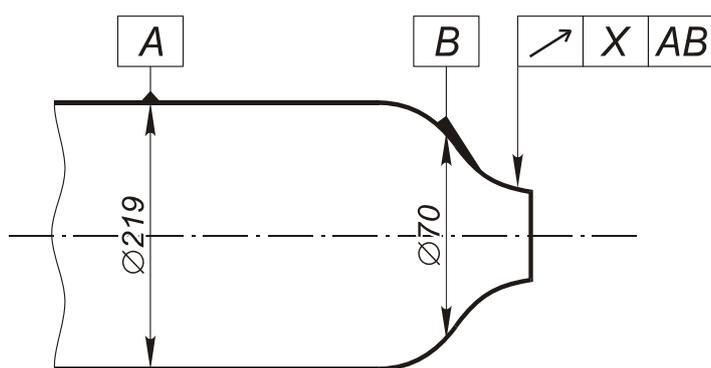


Рис. 3.8. Схема измерения отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона X

Первоначально была выполнена оценка точности заготовки баллона по отклонению оси горловины от оси цилиндрической части баллона X (т.е. несоосности горловины баллона и его цилиндрической части). Измерения проводились по схеме, показанной на рис. 3.8, для 50-ти баллонов методом математической статистики в соответствии с методикой, приведенной в параграфе 1.4.

Установлено, что разброс значений X находится в пределах 0,25...0,85 мм (Приложение Б, рис. 3.9). При этом основная часть значений X сосредоточена в интервале 0,35...0,45 мм.

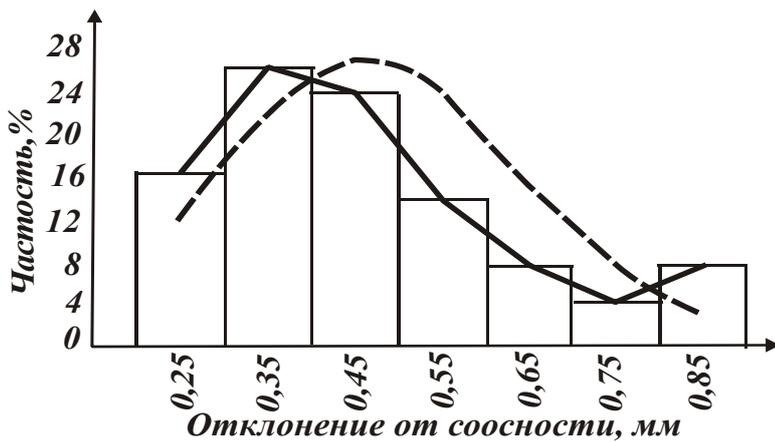


Рис. 3.9. Гистограмма и кривые распределения отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона X

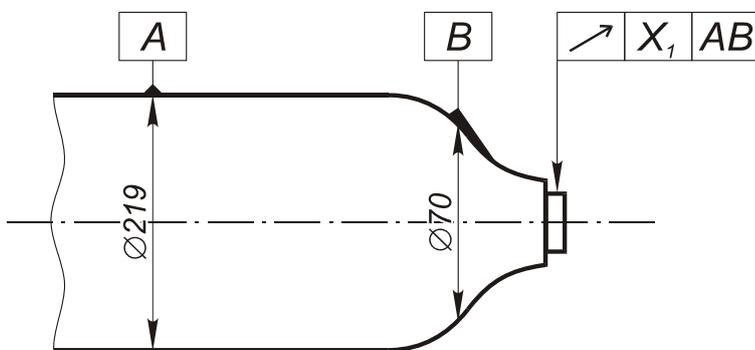


Рис. 3.10. Схема измерения отклонения оси пояска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1

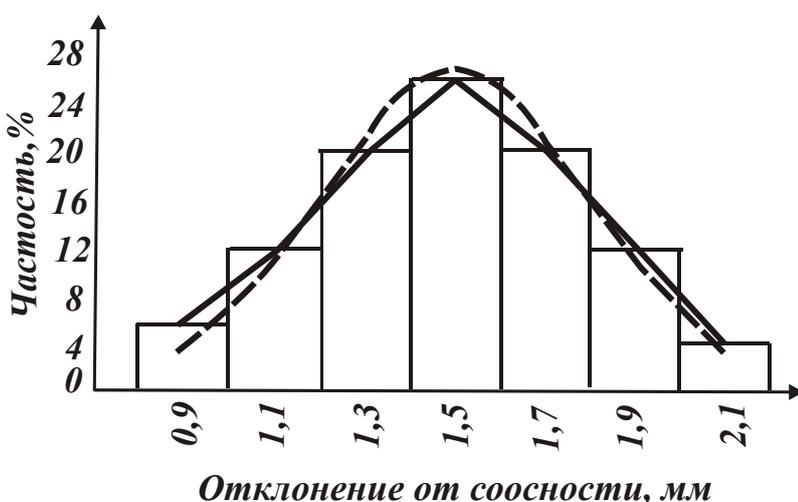


Рис. 3.11. Гистограмма и кривые распределения отклонения оси пояска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1

Далее была произведена оценка несоосности пояска горловины (после точения) и цилиндрической части баллона, по сути, несоосности цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки. Измерения отклонения оси пояска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1 проводили по схеме, показанной на рис. 3.10 (Приложение В). Результаты измерений, обработанные методом математической статистики и представленные в виде гистограммы распределения X_1 , показаны на рис. 3.11. Из рисунка следует, что разброс значений X_1 находится в пределах 0,8...2,2 мм. Это значительно больше, чем разброс значений величины X . Следовательно, при обработке отверстий в горловинах баллонов имеет место значительная несоосность цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки. Очевидно, это приводит к несоосности обрабатываемого отверстия и сверла, определяемой величиной Δ_0 , что выражается в неравномерности снимаемого припуска при рассверливании начального отверстия в горловине бал-

лона и возникновению в технологической системе упругого перемещения величиной Δ . По сути, производится рассверливание отверстия с начальной значительной некруглостью.

Для анализа причин возникновения погрешностей базирования заготовок баллонов были проведены экспериментальные исследования погрешности формы сферической части горловин баллонов на $\varnothing 70$ мм. Данная часть горловины баллона является технологической базой на первых трех переходах базового технологического процесса. Экспериментальные исследования производились в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 1.4. Объем выборки – 50 баллонов. Результаты измерений приведены в Приложении Г.

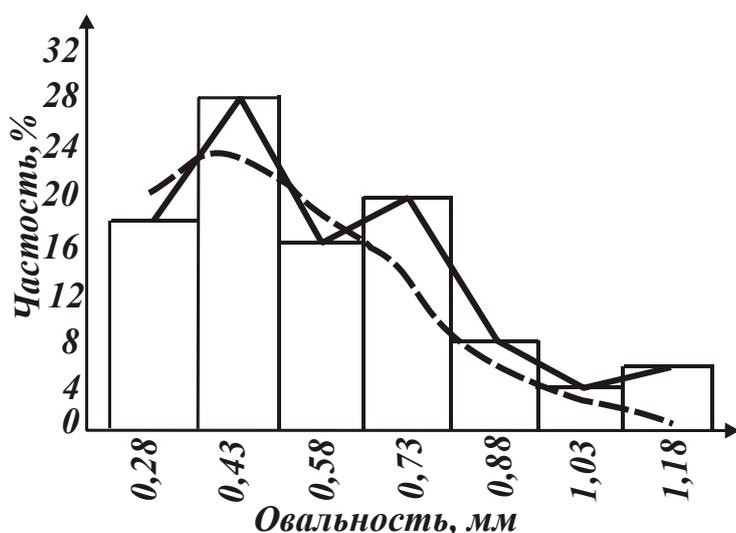


Рис. 3.12. Гистограмма и кривые распределения величины овальности сферической части горловины баллона на диаметре 70 мм

На основании полученных данных построены эмпирическая и теоретическая кривые распределения величины овальности сферической части горловины на $\varnothing 70$ мм, рис. 3.12. Установлено, что закон распределения отклонения близок к закону распределения эксцентриситета (Релея). Среднее арифметическое значение равно $\bar{X} = 0,592$ мм, а средне квадратическое отклонение – $S = 0,252$ мм.

Как видно, величина овальности сферической части горловины на $\varnothing 70$ мм изменяется в довольно большом диапазоне: 0,28...1,18 мм, что собственно, и предопределяет значительную несоосность цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки и относительно большие значения величины Δ_0 . Очевидно, уменьшить несоосность цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки, а также величины Δ_0 можно за счет применения более прогрессивной схемы базирования заготовки баллона.

Таким образом, в настоящем параграфе произведена количественная оценка величины отклонения между осями Δ_0 отверстия горловины баллона и осевого режущего инструмента. Показано, что данная величина изменяется в весьма широких пределах (0,8...2,2 мм), а это, согласно зависимости (2.31), приводит к существенному увеличению величины смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ .

3.1.3. Экспериментальные исследования некруглости отверстий после рассверливания. Для оценки влияния величины отклонения между осями Δ_0 отверстия горловины баллона и сверла на погрешность обработки отверстия Δ , были проведены экспериментальные исследования параметров точности отверстий, обработанных на переходе рассверливания по базовой технологии. Согласно методикам, описанным в параграфе 1.4, были выполнены измерения наименьшего D_{0min} и

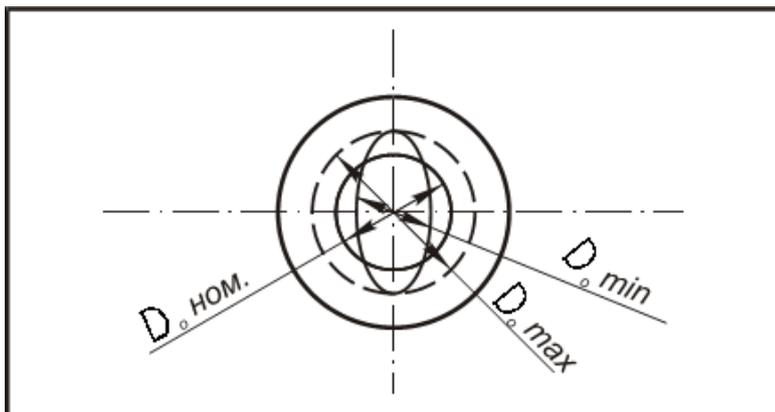
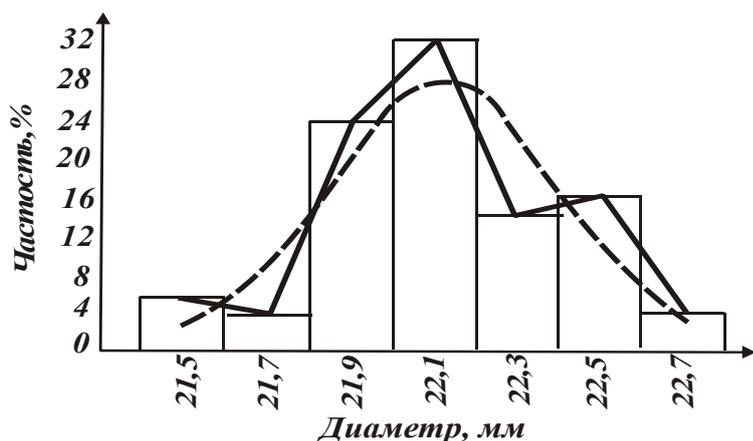
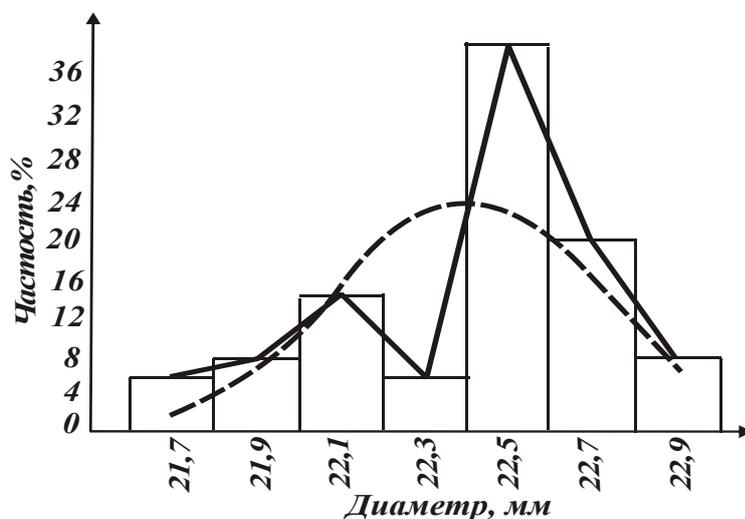


Рис. 3.13. Геометрические параметры обработанного отверстия

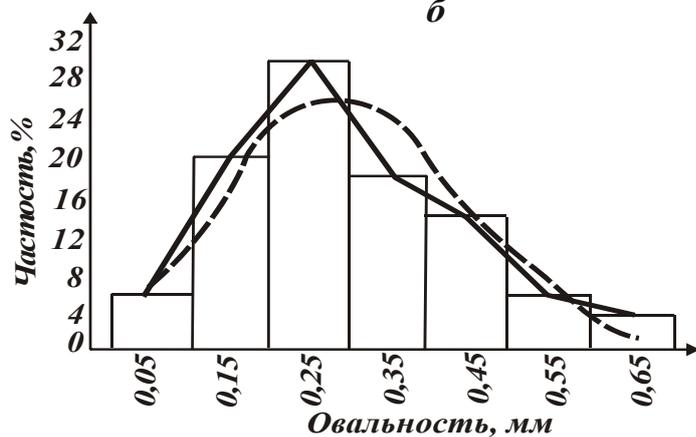
и наибольшего D_{0max} диаметров отверстий (рис. 3.13) после его рассверливания сверлом $\varnothing 22$ мм из стали Р6М5 у 50-ти баллонов (Приложение Д). Обработка производилась при следующем режиме резания: подача $S = 0,28$ мм/об; скорость резания $V = 22$ м/мин. Результаты измерений диаметров отверстий D_{0max} и D_{0min} , а также их разности (овальности отверстия) $\Delta D = D_{0max} - D_{0min}$ представлены в виде гистограмм и кривых распределений (рис. 3.14). Как следует из рисунка, диапазоны разброса значений параметров D_{0min} и D_{0max} отличны. Значения наименьшего диаметра обработанных отверстий D_{0min} концентрируются в основном в интервале 21,9...22,1 мм, что соответствует диаметру сверла. Это хорошо согласуется с полученными во втором разделе теоретическими результатами, вытекающими из зависимостей (2.26), (2.27) и рис. 2.10 и свидетельствует о том, что после рассверливания имеют место значительные погрешности размера и формы обработанных отверстий. Значения наибольшего диаметра отверстий D_{0max} концентрируются в основном в интервале 22,5...22,7 мм, что превышает значения D_{0min} для большинства обработанных баллонов. С физической точки зрения это связано с тем, что по сути, обработка отверстия производится не в сплошном материале, а путем рассверливания отверстия с начальной значительной некруглостью. В результате происходит съём неравномерного припуска, т.е. глубины резания, приходящиеся на оба лезвия сверла, различны и имеет место дисбаланс радиальных составляющих сил резания, действующих на лезвие сверла, который определяется наибольшей разностью глубин резания Δt . Это ведет к погрешности обработки отверстия вследствие изгиба сверла и горловины баллона и смещения оси отверстия относительно оси сверла.



а



б



в

Рис. 3.14. Гистограммы и кривые распределений величин D_{0min} (а), D_{0max} (б) и ΔD (в) после рассверливания

Как следует из рис. 3.14, разбивка отверстия, определяемая разностью наибольшего диаметра отверстия D_{0max} и диаметра сверла, равна 0,9 мм. Это чрезвычайно большое значение, имеющее место лишь при обработке отверстия с начальной значительной некруглостью, т.е. при съеме неравномерного припуска. Необходимо отметить, что с физической точки зрения данная величина (разность наибольшего диаметра отверстия D_{0max} и диаметра сверла) равна величине смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ . Следовательно, зная указанную разность величин, можно судить о величине Δ , которая, исходя из рис. 2.7,б, изменяется в довольно больших пределах – 0...0,9 мм.

Приведенные на рис. 3.14,в статистические данные разности наибольшего и наименьшего диаметров отверстия (овальности отверстия) ΔD указывают на существование приблизительно нормального закона распределения этой

величины, изменяющейся в довольно больших пределах – 0...0,7 мм. Таким образом, показано существенное влияние неравномерности снимаемого припуска на точность обработки отверстия при рассверливании. Установлен случайный характер формирования параметров точно-

сти обработанных отверстий. Все это свидетельствует о необходимости существенного уменьшения величины отклонения между осями Δ_0 отверстия горловины баллона и сверла за счет применения более прогрессивной схемы базирования заготовки баллона.

3.1.4. Экспериментальные исследования величин отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания и зенкерования. Во втором разделе работы установлено, что обобщенно погрешности обработки отверстия могут быть аналитически описаны величиной смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ . При этом показано, что с физической точки зрения величина Δ равна разности наибольшего диаметра отверстия D_{0max} и диаметра сверла. Проведем теперь оценку величины Δ другим методом – по величине отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания и зенкерования. Для этого выполним измерения данной величины у 50-ти обработанных баллонов в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 1.4. Результаты измерений приведены в Приложении Е и в Приложении Ж. На основании этих данных, используя метод математической статистики, были построены (рис. 3.15) эмпирическая и теоретическая кривые распределения величины отклонения от соосности горловины баллона (с наружным диаметром 48 мм) и отверстия в нем (диаметром 22 мм) после рассверливания и зенкерования (зенкером коническим АМ 14977-500 из быстрорежущей стали Р6М5 $\varnothing 22 / 25$ мм с конусностью $2tg\varphi/2 = 3 : 25$, $\varphi = 6^\circ 51' 36''$, см. рис. 3.1,а) при $S = 0,7$ мм/об; $V = 12$ м/мин.

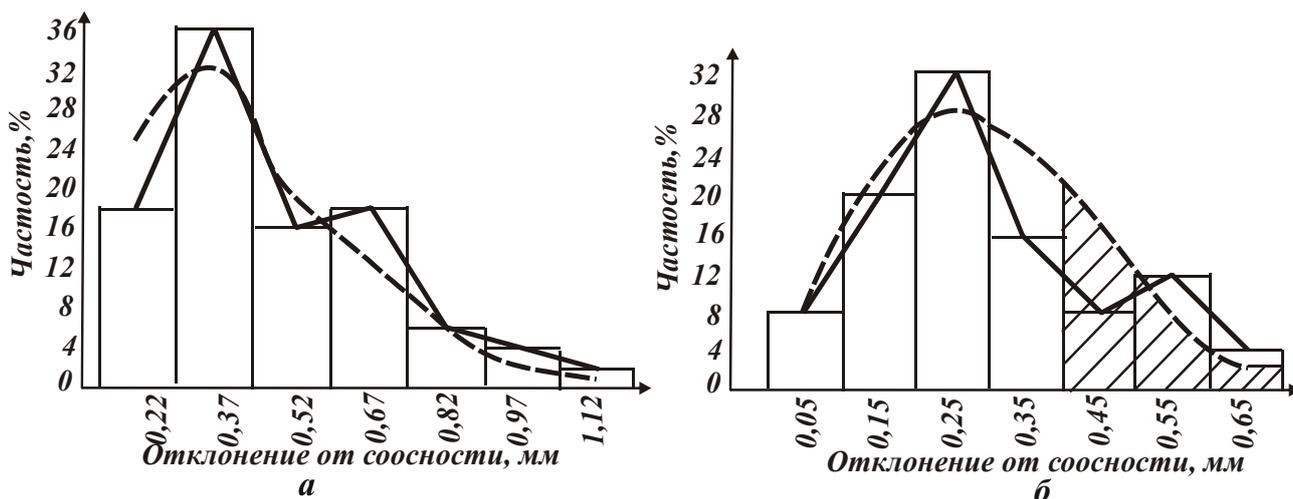


Рис. 3.15. Гистограммы и кривые распределения величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания (а) и зенкерования (б)

Закон распределения значений в двух случаях близок к закону эксцентриситета (Релея). В первом случае (см. рис. 3.15,а) среднее ариф-

метическое значение равно $\bar{X} = 0,487$ мм, а средне квадратическое отклонение – $S = 0,219$ мм. Во втором случае (см. рис. 3.15,б) среднее арифметическое значение равно $\bar{X} = 0,298$ мм, а средне квадратическое отклонение – $S = 0,157$ мм.

Из рис. 3.15,а следует, что диапазон изменения величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания равен $0,22 \dots 1,12$ мм. Диапазон изменения разности наибольшего диаметра отверстия $D_{0\max}$ и диаметра сверла, как показано выше, отличается незначительно и составляет $0 \dots 0,9$ мм. Следовательно, в первом приближении величину отклонения от соосности горловины баллона (с наружным диаметром 48 мм) и отверстия в нем (диаметром 22 мм) после рассверливания можно рассматривать равной разности наибольшего диаметра отверстия $D_{0\max}$ и диаметра сверла, которая в свою очередь равна величине Δ . Это хорошо согласуется с полученными во втором разделе теоретическими результатами и свидетельствует о достоверности разработанной математической модели формирования погрешностей отверстия при механической обработке.

Из рис. 3.15,а вытекает, что после рассверливания образуется отверстие значительной некруглости, которую трудно существенно уменьшить на последующем технологическом переходе зенкерования (см. рис. 3.15,б). При этом установлено, что требуемое качество нарезания конической резьбы достигается при отклонении оси горловины баллона от оси отверстия (после зенкерования) не более чем на 0,4 мм. При нарушении этого условия часть обработанных баллонов будет забракована по одному из параметров конической резьбы. На рис. 3.15,б заштрихованным показан процент брака баллонов, который в данном случае равен 15%. Поэтому для снижения процента брака баллонов по качеству нарезания конической резьбы следует уменьшить отклонение оси горловины баллона от оси отверстия в нем после рассверливания не менее чем на 0,4 мм, а после зенкерования – не менее чем на 0,3 мм, что обеспечивается применением более эффективной схемы базирования баллонов.

Таким образом, в настоящем параграфе по величине отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания и зенкерования произведена оценка величины смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения Δ . В совокупности с данными измерений наименьшего $D_{0\min}$ и наибольшего $D_{0\max}$ диаметров обработанных отверстий это дает достаточно полное представление о характере формирования погрешностей их обработки в процессе рассверливания. Экспериментально установлено, что величина Δ при этом изменяется в значительных пределах: $0,22 \dots 1,12$ мм при рассверливании и $0,05 \dots 0,65$ мм при зенкеровании. В конечном итоге это приводит к снижению качества нарезания конической резьбы в отверстиях горловин баллонов.

Из приведенных результатов вытекает, что величина Δ не столь существенно отличается от величины Δ_0 , которая, как показано в параграфе 3.1.2, изменяется в диапазоне 0,8...2,2 мм. Следовательно, выражение $\frac{\sigma}{K_{рез}} \cdot \frac{2 \cdot S \cdot \cos \varphi}{c}$, согласно зависимости (2.31), не столь значительно отличается от единицы. Для повышения точности обработки отверстия, несомненно, данное выражение необходимо уменьшать, в первую очередь за счет увеличения жесткости с технологической системы.

3.1.5. Экспериментальные исследования неравномерности длины хода осевого многолезвийного инструмента в продольном направлении при обработке конусного отверстия. При обработке конусного отверстия и нарезании в нем конической резьбы важно обеспечить одинаковую длину хода осевого многолезвийного инструмента в продольном направлении для всех обрабатываемых баллонов. В противном случае это приведет к разбросу диаметров конусного отверстия и некачественно нарезанной в нем конической резьбы. В связи с этим произведем оценку длины хода конического зенкера в продольном направлении при обработке конического отверстия. Для этого были проведены экспериментальные исследования на основе метода математической статистики отклонения торца горловины баллона от основной поверхности Y для 50-ти баллонов по схеме измерения, показанной на рис. 3.16 (Приложение И). Результаты измерений представлены в виде гистограммы и кривых распределения на рис. 3.17. Как видно, имеет место весьма большой разброс значений отклонения торца горловины баллона от основной поверхности Y (1,3 мм).

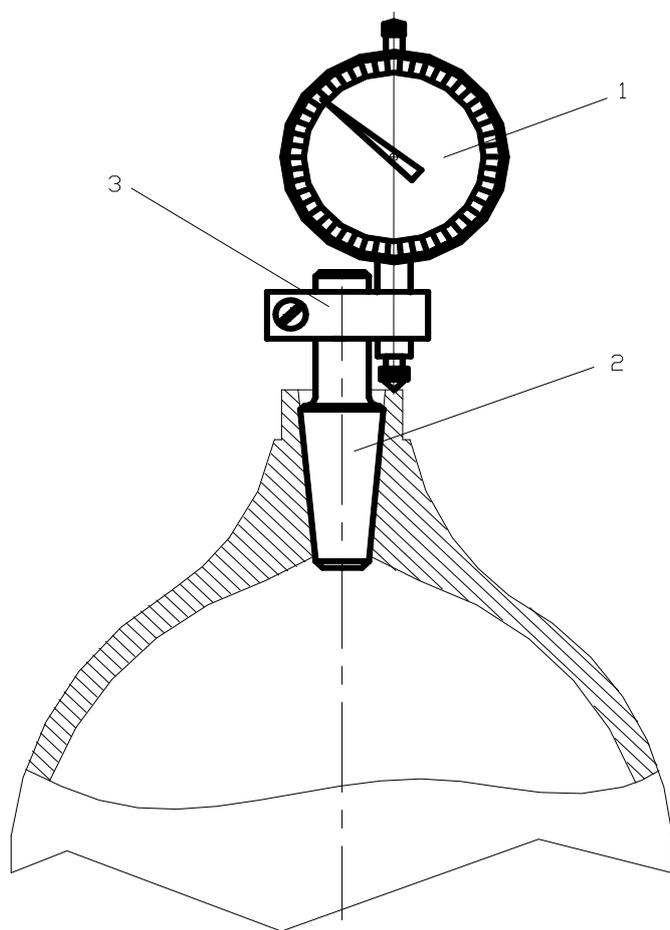


Рис. 3.16. Приспособление для измерения отклонения торца горловины баллона от основной плоскости: 1 – индикатор часового типа; 2 – пробка коническая; 3 – зажим

Исходя из рис. 1.7, геометрически величина Y

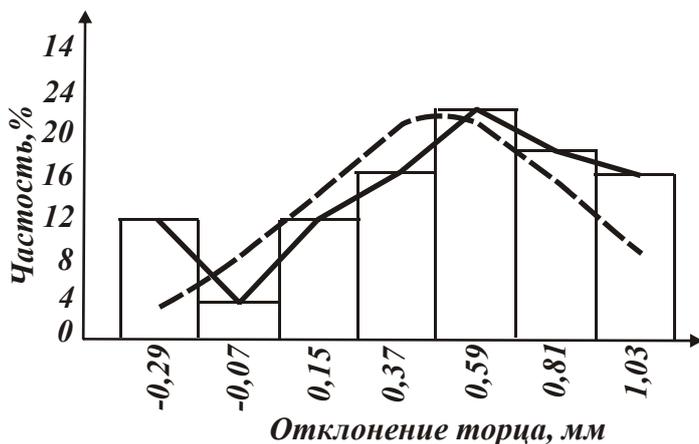


Рис. 3.17. Гистограмма и кривые распределения величины отклонения торца горловины баллона от основной поверхности

связана с разбросом диаметров обработанных отверстий $\Delta \bar{D}$ зависимостью: $\Delta \bar{D} = 2 \cdot Y \cdot \text{tg} \varphi / 2$, где $\varphi / 2$ – угол уклона конусного отверстия ($\varphi / 2 = 3^{\circ}26'2''$; $\text{tg} \varphi / 2 = 0,06$). Тогда, для $Y = 1,3$ мм, имеем $\Delta \bar{D} = 0,156$ мм. Следовательно, разброс диаметров $\Delta \bar{D}$ достаточно значительный для перехода зенкерования, что приведет к увеличению суммарной погрешности обработки отверстия и в конечном итоге к некачественному нарезанию конической резьбы у части обработанных баллонов. Поэтому для уменьшения значений отклонения торца горловины баллона от основной поверхности Y необходимо автоматически регулировать длину хода инструментальной головки в направлении подачи при обработке каждого баллона на всех технологических переходах обработки конического отверстия и нарезания в нем конической резьбы.

3.1.6. Экспериментальные исследования точности обработки наружной цилиндрической поверхности горловины баллона. Цилиндрическая поверхность горловины баллона в базовом технологическом процессе является базовой поверхностью на переходах зенкерования, развертывания и нарезания конической резьбы. Поэтому погрешности ее обработки при точении будут определять погрешности базирования горловины баллона, величины Δ_0 , Δ и, соответственно, качество нарезания конической резьбы. В связи с этим, были проведены экспериментальные исследования погрешностей обработки точением ($t = 1,5$ мм; $S = 0,28$ мм/об; $V = 42$ м/мин) наружного диаметра горловины у 50 баллонов (Приложение К). Результаты измерений диаметра горловины представлены в виде гисто-

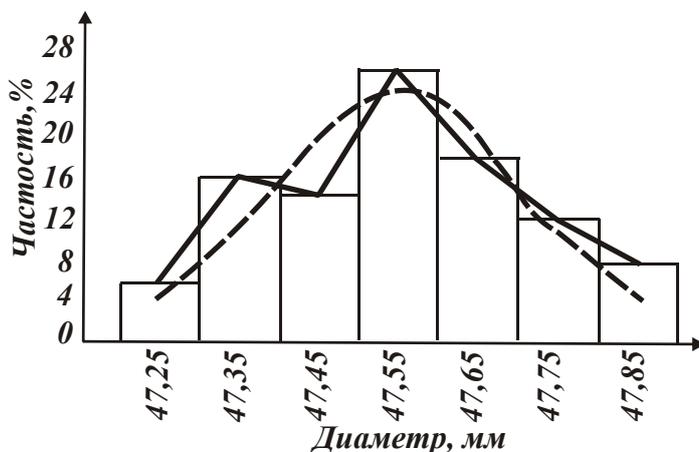


Рис. 3.18. Гистограмма и кривые распределения диаметра наружной поверхности горловины баллона

граммы и кривые распределения диаметра горловины баллона.

граммы и кривых распределения, рис. 3.18.

Как видно, имеет место достаточно большой разброс значений диаметра наружной поверхности горловины баллона, который связан как с погрешностью при механической обработке, так и с погрешностями заготовительной операции (по условиям чертежа по наружному диаметру горловины допускается «чернота»). Большинство баллонов находятся в пределах поля допуска по наружному диаметру горловины. Но в связи с тем, что наружная цилиндрическая поверхность горловины баллона является базовой поверхностью (при зенкеровании, развертывании и нарезании резьбы), погрешности ее обработки необходимо уменьшить, или применить более эффективную схему базирования, исключая перемещение горловины баллона в радиальном направлении.

3.1.7. Экспериментальные исследования структурного состояния и твердости металла горловины баллона. Форма горловины баллона получена методом пластического деформирования на закаточных машинах. При пластической деформации металла происходит изменение формы и взаимной ориентировки кристаллических зерен. Пластическая деформация сопровождается деформационным упрочнением металла и изменением его физических свойств.

Для проведения исследований из горловины баллона были вырезаны два образца. Исследование микроструктуры образцов после приготовления шлифов и травления их 4%-м раствором HNO_3 осуществлялась

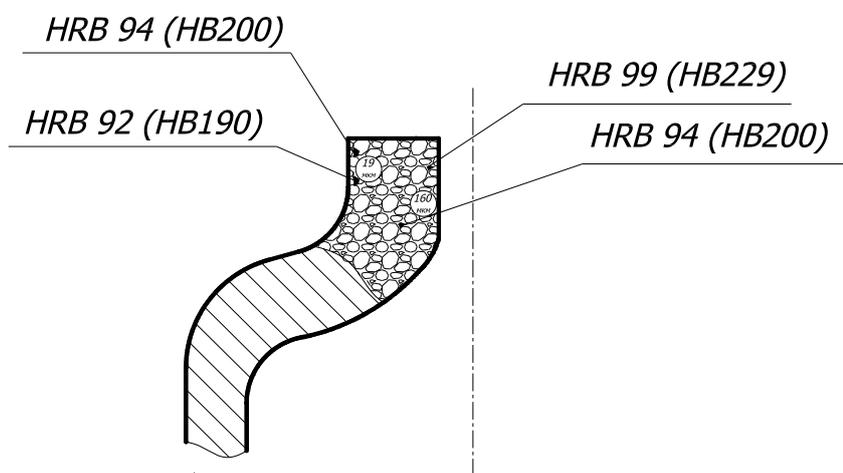


Рис. 3.19. Структура и твердость горловины баллона

на микроанализаторе «Epiquant» при увеличении $\times(100...600)$. Микроструктура образца по всему сечению характеризуется крупнозернистой структурой, характерной для сильно перегретой стали: по границам крупных зерен, с видманштетовым строением балла 4...1 ($\text{Ø}78,8...167$ мкм) ГОСТ 5639-82. Наблюдаются выделения зерен свободного феррита.

На расстоянии 3,5...5 мм от наружной поверхности горловины баллона выявлены деформационные дорожки с измельченной ферритно-перлитной структурой. Величина зерна феррита в них соответствует 8 баллу (диаметр зерна 19,6 мкм). Твердость измерялась на приборе Роквелла по шкале В (HRB) с переводом в единицы Бринелля (HB). На

рис. 3.19 представлена структура и твердость горловины баллона. Изменения свойств металла, в связи с деформационным упрочнением необходимо учитывать при проектировании технологического процесса и расчета режимов обработки.

3.1.8. Экспериментальные исследования качества нарезанной конической резьбы в отверстиях горловин баллонов. Была произведена экспериментальная оценка качества нарезанной конической резьбы в отверстиях 1670 горловин баллонов. Установлено, что в 260 баллонах (а это соответствует 15,5% общего количества баллонов) нарезана некачественная резьба, табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты контроля резьбы W 27.8 ГОСТ 9909-81 в баллонах, обработанных по базовому технологическому процессу (S = 1,814 мм/об; V = 8,5 м/мин)

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

В табл. 3.1 приведены данные о браке по видам дефектов нарезанной конической резьбы в отверстиях горловин баллонов. Как видно, наибольший процент брака достигается в связи с образованием так называемой «рваной резьбы» (4,31%). Затем, в порядке уменьшения процента брака резьбы – в связи с поломкой метчиков (3,35%), образованием прослабленной (2,84%) и тугей (2,75%) конической резьбы, а также образованием неполного профиля резьбы (2,27%). На рис. 3.15,б заштрихованным показан возможный процент брака баллонов в связи с существенным отклонением оси горловины баллона от оси отверстия (после зенкерования). Как видно, он равен 15%, что фактически соответствует проценту брака баллонов по некачественно нарезанной конической резьбе. Следовательно, отклонение оси горловины баллона от оси отверстия необходимо рассматривать как основную причину низкого качества нарезания конической резьбы в отверстии. В параграфе 3.1.5 показано, что одной из причин появления дефектов резьбы также может быть разброс диаметров отверстий на переходах зенкерования и нарезания резьбы метчиком, который обусловлен разбросом координаты положения основной плоскости конического отверстия в осевом направлении. В связи с этим, для исследования условий формирования качественной

конической резьбы, рассмотрим схему формирования профиля конической резьбы w27,8 в отверстии горловины баллона, рис. 1.7. Как следует из рисунка, для того чтобы нарезать полную коническую резьбу, метчик должен совершить перемещение в направлении подачи на величину

$$l = \frac{h}{\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}, \quad (3.1)$$

где $h = \frac{D - D_1}{2}$, мм;

$\varphi/2$ – угол уклона резьбы ($\varphi/2 = 3^\circ 26' 2''$; $\operatorname{tg} \varphi/2 = 0,06$);

H_1 – рабочая высота профиля по нормали к образующей ($H_1 = 1,161553$ мм);

P – шаг резьбы ($P = 1,814$ мм);

D – наружный (номинальный) диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D = 27,8$ мм);

D_1 – внутренний диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D_1 = 25,472$ мм);

D_2 – средний диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D_2 = 26,636$ мм);

l_2 – длина наружной резьбы на вентиле ($l_2 = 17,667$ мм);

l_3 – длина резьбы в горловине, не регламентируется;

Δl_2 – осевое смещение основной плоскости от ее номинального расположения.

Как установлено в параграфе 3.1.5, после зенкерования коническим зенкером имеет место разброс значений диаметров отверстий $\Delta \bar{D}$. Следовательно, у части баллонов, у которых диаметр отверстия превышает допустимый диаметр, будет образовываться неполный профиль резьбы, и она будет прослаблена. У тех баллонов, у которых диаметр отверстия меньше допустимого диаметра, будет образовываться тугая резьба. Чтобы добиться в этом случае образования качественной резьбы, необходимо увеличить длину перемещения l метчика в направлении подачи. Однако, это может привести к срыву резьбы или поломке метчика вследствие увеличения силы резания.

Таким образом, показано влияние разброса диаметров отверстий (после зенкерования) на качество нарезанной конической резьбы. Оценим теперь влияние отклонения торца горловины баллона от основной поверхности Y (см. рис. 3.16) на качество нарезанной конической резьбы. Нетрудно видеть, что с геометрической точки зрения влияние отклонения торца горловины баллона от основной поверхности Y на качество нарезанной конической резьбы аналогично рассмотренной схеме (см. рис. 1.7). Чем больше отклонение Y в отрицательном направлении, тем,

очевидно, более протяженный путь метчика в обрабатываемом металле. А это ведет к увеличению величины снимаемого припуска, силы резания и вероятности поломки метчика или срыву резьбы.

С увеличением отклонения Y в положительном направлении, наоборот, длина пути метчика в металле уменьшается. В результате будет образовываться неполный профиль резьбы, и она будет прослаблена. Из проведенного анализа можно сделать вывод о том, что для получения качественной конической резьбы необходимо обеспечить разброс значений отклонения торца горловины баллона от основной поверхности Y и наименьшего диаметра отверстия в пределах полей допусков. В противном случае будет образовываться некачественная резьба. Выполнить это условие можно за счет регулирования длины перемещения конического зенкера, конической развертки и конического метчика в продольном направлении при обработке каждого баллона, характеризующегося своим вполне конкретным значением Y . Как показано в разделе 2, реализовать это условие можно применением системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки.

Проведем более детальные исследования влияния точности расположения основной плоскости конического отверстия в осевом направлении на качество резьбы в соответствии с расчетной схемой, показанной на рис. 1.7. На рисунке показаны основные параметры осевого перемещения метчика при нарезании резьбы. Формирование полного профиля внутренней резьбы начинается частью метчика, расположенной слева от основной плоскости. В этой плоскости наружный диаметр метчика равен внутреннему диаметру резьбы в горловине, т.е. $d = D_1$. Часть метчика, расположенная справа от основной плоскости, будет формировать резьбу на длине l_3 , в том числе ее сбег. Для получения полного профиля резьбы метчик должен переместиться вдоль оси на расстояние l , которое определяется рабочей высотой профиля резьбы в основной плоскости h и углом наклона резьбы $\varphi/2$. Исходя из рис. 1.7, данные значения равны

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

$$l = \frac{h}{\text{tg} \frac{\varphi}{2}} = \frac{1,164}{0,06} = 19,4 \text{ мм} \quad (3.2)$$

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

ного расположения величина осевого перемещения метчика будет составлять: при отрицательном смещении: $l_{\Delta 2} = l - 1,5 = 19,4 - 1,5 = 17,9$ мм; при положительном смещении: $l_{+\Delta 2} = l + 1,5 = 19,4 + 1,5 = 20,9$ мм.

Число витков резьбы с полным профилем, нарезанных метчиком:

– при номинальном положении основной плоскости

$$n = l/P = 19,4 / 1,814 = 10,7;$$

– при отрицательном смещении основной плоскости

$$n = 17,9 / 1,814 = 9,9;$$

– при положительном смещении основной плоскости

$$n = 20,9 / 1,814 = 11,5.$$

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

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

Таким образом, обоснована связь точности и качества нарезаемой конической резьбы в отверстиях горловин баллонов с положением основной плоскости относительно торца горловины. Используемые методы контроля точности конического отверстия под резьбу с помощью калибра-пробки не дают возможности определить точное расположение основной плоскости. Это ведет к тому, что глубина входа метчика в отверстие и соответственно количество нарезанных витков в действующем технологическом процессе определяется, по сути, «на глаз». Поэтому на технологических переходах обработки отверстия и нарезания резьбы можно рекомендовать использование указанной выше системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода осевого режущего инструмента или регулируемых упоров, настройка которых обеспечит постоянное положение ос-

новой плоскости относительно торца горловины. В этом случае обработка прекращается при касании упора в торец горловины.

3.1.9. Анализ условий повышения эффективности процесса нарезания конической резьбы в отверстии горловины баллона.

Анализ технологических операций на предприятиях и полученных результатов исследований [56, 57] показывает, что процесс нарезания внутренней резьбы метчиком сопровождается повторяющимися дефектами резьбы, основными из которых являются: разбивание среднего диаметра резьбы сверх установленного допуска; конусность среднего диаметра резьбы с выходом за пределы поля допуска; отклонение от симметричности профиля резьбы; перекос оси резьбы относительно торца детали. Из-за этих дефектов процесс резьбонарезания часто является «узким» местом, особенно при работе на автоматической линии. Часто происходит выкрашивание режущих кромок и поломка метчиков.

При нарезании резьбы в коническом отверстии резьба не калибруется, а к моменту остановки метчика всегда остаются стружки, не отделенные от основной массы материала. На рис. 3.20 показано поперечное сечение метчика, находящегося в детали в момент остановки для перемены хода. Перед каждым зубом метчика остается корень стружки большей или меньшей длины.

При обратном ходе каждый зуб метчика должен пройти зону, где остались корни стружки и каким-то образом смять их. При достижении определенной величины сила, необходимая для смятия стружки, может оказаться достаточной для того, чтобы произошло выкрашивание режущей кромки.

Статистические наблюдения в производстве и результаты экспериментальных исследований показывают, что выход метчиков из строя в результате поломок достигает значительных размеров (50 – 70%). Частые поломки метчиков приводят к тому, что автоматическая линия не в состоянии обеспечить запланированную производительность, брак обработанных баллонов чрезвычайно велик (15,5%), а расход метчиков превышает всякие нормы. Поэтому важно исследовать условия нагружения метчика и динамику процессов, происходящих при работе метчиком. Все факторы, оказывающие влияние на схему сил, действующих на метчик, могут быть разбиты на две группы: изменяющие только величины сил в схеме; изменяющие саму схему сил и их величины.

К первой группе относятся: обрабатываемый материал, действительные размеры метчика, качество СОТС, степень затупления метчика, наличие налипания обрабатываемого материала на метчик, элементы геометрии режущих кромок, величина внешней осевой силы и другие факторы. Ко второй группе относятся: перекос оси отверстия относительно оси метчика в момент захода последнего, несовпадение оси метчика с осью отверстия, наличие деформаций метчика в процессе работы, действительные размеры отверстий под резьбонарезание. Вли-

яние факторов первой группы изучено достаточно глубоко. Так как в процессе наших исследований не изменяется обрабатываемый материал, размеры метчика и т.д., то влияние этих факторов остается постоянным и в дальнейшем не рассматривается.

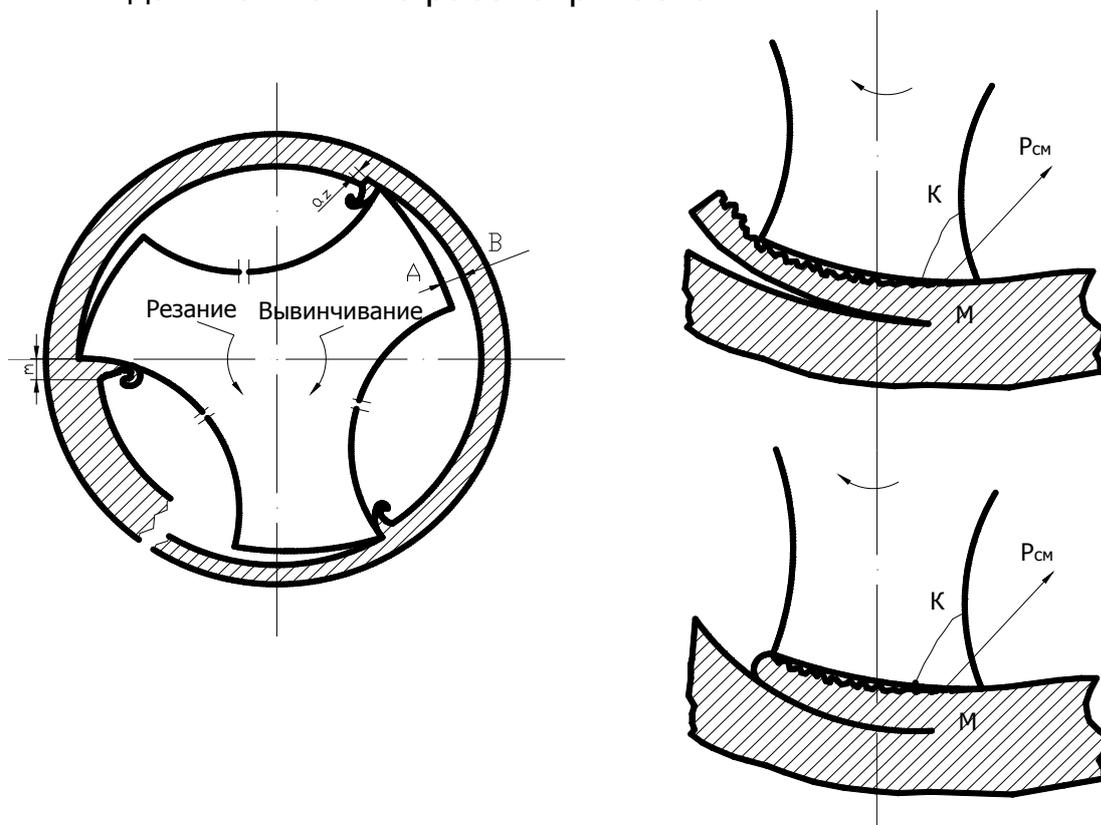


Рис. 3.20. Схема образования «донных» стружек при нарезании несквозных резьб

Оценим влияние жесткости метчика [29]. Для «нежесткого» метчика при приложении крутящего момента, кроме простого закручивания на какой-либо угол, зубья будут иметь продольные перемещения, геометрия метчика видоизменяется, углы наклона витков резьбы на метчике будут иметь значения, отличные от расчетных. Изменение угла наклона резьбы метчика (из-за наличия угла закручивания и изгиба поперечных сечений) приводит к тому, что зубья метчика заклиниваются в витках нарезанной резьбы. При неабсолютно жестком метчике процесс резьбонарезания конической резьбы будет протекать следующим образом. В первоначальный момент метчик под действием внешнего крутящего момента $M_{вн}$ и приложенной к нему внешней осевой силы $P_{вн}$ начинает «резание» первым витком. Под действием уравновешенных между собой крутящих моментов резания $M_{кр.р}$ и момента $M_{вн}$, приложенного к хвостовику, рабочая часть метчика будет скручиваться. Угол подъема витков при этом изменяется по сравнению с исходным. Каждый входящий в отверстие зуб как бы заклинивается в витках резьбы, в результате чего крутящий момент возрастает. Наибольшее заклинивание будет у последнего зуба, т.к. он закручивается под действием полного момента.

Максимальное защемление последнего витка является одной из причин так называемого «заваривания» метчика. При неабсолютно жестком метчике уравнение моментов представляется в следующем виде [56]:

$$M_{\text{кр.рез}} = M_p + M_{\text{т.п.}} + M_{\text{т.е.}} + M_{\text{тр.1}} , \quad (3.3)$$

где $M_{\text{кр.рез}}$ – крутящий момент, необходимый для резьбонарезания;

M_p – момент необходимый для резания;

$M_{\text{т.п.}}$ – момент трения зубьев метчика о витки резьбы для преодоления реакций осевой составляющей от сил резания и обеспечения самоподачи метчика;

$M_{\text{т.е.}}$ – момент трения стружки о метчик;

$M_{\text{тр.1}}$ – момент трения в результате защемления зубьев метчика в витках резьбы из-за скручивания метчика.

Защемление витков в результате скручивания хорошо ощущается при ручной нарезке резьбы. Квалифицированный рабочий при нарезке резьбы вручную никогда не вращает метчик непрерывно в одну сторону, а работает с «покачиванием», уменьшая этим защемление.

Оценим теперь влияние перекоса оси отверстия. При резьбонарезании в реальной технологической наладке всегда имеет место перекос оси отверстия относительно оси метчика. В связи с этим рассмотрим одно принципиальное положение, характеризующее работу метчика и заключающееся в том, что ось резьбы не всегда совпадает с осью отверстия (в отличие от работы зенкеров и разверток). В начале резьбонарезания при перекошенном отверстии перекос почти не ощущается и схема сил, действующих на метчик, одинакова со схемой, имеющей место при нарезании неперекошенного отверстия. Однако по мере внедрения метчика в отверстие, одно из плечев оказывается каждый раз более нагруженным, так как оно снимает больший припуск. Метчик по отверстию при этом не выправляется, так как он базируется в нарезанных ранее витках, которые служат направляющими. Это явление имеет место при закреплении метчика в качающемся и плавающем патроне и тем более при его жестком креплении. Поэтому метчик продолжает перемещение в том же направлении. Это положение можно сформулировать следующим образом: при нарезании резьбы метчиком ось резьбы располагается в том направлении, в котором располагалась ось режущей части метчика при нарезании первых заходных витков, независимо от того, совпадает ли она с осью отверстия или нет. Данное правило применимо ко всем метчикам, в том числе и к метчикам, имеющим различные «направляющие» хвостовики.

С учетом сказанного выше, схема сил при резьбонарезании может быть представлена следующим образом. Метчик, ввертываясь в перекошенное отверстие, продолжает осевое перемещение в направлении

своей оси; при этом он с одной стороны отверстия детали снимает все больший припуск. В связи с тем, что сила резания пропорциональна площади поперечного сечения среза, радиальная составляющая с одной стороны будет больше противоположной радиальной силы; по мере углубления разница между ними все время будет увеличиваться. Результирующая этих сил $\sum P_p$ также по мере углубления метчика будет расти, стремясь изогнуть метчик и направить его по отверстию. Как показал опыт, этого однако не происходит, так как результирующая сила недостаточна для того, чтобы изогнуть метчик и изменить его направление. Однако некоторое влияние силы $\sum P_p$ проявляется. Из-за все возрастающего отжима возникают дополнительные силы, которые создают момент противодействия проворачиванию метчика. Наличие этих сил увеличивает силы трения и резьба, нарезанная в перекошенных отверстиях, часто имеет эллипсность по среднему диаметру. Большая ось эллипса располагается в плоскости, в которой лежат оси метчика и перекошенного отверстия. Уравнение моментов при этом выразится [56]:

$$M_{кр.рез} = M_p + M_{т.п.} + M_{т.с.} + M_{тр.1} + M_{тр.2}, \quad (3.4)$$

где $M_{тр.2}$ – момент трения зубьев метчика о витки резьбы из-за перекоса оси отверстия и наличия силы $\sum P_p$.

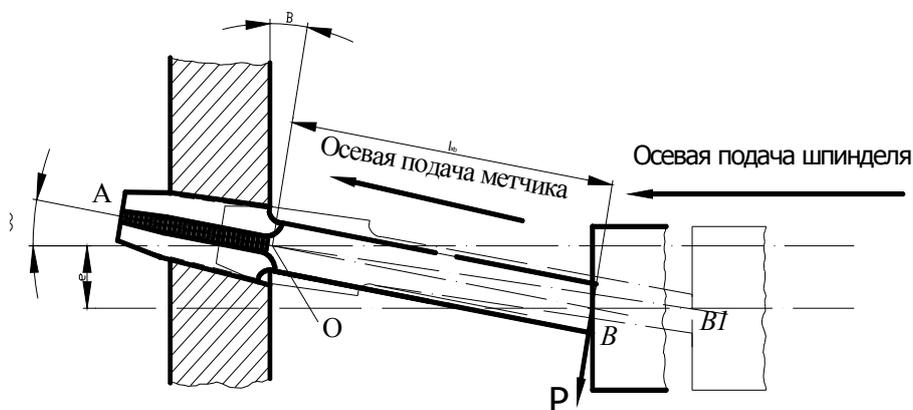


Рис. 3.21. Схема нарезания резьбы при закреплении метчика в качающемся патроне

Очевидно, при прочих равных условиях для величины момента трения M будет справедлива зависимость: $M_{тр.2} = f(\beta; l)$, где β – угол перекоса; l – длина резбонарезания. Рассмотрим теперь влияние отклонения от соосности метчика и отверстия. В зависимости от способа закрепления метчика схемы сил, при наличии отклонения от соосности, будут различными. Существует три способа закрепления метчика: жесткое закрепление, закрепление в качающемся патроне, закрепление в плавающем патроне. В технологическом процессе обработки резьбового отверстия горловины баллона метчик закрепляется в качающемся патроне, рис. 3.21. Уравнение моментов для данного случая

$$M_{кр.рез} = M_p + M_{Т.п.} + M_{Т.с.} + M_{Тр.1} + M_{Тр.2} + M_{Тр.3}, \quad (3.5)$$

где $M_{Тр.3}$ – момент трения зубьев метчика о витки резьбы из-за искажения шагов метчика от действия изгибающего момента.

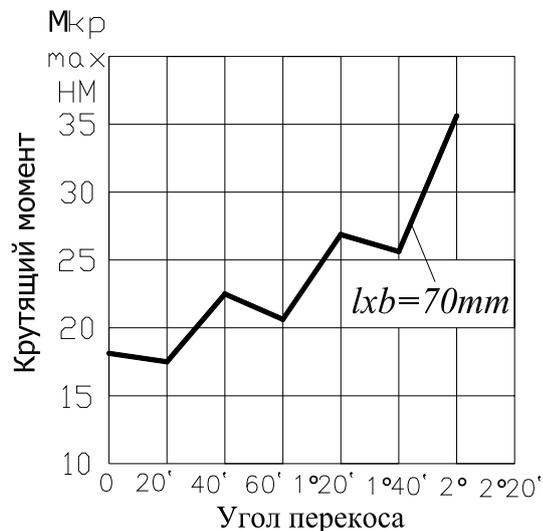


Рис. 3.22. Влияние угла перекоса резьбового отверстия относительно оси метчика М12 на величину крутящего момента

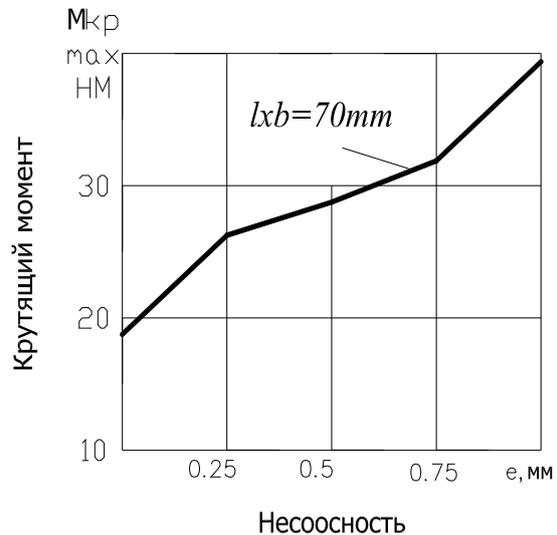


Рис. 3.23. Влияние несоосности отверстия и метчика на крутящий момент (закрепление метчика в качающемся патроне)

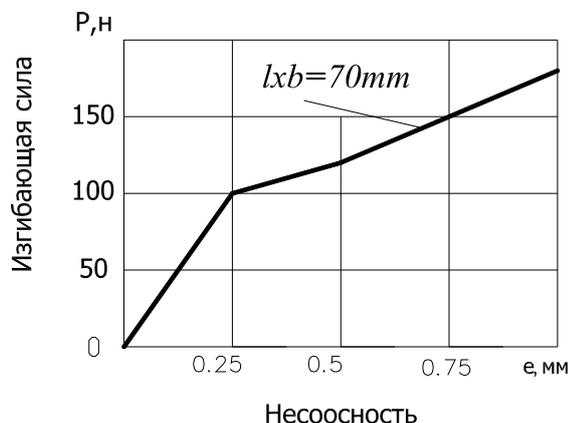


Рис. 3.24. Влияние несоосности отверстия и метчика на изгибающую силу (закрепление метчика на качающемся патроне)

Экспериментально установлено, что при закреплении метчика в качающемся патроне величина крутящего момента по мере увеличения угла перекоса непрерывно возрастает, рис. 3.22 [56]. Следовательно, применение качающегося патрона не снижает крутящий момент. Установлено также, что увеличение отклонения от соосности отверстия и метчика приводит к увеличению величины крутящего момента при закреплении метчика в качающемся патроне, рис. 3.23 [56]. С увеличением отклонения от соосности отверстия и метчика изгибающая сила увеличивается, рис. 3.24

[56]. Исходя из вышесказанного, можно предложить рекомендации, применение которых обеспечит снижение скручивающих и изгибающих нагрузок, действующих на метчик в процессе резбонарезания, и значительно уменьшит процент поломок метчиков при обработке:

1. Для уменьшения величины крутящего момента $M_{тр.1}$, исключаяющего заклинивания зубьев метчика вследствие его скручивания, эффективно применение специальных конструкций метчиков с измененной геометрией зубьев, которая соответствует геометрии метчика, «закрученного» на необходимый угол в противоположную сторону. При приложении нагрузки такой метчик будет иметь «нормальную» геометрию. Этим объясняется эффективное использование данных метчиков на практике.

2. Для уменьшения величины крутящего момента $M_{тр.2}$, обусловленного трением при перекосе оси отверстия относительно оси метчика, необходимо уменьшить величины углов перекосов при механической обработке отверстия под резьбу и резьбонарезании.

3. Для уменьшения величины крутящего момента трения $M_{тр.3}$ и изгибающего момента $M_{изг}$, обусловленного отклонением от соосности метчика и отверстия, необходимо более тщательно подойти к базированию деталей при обработке отверстия под резьбу и при нарезании резьбы.

3.1.10. Расчет и анализ погрешностей, возникающих при установке заготовки баллона на станке и при обработке отверстий по базовой технологии. Погрешность установки заготовки баллона на станке является составляющей частью суммарной погрешности при механической обработке. На автоматической линии обработка производится путем последовательной передачи заготовки с одной рабочей позиции на другую, с автоматической фиксацией на каждой позиции. Таким образом, при обработке каждой заготовки участвуют приспособления всех рабочих позиций, а в каждом приспособлении устанавливаются все заготовки. При этих условиях технологические базы заготовок искажаются, и погрешности обработки возрастают. В общем случае погрешность установки заготовки $\Delta\varepsilon_y$ является функцией погрешности базирования $\Delta\varepsilon_б$, погрешности закрепления $\Delta\varepsilon_з$ и погрешности приспособления $\Delta\varepsilon_{пр}$, т.е. $\Delta\varepsilon_y = f(\Delta\varepsilon_б; \Delta\varepsilon_з; \Delta\varepsilon_{пр})$. Указанные погрешности являются случайными величинами, поэтому справедлива зависимость [54]:

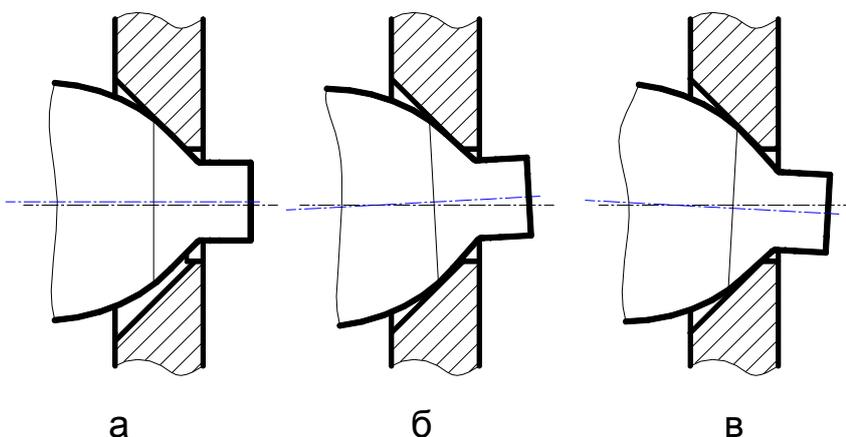


Рис. 3.25. Схема установки баллона на сферическую часть горловины баллона:
 а – без силового замыкания;
 б, в – в зажатом состоянии

станке является составляющей частью суммарной погрешности при механической обработке. На автоматической линии обработка производится путем последовательной передачи заготовки с одной рабочей позиции на другую, с автоматической фиксацией на каждой позиции. Таким образом, при обработке каждой заготовки участвуют приспособления

всех рабочих позиций, а в каждом приспособлении устанавливаются все заготовки. При этих условиях технологические базы заготовок искажаются, и погрешности обработки возрастают. В общем случае погрешность установки заготовки $\Delta\varepsilon_y$ является функцией погрешности базирования $\Delta\varepsilon_б$, погрешности закрепления $\Delta\varepsilon_з$ и погрешности приспособления $\Delta\varepsilon_{пр}$, т.е. $\Delta\varepsilon_y = f(\Delta\varepsilon_б; \Delta\varepsilon_з; \Delta\varepsilon_{пр})$. Указанные погрешности являются случайными величинами, поэтому справедлива зависимость [54]:

$$\Delta \varepsilon_y = 1,2 \cdot \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{пр}^2} . \quad (3.6)$$

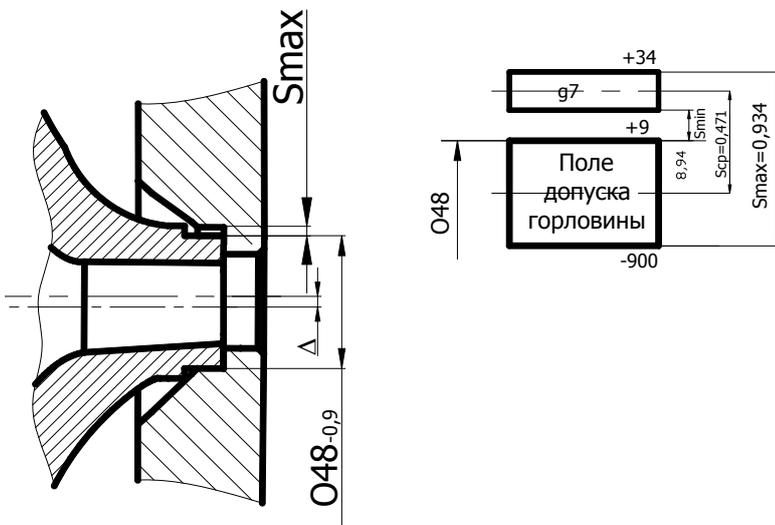


Рис. 3.26. Схема для определения смещения оси при базировании по цилиндрической части горловины баллона

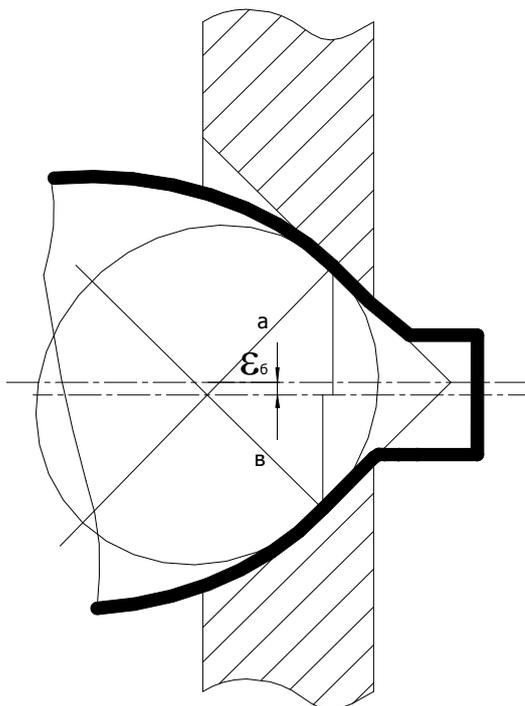


Рис. 3.27. Схема определения смещения оси отверстия при базировании по сферической части горловины баллона

Технологическими базами при обработке баллонов на первых трех операциях служат сферическая часть горловины баллона $\varnothing 70$ мм и сферическая часть днища $\varnothing 220$ мм. Общеизвестно, что точность необработанных поверхностей, применяемых в качестве черновых баз, всегда ниже точности обработанных поверхностей, а шероховатость выше шероховатости обработанных поверхностей. Поэтому черновая база должна использоваться при обработке заготовки один раз – при выполнении первой операции. В базовом же технологическом процессе поверхности, выбранные в качестве базовых, остаются необработанными и используются в этом качестве многократно.

Таким образом, проведенный анализ действующего (базового) технологического процесса обработки отверстия в горловине баллона (см. рис. 1.5) показал, что в нем нарушены основополагающие принципы базирования, а именно: необработанные поверх-

ности используются неоднократно в качестве технологических баз; после третьей операции произведена замена баз.

На первых трех позициях базового технологического процесса (см. рис. 1.5) обрабатываемый баллон устанавливается по сферической части горловины. На рис. 3.25 показана схема установки баллона по сферической поверхности горловины и днищу баллона. В связи с большой длиной баллона ($l = 1650$ мм) влияние поверхностей сферической части днища будут незначительными и ими можно пренебречь.

В базовом технологическом процессе на четвертой и пятой позициях баллон устанавливается по цилиндрической части, торцу горловины и днищу баллона (рис. 3.26). Определим погрешности базирования баллона при его установке на сферическую часть горловины и днище (рис. 3.27) при следующих исходных данных. Поле рассеяния размеров диаметра, по которому базируется баллон, составляет 3,2 мм. Погрешность формы в поперечном сечении равна 1,5 мм, угол базирующего конуса во втулке – $\alpha = 90^\circ$, среднее усилие зажатия – 11,3 кН. Шероховатость поверхности равна $R_a = 40$ мкм.

1) Погрешность базирования для осевых размеров:

$$\varepsilon_{б_0} = \frac{T_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{3,2}{2 \sin \frac{90^\circ}{2}} = 2,26 \text{ мм}, \quad (3.7)$$

где T_D – допуск на сферическую часть горловины $\varnothing 80$ мм ($T_D = 3,2$ мм);

2) погрешность базирования в радиальном направлении (смещение оси, см. рис. 3.26). Величина наибольшего смещения оси заготовки баллона, вызванная погрешностью формы сферической части горловины, определяется

$$\varepsilon'_{бр} = a \cdot \sin 45^\circ - b \cdot \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot (a - b), \quad (3.8)$$

где $(a - b)$ – отклонение формы (овальность), равное $\Delta_\phi = 1,5$ мм [35].

Тогда $\varepsilon'_{бр} = 1,07$ мм. Полное смещение оси (т.е. в обе стороны):

$$\varepsilon_{бр} = 2 \cdot \varepsilon'_{бр} = 2,14 \text{ мм}. \quad (3.9)$$

На величину смещения оси заготовки влияет также и отклонение от соосности сферических поверхностей днища и горловины баллона. Однако, в связи с большой длиной баллона ($l = 1650$ мм) эта величина будет несущественной. Определим погрешности базирования баллона при его установке по цилиндрической части и торцу горловины при следующих исходных данных. Диаметр цилиндрической части – $\varnothing 48_{-0,9}$ мм,

отверстие в базирующей втулке $\varnothing 48^{+0,034}_{+0,009}$, среднее усилие зажатия – 11,3 кН. Шероховатость поверхности – $R_a = 6,3$ мкм.

1) Погрешность базирования для осевых размеров – $\varepsilon_{260} = 0$;

2) максимальная погрешность базирования в радиальном направлении (смещение оси) будет равна половине величины максимального зазора между отверстием базирующей втулки и диаметром цилиндрической части горловины – $\varepsilon_{6p} = 0,467$ мм.

Смещение измерительной базы заготовки происходит также в результате деформации отдельных звеньев цепи, через которую происходит передача зажимного усилия (заготовка, установочные элементы). Перемещения в стыке заготовка – установочные элементы происходят вследствие контактных деформаций. Величины этих перемещений относительно погрешностей базирования незначительны, и ими можно пренебречь. Погрешности при изготовлении приспособления являются неизбежными и их необходимо учитывать при выполнении операций с узкими допусками. Однако, учитывая соотношение точности изготовления баллона и деталей приспособления (13 квалитет и 7 квалитет), этой погрешностью можно пренебречь.

В процессе эксплуатации приспособления имеет место прогрессирующий износ установочного элемента базирующей втулки. Черные базовые поверхности горловины со следами обкатки интенсивно изнашивают установочный элемент. Износ значительно возрастает в связи с тем, что при установке заготовка массой более 50 кг перемещается по

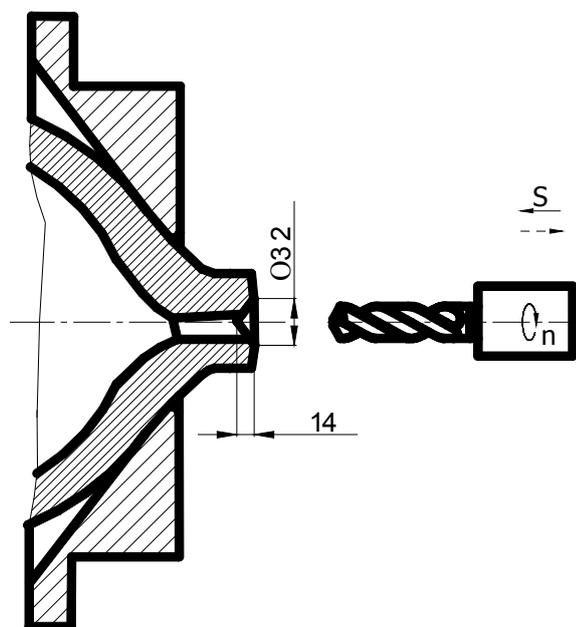


Рис. 3.28. Схема обработки горловины баллона на первой позиции

базирующей конической втулке под влиянием усилия закрепления. Наиболее интенсивный износ происходит в нижней части конической поверхности втулки. Следует отметить, что явление износа установочных элементов приспособлений изучено недостаточно. Для повышения точности установки износ элементов приспособлений должен быть регламентирован определенными, заранее рассчитанными величинами. Контроль износа осуществляется периодической проверкой приспособления в установленные сроки. Если при такой проверке выявлено, что износ достиг предельно допустимой величины, втулку меняют. Наличие сменных втулок позволяет осуществлять замену в сжатые сроки.

Проведем размерный анализ базового технологического процесса, для чего установим операционные размерные цепи.

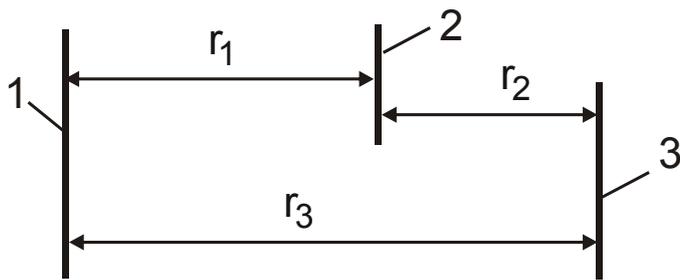


Рис. 3.29. Размерная цепь отклонения от соосности на первой позиции

Условные обозначения: 1 – ось шпинделя; 2 – ось конического отверстия в базирующей втулке; 3 – ось сферической части горловины баллона

Позиция 1. Центровать торец горловины (рис. 3.28). На рис. 3.29 показана размерная цепь отклонения от соосности на первой позиции, где r_1 – смещение оси базового отверстия; r_2 – смещение оси сферической части горловины $\varnothing 70$ мм; r_3 – смещение оси отверстия $\varnothing 32$ мм. Исследованиями соосности оси шпинделя силовой головки и оси обрабатываемого баллона установлено, что величина погрешности находится в пределах от 0,6 до 2,8 мм. В регламенте по

выполнению технологического процесса отсутствует требование по регулярной юстировке оси шпинделя силовой головки и не имеется для этого специальных приспособлений. Перед проведением анализа точности базового технологического процесса эта погрешность была нами минимизирована до величины 0,2 мм. Величина смещения сферической части горловины баллона: $r_2 = 1,07$ мм; $r_3 = \sqrt{0,2^2 + 1,07^2} = 1,09$ мм.

Позиция 2. Сверлить отверстие $\varnothing 22$ мм на глубину $l = 30$ мм (рис. 3.30). Величина погрешности смещения оси отверстия $\varnothing 22$ мм и оси шпинделя станка будет такой же, что и на первой позиции ($\epsilon = 1,189$ мм). При переходе из первой позиции во вторую баллон не занимает единообразного положения относительно оси шпинделя и поэтому ось отверстия $\varnothing 32$ мм, полученная на первой позиции, не совпадает с осью шпинделя на второй позиции. Это приводит к неравномерному распределению припуска по кромкам режущего инструмента и как следствие – смещению оси сверла $\varnothing 22$ мм. Кроме того, в начальный момент обработки сверло $\varnothing 22$ мм базируется по конусу, оставленному в

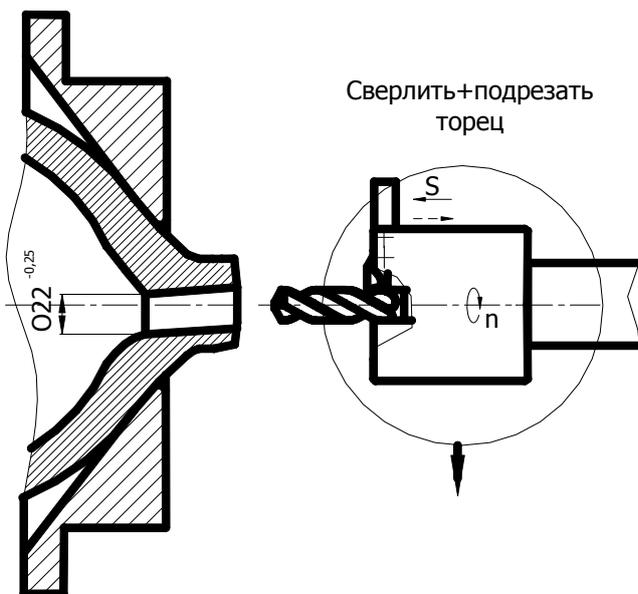


Рис. 3.30. Схема обработки горловины баллона на второй позиции

Сверлить+подрезать торец

горловине баллона сверлом $\varnothing 32$ мм со смещенной осью, что приводит к значительным упругим перемещениям сверла. Применение направляющих втулок для сверла $\varnothing 22$ мм приводит к затиранию и поломке сверла.

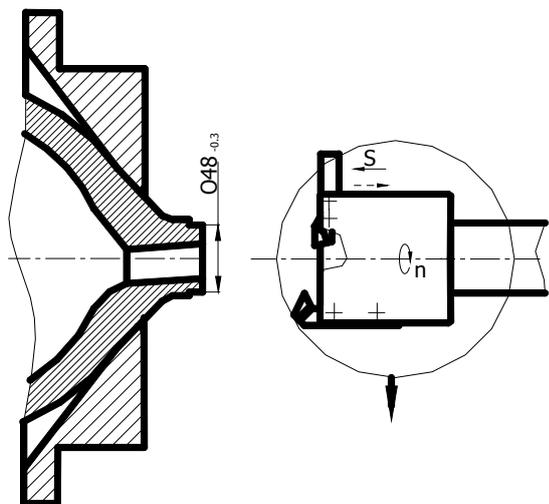


Рис. 3.31. Схема обработки горловины баллона на третьей позиции

Направление смещения осей сверла $\varnothing 22$ мм и оси горловины $\varnothing 48_{-0,9}$ мм произвольное. При совпадении осей отверстий припуск по кромкам сверла $\varnothing 22$ мм одинаков и смещение оси сверла отсутствует. Оси смещены в разные стороны. Величина погрешности смещения оси наружной поверхности горловины $\varnothing 48_{-0,9}$ мм и оси шпинделя станка будет равна величине погрешности смещения оси сверла $\varnothing 32$ мм, т.е. $\varepsilon_3 = 1,09$ мм.

Позиция 3. Точить пояс $\varnothing 48_{-0,9}$ мм с чистовой подрезкой торца (рис. 3.31).

Позиция 4. Зенкеровать конусное отверстие под резьбу $w27,8$ ГОСТ 9909-81 (рис. 3.32). Диаметр 22

мм обточенного пояса горловины $\varnothing 48_{-0,9}$ мм будет такой же, как и на первой позиции ($\varepsilon = 1,09$ мм). Направление смещения осей произвольное. При базировании во втулке с гарантированным зазором смещение оси баллона будет равно половине зазора. Учитывая, что при обтачивании поверхности $\varnothing 48$ мм

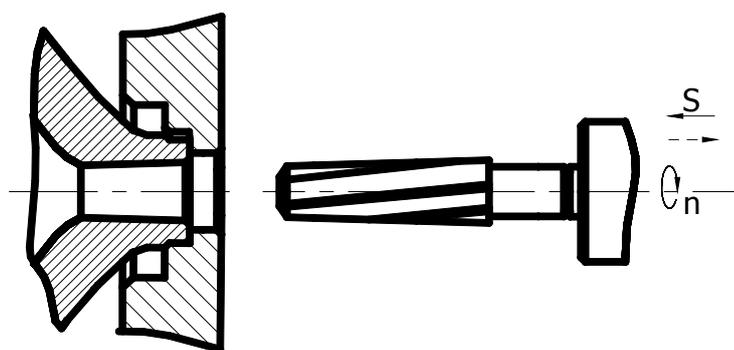


Рис. 3.32. Схема обработки горловины баллона на четвертой позиции

действует закон нормального распределения действительных размеров, смещение оси баллона будет равно половине величины среднего зазора (см. рис. 3.28): $\varepsilon = 0,5 \cdot S_{cp} = 0,5 \cdot 0,471 = 0,24$ мм.

Суммарная величина отклонения от соосности относительно оси шпинделя будет равна сумме отклонения от соосности оси отверстия $\varnothing 22$ мм и половине за-

зора горловины баллона в базирующей втулке. Ось просверленного отверстия $\varnothing 22$ мм не совпадает с осью шпинделя при зенкеровании, что приводит к неравномерному распределению припуска по кромкам режущего инструмента. Среднее значение припуска на диаметр при зенкеровании равно 1 мм [101]. Неравномерность припуска по базовому тех-

нологическому процессу в несколько раз превышает допустимые значения припуска, что является причиной образования дефектов поверхности отверстия после зенкерования (задиры, глубокие риски, разбиение диаметра отверстия за пределы припуска под нарезание резьбы, выкрашивание режущих кромок из-за вибраций зенкера и т.д.), а так же частых поломок инструментов.

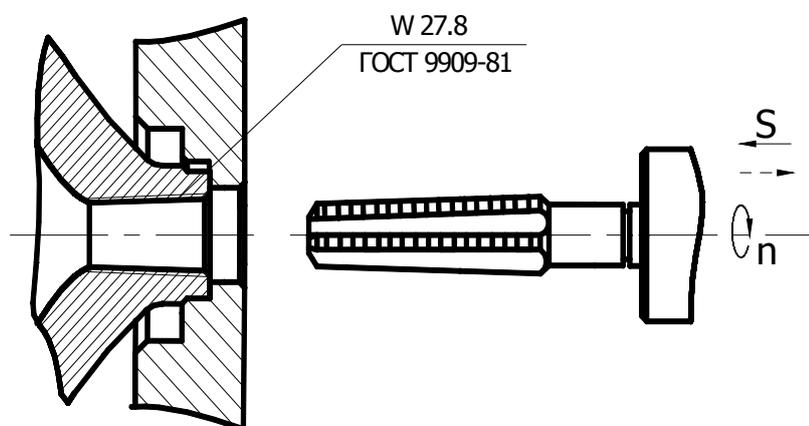


Рис. 3.33. Схема обработки горловины баллона на пятой позиции

Позиция 5. Нарезание резьбы $w27,8$ (рис. 3.33). Учитывая то, что зенкерование незначительно выправляет ось отверстия, полученного сверлением, то и на пятой позиции будут такие же величины отклонений

от осности оси отверстия и метчика. Дополнительно добавляются погрешности от упругих деформаций, износа режущего инструмента, неоднородности свойств материала заготовки, геометрических погрешностей станка, приспособления, режущего инструмента и т.д. Следовательно, базовый технологический процесс не может обеспечить качественное изготовление резьбовых отверстий в баллонах.

3.2. Разработка оптимального технологического процесса механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона

3.2.1. Выбор оптимального маршрута обработки и схемы базирования заготовки баллона. Структурный синтез оптимального технологического процесса по критериям точности и стабильности осуществлялся на основе создания новых структур операций. Экспериментальные исследования точности обработки отверстий в горловинах баллонов и качества нарезанной в них конической резьбы показали, что принятые схемы базирования приводят к значительным погрешностям обработки отверстий. Поэтому необходимо изменить схемы базирования баллона и увеличить жесткость и точность технологической системы в соответствии с рекомендациями, приведенными во втором разделе и параграфе 3.1. В связи с этим нами разработан новый технологический маршрут механической обработки с применением прогрессивной схемы базирования и способа корректировки рабочих ходов, специальных приспособлений и режущего инструмента, рис. 3.34 [4, 30, 71, 72].

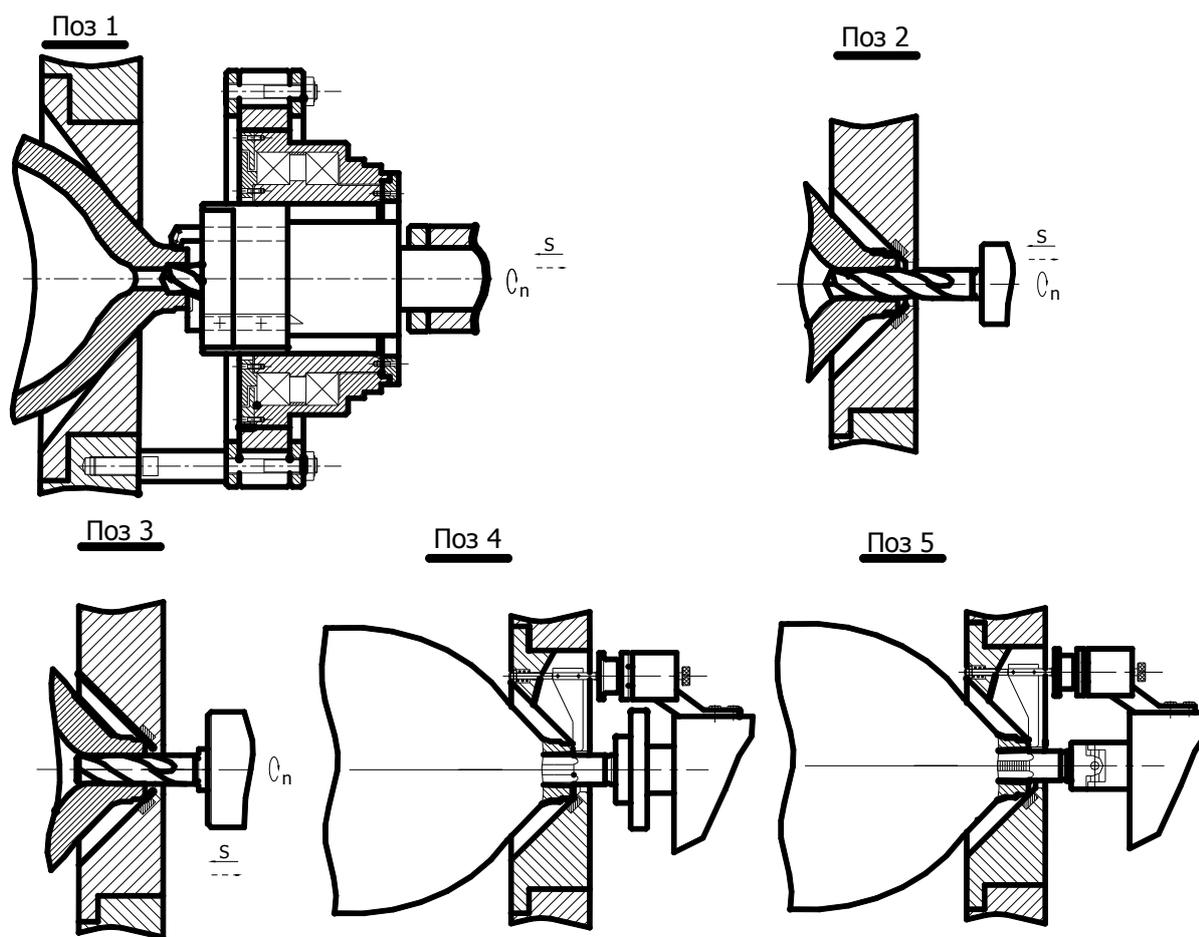


Рис. 3.34. Разработанный технологический процесс механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона

На первой позиции с целью повышения точности получаемых размеров, взаимного расположения поверхностей отверстия и наружного диаметра, а также формы обрабатываемых элементов была использована разработанная специальная инструментальная головка, осуществляющая одновременно сверление отверстия $\varnothing 24$ мм, подрезку торца и наружное обтачивание цилиндрической части горловины $\varnothing 48$ мм (рис. 3.35). Инструментальная головка представляет собой цилиндрический ступенчатый корпус с пазами для крепления резцов со ступенчатым центральным отверстием для установки сверла. Концентрация переходов на первой позиции позволила значительно повысить производительность обработки и компенсировать погрешности базирования линейных размеров, соосности поверхностей отверстия и наружного диаметра, а также исключить отклонения от перпендикулярности торца горловины баллона относительно оси отверстия.

Концентрация переходов возлагает задачу обеспечения точности

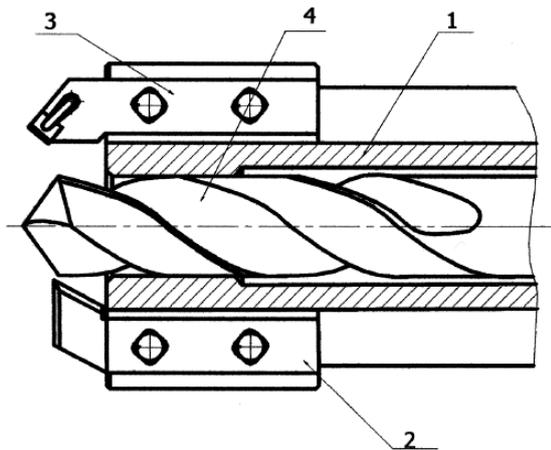


Рис. 3.35. Инструментальная головка

Условные обозначения: 1 – корпус; 2, 3 – подрезной и проходной резцы; 4 – сверло

нологической системы и точности обработки, а также снижения нагрузки на направляющие силового стола разработан и внедрен кондуктор (рис. 3.36), воспринимающий реакции сил резания. Кондуктор представляет собой корпус с подшипниками качения и кондукторную втулку. Корпус установлен между фланцами, закрепленными на базирующем кронштейне с помощью анкерных болтов. В конечном итоге работа инструментальной головки с использованием кондуктора позволила исключить вибрации и смещение оси шпинделя относительно оси обрабатываемого отверстия в баллоне.

Предложена и реализована в условиях действующего производства принципиально новая схема базирования баллонов на протяжении всего технологического маршрута их механической обработки. Ее суть состоит в том, что после обработки цилиндрического пояса и торца горловины баллона (на первой позиции) от черновой базы образовавшаяся кромка принимается за чистовую базу с базированием на внутреннюю коническую поверхность опорного элемента (тарелки). Иными словами, для остальных позиций технологического процесса основными базами будут являться поверхности, обработанные на первой позиции, а именно: наружный диаметр и торец горловины баллона. С целью материализации оси баллона предусмотрено использование базирующего конуса. Это позволило полностью ликвидировать погрешности базирования горловины баллона в радиальном направлении.

Выдержав требования по соосности оси отверстия и шпинделя станка, данная схема базирования вызывает, как показано во втором разделе работы, смещение торца горловины баллона. Смещение определяется по зависимости:

$\omega_1 = Td / 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$, где Td – допуск наружного диа-

взаимного расположения обрабатываемых поверхностей на высококвалифицированного рабочего инструментального производства; позволяет значительно сократить основное время за счет его совмещения, а также сократить вспомогательное время на установку и снятие заготовки благодаря уменьшению общего количества установок. В свою очередь, концентрация переходов приводит к увеличению упругих деформаций технологической системы, которые обуславливают увеличение систематических и случайных погрешностей. Поэтому для повышения жесткости тех-

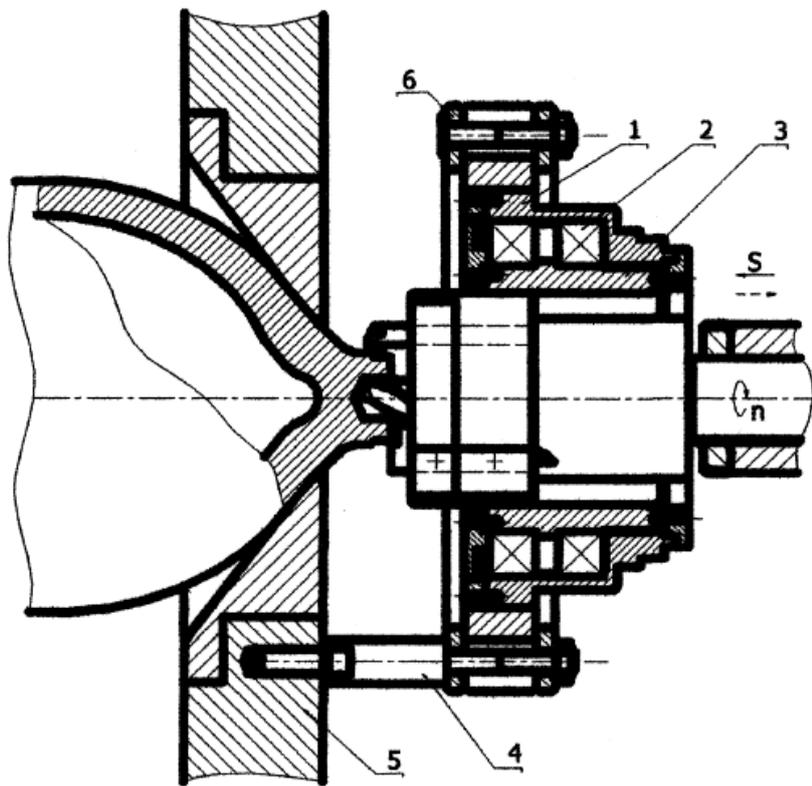


Рис. 3.36. Кондуктор

Условные обозначения: 1 – корпус; 2 – подшипник качения; 3 – кондукторная втулка; 4 – анкерный болт; 5 – базирующий кронштейн; 6 – фланцы

14 мм сверлом из быстрорежущей стали Р6М5. На второй позиции производится сверление отверстия $\varnothing 22$ мм на длину $l = 30$ мм сверлом из быстрорежущей стали Р6М5, на третьей позиции – зенкерование отверстия с использованием зенкера конического АМ 14977-500 из быстрорежущей стали Р6М5 $\varnothing 22 / 25$ мм конусностью $2\text{tg}\varphi/2 = 3 : 25$; $\varphi = 6^\circ 51' 36''$, на четвертой позиции – развертывание отверстия с использованием конической развертки, на пятой позиции – нарезание конической резьбы $w27,8$ мм (ГОСТ 9909-70) метчиком АР-2-497.

Таким образом, разработанный технологический процесс включает пять переходов. Столько же переходов включает и базовый технологический процесс (см. рис. 1.5). Однако, как видно, по содержанию переходы в двух рассматриваемых процессах различны. В разработанном технологическом процессе за счет применения специальной инструментальной головки (см. рис. 3.35) удалось произвести, по сути, концентрацию трех первых переходов базового технологического процесса в один переход. В результате чистовая технологическая база готовится сразу на первом переходе. Это позволило три последующих перехода (свер-

метра горловины баллона, мм; α – угол базирующего конуса. Обеспечивая заданное значение T_d , смещение будет изменяться в требуемых пределах.

Разработанный технологический маршрут обработки включает пять переходов, которые на рис. 3.34 показаны отдельными позициями. На первой позиции с использованием специальной инструментальной головки производится одновременное точение цилиндрической поверхности и подрезка торцевой поверхности горловины баллона, сверление отверстия $\varnothing 24$ мм на длину $l =$

ление, зенкерование и развертывание) подчинить только обработке отверстия с целью повышения его точности для обеспечения качественного нарезания конической резьбы. Несомненно, с этой точки зрения разработанный технологический процесс эффективнее базового, в котором, по сути, точность отверстия формируется лишь на переходе зенкерования. Необходимо отметить, что при таком подходе время обработки одного баллона в двух рассматриваемых технологических процессах приблизительно одно и то же, что очень важно для реализации технологического процесса обработки на высокопроизводительных автоматических линиях в условиях массового производства.

3.2.2. Разработка системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки. С целью реализации процесса выверки положения обрабатываемой заготовки в условиях крупносерийного и массового производства разработана, изготовлена и применена на четвертой и пятой позициях (см. рис. 3.34) система автоматизированной подналадки останова рабочего хода

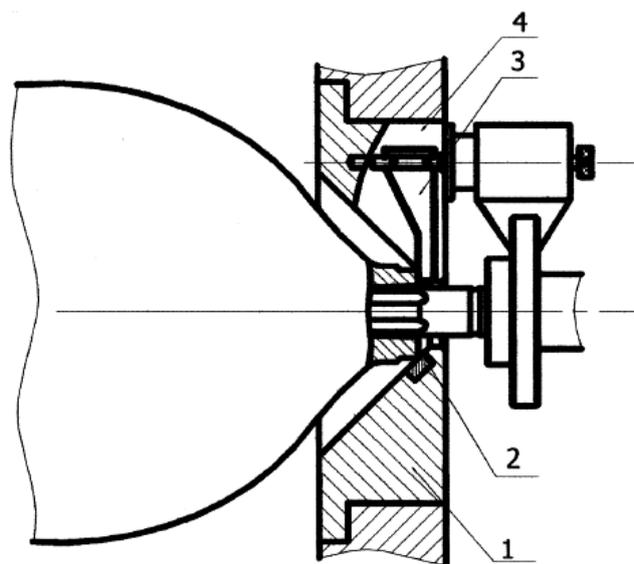


Рис. 3.37. Схема автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки

Условные обозначения: 1 – базисующий конус; 2 – торец горловины; 3 – подпружиненный упор; 4 – паз.

система автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки, рис. 3.37. Система позволяет корректировать рабочий ход инструментальной головки в зависимости от глубины вхождения горловины баллона в базисующий конус при различных диаметрах горловин в пределах допуска.

Система подналадки представляет собой комплект деталей, смонтированных на тарелке с базисующим конусом, вдоль образующей которого выполнен паз, в нем размещен подпружиненный упор. На стержне упора жестко закреплена пластина, обеспечивающая срабатывание емкостного датчика КВП-8. Подналадка останова рабочего хода инструментальной головки достигается тем, что при установке баллона с меньшим наружным

диаметром горловины, последняя несколько глубже входит в центрирующий конус и, следовательно, дальше выталкивает упор с пластиной, благодаря чему датчик срабатывает раньше, обеспечивая постоянную глубину подачи инструмента в горловину баллона. Точность останова

инструментальной головки определяется точностью срабатывания датчика и равняется 0,15 мм.

Таким образом, возникающая при обработке погрешность базирования в осевом направлении компенсируется установкой пластины емкостного датчика на специальный упор, контактирующий с обработанным торцом горловины баллона. Это позволяет в каждом конкретном случае обработки ход инструментальной головки определить положением торца горловины. При обработке баллонов с разными диаметрами горловин рабочий ход инструментальной головки изменяется на величину, соответствующую более или менее глубокой посадке баллона в конической части тарелки, что обеспечивает получение размера конуса и резьбы с точностью $\pm 0,75 \cdot P$, где P – шаг нарезаемой резьбы, равный 1,815 мм, т.е. допуск составляет $\pm 1,4$ мм.

3.2.3. Разработка приспособления для юстировки инструментальных головок. Проведенные исследования показали, что базовые приспособления установлены на станках несоосно со шпинделем станка и зачастую плохо закреплены. Это приводит к перекосу инструмента, обрабатываемого баллона, а отсюда – к биению инструмента и его поломке, износу направляющих станка. Точное расположение базовых элементов приспособлений и оси шпинделя станка в значительной мере определяют точность обработки, особенно при работе осевым инструментом. Поэтому для ужесточения требований к взаимному расположению базовых элементов приспособления и оси шпинделя в технологическую инструкцию включили требование, определяющее регулярно проводить юстировку инструментальных головок.

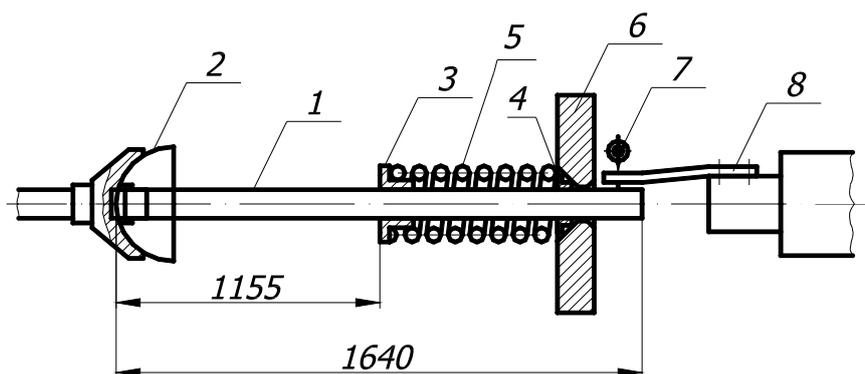


Рис. 3.38. Схема юстировки инструментальных головок

Для этого было разработано и внедрено специальное приспособление для их юстировки, рис. 3.38. Приспособление предназначено для настройки и выверки соосности шпинделей головок и осей обрабатываемых баллонов. Оно представляет собой макет баллона с точной копией его опорных поверхностей и позволяет материализовать ось симметрии баллона. Держатель с индикатором устанавливается на шпиндель силовой головки. Отклонение от соосности определяется при вращении шпинделя (вручную). После определения величины смещения ось шпинделя силовой головки выставляется с помощью

ллона с точной копией его опорных поверхностей и позволяет материализовать ось симметрии баллона. Держатель с индикатором устанавливается на шпиндель силовой головки. Отклонение от соосности определяется при вращении шпинделя (вручную). После определения величины смещения ось шпинделя силовой головки выставляется с помощью

прижимных и упорных болтов и вновь контролируется ее положение. Контрольное устройство позволяет выставлять оси шпинделей инструментальных головок относительно приспособлений с точностью 0,005 мм. Приспособление состоит из оси 1 диаметром $d = 27$ мм и длиной $l = 1640$ мм, к одному из концов которой при помощи винта и гайки крепится чаша 2 в форме полусферы, имитирующая днище баллона. Другой конец оси обработан на длину $L_1 = 485$ мм до диаметра 25 мм с шероховатостью поверхности $R_a = 6,3$ мкм. На этот конец оси устанавливают две опорные втулки 3 и 4 и амортизирующую пружину 5, создающую необходимое прижимное усилие. Пружина состоит из нескольких частей, что позволяет регулировать при необходимости ее длину. Втулка 4 изготовлена по размерам горловины баллона и при работе приспособления имитирует ее.

Все приспособление в сборе имитирует баллон, а выходящий за пределы базирующего фланца 6 конец оси длиной $l = 150$ мм является как бы продолжением оси баллона. К этому концу подводится индикатор 7, крепящийся при помощи оправки 8 к шпинделю станка 9. При вращении вручную шпинделя щуп индикатора перемещается по поверхности стержня, равной ее поперечному сечению. Наблюдая за перемещением стрелки индикатора, оператор устанавливает величину смещения и затем регулирует при помощи регулировочных винтов и болтов положение агрегатной головки. Эффективность применения приспособления для юстировки силовых головок описана в параграфе 4.2.1. Описанный выше комплекс технологических решений обеспечивает высокую надежность разработанного технологического процесса.

3.3. Определение параметров разработанного технологического процесса механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона

3.3.1. Расчет припусков на механическую обработку. Технико-экономическим анализом установлено, что при серийном и массовом производстве баллонов наиболее эффективным является процесс обкатки трубчатых заготовок с локальным нагревом очага деформации. К сожалению, в научно-технической литературе отсутствуют данные по выбору припусков на механическую обработку после обкатки. С целью проверки чертежных размеров заготовки был проведен расчет припусков на механическую обработку расчетно-аналитическим методом, первоначально на обработку цилиндрической части горловины баллона $\varnothing 48_{-0,9}$ мм (рис. 3.39). Расчет минимальных значений припусков произведем по известной формуле, приведенной в работе [101]:

$$2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}), \text{ мкм} \quad (3.10)$$

где $R_{z_{i-1}}$, T_{i-1} , ρ_{i-1} – соответственно высота неровностей профиля (шероховатость), глубина дефектного слоя и суммарное значение пространственных отклонений для элементарной поверхности на предшествующем переходе;

ε_{yi} – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

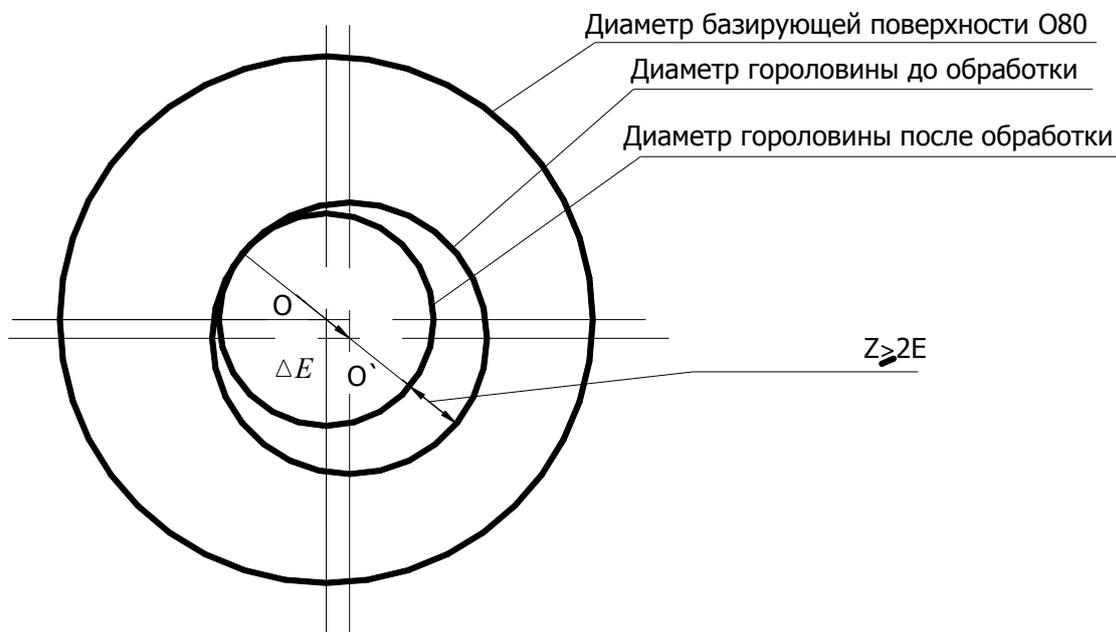


Рис. 3.39. Схема для определения величины колебания припуска при наличии смещения оси горловины баллона

Условные обозначения: O – положение оси базирующей поверхности $\varnothing 80$ мм; O_1 – положение оси горловины до обработки

Значения параметров R_z и T определяем из работы [101]: $R_z = 300$ мкм; $T = 400$ мкм. Суммарное значение пространственных отклонений для заготовки данного типа определяется по формуле

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2}, \text{ мкм} \quad (3.11)$$

где $\rho_{\text{кор}}$ – величина кривизны заготовки, мкм;

$\rho_{\text{см}}$ – величина смещения оси баллона, мкм.

По данным исследований: $\rho_{\text{кор}} = 32$ мкм; $\rho_{\text{см}} = 300$ мкм. Погрешность установки баллона на выполняемом переходе, по результатам исследований, равна $\Delta\varepsilon = 760$ мкм. Тогда

$$2z_{\text{min}} = 2(300 + 400) + \sqrt{301^2 + 760^2} = 3034 \text{ мкм.}$$

Максимальный припуск на обработку определяется зависимостью

$$2Z_{\max} = 2Z_{\min} + \delta_{i-1} - \delta_i, \quad (3.12)$$

где δ_{i-1} – допуск по размеру на предшествующем переходе ($\delta_{i-1} = 3000$ мкм);
 δ_i – допуск по размеру на выполняемом переходе ($\delta_i = 900$ мкм).

Тогда $2Z_{\max} = 3034 + 3000 - 900 = 5134$ мкм. При $D_{\min} = 47,1$ мм; $D_{\min} = D_{\min} + 2Z_{\min} = 47,1 + 3,034 = 50,134$ мм; $D_{\max} = D_{\min} + 2Z_{\max} = 47,1 + 5,134 = 52,24$ мм (см. рис. 3.37). Согласно чертежу заготовки, диаметр цилиндрической части горловины баллона после закатки изменяется в пределах 48...51 мм. Следовательно, минимальный диаметр цилиндрической части горловины баллона после закатки необходимо изменить с $\varnothing 48$ мм на $\varnothing 50$ мм. При существующем положении некоторая часть горловин баллонов будет не полностью обработана, в связи с недостаточной величиной припуска. Кроме того, смещение оси цилиндрической части горловины относительно базирующей поверхности (сферической поверхности горловины) определяют неравномерность припуска на обработку, что в свою очередь вызывает значительные колебания величины радиальной составляющей усилия резания и упругой деформации технологической системы. На остальные обрабатываемые поверхности горловины баллона припуски принимаем по ГОСТ 7505-74 и результаты сводим в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Припуски и допуски на обрабатываемые поверхности
горловины баллона по ГОСТ 7505-74

№ пп	Наименование поверхностей и методов обработки	Расчётные величины		
		Припуск, мм	Получаемый размер, мм	Предельное от- клонение, мм
1.	Поверхность $\varnothing 48$ мм а) обтачивание однократное		48	0 -0,9
	б) заготовка	3	51	0 -1,5
2.	Торец горловины в размер $l = 1650$ мм а) обтачивание однократное	4	1650	$\pm 0,15$
	б) заготовка		1654	$\pm 1,2$
3.	Поверхность отверстия в горло- вине $w27,8$ а) нарезание резьбы метчиком	1,16	27,8	+0,013
	б) развертывание	0,2	25,0	+0,021
	в) зенкерование	0,5	24,6	+0,052
	г) сверление $\varnothing 24$ $l = 30$ мм	11	24	+0,25
	д) сверление $\varnothing 24$ $l = 14$ мм	12	24	+0,25
	е) заготовка			

3.3.2. Расчет оптимальных режимов резания на технологических переходах. Разработка технологического процесса обработки заготовки завершается установлением технологических норм времени для каждого перехода и оптимальных режимов резания. Чтобы добиться оптимальных норм времени на каждом переходе, необходимо в полной мере использовать режущие свойства инструмента и производственные возможности технологического оборудования. Первоначально рассчитаем параметры режима резания для перехода сверления сверлом $\varnothing 24$ мм из быстрорежущей стали Р6М5 (рис. 3.40).

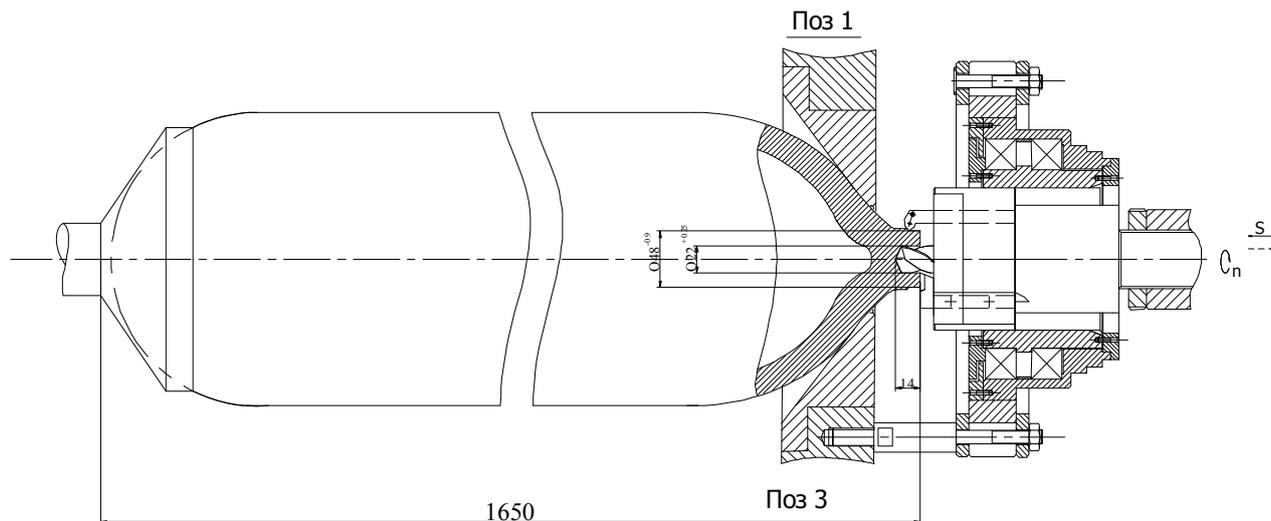


Рис. 3.40. Схема обработки сверлильной головкой модели 5У4035

Определим длину рабочего хода сверлильной головки:

$$L_{р.х.} = L_{рез} + l_1 + l_2 + l_3 + l_{дет} \text{ (мм)}, \quad (3.13)$$

где $L_{рез}$ – длина резания, мм;

l_1 – длина подвода режущего инструмента к обрабатываемой поверхности детали, мм;

l_2 – длина врезания инструмента, мм;

l_3 – длина перебега инструмента, мм;

$l_{доп}$ – дополнительная длина хода, мм.

В результате получено: $L_{р.х.} = 14 + 9 + 1 = 25$ мм. Глубина резания t и подача S соответственно равны: $t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 24 = 12$ мм; $S = 0,28$ мм/об. Скорость резания $V_{рез}$ определяется по формуле

$$V_{рез} = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ м/мин}, \quad (3.14)$$

где $C_v = 9,8$; $q = 0,4$; $m = 0,2$; $y = 0,5$.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания, определяется

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{ny} \cdot K_{ev}, \quad (3.15)$$

где $K_{mv} = K_v \cdot \left(\frac{750}{\sigma^B}\right)^{n_v} = 0,8 \cdot \left(\frac{750}{750}\right)^{0,9} = 0,8$ – коэффициент на обрабатываемый материал;

K_{nv} – коэффициент на инструментальный материал ($K_{nv} = 1,0$);

K_{ev} – коэффициент, учитывающий глубину сверления ($K_{ev} = 1,0$).

Тогда $K_v = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8$. Стойкость T при многоинструментной обработке рассчитывается по формуле

$$T = T_M \cdot \lambda_B, \text{ мин}, \quad (3.16)$$

где T_M – стойкость режущего инструмента машинной работы станка;

λ_B – коэффициент времени резания ($\lambda_{\%o} = \frac{L_{p\text{H}K}}{L_{T.X}} = \frac{14}{24} = 0,6$).

Тогда $T = 180 \cdot 0,6 = 108$ мин и скорость резания равна:

$$V = \frac{9,8 \cdot 24^{0,4}}{108^{0,2} \cdot 0,28^{0,5}} \cdot 0,8 = \frac{27,95}{1,35 \cdot 0,53} = 21 \text{ м/мин.}$$

Крутящий момент $M_{кр}$ (в Н·м) рассчитывается по формуле:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.17)$$

где $C_M = 0,0345$; $q = 2,0$; $y = 0,8$;

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_{\%o}}{750}\right)^n = \left(\frac{750}{750}\right)^n = 1.$$

Тогда $M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 24^{2,0} \cdot 0,28^{0,8} \cdot 1 = 71,77$ Н·м. Осевая сила P_0 (Н):

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.18)$$

где $C_p = 68$; $q = 1,0$; $y = 0,7$.

Тогда $P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 24^1 \cdot 0,28^{0,7} \cdot 1 = 669469$ Н.

Мощность резания: $Ne = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{71,77 \cdot 280}{9750} = 2,1$ кВт. Частота вращения инструмента:

$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 21}{\pi \cdot 24} = 279$ об/мин. По паспорту

станка принимаем $n_d = 280$ об/мин и производим перерасчет скорости резания: $V_{\text{действ}} = \frac{\pi \cdot B \cdot T}{1000} = \frac{\pi \cdot 24 \cdot 280}{1000} = 21,1 \approx 21$ м/мин.

Таблица 3.3

Сводная таблица режимов резания

№ операции	№ перехода	Наименование и содержание операции и перехода	Режимы резания			
			t, мм	S, мм/об	V, м/мин	n, об/мин
010	1	Комбинированная Сверлить отверстие Ø24 мм	12	0,28	21	280
	2	Подрезать торец горловины в размер $1650 \pm 0,15$ мм	12	0,28	42	280
	3	Обточить горловину баллона до Ø48 _{-0,250} мм	1,5	0,28	42	280
020	1	Сверлильная Сверлить отверстие Ø22 мм на проход	11	0,28	22	315
030	1	Сверлильная Зенкеровать конусное отверстие $\varphi/2 = 3^\circ 26' 2''$	0,5	0,7	12	150
040	1	Сверлильная Развернуть конусное отверстие под резьбу коническую w27,8	0,2	0,5	8	100
050	1	Резьбонарезная Нарезать резьбу w27,8	1,2	1,814	8,5	8,5

Для последующих видов обработки расчет режимов резания проводим аналогичным образом и результаты сводим в табл. 3.3.

3.3.3. Расчет параметров станочного приспособления. Для полного базирования баллона (придания ему определенного положения) в приспособлении необходимо и достаточно иметь 6 опорных точек, лишаящих его 6 степеней свободы [55]. Поверхность B_1 является опорной базой (ОБ) и лишает баллон перемещения вдоль оси OX, рис. 3.41. Поверхность B_2 является двойной направляющей базой (2НБ) и лишает баллон перемещений вдоль осей OY и OZ, а также поворот вокруг этих осей. Шестой степени свободы – поворота вокруг оси OX – баллон лишается благодаря усилию зажима и создаваемым при этом силам трения.

Для полного закрепления баллона необходимо, чтобы соблюдалось следующее условие (рис. 3.42):

$$M_{\text{кр.резьб}} \leq M_{\text{кр.}} = R \cdot F_{\text{тр}} \text{ (Н}\cdot\text{м)}, \quad (3.19)$$

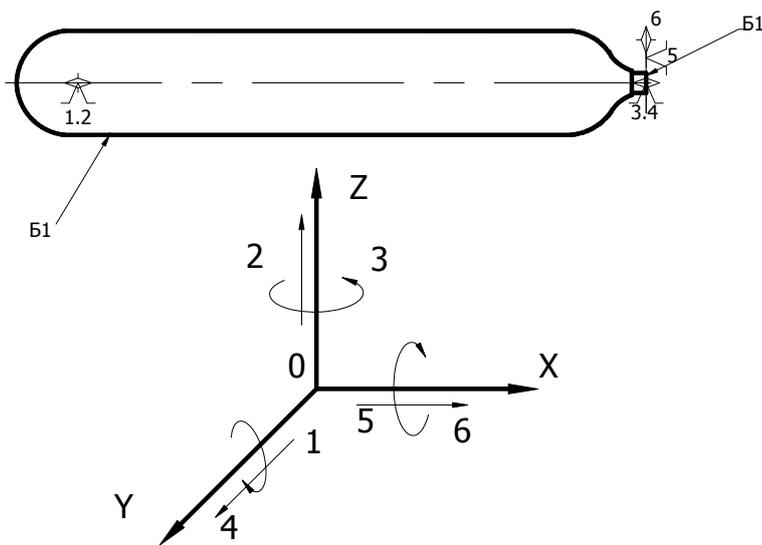


Рис. 3.41. Теоретическая схема базирования баллона

где $R = D/2$;
 D – диаметр окружности, по которой происходит контакт поверхности баллона с толкателем, м ($D = 180$ мм);

$F_{тр} = N \cdot f$ – сила трения, Н;

$N = \frac{Q}{\cos \alpha}$ – реакция опоры, Н;

f – коэффициент трения ($f = 0,18$);

$Q = \frac{\pi \cdot D_{ц}^2}{4} \cdot \rho \cdot \tau$ – осевая сила на штоке пневматического цилиндра, Н;

α – угол между реакцией и проекцией осевой силы в точке касания толкателя и поверхности баллона ($\alpha = 55^\circ$; $\cos \alpha = 0,574$);

$D_{ц}$ – диаметр пневматического цилиндра, мм;

ρ – давление сжатого воздуха ($\rho = 0,4$ МПа);

τ – коэффициент полезного действия пневматического цилиндра, учитывая потери в пневматическом цилиндре ($\tau = 0,85$).

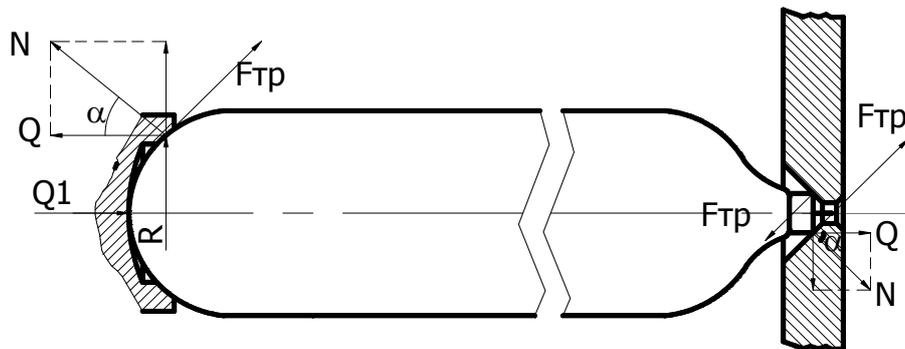


Рис. 3.42. Схема сил, действующих на баллон при его механической обработке

После преобразований $M_{кр}$ выразится

$$M_{кр} = R \cdot f \cdot \frac{Q}{\cos \alpha} = \frac{R \cdot f \cdot \pi \cdot D_{ц}^2 \cdot \rho \cdot \tau}{4 \cdot \cos \alpha} \quad (\text{Н} \cdot \text{м}). \quad (3.20)$$

Откуда

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{M_{кр.рез} \cdot K_{зап} \cdot 4 \cos \alpha}{\pi \cdot R \cdot f \cdot \rho \cdot \tau}} \text{ мм}, \quad (3.21)$$

где $K_{зап}$ – коэффициент запаса [100], определяется зависимостью:

$$K_{зап} = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (3.22)$$

K_0 – постоянный коэффициент запаса при всех случаях обработки ($K_0 = 1,5$);

K_1 – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки ($K_1 = 1,3$);

K_2 – коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при затуплении режущего инструмента ($K_2 = 1,3$);

K_3 – коэффициент, учитывающий увеличение сил резания при обработке прерывистых поверхностей на детали ($K_3 = 1$);

K_4 – коэффициент, учитывающий постоянство силы зажима, развиваемой приводом приспособления ($K_4 = 1$);

K_5 – коэффициент, учитывающий удобное расположение рукоятки для ручных зажимных устройств ($K_5 = 1$);

K_6 – коэффициент, учитывающий наличие моментов, стремящихся повернуть обрабатываемую деталь вокруг ее оси ($K_6 = 1,5$).

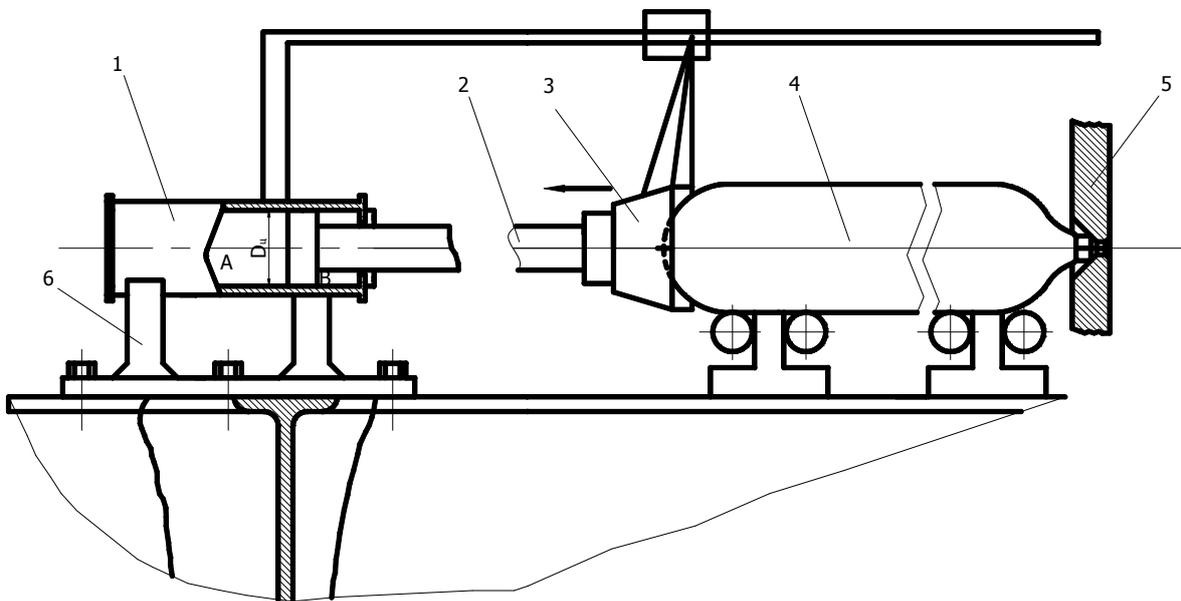


Рис. 3.43. Схема закрепления баллона на автоматической линии

Подставляя в зависимость (3.22) конкретные значения, имеем $K_{зап} = 1,5 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,91$. С учетом значения крутящего момента $M_{кр.рез} = 60 \text{ Н}\cdot\text{м}$ (параграф 3.3.2) диаметр пневматического цилиндра $D_{ц}$ равен $D_{ц} = \sqrt{\frac{60 \cdot 2,91 \cdot 4 \cdot 0,574}{\pi \cdot 0,09 \cdot 0,18 \cdot 0,4 \cdot 0,85}} = 152 \text{ мм}$.

По ГОСТ 15608-81 принимается пневматический цилиндр с $D_{ц} = 200$ мм. Пневматический цилиндр устанавливается соосно со шпинделем сверлильной агрегатной головки на специальные опорные пластины 6, которые приварены к опорной плите, крепящейся при помощи крепежных болтов к станине, и затем приваривается к ним, рис. 3.43. При поступлении воздуха в полость А пневматического цилиндра 1, шток 2 выдвигается и, упираясь крышкой толкателя 3 в днище баллона 4, задвигает его в приспособление для закрепления баллона 5 и удерживает его в таком положении при механической обработке. После окончания обработки, воздух подается в полость В, шток задвигается обратно в пневматический цилиндр и происходит раскрепление баллона.

3.4. Экспериментальные исследования параметров точности отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов, обработанных по разработанной технологии

Для оценки эффективности разработанного технологического процесса обработки отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов были проведены экспериментальные исследования параметров точности обработанных отверстий на переходах рассверливания и зенкерования, а также произведена экспериментальная оценка качества нарезанной конической резьбы. Первоначально выполнены экспериментальные исследования величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания и зенкерования у 50-ти обработанных баллонов согласно методике, изложенной в параграфе 1.4. Параметры режимов резания устанавливались в соответствии с табл. 3.3. Результаты измерений приведены в Приложении Л и в Приложении М. На основании этих данных, используя метод математической статистики, были построены эмпирическая и теоретическая кривые распределения величины отклонения от соосности горловины баллона (с наружным диаметром 48 мм) и отверстия в нем (диаметром 22 мм) после рассверливания и зенкерования, рис. 3.44. Из рисунка следует, что разброс значений величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после зенкерования меньше, чем после рассверливания. Следовательно, с переходом от рассверливания к зенкерованию погрешности обработки отверстий уменьшаются. Из рис. 3.44 также вытекает, что разброс величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем меньше, чем в базовом технологическом процессе на соответствующих переходах (см. рис. 3.15). Это свидетельствует об эффективности разработанного технологического процесса обработки отверстий, в котором применена прогрессивная схема базирования заготовок баллонов, обеспечивающая повышение жесткости технологической системы c и уменьшение величины Δ_0 .

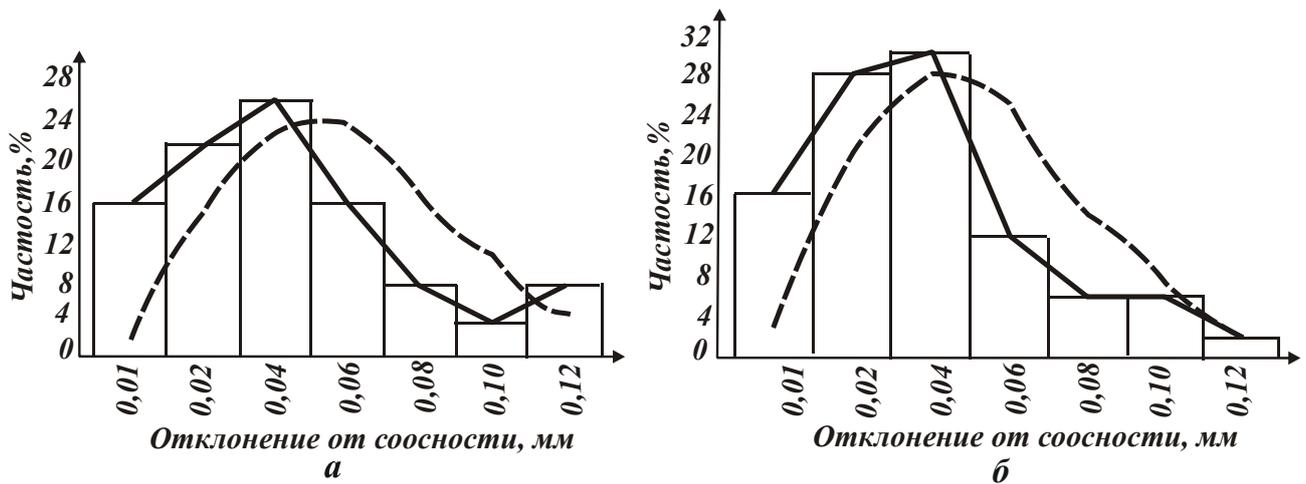


Рис. 3.44. Гистограммы и кривые распределения величины отклонения от соосности горловины баллона (с наружным диаметром 48 мм) и отверстия в нем (диаметром 22 мм) после рассверливания (а) и зенкерования (б) по разработанному технологическому процессу

В параграфе 3.1.4 на основе анализа базового технологического процесса показано, что для снижения процента брака баллонов по качеству нарезания конической резьбы следует уменьшить отклонение оси горловины баллона от оси отверстия в нем после рассверливания не менее чем на 0,4 мм, а после зенкерования – не менее чем на 0,3 мм

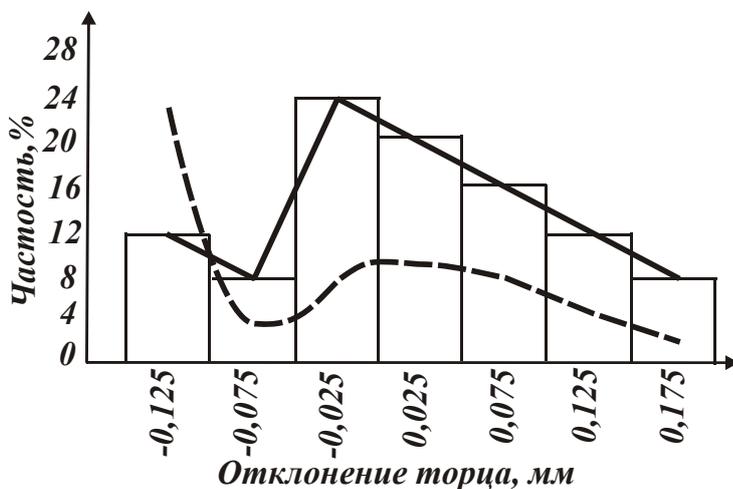


Рис. 3.45. Гистограмма и кривые распределения величины отклонения торца горловины баллона от основной поверхности при обработке по разработанному технологическому процессу

путем применения более эффективной схемы базирования баллонов. Как следует из рис. 3.44, реализация данного условия в разработанном технологическом процессе действительно позволила уменьшить до требуемых значений величину отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем как на переходе рассверливания, так и на переходе зенкерования. Как будет показано ниже, это положительно отразилось на качестве нарезания конической резьбы.

Были проведены экспериментальные исследования отклонения торца горловины баллона от основной поверхности Y на переходе зенкерования по разработанному

технологическому процессу у 50-ти баллонов в соответствии со схемой измерения, показанной на рис. 3.16 (Приложение Н). Результаты измерений представлены в виде гистограммы и кривых распределения на рис. 3.45. Как следует из рисунка, разброс значений параметра Y значительно меньше, чем после обработки по базовому технологическому процессу. Из этого вытекает, что применение разработанного технологического процесса позволило существенно уменьшить разброс значений параметра Y . Это достигнуто в первую очередь за счет применения системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки. Таким образом показано, что разработка оптимального маршрута обработки и новых технических решений, связанных с созданием и применением прогрессивной схемы базирования баллона, специальной инструментальной головки, системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки и специального приспособления для юстировки инструментальных головок, позволило существенно повысить точность обработки отверстий в горловинах баллонов.

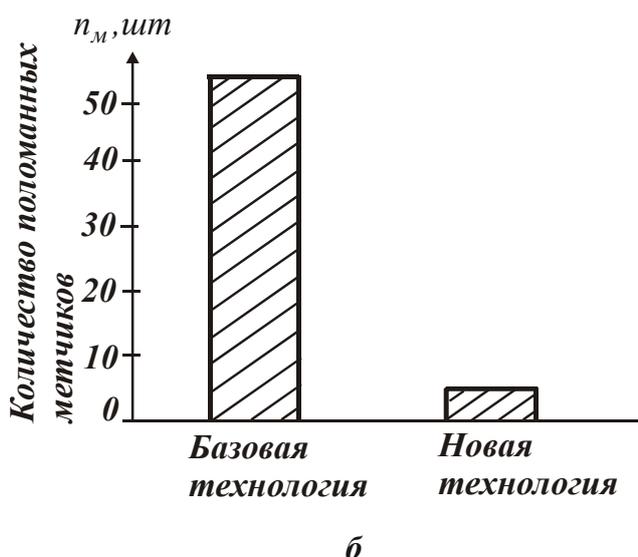
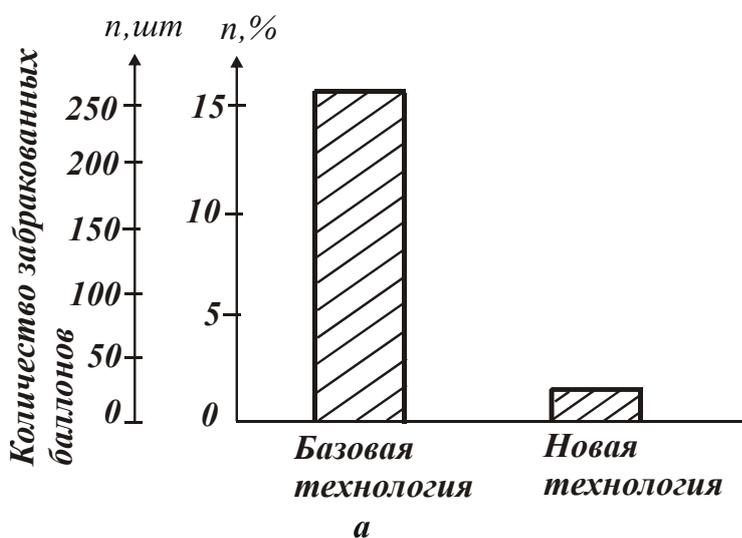


Рис. 3.46. Диаграммы распределения количества забракованных баллонов n (а) и количества поломанных метчиков n_m (б) после обработки по базовому и разработанному технологическим процессам

В табл. 3.4 приведены экспериментально установленные значения количества забракованных баллонов по причине некачественно нарезанной конической резьбы, в том числе и по видам дефектов резьбы. Из 1670 обработанных баллонов лишь в 22 баллонах (а это 1,31% от общего количества баллонов) оказалась некачественно нарезанная коническая резьба. Необходимо отметить, что после нарезания резьбы по базовому

процессу

технологическому процессу, процент брака был значительно выше и составил 15,5% (табл. 3.1). Данные по потерям от брака, имевшим место при обработке по базовому технологическому процессу, для сравнения взяты из табл. 3.1 и перенесены в табл. 3.4. Для наглядности на рис. 3.46 приведены диаграммы распределения количества забракованных баллонов n и количества поломанных метчиков n_m после обработки по базовому и разработанному технологическим процессам.

Таблица 3.4

Результаты контроля резьбы в 27.8 ГОСТ 9909-81 в баллонах, обработанных по базовому и разработанному технологическим процессам

Варианты технологического процесса	Всего обраб. баллонов, шт	Всего забраковано баллонов, шт / %	В том числе по видам дефектов, шт/%				
			рваная резьба	про-слаб-ленная резьба	тугая резьба	непол-ный про-филь резьбы	полом-ка метчи-ка
базовый	1670	260 / 15,5	72 / 4,31	48 / 2,84	46 / 2,75	38 / 2,27	56 / 3,35
новый	1670	22 / 1,31	6 / 0,35	4 / 0,24	4 / 0,24	3 / 0,18	5 / 0,3

Таким образом показано, что применение разработанного технологического процесса позволило в 11,83 раза уменьшить потери от брака по резьбе и привести их к экономически приемлемому для производства уровню – 1,31%. При этом время обработки одного баллона на автоматической линии осталось таким же как и в базовом технологическом процессе. Следовательно, разработанный технологический процесс обеспечивает повышение точности обработки отверстий и качество нарезания в них конической резьбы без увеличения основного времени обработки баллона.

3.5. Выводы

1. Проведен структурно-параметрический анализ и синтез технологического процесса механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона, включающий исследования параметров точности обработанных отверстий и заготовок баллонов методом математической статистики, обоснование оптимального маршрута обработки резьбового отверстия и определение основных параметров технологических переходов. Это позволило разработать эффективный технологический процесс, обеспечивающий повышение качества нарезаемой конической резьбы и снижение брака изготавливаемых баллонов.

2. Экспериментально установлено, что отклонение оси горловины от оси цилиндрической части баллона значительно меньше, чем отклонение оси цилиндрической части баллона от оси шпинделя инструментальной головки, изменяющегося в пределах 0,8...2,2 мм. Это связано со значительной погрешностью базирования баллона по его сферической части и указывает на то, что основной причиной неравномерности снимаемого припуска и образования некруглости отверстия при сверлении является несоосность цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки, устранить которую можно за счет применения прогрессивной схемы базирования заготовки баллона.

3. Экспериментально установлено, что при рассверливании отверстия по базовому технологическому процессу вследствие неравномерности снимаемого припуска образуется значительная некруглость отверстия, которую сложно устранить на последующих технологических переходах зенкерования и развертывания. Показано, что диапазоны разброса значений наименьшего и наибольшего диаметров отверстий после рассверливания отличны, а значения наименьшего диаметра отверстий концентрируются в основном в интервале, соответствующем диаметру сверла. Это хорошо согласуется с полученными во втором разделе теоретическими результатами и свидетельствует о достоверности разработанной математической модели формирования погрешностей отверстия при механической обработке.

4. Произведена экспериментальная оценка величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания и зенкерования. Установлено, что диапазон разброса значений данной величины после рассверливания приблизительно такой же как и разности наибольшего диаметра обработанного отверстия и диаметра сверла. В обоих случаях значения указанных величин концентрируются в основном в диапазоне 0,2...0,7 мм. Следовательно, в первом приближении величину отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания можно рассматривать равной разности наибольшего диаметра обработанного отверстия и диаметра сверла. Данная величина соответствует теоретически установленной величине смещения оси обработанного отверстия относительно ее номинального положения.

5. Экспериментально установлено, что требуемое качество нарезания конической резьбы достигается при отклонении оси горловины баллона от оси отверстия (после зенкерования) не более чем на 0,4 мм. При нарушении этого условия часть обработанных баллонов будет забракована по одному из параметров конической резьбы. Поэтому для снижения процента брака баллонов по качеству нарезания конической резьбы следует уменьшить отклонение оси горловины баллона от оси отверстия в нем после рассверливания не менее чем на 0,4 мм, а после зенкерования – не менее чем на 0,3 мм, что обеспечивается применением более эффективной схемы базирования баллонов.

6. Произведена экспериментальная оценка качества нарезанной конической резьбы партии обрабатываемых баллонов по базовому технологическому процессу. Выявлено 15,5% баллонов с некачественно нарезанной резьбой, что хорошо согласуется с экспериментальными данными по отклонению оси горловины баллона от оси отверстия после зенкерования. Определены основные виды дефектов резьбы в количественном выражении: «рваная резьба» (4,31%), прослабленная (2,84%) и тугая (2,75%) резьба, неполный профиль резьбы (2,27%), поломка метчика (3,35%). Показано также, что одной из причин появления дефектов резьбы является разброс координат положения основной плоскости конического отверстия в осевом направлении. В связи с этим теоретически определена длина хода метчика в направлении подачи, обеспечивающая формирование качественной конической резьбы. Аналитически установлена связь координаты положения основной плоскости конического отверстия в осевом направлении с количеством витков нарезаемой конической резьбы. Теоретически показано, что обеспечение заданной точности положения основной плоскости конического отверстия в осевом направлении в пределах $\pm 0,15$ мм позволит нарезать 9 – 10 витков резьбы и тем самым выполнить требования по качеству ее нарезания.

7. Произведена экспериментальная оценка длины хода конического зенкера в продольном направлении при обработке конического отверстия по величине отклонения торца горловины баллона от основной поверхности. Установлено, что имеет место достаточно большой разброс значений данной величины (1,3 мм). Это ведет к разбросу диаметров обработанных отверстий до значения 0,156 мм, увеличению суммарной погрешности обработки отверстия и некачественному нарезанию конической резьбы у части обработанных баллонов. Поэтому для уменьшения отклонения торца горловины баллона от основной поверхности необходимо автоматически регулировать длину хода инструментальной головки в направлении подачи при обработке каждого баллона на всех технологических переходах обработки конического отверстия и нарезания в нем конической резьбы.

8. Проведен теоретический анализ погрешности установки заготовки баллона на станке. Показано, что в базовом технологическом процессе обработки отверстия в горловине баллона нарушены основополагающие принципы базирования, а именно: необработанные поверхности используются неоднократно в качестве технологических баз; после третьего перехода произведена замена баз. Это стало существенным фактором снижения точности обработки отверстия и качества нарезания в нем конической резьбы.

9. Разработан эффективный технологический процесс механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона, реализующий оптимальный маршрут обработки с применением новых техниче-

ских решений: прогрессивной схемы базирования – по кромке торца горловины баллона с помощью базирующего конуса (обеспечивающего материализацию оси баллона); разработанной конструкции специальной инструментальной головки, обеспечивающей концентрацию переходов и создание чистой технологической базы; разработанной системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки и специального приспособления для юстировки инструментальных головок. Маршрут обработки включает пять переходов: на первом переходе производится одновременная обработка поверхностей, обеспечивающих базирование горловины баллона, на втором, третьем и четвертом переходах – сверление, зенкерование и развертывание отверстия, на пятом переходе – нарезание в отверстии конической резьбы. Разработанный новый технологический процесс позволяет существенно снизить отрицательное влияние несоосности цилиндрической части баллона и шпинделя инструментальной головки, а также отклонения торца горловины баллона от основной поверхности на параметры точности обрабатываемого отверстия.

10. Разработана конструкция специальной инструментальной головки, содержащая сверло, проходной и подрезной резцы. Она позволяет одновременно производить обработку торцевой, наружной и внутренней цилиндрических поверхностей горловины баллона для создания чистой технологической базы. Это обеспечивает перпендикулярность торцевой и наружной цилиндрической поверхностей, а также концентричность наружной и внутренней цилиндрических поверхностей горловины баллона, что в итоге повышает точность базирования заготовки баллона и соответственно точность обработки в нем отверстия.

11. Для повышения жесткости технологической системы и точности обработки, а также снижения нагрузки на направляющие силового стола разработана конструкция кондуктора, воспринимающего реакции сил резания. Кондуктор представляет собой корпус с подшипниками качения и кондукторную втулку. Корпус установлен между фланцами, закрепленными на базирующем кронштейне с помощью анкерных болтов. Работа инструментальной головки с использованием кондуктора позволила исключить вибрации и смещение оси шпинделя относительно оси обрабатываемого отверстия в горловине баллона.

12. Произведен расчет припусков и оптимальных параметров режимов резания для каждого перехода, что позволило минимизировать время обработки для заданной стойкости режущих инструментов. Произведен расчет параметров станочного приспособления, обеспечивающего устойчивость заготовки в процессе обработки, а также расчет жесткости инструментальных блоков с целью оценки возможностей ее повышения.

13. Проведен комплекс экспериментальных исследований параметров точности отверстий, обработанных на переходах рассверливания и

зенкерования, а также отклонений торца горловины баллона от основной поверхности по разработанному технологическому процессу. Установлено, что разброс значений параметров точности меньше, чем при обработке по базовому технологическому процессу. Это свидетельствует о достоверности разработанной во втором разделе работы математической модели определения погрешностей при механической обработке отверстия и эффективности предложенного технологического процесса обработки.

14. Произведена экспериментальная оценка качества нарезанной конической резьбы партии изготавливаемых баллонов по разработанному технологическому процессу обработки. Установлено, что из 1670 обработанных баллонов лишь в 22 баллонах (а это 1,31% общего количества баллонов) была нарезана некачественная коническая резьба. Согласно базовому технологическому процессу, из 1670 обработанных баллонов некачественно нарезанная резьба оказалась в 260 баллонах (15,5%). Следовательно, применение нового технологического процесса позволило в 11,83 раза уменьшить потери от брака по резьбе и привести их к экономически приемлемому для производства уровню – 1,31%. При этом время обработки одного баллона на автоматической линии осталось таким же как и в базовом технологическом процессе. Следовательно, разработанный технологический процесс обеспечивает повышение точности обработки отверстий и качество нарезания в них конической резьбы без увеличения основного времени обработки баллона.

РАЗДЕЛ 4

СОЗДАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ С КОНИЧЕСКОЙ РЕЗЬБОЙ В ГОРЛОВИНАХ БАЛЛОНОВ В УСЛОВИЯХ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

4.1. Техническое обеспечение промышленной технологии

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, приведенных в работе, положены в основу создания промышленной технологии изготовления отверстий с конической резьбой в горловинах



Рис. 4.1. Контроль диаметра цилиндрической части горловины баллона



Рис. 4.2. Контроль высоты горловины баллона

баллонов в условиях массового производства. Разработанная технология внедрена и успешно функционирует в баллонном цехе ОАО «Мариупольский металлургический комбината им. Ильича», в котором изготовление баллонов производится на автоматической линии АПБ-200-1. В 1995 году в баллонном цехе выпуск только автомобильных баллонов достигал 155000 штук в год при проектной мощности 400000 штук в год. В настоящее время в связи с отсутствием в Украине тонкостенных бесшовных труб, выпуск автомобильных баллонов прекращен. Поэтому разработанная технология используется для изготовления резьбовых отверстий в горловинах баллонов различного назначения.

Перед механической обработкой баллонов контролируется качество

наружной поверхности закатанных горловин, их размеры и форма. Диаметр цилиндрической части горловин после закатки должен быть в пределах 48...51 мм. Контроль производится скобой с предельными размерами «48-НБ» и «51 ПР», рис. 4.1. Высота горловины баллона контролируется кольцом (рис. 4.2) и не должна превышать 33,5 мм.

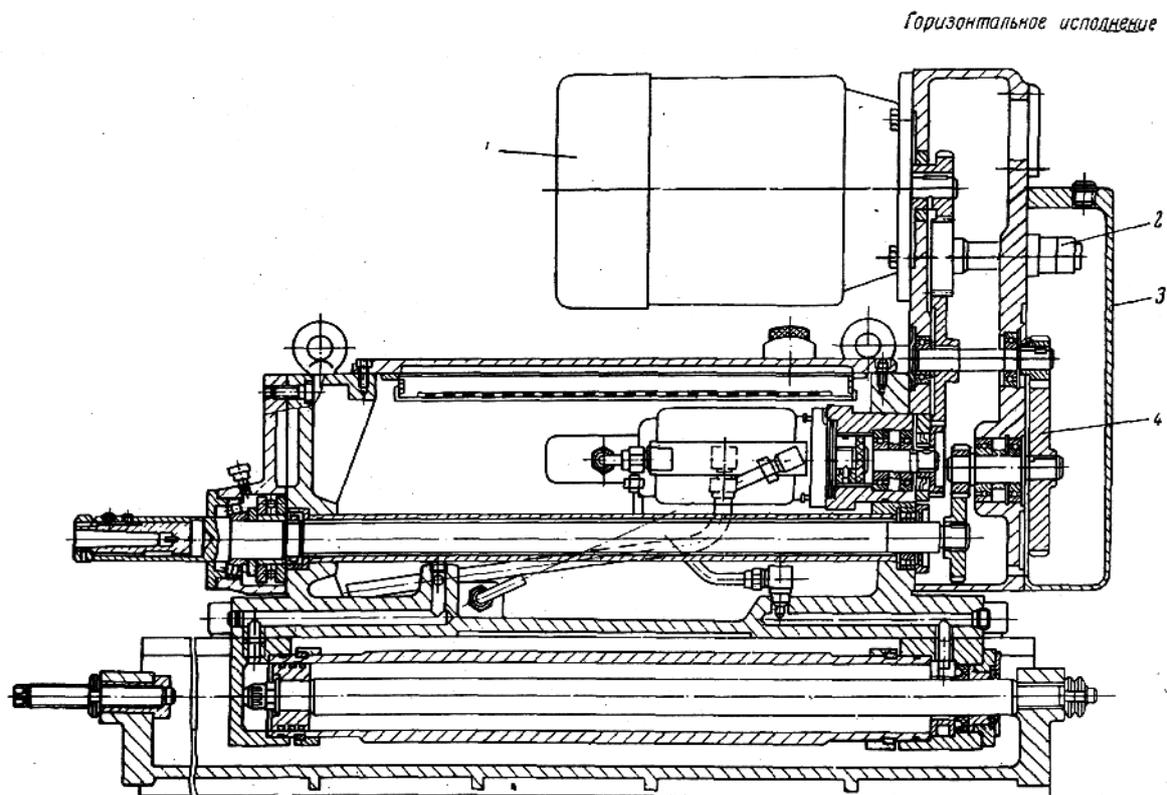


Рис. 4.3. Головка силовая мод. 5У4035

Условные обозначения: 1 – электродвигатель; 2 – насос; 3 – крышка; 4 – наладочные зубчатые колеса

Механическая обработка отверстий в горловинах баллонов осуществляется на агрегатных станках мод. АМ14976 с применением силовых одношпиндельных самодействующих головок мод. 5У4035 (рис. 4.3, табл. 4.1), т.е. на том же технологическом оборудовании, что и в ранее применявшейся (базовой) технологии. Силовые одношпиндельные самодействующие головки предназначены для сообщения режущему инструменту вращательного и поступательного движения при сверлении, зенкеровании, развертывании, растачивании и других операциях обработки деталей на агрегатных станках и автоматических линиях. Силовая головка смонтирована на самоходном столе с бесступенчатым регулированием подачи. Выбранный типоразмер силовой головки (второй габарит, мощность электродвигателя 3 кВт) обусловлен величиной главной составляющей силы резания P_z (4000 Н). Лимитирующей операцией принята резьбонарезная операция, характеризующаяся наиболь-

шей силой резания. Однако при достаточной мощности привода, точность позиционирования этой силовой головкой не обеспечивается. В связи с этим силовые головки были модернизированы, чем обеспечена необходимая точность продольного перемещения.

Таблица 4.1

Характеристики силовой самодействующей головки мод. 5У4035

Параметр	Единица измерения	Значение параметра
Условный параметр сверления по стали ($\sigma_B = 600 - 700$ МПа)	мм	40
Наибольшее усилие подачи	кН	10
Давление масла в гидросистеме, соответствующее наибольшему усилию подачи	МПа	3,8
Длина хода	мм	320; 500
Число оборотов шпинделя в минуту		56 – 900
Подача (регулирование бесступенчатое)	мм/мин	300 – 600
Скорость быстрых ходов:		
– при подводе	мм/мин	7,5
– при отводе	мм/мин	8
Электродвигатель привода главного движения:		Ф-2
– исполнение		
– тип		АО2-31-4
– мощность	кВт	2,2
– тип		АО2-32-4
– мощность	кВт	3
– тип		АО2-41-4
– мощность	кВт	4
– число оборотов в минуту		1500
Радиальное биение шпинделя у его торца	мм	0,03
Наибольшая мощность, потребляемая насосом	кВт	0,7

На первом этапе точность $\pm 3,0$ мм достигалась благодаря использованию бесконтактных индуктивных щелевых датчиков ПИЩ-6-3-IP65. С целью безаварийного и эффективного использования приспособлений, оснастки и устройств, применяемых на автоматической линии, с участием автора разработано руководство по их эксплуатации. Повышение точности механической обработки отверстий в горловинах баллонов достигается за счет внедрения в производство комплекса технических мер, включающих: подбор оптимального типоразмера силовой головки; повышение точности позиционирования силовой головки; повышение точности базирования заготовки; применения специальной инструментальной головки; повышение жесткости технологической системы за счет использования специального люнета и т.д.

Разработанная технология включает предварительную и окончательную механическую обработку резьбовых отверстий в горловинах баллонов. При предварительной обработке с помощью инструментальной головки производится одновременно точение цилиндрической поверхности и подрезание резцом торцевой поверхности горловины баллона, а также сверление отверстия $\varnothing 24$ мм на глубину $l=14$ мм. Благодаря концентрации обработки трех поверхностей обеспечивается высокая точность взаимного расположения, что очень важно для создания чистовой технологической базы. После предварительной механической обработки баллон подвергается термической обработке: закалке и отпуску. Нагрев баллона под закалку осуществляется в проходной печи с роликовым подом, а охлаждение баллона при закалке – в механизированной ванне с его вертикальным погружением. Твердость металла горловины баллона после термической обработки увеличивается до значений 2815–3530 МПа. После термической обработки производится очистка наружной поверхности баллона с помощью дробеметной установки проходного типа, а затем – окончательная механическая обработка резьбового отверстия в горловине баллона, включающая переходы сверления $\varnothing 22$ мм на глубину $l=30$ мм, зенкерования и нарезания метчиком конической резьбы $w27,8$ мм по ГОСТ 9909-70, рис. 4.4.



Рис. 4.4. Конический зенкер и метчик $w27,8$ мм по ГОСТ 9909-70

Изготовленные резьбовые отверстия в баллонах подвергаются 100%-ному контролю. В случае обнаружения среза вершин резьбы производится контроль гладким и резьбовым калибрами по ГОСТ 24998-81. Баллон с резьбовым отверстием, имеющий сорванные нитки на длине, меньшей 8 ниток, бракуется окончательно. При условии 100%-ного входного контроля режущего инструмента, контролю резьбовым калибром подвергается каждый

десятый баллон и первые пять баллонов – после смены инструмента. Гладким и резьбовым калибрами контролируется каждый 50-тый баллон.

Заточка стандартного и доводка твердосплавного режущего инструмента производится в цеховой заточной мастерской на универсальных и специальных заточных станках. При окончательной механической обработке осуществляется принудительная замена режущего инструмента через каждые 50 – 100 баллонов.

В связи с тем, что обработка баллонов на автоматической линии характеризуется многократностью фиксации баллона на рабочих позициях линии, в процессе эксплуатации приспособлений имеет место прогрессирующий износ установочного элемента базирующей втулки. На первой позиции при базировании баллона по сферической части горловины $\varnothing 70$ мм черновые базовые поверхности со следами обкатки интенсивно изнашивают установочный элемент. Износ значительно возрастает в связи с тем, что при установке баллон массой более 50 кг перемещается с дополнительным усилием закрепления. С учетом того, что явление износа установочных элементов приспособлений изучено недостаточно, то для повышения точности установки баллонов износ конической поверхности втулки был регламентирован. Допустимая величина износа была принята равной – $h_{\text{доп}} = 0,2$ мм. Наиболее интенсивный износ происходит в нижней части конической поверхности втулки. Величина износа измерялась с помощью линейки и щупа. Контроль величины износа осуществляется один раз в сутки. Если при проверке выявлено, что износ достиг предельно допустимой величины, базирующая втулка переставляется на 180° или заменяется. Наличие сменных втулок позволяет осуществлять замену в сжатые сроки.



Рис. 4.5. Баллоны с поломанными метчиками



Рис. 4.6. Общий вид инструментальной головки и люнета

В случае поломки метчика в горловине и невозможности его извлечения, производится его удаление на электроэрозионном станке 4Б661 с применением в качестве диэлектрической

1	Транспортёр шаговый	Вперед с баллоном		3.0		
		Назад без баллона				3.0
2	Первая позиция. Сверлить отверстие Ø24	Фиксация баллона в приспособлении		1.5		
		Зажим баллона в приспособлении			1.5	
		Быстрый подвод головки			1.5	
		Рабочий ход головки			Обработка с рабочей подачей	15.5
		Быстрый отвод головки				1.5
		Разфиксация баллона				1.5
	Транспортёр шаговый	Вперед с баллоном		3.0		
3	Вторая позиция. Сверлить отверстие Ø22	Фиксация баллона в приспособлении		1.5		
		Зажим баллона в приспособлении			1.5	
		Быстрый подвод головки			1.5	
		Рабочий ход головки			Обработка с рабочей подачей	20.5
		Быстрый отвод головки				1.5
		Разфиксация баллона				1.5
4	Переключатель	Вперед с баллоном		3.0		
		Передача по рольгангу на следующий транспортер		6.0		
	Транспортёр шаговый	Вперед с баллоном		3.0		
		Назад без баллона				3.0
5	Третья позиция. Зенкеровать отверстие под резьбу W27.8 до Ø25,4	Фиксация баллона в приспособлении		1.5		
		Зажим баллона в приспособлении			1.5	
		Быстрый подвод головки			1.5	
		Рабочий ход головки			Обработка с рабочей подачей	24.0
		Быстрый отвод головки				1.5
		Разфиксация баллона				1.5
	Транспортёр шаговый	Вперед с баллоном		3.0		
		Назад без баллона				3.0
6	Четвёртая позиция. Нарезание резьбы W27.8	Фиксация баллона в приспособлении		1.5		
		Зажим баллона в приспособлении			1.5	
		Быстрый подвод головки			1.5	
		Рабочий ход головки			Обработка с рабочей подачей	10.5
		Быстрый отвод головки				1.5
		Разфиксация баллона				1.5
7	Переключатель	Вперед с баллоном		3.0		
		Передача по рольгангу на следующий транспортер		6.0		

Рис. 4.7. Циклограмма работы станков и механизмов автоматической линии по механической обработке баллонов

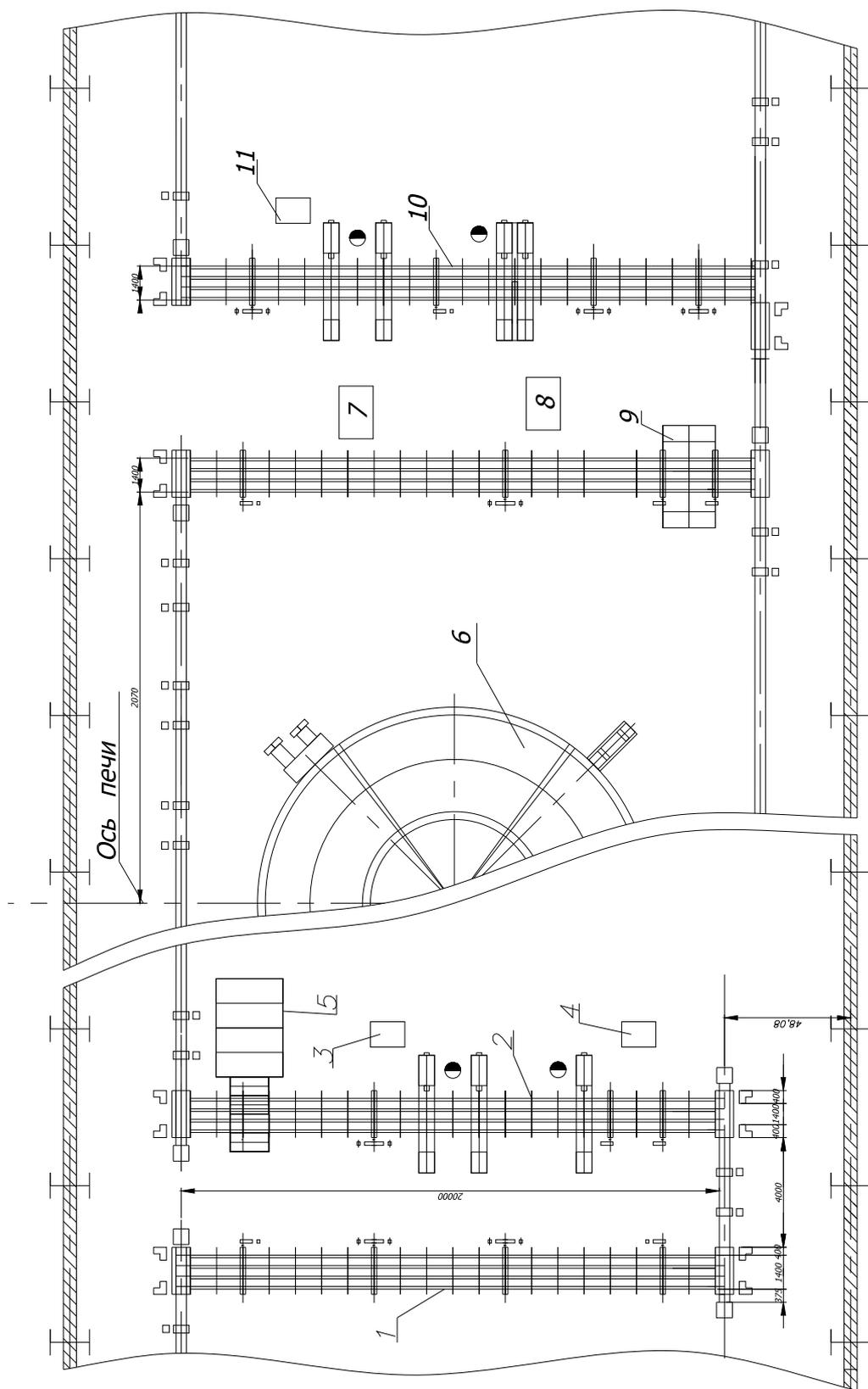


Рис. 4.8. Планировка автоматической линии изготовления баллонов
 Условные обозначения: 1 – холодильник; 2 – линия предварительной обработки горловины; 3, 4 – электрический шкаф; 5 – закалочная печь; 6 – отпускная печь; 7 – контроль твердости металла баллонов; 8 – внешний осмотр баллонов; 9 – устройство для очистки баллонов от окалины и мусора; 10 – линия окончательной обработки горловины; 11 – контроль резьбы

среды дистиллированной воды или водного раствора глицерина. На рис. 4.5 приведена фотография баллонов, при нарезании резьбы в отверстиях которых произошла поломка метчиков.

После окончательной механической обработки отверстия каждый баллон проходит испытание на прочность гидравлическим давлением 29,4 МПа (300 кгс/см^2). Время выдержки баллона под давлением – 1 минута. При этом баллон не должен иметь течи. Каждый баллон проходит также испытание на герметичность пневматическим давлением 19,6 МПа (200 кгс/см^2) в ванне с водой. Время выдержки баллона под испытательным давлением – 1 минута. При этом на поверхности воды в ванне не должны выделяться пузырьки воздуха.

Технологический процесс механической обработки баллонов показан на рис. 3.34, а характеристики применяемых на переходах режущих инструментов и оптимальные режимы резания приведены в третьем разделе и табл. 3.3. На рис. 4.6 приведена фотография, на которой показано положение инструментальной головки и люнета на агрегатном станке. На рис. 4.7 приведена циклограмма работы станков и механизмов на автоматической линии (рис. 4.8). Разработка циклограммы работы станков и механизмов автоматической линии необходима для определения времени цикла обработки и обеспечения согласованной производительности. Время выполнения приведенных в циклограмме движений рассчитываем с учетом длины и скорости вспомогательных перемещений. Скорости перемещений вспомогательных механизмов принимаем исходя из базового технологического процесса. Скорости перемещений узлов, обеспечивающих процесс резания, принимаем с учетом значений режимов резания (параграф 3.3.2). Из приведенной циклограммы определяем время цикла автоматической линии – $t_{\text{ц}} = 0,58$ мин.

4.2. Характеристика основных технических разработок, используемых в технологическом процессе

4.2.1. Приспособление для юстировки силовых головок. При внедрении технологического процесса в производстве были разработаны и изготовлены контрольно-измерительные приспособления и оснастка, описание которых представлено ниже. Приспособление для юстировки силовых головок (рис. 3.37, рис. 4.9) предназначено для проверки соосности осей шпинделей и осей обрабатываемых баллонов. В комплект устройства для юстировки силовых головок входят следующие изделия: индикатор часового типа (далее индикатор) с держателем; оправка с цилиндрическим хвостовиком – 2 шт; пружина – 4 шт; насадка (в форме горловины – 2, в форме сферы – 1); упорное кольцо – 2 шт.

Устройство для юстировки представляет собой макет баллона с точкой крепления его опорных элементов и поверхностей. При материализации оси симметрии баллона, оправка имеет цилиндрический

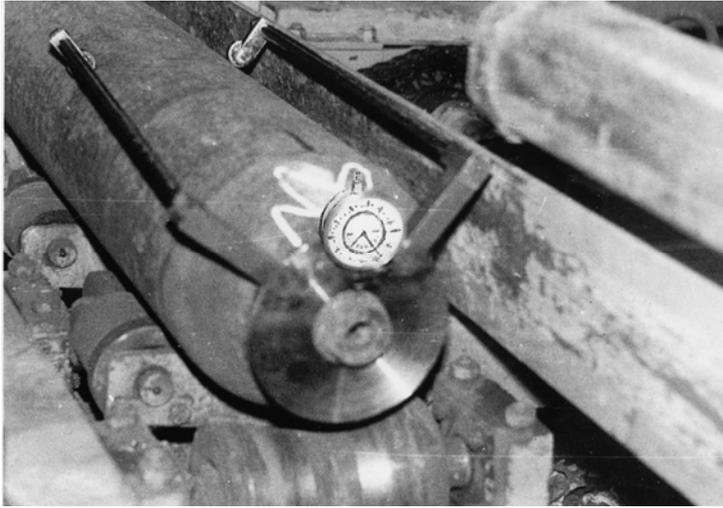


Рис. 4.9. Общий вид приспособления для выверки (юстировки) положения осей шпиндельных инструментальных головок относительно осей базирования заготовок

хвостовик, на который насажены упорное кольцо, пружина и насадка. Для юстировки силовой головки на первой операции устанавливается насадка с коническим пояском, контактирующим по сфере, для остальных операций используются насадки в форме горловины баллона. Контроль положения оси баллона осуществляется при установке. Устройство устанавливается в приспособление с поджатием штоком пневмоцилиндра вручную при отключенной пневмомагистрале. Индикатор с держателем устанавливается на шпиндель силовой головки и крепится с помощью стопорных винтов. Силовая головка в момент контроля должна находиться в положении, соответствующем началу рабочей подачи.

Отклонение от соосности определяется при вращении шпинделя (вручную). Величина отклонения оси определяется делением величины отклонения стрелки пополам. Например, за один оборот шпинделя стрелка совершает 4,5 оборота (4,5 мм) – это свидетельствует о том, что ось шпинделя силовой головки смещена относительно оси баллона на $4,5 / 2 = 2,25$ (мм).

При выполнении юстировочных работ, необходимо отключить подачу электропитания к силовой головке – сжатого воздуха к пневмоцилиндру зажима баллона. Подачу силовой головки в зону рабочего хода, а также вращение шпинделя осуществлять только вручную. Включение электропитания и подключение к пневмомагистрале производить только после полного демонтажа устройства для юстировки. Для осуществления выверки положения оси шпинделя силовой головки относительно приспособления на оправку насаживают в нижеследующей последовательности – упорное кольцо, две пружины и соответствующую насадку. Собранный прибор устанавливают на место обрабатываемого, на данной операции баллона. Индикатор с держателем устанавливают на шпиндель и вручную (с помощью гаечного ключа) подводят силовую головку в положение, где ножка индикатора будет опираться на цилиндрический хвостовик оправки. При медленном вращении шпинделя (вручную) следят за показателями индикатора и останавливают вращение в одной из двух противоположных точек, соответствующих минимуму и

максимуму показаний стрелки. При остановке шпинделя в положении, соответствующем минимальному значению показаний индикатора устанавливают, что ось шпинделя смещена от оси баллона в направлении от центра сечения цилиндрической оправки к точке касания ножки индикатора на величину, равную разности максимального и минимального значений показаний индикатора. После определения направления смещения ось шпинделя силовой головки выставляют с помощью прижимных и упорных болтов и вновь контролируют ее положение. Максимальное допускаемое отклонение от соосности 0,2 мм.

4.2.2. Инструментальная головка. Инструментальная головка (см. рис. 3.35) предназначена для одновременной проточки цилиндрической шейки $\varnothing 48$ мм засверливания отверстия $\varnothing 24$ мм и подрезки торца $\varnothing 24$ – $\varnothing 48$ мм горловины баллона тремя инструментами. Она представляет

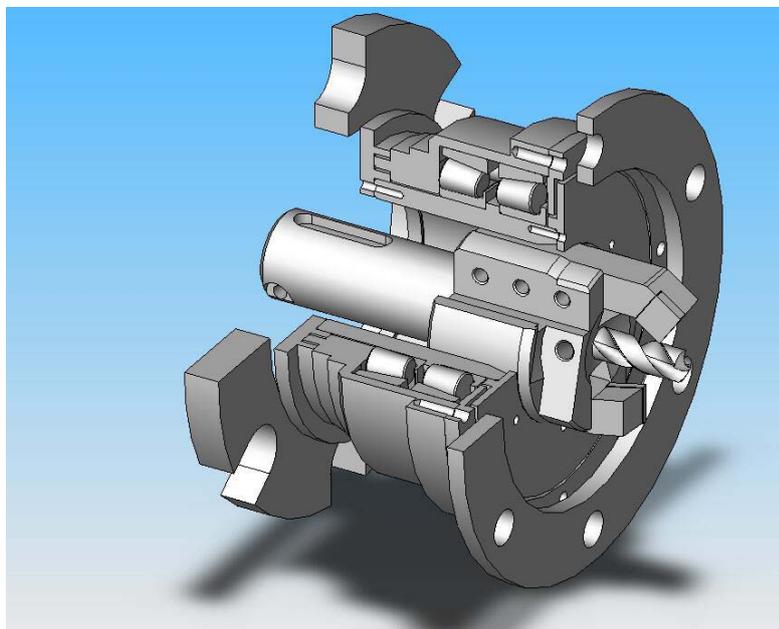


Рис. 4.10. Инструментальная головка с кондуктором

собой цилиндрический ступенчатый корпус с пазами для крепления резцов (без прокладок) с державками сечением 20×20 мм, а также со ступенчатым центральным отверстием для установки сверла, рис. 4.10. Сверло крепится двумя радиальными болтами со сферическим хвостовиком, контактирующими с поверхностями стружкоотводных канавок и предотвращающими его проворот в процессе сверления. В осевом направлении положение сверла регулируется и фиксируется упорным винтом, размещенным в торце хвостовика корпуса инструментальной головки. По мере заточки сверла и уменьшении его длины торцевой упорный болт вкручивают во втулку, а при недостатке его длины в отверстие закладывают цилиндрическую проставку. Хвостовик инструментальной головки снабжен шпонкой, обеспечивающей передачу крутящего момента от шпинделя к головке.

Инструментальная головка устанавливается в шпиндель до упора и закрепляется для предотвращения осевых перемещений стопорными болтами. В процессе обработки баллонов инструментальная головка входит в кондукторную втулку, размещенную в кондукторной плите, которая в свою очередь закреплена к базовому кронштейну. Инструмен-

тальная головка настраивается на размеры с помощью шаблона. Для этого в центральное отверстие корпуса вставляют сверло с насаженной на его хвостовик втулкой и выталкивают его в отверстие с двумя радиальными болтами до упора так, чтобы вылет сверла был максимальным и предварительно, с небольшим усилием обжимают его болтами, входящими в стружкоотводные канавки.

Подрезной резец (для подрезки торца) устанавливают как можно дальше от сверла, но с учетом полного перекрытия торца баллона его режущей кромкой. Далее на сверло насаживают шаблон и доводят его до упора в подрезной резец, после чего по шаблону устанавливают проходной левый резец с механическим креплением четырехгранной твердосплавной пластины и закрепляют его тремя болтами. Конструкция инструментальной головки предусматривает установку резцов с сечением 20×20 (для торцового подрезного резца допускается сечение 22×22) без подкладок.

После закрепления резцов шаблон аккуратно снимают со сверла, а сверло освобождают приоткрутив радиальные болты на 1,5 – 2,0 оборота. В результате этого сверло освобождается и его с поворотом по винтовой линии стружкоотводных канавок на величину, соответствующую требуемой глубине засверливания головки баллонов и закрепляют двумя радиальными болтами с постепенным, поочередным поджатием. Затем в хвостовик головки устанавливают стопорную втулку и штифт для ее фиксации и поджимают хвостовик сверла болтом до полного касания. В таком виде головка готова для эксплуатации и должна храниться из расчета на быструю смену головки по какой-либо причине вышедшей из строя. После настройки инструментальной головки вне станка ее устанавливают в шпиндель силовой головки до упора и закрепляют стопорными болтами. Отрегулировав положение датчиков на останов маршевой и рабочей подачи обрабатывают баллон в режиме ручного управления и определяют полученные размеры калибрами. В случае необходимости положение проходного резца корректируют, не снимая инструментальную головку со станка. Нормативный период стойкости резцов и сверла – одна рабочая смена. Однако при возникновении вибраций, образовании стружки с цветами побежалости, характерном для перегрузки гудении электродвигателя, необходимо проверить состояние режущих кромок инструмента и в случае необходимости замены сверла или торцового подрезного резца снять инструментальную головку и установить подготовленную заранее сменную головку. После регулировки и запуска станка в автоматическом режиме настраивают головку, временно вышедшую из строя и являющуюся резервной.

4.2.3. Кондуктор. Кондуктор предназначен для обеспечения жесткости системы заготовка – инструмент – приспособление – станок (ЗИПС), а также восприятия реакций сил резания с целью разгрузки направляющих станка и, следовательно, увеличения срока его службы.

Кондуктор представляет собой кондукторную плиту с подшипниками качения, установленных между двумя фланцами, закрепленном на базирующем кронштейне с помощью анкерных болтов, рис. 4.10. Кондукторная плита имеет в верхней части пробковый кран, соединенный с масляным бочком с помощью маслопровода. Масло поступает к подшипнику самотеком, его подача регулируется пробковым краном. Кондукторная втулка состоит из бронзовой и стальной втулок, запрессованных одна в другую. При входе инструментальной головки в кондукторную втулку, последней сообщается вращение, и головка перемещается относительно втулки поступательно, не вызывая ее износа.

Установка и выверка кондуктора осуществляется после юстировки силовой головки. Для правильной установки кондуктора необходимо насадить кондукторную плиту и фланцы на анкерные болты, предварительно завернутые до отказа в базирующий кронштейн и, не затягивая гаек, ввести в кондукторную втулку инструментальную головку, установленную в шпиндель силовой головки на глубину, соответствующую концу рабочего хода головки. Убедиться в возможности вращения инструментальной головки вместе с кондукторной втулкой посредством вращения шпинделя вручную. Если вращение затруднено, то с помощью прокладок выставить кондукторную плиту в положение, когда оси кондукторной втулки и шпинделя совпадут. После достижения легкости вращения шпинделя и кондукторной втулки затянуть шесть гаек кондуктора до предельного усилия на ключе. Вывести инструментальную головку из кондуктора вручную и проверить работу силовой головки в автоматическом режиме без обрабатываемого баллона. При работе силовой головки без заклинивания, подать баллон на обработку.

4.2.4. Система подналадки останова рабочего хода силовой головки на операции развертывания конуса. Система подналадки останова рабочего хода силовой головки (далее система подналадки) предназначена для корректировки рабочего хода силовой головки в зависимости от глубины вхождения горловины баллона в базирующий конус при различных диаметрах горловин на операции обработки конуса под резьбу (рис. 4.11).

Система подналадки представляет собой комплект деталей, смонтированных на тарелке с базирующим конусом, вдоль образующей которого выполнен паз, в котором размещен подпружиненный упор. На стержне упора жестко закреплена пластина, обеспечивающая срабатывание датчика при приближении к ней на расстояние, указанное на датчике (КВП-8 – на 8 мм; КВП-16 – на 16 мм). Настройка силовой головки осуществляется с помощью регулировочного винта, перемещающего датчик вместе со штоком параллельно оси шпинделя. Датчик КВП подключается в электрическую схему паспортного щелевого вместо датчика типа БВК.

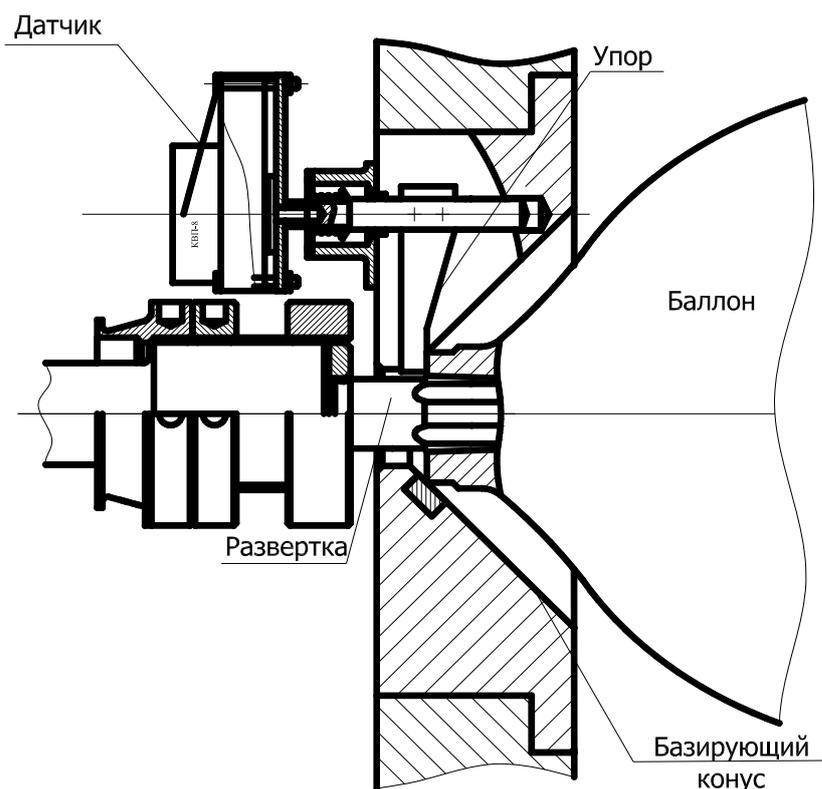


Рис. 4.11. Приспособление для корректировки рабочего хода силовой головки при развертывании

Подналадка останова рабочего хода силовой головки достигается тем, что при установке баллона с меньшим наружным диаметром горловины, последняя несколько глубже входит в центрирующий конус и, следовательно, дальше вытолкнет упор с пластиной, благодаря чему датчик сработает раньше, обеспечив постоянную глубину подачи развертки в горловину баллона. Точность останова силовой головки определяется точностью срабатывания датчика. Для датчиков КВП-8 точность срабатывания составляет 0,15 мм, для КВП-16 – 0,3 мм.

Во избежание поломки конической развертки при настройке силовой головки в начале смены необходимо с помощью регулировочного винта установить заведомо неполную глубину подачи развертки в горловину баллона с тем, чтобы после контроля гладкой конической пробкой произвести корректировку останова силовой головки. Для повышения надежности останова силовой головки через 10 – 20 мин ее работы устанавливают концевой выключатель и следят за тем, чтобы стержень упора с пластиной сохранял подвижность в моменты останова и отжатия баллона.

4.2.5. Система подналадки останова рабочего хода силовой головки на операции нарезания резьбы. Система подналадки останова рабочего хода силовой головки предназначена для корректировки рабочего хода силовой головки в зависимости от глубины вхождения

горловин баллонов в базирующие конуса при изменении наружного диаметра горловины в пределах допуска на операции нарезания резьбы (рис. 4.12).

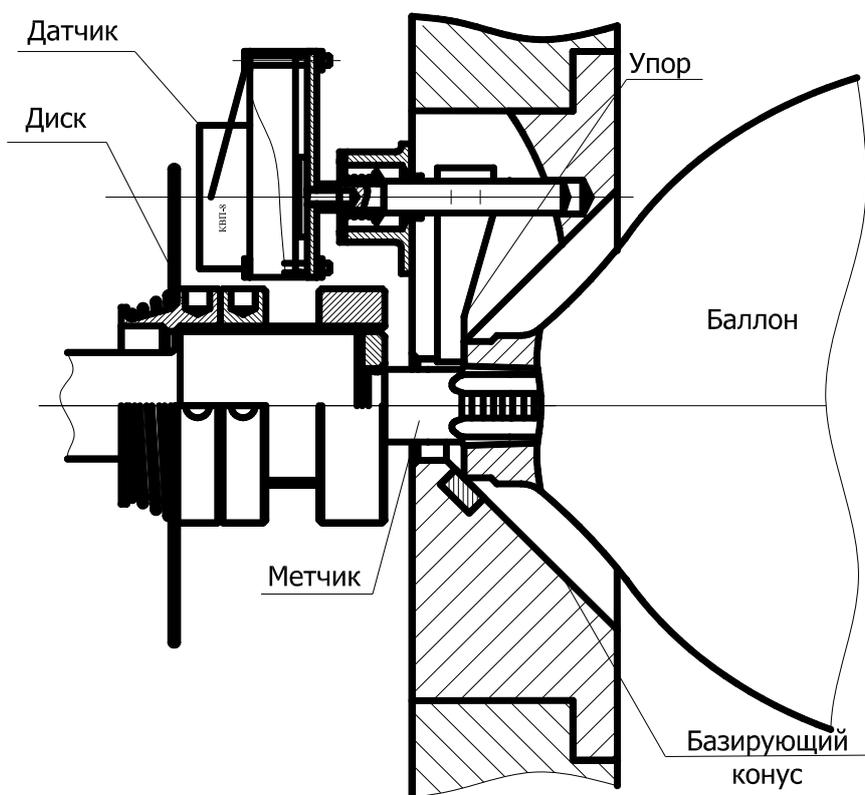


Рис. 4.12. Приспособление для корректировки рабочего хода силовой головки при нарезании резьбы

Система подналадки представляет собой комплект деталей, смонтированных на тарелке с базирующим конусом, вдоль образующей которого выполнен паз, в котором размещен подпружиненный упор. На стержне упора закреплен датчик, обеспечивающий реверс вращения шпинделей в момент приближения к нему диска закрепленного с помощью резьбы на резьбовой насадке шпинделя. Настройка силовой головки осуществляется посредством вращения диска относительно резьбовой посадки на шпиндель, чем и обеспечивается требуемая глубина нарезки конической резьбы. Датчик КВП подключается в электросхему вместо датчика БВК, предусмотренного для базовой модели силового стола.

Диск, установленный на резьбовую насадку при вращении должен иметь торцевое биение, равное 0,1 мм на $\varnothing 160$ мм. Этим достигается точность глубины нарезки резьбы, соответствующая заданному конечному углу поворота метчика. Тогда точность срабатывания датчика в осевом направлении повышается до $1,814 / 360 = 0,005$ (мм). Стабильность глубины полученной резьбы определяется диаметром обработанной горловины. При настройке головки следует устанавливать глубину нарезания резьбы, начи-

ная с заведомо недостаточной. После первой нарезки проверить резьбовым калибром и увеличить глубину нарезания вращением диска против часовой стрелки на столько оборотов, на сколько ниток недорезана резьба. В процессе работы необходимо следить за тем, чтобы датчик сохранял подвижность при установке и раскреплении баллонов.

4.3. Оценка экономической эффективности от внедрения в производство разработанного технологического процесса

На основе проведенных исследований установлено, что применение разработанного технологического процесса позволяет повысить точность обработки отверстия и качество нарезанной в нем конической резьбы без увеличения времени обработки баллона. В результате потери от брака по резьбе уменьшились с 15,5% до 1,3%, табл. 3.4. При этом количество поломанных при обработке метчиков уменьшилось с 3,35% до 0,3%, табл. 3.4. Учитывая, что годовая программа выпуска баллонов в баллоном цехе ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» составляет 15500 штук, произведем оценку экономической эффективности от внедрения разработанного технологического процесса в производство.

Таблица 4.2

Исходные данные для расчета экономической эффективности

Наименование показателя	Обозначение	Единицы измерения	Варианты	
			базовый (1)	новый (2)
1. Годовая программа выпуска баллонов	N	штук	15500	15500
2. Цена одного баллона	Ц _б	грн	850	850
3. Потери баллонов от брака	n	%	15,5	1,3
4. Количество поломанных метчиков	K	штук	520	47
5. Цена одного метчика	Ц _к	грн	260	260

Экономическая эффективность от внедрения нового технологического процесса определяется двумя составляющими: эффективностью от уменьшения бракованных баллонов и поломанных метчиков, т.е.

$$\mathcal{E} = N \cdot (n_1 - n_2) \cdot Ц_b + (K_1 - K_2) \cdot Ц_k = 1993830 \text{ грн.} \quad (4.1)$$

Таким образом, на основе укрупненного расчета экономической эффективности установлено, что внедрение нового технологического

процесса обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов позволяет уменьшить затраты на 1993,83 тысяч гривен в год. При этом основной эффект состоит от снижения потерь от брака баллонов.

Необходимо отметить, что установленная экономическая эффективность является максимально возможной, т.к. рассматривает потери от брака баллонов неисправимыми. В действительности, большая часть бракованных баллонов (до 90%) подвергается ремонту и восстановлению конической резьбы в горловине баллона. Затраты, связанные с ремонтом одного баллона и восстановлением в отверстии его горловины конической резьбы, составляют в среднем $C_{\text{рем}} = 120$ гривен. Исходя из этого, экономическая эффективность определится по новой, преобразованной зависимости (4.1):

$$\mathcal{E} = 0,9 \cdot N \cdot (n_1 - n_2) \cdot C_{\text{рем}} + (K_1 - K_2) \cdot C_k. \quad (4.2)$$

Коэффициент 0,9 в зависимости (4.2) учитывает долю бракованных баллонов, которые подвергаются ремонту. Рассчитанная по зависимости (4.2) экономическая эффективность с учетом исходных данных, равна 360688 гривен в год. Следует отметить, что внедрение разработанного технологического процесса позволило уменьшить расход сверл, связанный с их поломкой при обработке. Это обусловлено тем, что благодаря повышению точности установки баллона и соответственно повышению соосности шпинделя инструментальной головки и горловины баллона, произошло снижение неравномерности снимаемого припуска при рассверливании начального отверстия в горловине баллона, имеющего неправильную цилиндрическую форму. А это, в свою очередь, привело к более равномерному нагружению лезвий сверла и снижению изгибающих напряжений, которые вызывают поломку сверла. Полученные в работе новые технические решения могут быть также использованы для повышения эффективности технологических процессов обработки отверстий и нарезания в них конической резьбы в различных деталях типа тел вращения.

4.4. Выводы

1. Разработана промышленная технология механической обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов. Показано, что данная технология реализуется на том же оборудовании, что и базовая технология после внесения соответствующих конструкторских и технологических изменений, связанных с применением новой схемы базирования горловины баллона и специальной инструментальной головки, работающей совместно с разработанным кондуктором, обеспечивающим повышение жесткости технологической системы; применением на переходах раз-

вертывания и нарезания метчиком конической резьбы разработанной системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода инструментальной головки, а также специального приспособления для юстировки инструментальной головки. В связи с этим, дана общая техническая характеристика разработанной технологии и показаны ее преимущества.

2. Произведена оценка экономической эффективности от внедрения в производство разработанной технологии механической обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов. Показано, что она определяется двумя составляющими: экономической эффективностью от уменьшения количества бракованных баллонов и поломанных метчиков.

3. Разработанная технология механической обработки резьбовых отверстий в горловинах баллонов внедрена и успешно функционирует в баллоном цехе ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича». Благодаря ее применению обеспечивается повышение точности обработки отверстий и качества нарезанной в них конической резьбы без увеличения времени обработки баллона, существенно снижены потери от брака баллонов по резьбе и расход режущих инструментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрегатные станки средних и малых размеров / Ю.В. Тимофеев, В.Д. Хицан, М.С. Васерман, В.В. Громов. Под общ. ред. Ю.В. Тимофеева. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
2. Адаптивное управление технологическими процессами на металлорежущих станках / Ю.М. Соломенцев. – М.: Машиностроение, 1980. – 563 с.
3. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Металлургия, 1969. – 160 с.
4. Андилахай А.А. Иванов И.Е. К вопросу повышения надежности технологических решений при изготовлении баллонов на автоматических линиях // Захист металургійних машин від поломок – Збірник наукових праць. – Маріуполь, 2005. – Вип. 8. – С.191-193.
5. Армарего И.Дж.А., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
6. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1969. – 359 с.
7. Балакшин Б.С. Адаптивное управление станками. – М.: Наука, 1970. – 345 с.
8. Безвибрационное многолезвийное резание / Е.С. Пуховский, Г.Э. Таурит, М.И. Лещенко. – К.: Техніка, 1982. – 117 с.
9. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
10. Бородачев А.А. Вопросы теории точности производства. – М.: Машиностроение, 1953. – 320 с.
11. Борщевский В.М., Вассерман М.С., Заярненко Е.И., Касьянов О.Н. Расчет достижимой точности обработки на агрегатных станках с учетом жесткости системы СПИД // Жесткость в машиностроении. – Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции, Брянск, 1971. – С. 214-220.
12. Братан С.М. Технологічні основи забезпечення якості і підвищення стабільності високопродуктивного чистового та тонкого шліфування: Автореф. дис.... докт. техн. наук: 05.02.08 / Одес. нац. політехн. ун-т. – Одеса, 2006. – 35 с.
13. Бугров Я.С., Никольский С.М. Высшая математика. Дифференциальные уравнения. Кратные интегралы. Ряды. Функции комплексного переменного. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 448 с.
14. Булыжов Е.М., Худобин Л.В. Ресурсосберегающее применение смазочно-охлаждающих жидкостей при металлообработке. – М.: Машиностроение, 2004. – 352 с.
15. Вентцель Е. С. Теория вероятности. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
16. Внуков Ю.Н. Прогрессивный обрабатывающий инструмент и методы повышения его качества. – М.: Машиностроение, 1991.

17. Вопросы технологической надежности. / Под ред. И.В. Дунина-Барковского. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 156 с.
18. Гордеев А.С. Технологические основы прогнозирования и обеспечения качества лезвийной обработки. – Автореф. дис....докт. техн. наук: 05.02.08 / Нац. техн. ун-т «ХПИ», Харьков, 2004. – 36 с.
19. Грабченко А.И., Доброскок В.Л., Чернышов С.И., Фадеев В.А. Классификация интегрированных генеративных технологий создания изделий // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Матер. міжн. наук.-практ. конф. 18-19 травня 2006р., присвяченої 100-річчю з дня народження М.Ф. Семка. – Харків: Вид-во «Курсор», 2006. – С. 28-53.
20. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
21. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей. – М.: Машиностроение, 1975. – 224 с.
22. Дитиненко С.А. Повышение эффективности технологии финишной обработки цилиндрических поверхностей твердосплавных изделий: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.02.08/ Нац. техн. ун-т «ХПИ», Харьков, 2005. – 20 с.
23. Долматов А.И. Наукові основи газодетонаційного нанесення покриттів на лопатки авіаційних газотурбінних двигунів: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.07.084 / Харківський авіаційний ін-тут. – Харків, 1993. – 62 с.
24. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
25. Жолткевич Н.Д., Мовшович А.Я., Буденный М.М. Основные тенденции развития высоких технологий в машиностроении // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: Збірка наукових праць. Тематичний випуск 11: Технічний прогрес та ефективність виробництва. – Харків: НТУ «ХПИ», 2001. – С. 3-12.
26. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М.: Машгиз, 1956. – 368 с.
27. Иванов И.Е. Повышение точности изготовления ответственных поверхностей деталей гидрогазовой аппаратуры // Захист металургійних машин від поломок. – Збірник наукових праць – Маріуполь, 2005. – Вип. 8. – С. 184-190.
28. Иванов И.Е. Расчет погрешности формообразования при механической обработке // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – 2005. – Вип. 33. – С. 143-148.
29. Иванов И.Е. Исследование процесса нарезания внутренней резьбы в баллонах // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – 2006. – Вип. 42. – С. 209-214.
30. Иванов И.Е. Иванов Е.И. Разработка алгоритма анализа точности технологических процессов // Тезисы докладов XI региональной

научно-технической конференции Приазовского государственного технического университета. – Мариуполь: ПГТУ, 2004. – С. 147-148.

31. Иванов И.Е., Новиков Ф.В. Влияние методов формообразования на точность механообработки. – Физические и компьютерные технологии. – Труды 11-й Международной научно-технической конференции, 2-3 июня 2005г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2005. – С. 108-113.

32. Израилович М.Я. Оптимизация процессов механической обработки алмазным и твердосплавным инструментом. – М.: ВНИИТЭМР, 1985. – 44 с.

33. Исаченко В.А., Назаров Ю.Ф. Особенности развития технологии размерной обработки в условиях современного производства машин // Вестник машиностроения, 1990, №4. – С. 29-33.

34. Ишуткин В.И. Технологическая надежность систем СПИД. – М. Машиностроение, 1973. – 127 с.

35. Капорович В.Г. Производство деталей из труб обкаткой. – М.: Машиностроение, 1978. – 136 с.

36. Карпусь В.Е., Гаврилюк Ю.Р. Многокритериальная оптимизация конструкционных компоновок многономенклатурных агрегатных станков // Резание и инструмент в технологических системах. – Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: ХГПУ, вып. 53, 1999. – С. 72-74.

37. Карпусь В.Е., Лукьяненко Е.В., Луцкий С.В. Информационный подход к технологическому проектированию // Авиационно-космическая техника и технология. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», вып. 14, Харьков: ХАИ, 2000. – С. 54-57.

38. Карпусь В.Е., Спичак А.В. Анализ интенсивности токарной обработки // Вісник інженерної академії України, спеціальний випуск, 2000. – С. 47-53.

40. Ковалевский С.В. Стабильность технологических систем // Надежность режущего инструмента. – Сборник научных статей. – Краматорск, 1997.

41. Колев К.С., Горчаков Л.М. Точность обработки и режимы резания. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 144 с.

42. Колкер Я.Д. Математический анализ точности механической обработки деталей. – К.: Техніка, 1976. – 200 с.

43. Кораблев П.А. Точность обработки на металлорежущих станках в приборостроении. – М.: Машгиз, 1962.

44. Корсаков В.С. Точность механической обработки. – М.: Машиностроение, 1961. – 378 с.

39. Косилова А.Г., Никадимов Е.Ф., Борисов В.Б. Расчет погрешности координат отверстий при многопереходной обработке на автоматических линиях // Изв-я высш. учебн. заведений / Машиностроение, 1971, №6. – С. 174-177.

45. Кравцов В.И., Стрельцов В.А. Влияние жесткости технологической системы на точность бескондукторной обработки отверстий мер-

ным концевым инструментом // Жесткость в машиностроении. – Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции, Брянск, 1971. – С. 220-225.

46. Кук Д., Бейз Г. Компьютерная математика: Пер. с англ. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 384 с.

47. Кумабэ Д. Вибрационное резание: Пер. с яп. С.Л. Масленникова / Под ред. И.И. Портнова, В.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.

48. Ларшин В.П. Интегрированные технологические системы в машиностроении // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1999, вып. 3 (9). – С. 55-58.

49. Линчевский П.А., Джугурян Т.Г., Оргиян А.А. Обработка деталей на отделочно-расточных станках. – К.: Техника, 2001. – 300 с.

50. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.

51. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение, 1976. – 178 с.

52. Малышко И.А., Татьянченко А.Г., Бочаров С.И. Температурное состояние детали при разворачивании отверстий // Вісник інженерної академії України. – 2001, № 3, частина 1. – С. 231-234.

53. Марчук В.И. Технологические основы качества рабочих поверхностей колец роликоподшипников: Автореф. дис....докт. техн. наук: 05.02.08 / Одесский нац. политехн. ун-т, Одесса, 2004. – 36 с.

54. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник. – Л.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1985. – 496 с.

55. Маталин А.А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1970. – 390 с.

56. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 88 с.

57. Матвеев В.В. и др. Надежность технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.

58. Медведев Д.Д. Точность обработки в мелкосерийном производстве. – М.: Машиностроение, 1973. – 120 с.

59. Мирнов И.Я., Загородский В.В. Патрон для нарезания точных резьб // Машиностроение, 1981, №12.

60. Мирнов И.Я., Кузнецов В.П., Анпилогов О.А. Технологическое обеспечение и расчет наладок при нарезании резьб на токарных многошпиндельных автоматах. – Обзор. – М.: ЦНИИНТИКПК, 1989. – 84 с.

61. Мирнов И.Я., Щуров И.А. Нарезание высокоточных резьб на токарных многошпиндельных станках (Теоретические основы, инструмент и технологическое оснащение). – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – 244 с.

62. Наладка агрегатных станков / С.И. Федоров, В.Б. Генин и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.

63. Наладка и эксплуатация автоматических линий из нормализованных узлов / Под ред. А.М. Яркова. – М.: Машиностроение, 1965. – 443 с.

64. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1982. – 184 с.

65. Никадимов Е.Ф. Экспериментальные исследования точности расположения отверстий при многопереходной обработке на агрегатных станках // Изв-я высш. учебн. заведений / Машиностроение, 1973, №8. – С. 157-161.

66. Новиков Н.В., Клименко С.А. Совершенствование технологий финишной механической обработки // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2002. – Вип.1(5). – С. 259-276.

67. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1990. – 16 с.

68. Новиков Г.В. Задачи точности и производительности обработки в технологии машиностроения. – Авиационно-космическая техника и технология. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Выпуск 14. – Харьков: Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2000. – С. 31-35.

69. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: Автореф. дис... докт. техн. наук: 05.03.01 / Одес. гос. политехн. ун-т, Одесса, 1995. – 36 с.

70. Новиков Ф.В. Условия повышения точности и производительности механической обработки // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Матер. міжн. наук. – практ. конф. 18-19 травня 2006р., присвяченої 100-річчю з дня народження М.Ф. Семка. – Харків: Вид-во «Курсор», 2006. – С. 91-98.

71. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Повышение эффективности механической обработки высокоточного резьбового отверстия в горловине газового баллона // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – Вып. 70. – С. 350-355.

72. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Технологическое обеспечение точности и стабильности изготовления внутренних герметических резьб в горловинах газовых баллонов в условиях крупносерийного и массового производства // Физические и компьютерные технологии. – Труды 12-й Международной научно-технической конференции, 7-8 июня 2006г. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2006. – С. 3-9.

73. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Изд-во Сарат. ун-та, 1979. – 232 с.

74. Новые инструментальные материалы и области их применения: учеб. пособие / В.В. Коломиец. – К.: УМК ВО, 1990. – 64 с.

75. Обработка высокопрочных материалов / Е.С. Пуховский, А.П. Гавриш, Е.Ю. Грищенко; Под общ. ред. А.П. Гавриша. – К.: Техніка, 1983. – 134 с.

76. Оргян О.А. Прогнозування і забезпечення точності остаточної лезової обробки складнопрофільних і інших поверхонь обертання (на прикладі комплексної обробки поршнів): Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.02.08 / Одеський нац. політехн. ун-т. – Одеса, 2002. – 34 с.
77. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник / Ю.И. Кузнецов, А.Р. Маслов, А.Н. Байков. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
78. Основы управления технологическими процессами / Под редакцией Н.С. Райбмана. – М.: Наука, 1978. – 440 с.
79. Остафьев В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.
80. Пермяков А.А., Гаврилюк Ю.Р. О подходе к компоновке агрегатного станка для реализации групповой обработки / Вестник ХГПУ, № 82, 2000. – С. 50-52.
81. Пермяков А.А., Приходько О.Ю., Фадеев А.В. О структуре процесса проектирования и компоновки агрегатированных технологических систем металлообработки / Вісник інженерної академії України, спеціальний випуск, 2000. – С. 136-139.
82. Подураев В.Н. Технология физико-химических методов обработки. – М.: Машиностроение, 1985. – 264 с.
83. Проников А.С. Надежность машин. – М. Машиностроение, 1978. – 592 с.
84. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 455 с.
85. Розенберг А.М., Еремин А.Н. Элементы теории процесса резания металлов. – М.–Свердловск: Машгиз, 1956. – 318 с.
86. Розенберг Ю.А., Тахман С.И. Расчет сил резания при сверлении на основе единого подхода к лезвийной обработке // СТИН, 1994, №8. – С. 21-23.
87. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
88. Робочі процеси високих технологій в машинобудуванні: Навч. посібник / За редакцією А.І. Грабченко – Харків, ХДПУ, 1999. – 436 с.
89. Романов К.Ф. Скоростное развертывание и зенкерование закаленных сталей. – М.: Оборонгиз, 1952.
90. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 311 с.
91. Рыжов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. – К.: Наук. думка, 1994. – 180 с.
92. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с.
93. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Раб А.Ф. и др. Основы алмазного шлифования. – К.: Техніка, 1978. – 192 с.

94. Синтетические сверхтвердые материалы: В 3-х т. Т.3. Применение синтетических сверхтвердых материалов. / Редкол.: Н.В. Новиков (отв. ред.) и др. – К.: Наук. думка, 1986. – 280 с.
95. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: Учебник / С.Н. Корчак, А.А. Кошин, А.Г. Ракович, Б.И. Сеницын; Под общ. ред. С.Н. Корчака. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
96. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник / Л.В. Худобин, А.П. Бабичев, Е.М. Булыжов и др. / Под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
97. Смирнов В.С. Теория прокатки. – М.: Metallurgy, 1967. – 460 с.
98. Соколовский А.П. Расчеты точности обработки на металлорежущих станках. – М.-Л.: Машгиз, 1952. – 286 с.
99. Соколовский В.В. Теория пластичности. – М.: Высшая школа, 1969. – 608 с.
100. Справочник машиностроителя. В 6-ти томах: Т.3 / Под редакцией С.В. Серенсена. – 3-е издание, исправл. и доп. – М.: ГНТИМЛ. – 651 с.
101. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах: Т.1 / Под редакцией А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е издание, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
102. Справочник технолога по автоматическим линиям / А.Г. Косилова, А.Г. Лыков, О.М. Деев и др.; Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
103. Сталинский Д.В., Сизый Ю.А. Оптимальное проектирование динамических систем обдирочно-шлифовальных станков. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 113 с.
104. Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. – М.: Машиностроение, 1982. – 208 с.
105. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.
106. Тепловые и механические процессы при резании металлов: Учеб. пособие / Новиков Ф.В., Якимов А.А., Новиков Г.В., Зимин С.Г., Вайсман В.А. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 179 с.
107. Теплофізика механічної обробки: Підручник / Якимов О.В., Усов А.В., Слободяник П.Т., Юргачов Д.В. – Одеса: Астропринт, 2000. – 256 с.
108. Терликова Т.Ф., Мельников А.С., Баталов В.И. Основы конструирования приспособлений. – М.: Машиностроение: 1980. – 119 с.
109. Технология машиностроения (специальная часть) / Картавов С.А. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа. Головное изд-во. – 272 с.
110. Технологія машинобудування: Підручник / О.В. Якимов, В.М. Царюк, О.О. Якимов, Г.О. Оборський, В.П. Ларшин, О.В. Самойленко. – Одеса: Астропринт, 2001. – 608 с.

111. Тимофеев Ю.В., Пермяков А.А., Приходько О.Ю. О композиционном проектировании агрегатированных технологических систем // Авиационно-космическая техника и технология. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», вып. 14, Харьков: ХАИ, 2000. – С. 51-53.
112. Тимофеев Ю.В., Шелковой А.Н., Разметов А.Р., Карпусь С.А. Аналитический подход к оценке временных характеристик рабочего места станочника // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2002. – Вип.1(5). – С. 370-376.
113. Туллер А.Г., Конюх А.И. Надежность и производительность автоматических линий в машиностроении. – М.: НИИМАШ, 1968. – 96 с.
114. Усов А.В., Вайсман В.А., Дмитришин Д.В. и др. Математическое моделирование технологических систем. – К.: Техніка, 1996. – 320 с.
115. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.1. «Механика резания материалов» – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.
116. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.3. «Резание материалов лезвийными инструментами» – Одесса: ОНПУ, 2003. – 546 с.
117. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.7. «Точность обработки деталей машин» – Одесса: ОНПУ, 2004. – 546 с.
118. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.10. «Концепции развития технологии машиностроения» – Одесса: ОНПУ, 2005. – 565 с.
119. Цымбал И.Л. и др. Проектирование и расчет узлов агрегатных станков. – К.: Техніка, 1980. – 190 с.
120. Чарнко Д.В. Основы выбора технологического процесса. – М.: Машиностроение, 1987. – 209 с.
121. Чемерис Е.И. О влиянии погрешностей установки деталей на точность обработки // Вестник машиностроения, 1985, №3. – С. 52-55.
122. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 639 с.
123. Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Якимов А.А. Алмазная обработка: Учеб. пособие. – К.: ІЗМН, 1996. – 168 с.
124. Якимов А.В., Паршаков А.Н. и др. Управление процессом шлифования. – К.: Техніка, 1983. – 182 с.
125. Яхин А.Б. Проектирование технологических процессов механической обработки. – М.: Оборонгиз, 1946. – 267 с.

126. Ящерицын П.И., Олендер Л.А., Нехамкин Э.Л. Современные методы и средства контроля качества деталей. – Минск: Беларусь, 1975. – 198 с.
127. Fogelman Soulie F. Neural networks, state of the art, neural computing.// London: IBC Technical Services, 1991.
128. Jeffery W., Rosner R. Neural network processing as a tool for friction optimization.//Neuronet Comput. Conf., Snowbird, Utah, Apr. 13-16, 1986. New York, N.Y., 1986 - p. 241-246.
129. Lippmann Richard P. Gold Ben Neuronet classifiers useful for speech recognition.// IEEE Ist. Conf. Neural Networks, San Diego, (Calif), 1987 - p. 417-425.
130. Artificial Intelligence. // Amsterdam: Time - Life - Books, 1986.
131. Hecht-Nielsen R. Neurocomputing: picking the human brain. // IEEE SPECTRUM 1988 - V. 25. N 3 - p. 36-41.
132. Neural Computing.// London: IBE Technical Services, 1991.
133. Specht, D. F., Probabilistic Neural Networks for Classification, Mapping or Associative Memory, ICNN, Conference Proc., 1988.

Приложения

Приложение А

Прогрессивные технологии обработки металлов методами пластического деформирования, используемые для производства газовых баллонов

Эффективным способом получения баллонов из трубчатых заготовок является обкатка инструментом трения, когда усилие передается к деформируемому металлу в процессе скольжения металла относительно инструмента. Обкатка инструментом трения выгодно отличается от обкатки роликами тем, что весь процесс деформации вплоть до смыкания стенок заготовки осуществляется за один проход инструмента. Для обкатки инструментом трения можно применять различные кинематические схемы взаимодействия заготовки и инструмента, обеспечивающие при его соответствующей калибровке управляемое постепенное перемещение очага деформации по окружности и вдоль образующей заготовки.

В качестве примера на рис. А.1 представлены три варианта взаимодействия трубчатой заготовки с инструментом трения. Все эти варианты реализованы в отдельных конструкциях эксплуатируемых обкатных машин. Обкатку (рис. А.1,а) применяют в производстве бесшовных газовых баллонов: трубчатой заготовке 1 с нагретым до ковочной температуры концом создают вращение вокруг своей продольной оси $O-O$, одновременно инструменту 2 – поворот на 90° вокруг оси, перпендикулярной к оси заготовки. Создаваемое локальное давление инструмента на металл обеспечивает деформацию заготовки до заданного инструментом профиля. Деформация происходит в процессе трения – скольжения между инструментом и заготовкой.

Обжатие (рис. А.1,б) легко осуществляется на станках токарной группы и состоит в следующем: трубчатой заготовке, конец которой нагрет до ковочной температуры, сообщают вращательное движение вокруг своей оси. Одновременно инструменту 3 сообщают поступательное перемещение в направлении, перпендикулярном к оси вращения заготовки, благодаря чему заготовка деформируется до заданной формы. Этот метод применим в мелкосерийном и единичном производстве такой продукции как баллончики для заправки зажигалок газом, для сифонов или корпусов огнетушителей.

Обкатка по схеме, показанной на рис. А.1,в, осуществляется поворотом инструмента 4 на 360° относительно оси $O-O$, параллельно оси вращающейся заготовки. Каждая из рассмотренных возможных кинематических схем процесса обкатки имеет особенности, которые учитываются при разработке технологических процессов и проектировании оборудования.

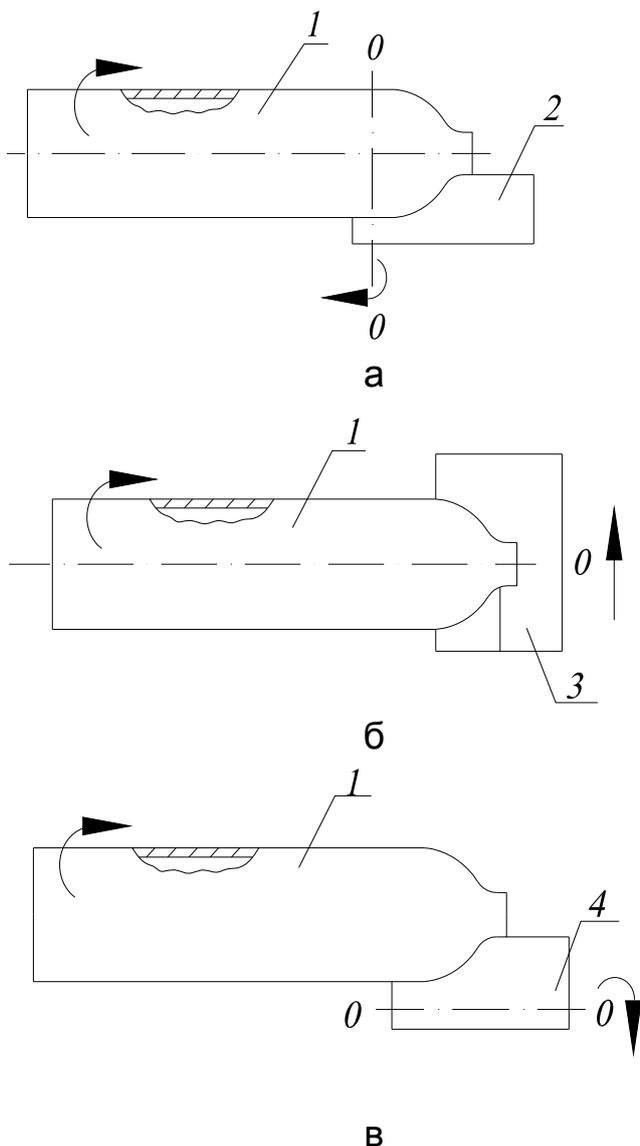


Рис. А.1. Схема обкатки трубчатых заготовок

Существуют также нетрадиционные прогрессивные методы обкатки баллонов и других изделий из труб, обкатка с использованием электроконтактного нагрева и т.д.

Электроконтактный нагрев при обработке металлов давлением, включая обжим и обкатку плоских и трубчатых заготовок, имеет следующие преимущества по сравнению с другими способами нагрева: высокую скорость, вследствие чего уменьшаются окисление и обезуглероживание поверхностей изделий; высокий КПД (до 80 – 90%); возможность создания компактных автоматов и автоматических линий; возможность полного или частичного совмещения по времени с обработкой давлением; возможность уменьшения площадей, занимаемых оборудованием; постоянная готовность к производству; не нужны разогрев, пусковой режим и т.д.; возможность осуществления при неподвижной заготовке и вращающемся инструменте и при вращающейся заготовке. Этот

метод нашел применение в промышленности ряда стран.

Широко используют схему токоподвода к заготовке через два скользящих контакта (патент США, кл. 219-149 № 2309561) или от трех полюсов вторичной обмотки трехфазного трансформатора обкатного инструмента (патент Англии кл. 88) 4) Н, №938351). В этом случае электроконтактный нагрев совмещают с обкаткой.

На рис. А.2 представлена схема установки для обжима с токопроводом через скользящие контакты 6. Она состоит из стальной матрицы 4, разделенной на две части электроизолятором 3 и подключенной ко вторичному витку трансформатора 5. Заготовке 2, закрепленной в шпинделе станка с патроном 1, сообщают вращательное движение, а матрице – поступательное перемещение вдоль оси вращения заготовки (вести-процесс, патенты США № 2309561, 2 325 564, 2 335 165).

Заготовка, входя в контакт с двумя половинками матриц, замыкает

их, вследствие чего вдоль образующей заготовки против полосы электроизолятора матрицы выделяется теплота. При вращении заготовки равномерно нагревается обкатываемый конец, а при перемещении матрицы – происходит одновременная пластическая деформация вплоть до сварки стыкуемых кромок. В Чехии находится в эксплуатации установка для изготовления бесшовных газовых баллонов, работающая по описанной схеме.

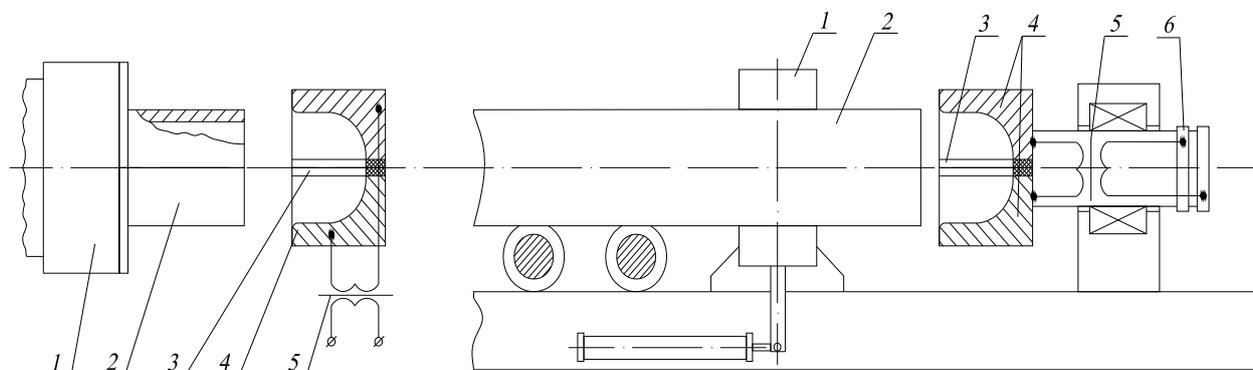


Рис. А.2. Схема обжима с электроконтактным нагревом

Для деформации концов длинных труб, которые невозможно или нерационально вращать при обкатке, существует схема обкатки по принципу «невращающаяся заготовка – вращающийся инструмент» (рис. А.2), в которой совмещены обжим с электроконтактным нагревом. Вращающаяся обжимная головка (с жестко закрепленным на ней трансформатором броневого типа) при осевом заталкивании невращающейся заготовки обеспечивает обжим ее конца.

Смена полуматриц 1 связана с отсоединением токоподводящих. Для этого в шпинделе предусмотрены два окна А. Трансформатор 6 питается через кольца со скользящими контактами 6 (рис. А.2). Технологические особенности деформации концов труб путем совмещения обжима с электроконтактным нагревом связаны с большой скоростью нагрева заготовки и с изоляцией поверхностей нагрева от активного воздействия атмосферных газов. На установках, работающих по описанной схеме, можно обжимать концы труб из материалов, активно поглощающих газы: титана, ниобия, сплавов на их основе и др. После обработки таких материалов давлением, связанным с нагревом в среде атмосферного воздуха, их поверхностный слой удаляют обработкой резанием.

Опыты Кирицева А.Д. по обжиму труб из сплавов на основе титана показали, что температура нагрева заготовок может быть ниже, чем при других способах деформации. Снижение температуры и времени нагрева, а также некоторая изоляция поверхности обжимаемого конца заготовки от окружающей среды значительно уменьшают и окисление ее поверхности. В качестве оборудования для изготовления осесимметричных

деталей из трубчатых заготовок в зависимости от масштаба производства и его номенклатуры применяют: специальные машины узкого назначения с той или иной степенью механизации, универсальные машины, рассчитанные на изготовление деталей широкой номенклатуры, приспособления к металлорежущим станкам и многошпиндельные автоматы роторного типа.

На рис. А.3 приведена обкатная машина с механизмами задачи и выдачи заготовки в шпиндель и из шпинделя, работающая в баллоном цехе ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» и предназначенная для массового производства баллонов.

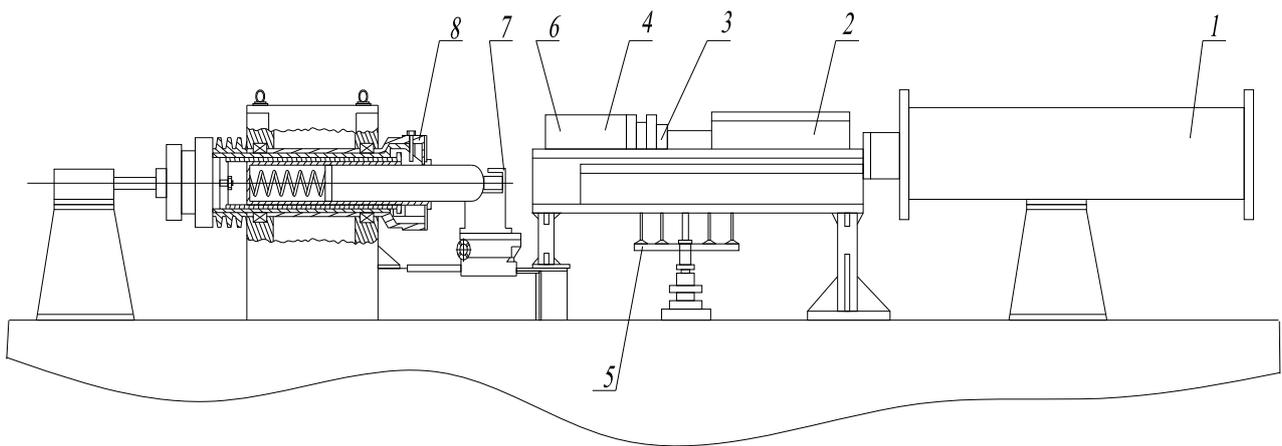


Рис. А.3. Обкатная машина с разгрузочно-загрузочным механизмом

Работа обкатной машины заключается в следующем. Пневматическим цилиндром 1 через ползун 2 в тарелку 3 заготовка 4 заталкивается в полый шпиндель. Тарелка 3 свободно вращается вокруг своей оси, ее вылет из ползуна регулируется с помощью винта или прокладок. Заготовка при заталкивании в шпиндель упирается в пружину, смонтированную в полости шпинделя, которая сжимает её до тех пор, пока ползун 2 не достигнет упорного кольца, расположенного на поворотном суппорте. Далее, когда пружина внутри шпинделя сжата, заготовка зажимается самоцентрирующим кулачковым патроном, а заталкиватель отводится. Кулачки патрона удерживают заготовку от выбрасывания пружиной на протяжении всего процесса обкатки.

Пятикулачковый самоцентрирующий патрон приводится во вращение от гидравлического цилиндра, являющегося продолжением шпинделя. Энергоноситель (вода под давлением 100 кгс/см^2 и одной или другой полости цилиндра подводится с помощью коробки распределения через две трубки, находящиеся одна в другой (по внутренней трубке - в одну полость, между внутренней и наружной - в другую). После того как заготовка зажата, а заталкиватель отведен в исходное положение, включается привод шпинделя, а затем поворотный суппорт, на котором закреплен формующий инструмент.

При вращении заготовки в одновременном перемещении формирующего инструмента происходит деформация (обката) нагретого конца заготовки.

После окончания обкатки и возвращения поворотного суппорта в исходное положение разводятся кулачки патрона к пружине, разжимаясь, выталкивают заготовку из шпинделя на роликовую дорожку 6, откуда пневматическим выбрасывателем 5 заготовка сбрасывается на стеллаж. Описанная машина хорошо себя зарекомендовала в эксплуатации.

Для обкатки днищ и горловин на трубчатых заготовках размером до 325×32мм и длиной до 3200 мм в ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» спроектирована и эксплуатируется обкатная машина с приводом мощностью 160 кВт, работающая аналогично описанной выше схеме. Обратные машины описанной конструкции применяются для обкатки днищ и горловин баллонов из сталей 38ХА, 40ХНМА и могут быть применены для обкатки концов днищ и горловин иной конфигурации.

Некоторое переоборудование поворотного суппорта и механизма подачи заготовки в шпиндель позволяет расширить технологические возможности обкатных машин – раскатывать концы труб на оправке перед обкаткой изделия; причем раскатку и обкатку удаётся выполнить с одного нагрева и с одной установки заготовки.

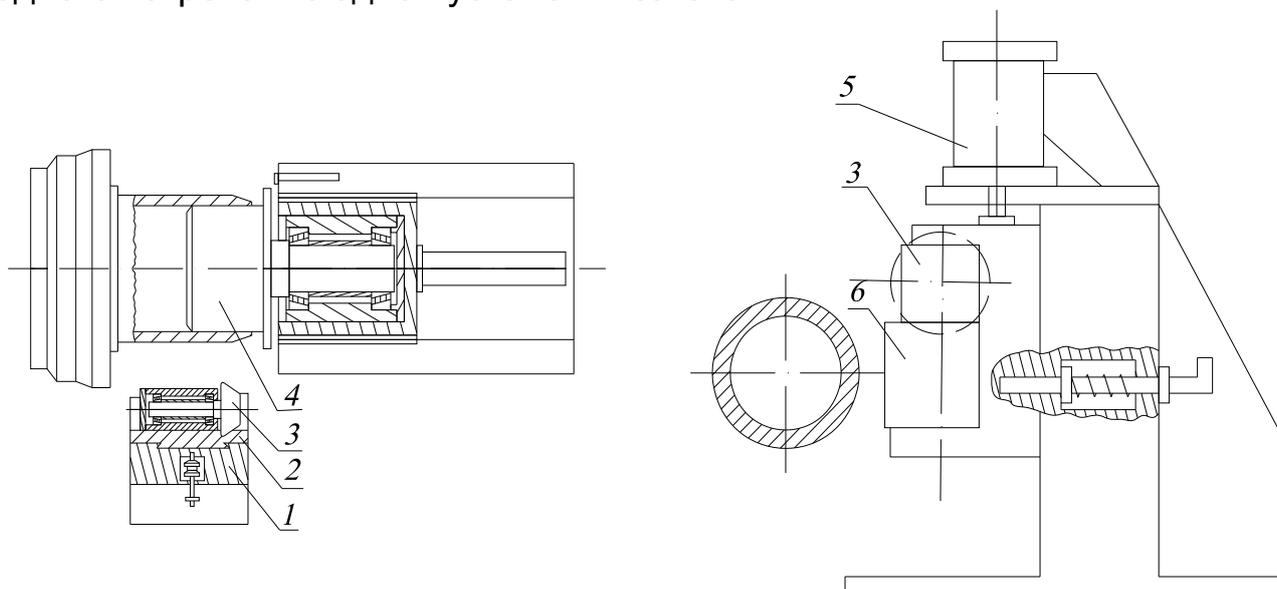


Рис. А.4. Приспособление к обкатной машине, позволяющее совместить обкатку с предварительной раскаткой конца заготовки на оправке

На рис. А.4 изображено приспособление к обкатной машине, показанной на рис. А.3, позволяющее совместить раскатку конца трубы на оправке с ее обкаткой без оправки. Для этого на поворотном суппорте 1 обкатной машины смонтирован суппорт смены инструмента 2 с пневмоприводом 5, на котором жестко закреплен фасонный раскатной ролик 3

и инструменты трения 6, а не механизм заталкивателя вместо тарелки 3 на (рис. А.4) смонтирована свободно вращающаяся оправка 4. Работа описываемой обкатной машины заключается в следующем. При подаче в шпиндель оправка 4 входит внутрь заготовки и остается в ней в течение всего периода, раскатки. Далее с помощью суппорта смены инструмента 2 фасонный раскатной ролик 3 устанавливается в рабочее положение и поворотному суппорту сообщается движение – поворот на заданный угол, благодаря чему осуществляется раскатка. Затем поворотный суппорт возвращается в исходное положение, в рабочее положение перемещается инструмент трения 6, одновременно отводится в исходное положение ползун толкателя с оправкой. Далее осуществляется процесс обкатки.

Известны технологии обкатки трубчатых заготовок путём тангенциальной подачи специально калиброванного инструмента. Созданы машины, предназначенные для получения на трубчатых заготовках различной формы пережимов, днищ, горловин, которые позволяют совмещать операции обкатки, с операциями механической обработки, сварки, калибровки. Обкатная машина для тангенциальной обкатки трубчатых заготовок (рис. А.5) состоит из приводного шпинделя 1 с самоцентрирующим патроном 3, станины 2, суппорта 5 с гидроприводов, двух опорных винтов 6, блока инструмента 7.

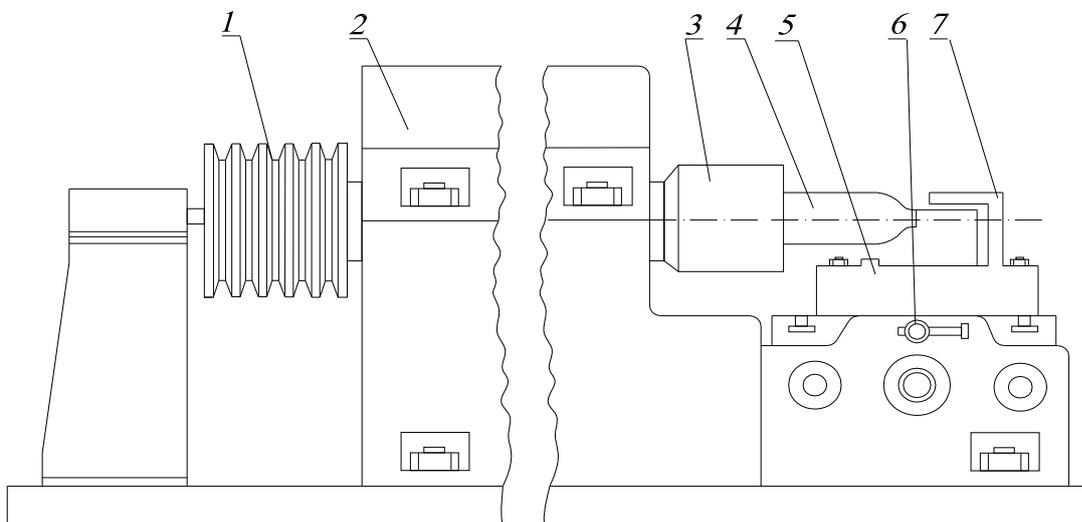


Рис. А.5. Машина для тангенциальной обкатки трубчатых заготовок

Для обработки заготовка 4 с нагретым концом задается в шпиндель машины, зажимается кулачками патрона 3 и приводится во вращение. Одновременно включается гидропривод подачи суппорта 5 с блоком инструментов 7, благодаря чему осуществляется обкатка, и другие операции совмещаете с обкаткой. Винты 6 служат упорами, ограничивающими ход суппорта «вперёд-назад». Их регулировка дает возмож-

ность заканчивать процесс обкатки на заданном участке инструмента, что позволяет по мере его выработки переходить на «свежие» участки, а также обкатывать различные типы изделий на разных участках одного инструмента.

Для совмещения пластической деформации конца трубы с отрезкой обкатанной части путем снятия стружки, например для получения колпачков со сферическими днищами непосредственно из трубы, гидропривод управляется гидрокопирами, задающими скоростную программу перемещения суппорта, которая имеет четыре характерных участка: 1 – соответствует заданной скорости перемещения суппорта при обкатке; 2 – подводу резца к трубе; 3 – врезанию и отрезке заготовки; 4 – возврату инструмента в исходное положение.

Существуют аналогичные обкатные машины и с механическим приводом. Тогда скорость перемещения суппорта задается программным барабаном, на котором фрезеруется паз для копирного ролика, перемещающего суппорт. Такая обкатная машина, изготовлена СКМЗ для ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича».

Для изготовления осесимметричных изделий из трубчатых заготовок по способу тангенциальной обкатки могут быть легко переоборудованы соответствующие металлорежущие станки, имеющие вращающийся шпиндель и поперечный суппорт. Эффективнее других для тангенциальной обкатки и для совмещения с ней ряда других технологических операций могут быть использованы токарные станки. При этом формирующий инструмент и отрезной резец с резцедержателем устанавливаются на поперечном суппорте станка так, чтобы резание начиналось сразу же по окончании обкатки. Чтобы предотвратить пробуксовку заготовки в кулачках патрона и ее смятие, на кулачках закрепляются наделки, увеличивающие контактную площадь. Целесообразнее всего станок оборудовать цанговым зажимным патроном с пневматическим приводом. Форма обкатного инструмента принимается в зависимости от формы заданного изделия.

Комплексная механизация и автоматизация многих технологических процессов, в том числе обработки металлов давлением, осуществляется на автоматических роторных линиях, разработанных и изученных Кошкиным Л.Н., Петрокасом Л.В., Клусовым И.А., Исером Б.Н. и другими учеными. Созданию автоматических роторных линий по производству изделия из трубчатых заготовок предшествует разработка схемы и технологии обкатки на роторе и проектирование рабочего ротора, обеспечивающего качественное выполнение технологических операций.

На рис. А.6 показан многошпиндельный автомат роторного типа для обкатки днищ и горловин на концах трубчатых заготовок. Автомат состоит из станины 2, узла крепления инструмента 6, установленного рядом со станиной, передней и задней опор 3 и 11, загрузочного 5 и шпиндельного 8 барабанов, жестко закрепленных на валу 13 ротора,

привода 1 ротора, привода шпинделей (шкив и зубчатая передача 12). К опоре 3 прикреплен конус 4 с программой работы загрузочных механизмов 7. К опоре 11 прикреплен копир 10 с программой работа зажимных кулачков шпиндельных узлов 9. Загрузочный и шпиндельный барабаны 5 и 8 смонтированы так, что оси загрузочных механизмов 7 совпадают с осями шпиндельных узлов 9. Узел 6 предусматривает возможность быстрой смены подготовленных инструментов поворотного барабана с инструментом в новое фиксированное положение. Автомат работает при непрерывном вращении ротора и шпинделей. Порядок работы механизмов автомата следующий. Трубочатая заготовка с нагретым под обточку концом через дозатор попадает на желоб одного из загрузочных механизмов 7. При дальнейшем вращении ротора конусный ролик загрузочного механизма находит копир 4, благодаря чему заготовка задается в шпиндель. После зажима заготовки цанговым патроном шпинделя, программа, которого задана копиром 10, конусный ролик возвращается в исходное положение.

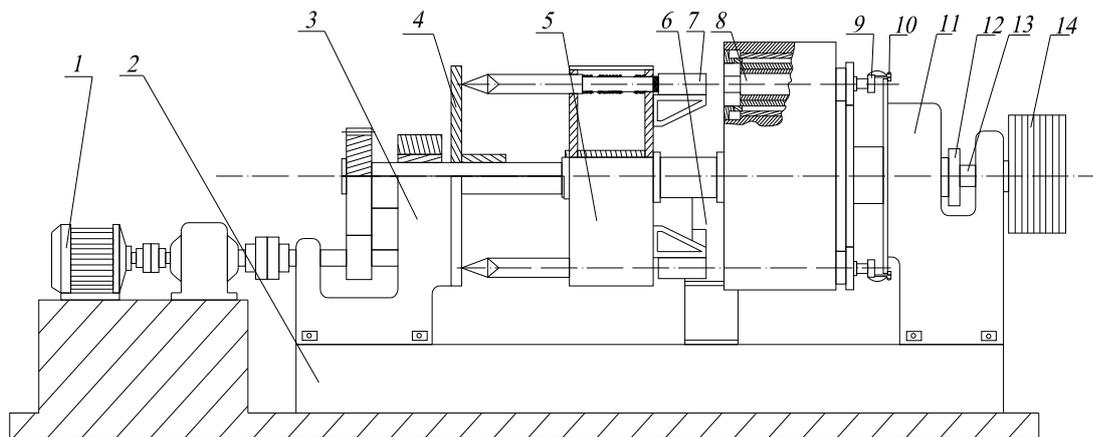


Рис. А.6. Многошпиндельный автомат роторного типа для обработки концов трубчатых заготовок

Загрузка следующей ячейки ротора осуществляется аналогично. Заготовка, закреплённая в шпинделе и вращающаяся вместе с ним, при дальнейшем движении по окружности ротора подходит к неподвижно закреплённому инструменту (узел 6), обкатывается об него, после чего разжимаются цанги зажимного патрона шпинделя и пружина шпинделя (на рисунке не показана), сжатая при заталкивании заготовки в шпиндель, выбрасывает заготовку на приемный желоб. В процессе обкатки возможно совмещение операций сварки, обрезки нагорячо, отрезки со снятием стружки и других по аналогии с тангенциальной обкаткой.

По классификации Кошкина Л.В., описанная обкатная машина относится к машинам 2-го класса, в которых обработка осуществляется в процессе непрерывного транспортирования заготовки через зону инструмента. Заметим, что для роторной обкатки трубчатых заголовков мо-

гут быть использованы многошпиндельные автоматы соответствующей мощности, предназначенные для обработки металлов резанием. Представляет практический интерес опыт обкатки концов труб сближающимися роликами. Конструкция такой машины разработана и испытана Первоуральским новотрубным заводом. Машина предназначена для обкатки горловин баллонов и может быть применена для обкатки других подобных изделий

План расположения оборудования и технологический поток участка для обкатки трубчатых заготовок во многом зависит от выбранного способа нагрева заготовок. Концы заготовок перед обкаткой можно нагревать в щелевых и очковых кузнечных печах с мазутным и газовым отоплением, с помощью индукторов ТВЧ, электроконтактным нагревом, ацетиленокислородным пламенем с помощью одно и многосопловых горелок.

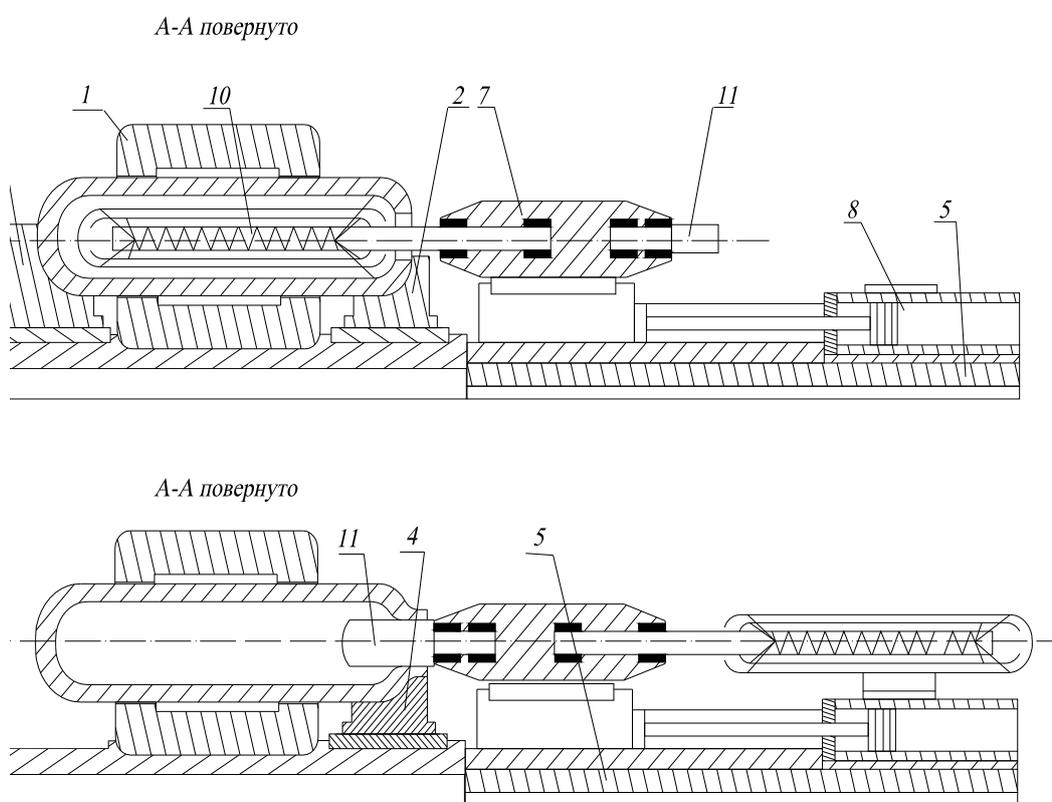


Рис. А.7. Схема установки

В массовом производстве бесшовных газовых баллонов из труб диаметром 219 мм и больше в качестве нагревательных устройств применяют главным образом щелевые печи, отапливаемые природным газом. Преимущества такого способа нагрева перед другими заключаются в следующем: в использовании самого дешевого вида топлива – газа; в возможности нагревать в одной печи заготовки разных диаметров, толщин стенок, марок сталей, конфигураций; разнотолщинность заготовок, допустимая техническими условиями на труба, не сказывается на перепаде температуры нагрева стенок; в возможности повторного нагрева частично

обкатанных заготовок, что позволяет исправлять переделный брак производства; в возможности механизации и автоматизации процесса нагрева и транспортировки заготовок через печи к обкатной машине.

Известны приспособления, позволяющие приблизить заготовку баллона к готовому изделию. Например, существует установка (АС № 914152), позволяющая при одновременном закатывании дна и горловины получить отверстие в горловине изделия, рис. А.7. Установка работает следующим образом. После нагревания заготовки до требуемой температуры ее помещают в шпindelь обкатной машины 1. После зажима заготовки в шпинделе механизма 1 упор 2 отводят в сторону, а стол 5 устройства с размещенными на нём секциями транспортёра 6, поворотной головкой 7 и приводом 8, перемещают с помощью привода 9 до совмещения оси поворотной головки 7 с осью заготовки.

Затем с помощью привода 8 поворотную головку, с закрепленными на ней оправками, смещают по направляющим вдоль оси заготовки, осуществляют введение внутрь заготовки оправки 10, которая содержит упругие элементы, например, набор пружинных пластин по типу рессор, обеспечивающих подпор стенки заготовки изнутри, включаются формующие инструменты 3 и 4. После обжатия днища и частично горловины баллона инструменты 3 и 4 отводят, а оправку 10 извлекают из баллона и поворотную головку при помощи привода 8 возвращают в исходное положение. Затем головку поворачивают вокруг своей вертикальной оси на 160° и с помощью привода 8 оправку 11 вводят в горловину баллона и включают в обкатку формующий инструмент 4 (рис. А.7,б). После окончания обкатки горловины баллона инструмент 4 отводят, поворотную головку 7 с помощью привода 8 тоже смещают от механизма 1, оправку 11 извлекают из горловины баллона. Стол 5 устройства с размещенным на нем транспортёром 6, головкой 7 и приводом 8 перемещают с помощью привода поперек оси обкатной машины до совмещения с ней оси трансформатора. Происходит разжим баллона в шпинделе обкатной машины и выталкивание его последующей заготовкой на транспортер 6 для транспортировки.

Приложение Б

Данные измерений отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона и их обработка методом математической статистики

Таблица Б.1

Данные измерений отклонений (в мм)

Номер измерения	Показания индикатора X, мм	Номер измерения	Показания индикатора X, мм
1	0,4	26	0,6
2	0,3	27	0,2
3	0,5	28	0,4
4	0,6	29	0,8
5	0,5	30	0,6
6	0,3	31	0,4
7	0,4	32	0,5
8	0,6	33	0,2
9	0,5	34	0,2
10	0,5	35	0,5
11	0,4	36	0,6
12	1,0	37	0,4
13	0,7	38	0,6
14	1,0	39	0,3
15	0,4	40	0,4
16	0,2	41	0,3
17	0,2	42	0,4
18	0,2	43	0,2
19	0,5	44	1,0
20	0,8	45	0,5
21	0,2	46	0,5
22	0,6	47	0,4
23	0,4	48	1,0
24	0,6	49	0,7
25	0,4	50	0,5

Данные измерения представляем в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при этом составляет $d = 0,1$, для каждого интервала подсчитываем частоту

m – количество значений, которые попали в данный интервал. В табл. Б.2 приведен ряд распределений величин, расположенный в порядке возрастания с указанием соответствующих частот.

Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных или в виде гистограммы распределения, можно перейти к оценке свойств кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица Б.2

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частость	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	0,2	0,3	0,25	8	0,16	8	0,16
2	0,3	0,4	0,35	13	0,26	21	0,42
3	0,4	0,5	0,45	12	0,24	33	0,66
4	0,5	0,6	0,55	7	0,14	40	0,80
5	0,6	0,7	0,65	4	0,8	44	0,88
6	0,7	0,8	0,75	2	0,2	46	0,92
7	0,8	0,9	0,85	4	0,8	50	1,00

Таблица Б.3

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	$[x-X]$	$(x - X)^2$	$(x - X)^2 m$
1	0,2	0,3	0,25	8	2	0,22	0,05	0,37
2	0,3	0,4	0,35	13	4,55	0,12	0,01	0,17
3	0,4	0,5	0,45	12	5,4	0,02	0,00	0,00
4	0,5	0,6	0,55	7	3,85	-0,08	0,01	0,05
5	0,6	0,7	0,65	4	2,6	-0,18	0,03	0,14
6	0,7	0,8	0,75	2	1,5	-0,28	0,08	0,16
7	0,8	0,9	0,85	4	3,4	-0,38	0,15	0,59
Σ				50	23,3			1,49

Среднее арифметическое значение X – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$X = 23,3 : 50 = 0,466.$$

Дисперсию S^2 определяем как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения X на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{1,49}{50}} = 0,1724 .$$

Закон нормального распределения.

Таблица Б.4

Расчетная таблица

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	t_i	z_i	m'_i	N'_i
1	0,2	0,3	0,25	8	-1,25	0,1849	5,36	5,36
2	0,3	0,4	0,35	14	-0,67	0,3209	9,30	14,66
3	0,4	0,5	0,45	12	-0,09	0,3973	11,52	26,18
4	0,5	0,6	0,55	8	0,49	0,3538	10,26	36,44
5	0,6	0,7	0,65	4	1,07	0,2251	6,53	42,97
6	0,7	0,8	0,75	2	1,65	0,103	2,99	45,95
7	0,8	0,9	0,85	4	2,23	0,0332	0,96	46,91

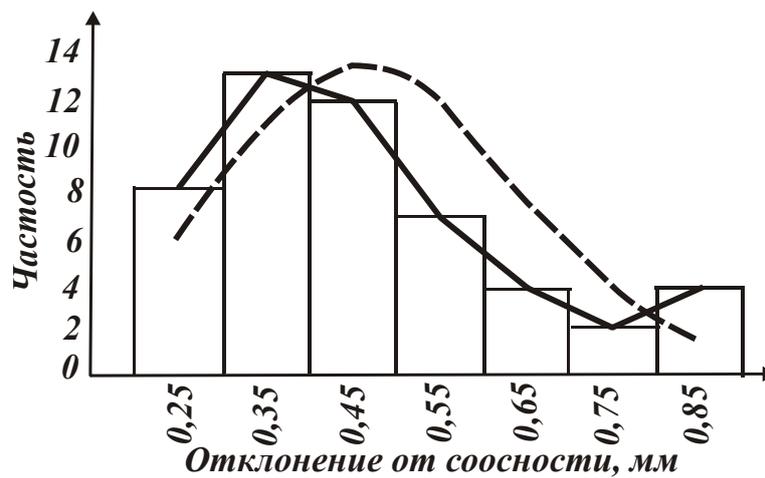


Рис. Б.1. Гистограмма и кривые распределения отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона X

Приложение В

Данные измерений отклонения оси пояска от оси цилиндрической части баллона и их обработка методом математической статистики

Таблица В.1

Данные измерений отклонений (в мм)

Номер измерения	Показания индикатора X, мм	Номер измерения	Показания индикатора X, мм
1	2	26	1,2
2	2,5	27	1,1
3	1,5	28	2
4	2	29	2,1
5	1,3	30	0,8
6	2	31	1,1
7	1	32	2
8	1	33	1,3
9	1	34	1
10	2	35	2,2
11	2	36	1,5
12	2	37	0,8
13	0,9	38	2
14	2,2	39	1
15	1	40	1
16	0,8	41	2
17	1,3	42	0,9
18	1,5	43	2
19	0,8	44	1,3
20	2,1	45	1
21	1,2	46	2
22	1,1	47	2
23	1,1	48	1,5
24	2	49	2
25	2	50	2,5

Данные измерения представляем в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при этом составляет $d = 0,2$, для каждого интервала подсчитываем частоту m – количе-

ство значений, которые попали в данный интервал. В табл. В.2 приведен ряд распределений величин, расположенный в порядке возрастания с указанием соответствующих частот.

Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных или в виде гистограммы распределения, можно перейти к оценке свойств кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица В.2

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частость	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	0,8	1,0	0,9	3	0,60	3	0,6
2	1,0	1,2	1,1	6	0,12	9	0,18
3	1,2	1,4	1,3	10	0,20	19	0,38
4	1,4	1,6	1,5	13	0,26	32	0,64
5	1,6	1,8	1,7	10	0,20	42	0,84
6	1,8	2,0	1,9	6	0,12	48	0,96
7	2,0	2,2	2,1	2	0,40	50	1,00

Таблица В.3

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	[x-X]	(x - X) ²	(x - X) ²
1	0,8	1	0,9	3	2,7	0,59	0,35	1,04
2	1	1,2	1,1	6	6,6	0,39	0,15	0,90
3	1,2	1,4	1,3	10	13	0,19	0,04	0,35
4	1,4	1,6	1,5	13	19,5	-0,01	0,00	0,00
5	1,6	1,8	1,7	10	17	-0,21	0,04	0,45
6	1,8	2	1,9	6	11,4	-0,41	0,17	1,02
7	2	2,2	2,1	2	4,2	-0,61	0,37	0,75
Σ				50	74,4			4,51

Среднее арифметическое значение \bar{X} – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$\bar{X} = 36,1 : 50 = 0,722$$

Дисперсию S^2 определим как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего

арифметического значения X на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{1,84}{50}} = 0,3$$

Закон нормального распределения.

Таблица В.4

Расчетная таблица

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	t_i	z_i	m'_i	N'_i
1	0,8	1	0,9	3	-1,96	0,0584	1,94	1,94
2	1	1,2	1,1	6	-1,29	0,1736	5,78	7,72
3	1,2	1,4	1,3	10	-0,63	0,3271	10,89	18,61
4	1,4	1,6	1,5	13	0,04	0,3986	13,27	31,88
5	1,6	1,8	1,7	10	0,71	0,3101	10,32	42,20
6	1,8	2	1,9	6	1,37	0,1561	5,20	47,40
7	2	2,2	2,1	2	2,04	0,0498	1,66	49,05

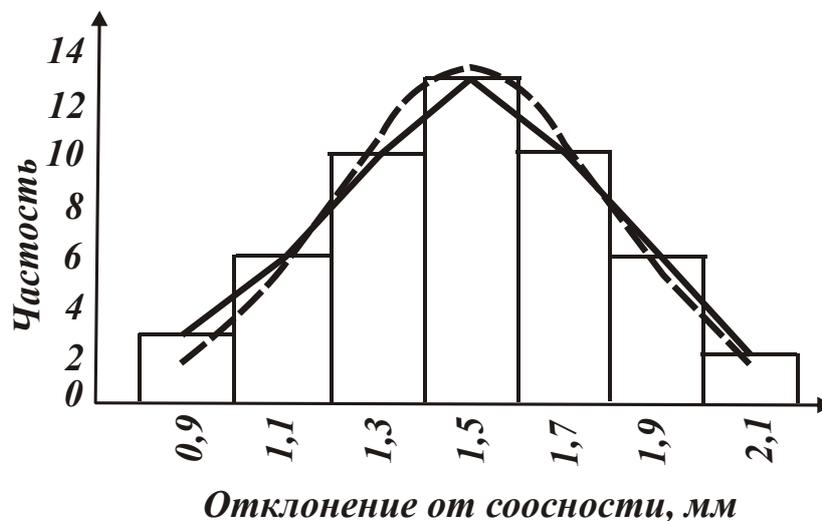


Рис. В.1. Гистограмма и кривые распределения отклонения оси по-
 яска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1

Приложение Г

Данные измерений точности формы сферической поверхности горловины баллона на $\varnothing 70$ мм и их обработка методом математической статистики

Таблица Г.1

Данные измерений отклонений (в мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	0,36	26	0,76
2	0,66	27	1,00
3	0,37	28	0,32
4	0,20	29	0,34
5	0,22	30	0,67
6	1,13	31	0,97
7	0,38	32	0,45
8	0,52	33	0,82
9	0,39	34	0,31
10	1,21	35	0,69
11	0,40	36	0,46
12	0,75	37	0,94
13	0,27	38	0,58
14	0,54	39	0,47
15	0,30	40	0,79
16	1,24	41	0,48
17	0,41	42	0,61
18	0,55	43	0,49
19	0,42	44	0,87
20	0,24	45	0,63
21	0,33	46	0,92
22	0,73	47	0,72
23	0,43	48	0,64
24	0,57	49	0,77
25	0,44	50	0,63

Данные измерения представляем в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при этом составляет $d = 0,15$, для каждого интервала подсчитываем частоту m – количе-

ство значений, которые попали в данный интервал. В табл. Г.2 приведен ряд распределений величин, расположенных в порядке возрастания с указанием соответствующих частот.

Таблица Г.2

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частота	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	0,20	0,35	0,28	9	0,18	9	0,18
2	0,35	0,50	0,43	14	0,28	23	0,46
3	0,50	0,65	0,58	8	0,16	31	0,62
4	0,65	0,80	0,73	10	0,2	41	0,82
5	0,80	0,95	0,88	4	0,08	45	0,90
6	0,95	1,10	1,03	2	0,04	47	0,91
7	1,10	1,25	1,18	3	0,06	50	1,00

Представив результаты эксперимента в виде гистограммы распределения, оценим свойства кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица Г.3

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	[x-X]	(x - X) ²	(x - X) ² m
1	0,2	0,35	0,28	9	2,52	0,31	0,10	0,88
2	0,35	0,5	0,43	14	6,02	0,16	0,03	0,37
3	0,5	0,65	0,58	8	4,64	0,01	0,00	0,00
4	0,65	0,8	0,73	10	7,3	-0,14	0,02	0,19
5	0,8	0,95	0,88	4	3,52	-0,29	0,08	0,33
6	0,95	1,1	1,03	2	2,06	-0,44	0,19	0,38
7	1,1	1,25	1,18	3	3,54	-0,59	0,35	1,04
Σ				50	29,6			3,19

Среднее арифметическое значение \bar{X} – это частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$\bar{X} = 29,6 : 50 = 0,592.$$

Дисперсию S^2 определим как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения \bar{X} на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{3,19}{50}} = 0,2525.$$

Закон эксцентриситета (закон Релея). Имея опытные данные величин отклонения от соосности, проверим соответствие опытных данных закону эксцентриситета, отражающего распределение положительных величин.

Таблица Г.4

Расчетная таблица

№	Интервал		Частота m	$R_{\text{иб}} / \sigma$	F(R)	f' / n	f'
1	0,2	0,35	0,28	0,91	0,3390	0,21	10
2	0,35	0,5	0,43	1,30	0,5704	0,23	11,5
3	0,5	0,65	0,58	1,69	0,7602	0,19	9,5
4	0,65	0,8	0,73	2,08	0,8850	0,13	6,5
5	0,8	0,95	0,88	2,47	0,9527	0,06	3,0
6	0,95	1,1	1,03	2,86	0,9833	0,03	1,5
7	1,1	1,25	1,18	3,25	0,9949	0,01	0,5

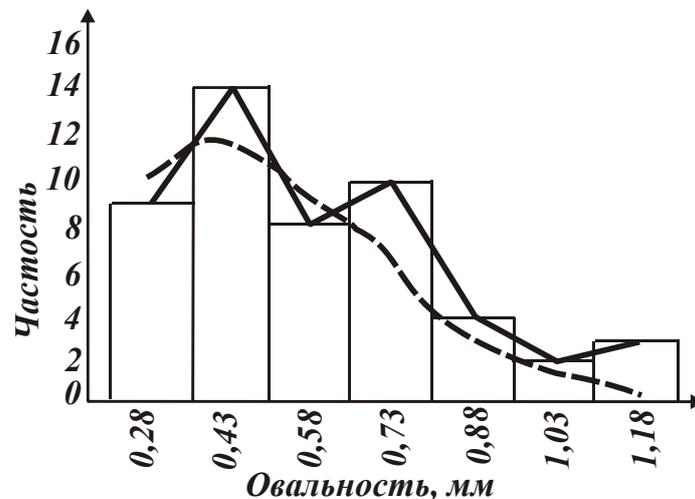


Рис. Г.1. Гистограмма и кривые распределения величины овальности сферической части горловины баллона на диаметре 70 мм

Приложение Д

Данные измерений диаметров отверстий в горловинах баллонов после рассверливания по базовому технологическому процессу и их обработка методом математической статистики

Таблица Д.1

Данные измерений овальности отверстий горловин баллонов после рассверливания (в мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	0,2	26	0,2
2	0,5	27	0,7
3	0,2	28	0,0
4	0,4	29	0,2
5	0,2	30	0,2
6	0,6	31	0,5
7	0,3	32	0,1
8	0,1	33	0,3
9	0,1	34	0,4
10	0,3	35	0,2
11	0,0	36	0,5
12	0,5	37	0,2
13	0,1	38	0,3
14	0,1	39	0,2
15	0,5	40	0,6
16	0,2	41	0,1
17	0,0	42	0,1
18	0,2	43	0,0
19	0,7	44	0,5
20	0,2	45	0,1
21	0,2	46	0,6
22	0,2	47	0,1
23	0,5	48	0,3
24	0,4	49	0,3
25	0,2	50	0,1

Данные измерения представляем в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частот.

Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при этом составляет $d = 0,1$, для каждого интервала подсчитываем частоту m – количество значений, которые попали в данный интервал. В табл. Д.2 приведен ряд распределений величин, расположенный в порядке возрастания с указанием соответствующих частот.

Таблица Д.2

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частость	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	0,0	0,1	0,05	3	0,06	3	0,06
2	0,1	0,2	0,15	10	0,20	13	0,26
3	0,2	0,3	0,25	15	0,30	28	0,56
4	0,3	0,4	0,35	9	0,16	37	0,74
5	0,4	0,5	0,45	7	0,14	44	0,88
6	0,5	0,6	0,55	3	0,06	48	0,96
7	0,6	0,7	0,65	2	0,04	50	0,10

Представив результаты эксперимента в виде гистограммы распределения, можно перейти к оценке свойств кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица Д.3

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	$[x-X]$	$(x - X)^2$	$(x - X)^2 m$
1	0	0,1	0,05	3	0,15	0,25	0,06	0,19
2	0,1	0,2	0,15	10	1,5	0,15	0,02	0,22
3	0,2	0,3	0,25	15	3,75	0,05	0,00	0,04
4	0,3	0,4	0,35	9	3,15	-0,05	0,00	0,02
5	0,4	0,5	0,45	7	3,15	-0,15	0,02	0,16
6	0,5	0,6	0,55	3	1,65	-0,25	0,06	0,19
7	0,6	0,7	0,65	2	1,3	-0,35	0,12	0,25
Σ				50	14,65			1,06

Среднее арифметическое значение X – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$X = 14,65 : 50 = 0,29898.$$

Дисперсию S^2 определим как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения X на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{1,06}{50}} = 0,14577.$$

Закон нормального распределения.

Таблица Д.4

Расчетная таблица

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	t_i	z_i	m'_i	N'_i
1	0	0,1	0,05	3	-1,71	0,0925	3,17	3,17
2	0,1	0,2	0,15	10	-1,02	0,2372	8,14	11,31
3	0,2	0,3	0,25	15	-0,34	0,3765	12,91	24,22
4	0,3	0,4	0,35	9	0,35	0,3752	12,87	37,09
5	0,4	0,5	0,45	7	1,04	0,2323	7,97	45,06
6	0,5	0,6	0,55	3	1,72	0,0909	3,12	48,18
7	0,6	0,7	0,65	2	2,41	0,0219	0,75	48,93

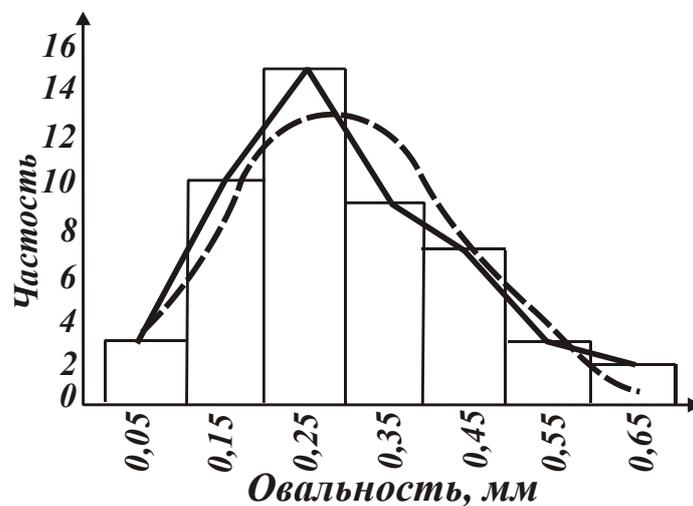


Рис. Д.1. Гистограмма и кривые распределений овальности отверстия после рассверливания

Таблица Д.5

Данные измерений минимального диаметра отверстий горловин баллонов после рассверливания (в мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	22	26	22,3
2	22	27	22,2
3	22,5	28	22,7
4	22,2	29	21,7
5	22,4	30	22
6	22,1	31	22,4
7	22,2	32	22
8	22,5	33	22,2
9	21,5	34	22,2
10	22,1	35	22
11	22	36	22
12	22,1	37	22,5
13	22	38	22,1
14	22,6	39	22,4
15	22,4	40	22,1
16	21,7	41	22,5
17	22,7	42	21,5
18	22	43	22
19	22,2	44	22,1
20	22,3	45	22,6
21	22	46	22,1
22	22,5	47	22,5
23	22	48	22,2
24	22,2	49	22,1
25	22,4	50	21,5

Таблица Д.6

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частота	Накопленные частоты	Накопленные частоты
					стость		
1	21,4	21,6	21,5	3	0,06	3	0,06
2	21,6	21,8	21,7	2	0,04	5	0,10
3	21,8	22,0	21,9	12	0,24	17	0,34
4	22,0	22,2	22,1	16	0,32	33	0,66
5	22,2	22,4	22,3	7	0,14	40	0,80
6	22,4	22,6	22,5	8	0,16	48	0,96
7	22,6	22,8	22,7	2	0,04	50	1,00

Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных или в виде гистограммы распределения, можно перейти к оценке свойств кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица Д.7

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	[x-X]	$(x - X)^2$	$(x - X)^2 m$
1	21,4	21,6	21,5	3	64,5	0,62	0,38	1,14
2	21,6	21,8	21,7	2	43,4	0,42	0,17	0,35
3	21,8	22	21,9	12	262,8	0,22	0,05	0,56
4	22	22,2	22,1	16	353,6	0,02	0,00	0,00
5	22,2	22,4	22,3	7	156,1	-0,18	0,03	0,24
6	22,4	22,6	22,5	8	180	-0,38	0,15	1,18
7	22,6	22,8	22,7	2	45,4	-0,58	0,34	0,68
Σ				50	1105,8			4,15

Таблица Д.8

Расчетная таблица

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	t_i	z_i	m'_i	N'_i
1	21,4	21,6	21,5	3	-2,14	0,0404	1,40	1,40
2	21,6	21,8	21,7	2	-1,44	0,1435	4,98	6,39
3	21,8	22	21,9	12	-0,75	0,3011	10,45	16,84
4	22	22,2	22,1	16	-0,06	0,3982	13,83	30,67
5	22,2	22,4	22,3	7	0,64	0,3251	11,29	41,95
6	22,4	22,6	22,5	8	1,33	0,1647	5,72	47,67
7	22,6	22,8	22,7	2	2,03	0,0508	1,76	49,44

Среднее арифметическое значение X – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$X = 1105,8 : 50 = 22,116.$$

Дисперсию S^2 определяют как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения X на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{4,15}{50}} = 0,288.$$

Закон нормального распределения.

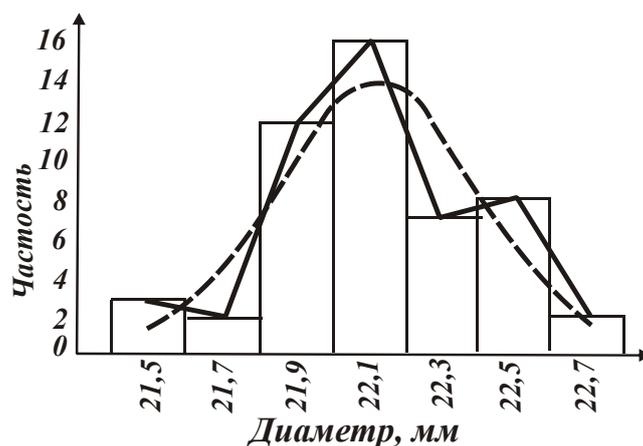


Рис. Д.2. Гистограмма и кривые распределений наименьшего диаметра отверстия после рассверливания

Таблица Д.9

Данные измерений максимального диаметра отверстий горловин баллонов после рассверливания (в мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	22,2	26	22,5
2	22,5	27	22,9
3	22,7	28	22,7
4	22,6	29	21,9
5	22,6	30	22,2
6	22,7	31	22,9
7	22,5	32	22,1
8	22,6	33	22,5
9	21,6	34	22,6
10	22,4	35	22,2
11	22,0	36	22,5
12	22,6	37	22,7
13	22,1	38	22,4
14	22,7	39	22,6
15	22,9	40	22,7
16	21,9	41	22,6
17	22,7	42	21,6
18	22,2	43	22,0
19	22,9	44	22,6
20	22,5	45	22,7
21	22,2	46	22,7
22	22,7	47	22,6
23	22,5	48	22,5
24	22,6	49	22,4
25	22,6	50	21,6

Таблица Д.10

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частота	Накопленные частоты	Накопленные частоты
					стость		
1	21,6	21,8	21,7	3	0,06	3	0,06
2	21,8	22,0	21,9	4	0,08	7	0,14
3	22,0	22,2	22,1	7	0,14	14	0,28
4	22,2	22,4	22,3	3	0,06	17	0,34
5	22,4	22,6	22,5	19	0,28	36	0,68
6	22,6	22,8	22,7	10	0,20	46	0,92
7	22,8	23	22,9	4	0,08	50	1,00

Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных и в виде гистограммы распределения, можно перейти к оценке свойств кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица Д.11

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	$[x-X]$	$(x-X)^2$	$(x-X)^2 m$
1	21,6	21,8	21,7	3	65,1	0,71	0,50	1,50
2	21,8	22	21,9	4	87,6	0,51	0,26	1,03
3	22	22,2	22,1	7	154,7	0,31	0,09	0,66
4	22,2	22,4	22,3	3	66,9	0,11	0,01	0,03
5	22,4	22,6	22,5	19	427,5	-0,09	0,01	0,16
6	22,6	22,8	22,7	10	227	-0,29	0,09	0,85
7	22,8	23	22,9	4	91,6	-0,49	0,24	0,97
Σ				50	1120,4			5,22

Таблица Д.12

Расчетная таблица

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	t_i	z_i	m'_i	N'_i
1	21,6	21,8	21,7	3	-2,19	0,0363	1,12	1,12
2	21,8	22	21,9	4	-1,57	0,1163	3,60	4,72
3	22	22,2	22,1	7	-0,95	0,2541	7,87	12,59
4	22,2	22,4	22,3	3	-0,33	0,3778	11,70	24,29
5	22,4	22,6	22,5	19	0,28	0,3836	11,88	36,16
6	22,6	22,8	22,7	10	0,90	0,2661	8,24	44,40
7	22,8	23	22,9	4	1,52	0,1257	3,89	48,29

Среднее арифметическое значение X – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$X = 1120,4 : 50 = 22,408 .$$

Дисперсию S^2 определим как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения X на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{5,22}{50}} = 0,323 .$$

Закон нормального распределения.

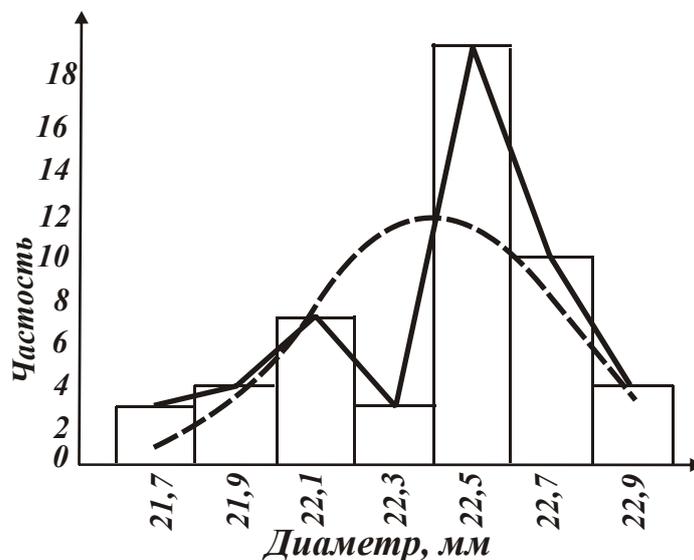


Рис. Д.3. Гистограмма и кривые распределений наибольшего диаметра отверстия после рассверливания

Приложение Е

Данные измерений отклонений от соосности горловины баллона диаметром 48 мм и отверстия в нем после рассверливания по базовому технологическому процессу и их обработки методом математической статистики

Таблица Е.1

Данные измерений отклонений (в мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	0,16	26	0,42
2	0,54	27	0,77
3	0,25	28	0,34
4	0,52	29	0,33
5	0,56	30	0,79
6	0,35	31	0,24
7	0,23	32	0,32
8	0,48	33	0,48
9	0,36	34	0,74
10	0,50	35	0,43
11	0,37	36	0,31
12	0,41	37	0,71
13	0,58	38	0,44
14	0,91	39	0,17
15	0,59	40	0,33
16	0,40	41	0,34
17	0,65	42	0,18
18	0,22	43	0,35
19	0,64	44	0,38
20	0,63	45	0,36
21	0,39	46	0,46
22	0,62	47	0,19
23	0,61	48	0,67
24	0,89	49	0,68
25	1,02	50	1,10

Данные измерения представляем в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при этом состав-

ляет $d = 0,15$, для каждого интервала подсчитываем частоту m – количество значений, которые попали в данный интервал. В табл. Е.2 приведен ряд распределений величин, расположенный в порядке возрастания с указанием соответствующих частот.

Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных и в виде гистограммы распределения, можно перейти к оценке свойств кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица Е.2

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частость	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	0,15	0,30	0,22	9	0,18	9	0,18
2	0,30	0,45	0,37	18	0,36	27	0,54
3	0,45	0,60	0,52	8	0,16	32	0,64
4	0,60	0,75	0,67	9	0,18	44	0,88
5	0,75	0,90	0,82	3	0,06	47	0,94
6	0,90	1,05	0,97	2	0,04	49	0,98
7	1,05	1,20	1,12	1	0,02	50	1

Таблица Е.3

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	$[x-X]$	$(x - X)^2$	$(x - X)^2 m$
1	0,15	0,3	0,22	9	1,98	0,27	0,07	0,64
2	0,3	0,45	0,37	18	6,66	0,12	0,01	0,25
3	0,45	0,6	0,52	8	4,16	-0,03	0,00	0,01
4	0,6	0,75	0,67	9	6,03	-0,18	0,03	0,30
5	0,75	0,9	0,82	3	2,46	-0,33	0,11	0,33
6	0,9	1,05	0,97	2	1,94	-0,48	0,23	0,47
7	1,05	1,2	1,12	1	1,12	-0,63	0,40	0,40
Σ				50	24,35			2,40

Расчетная таблица

№	Интервал		Частота m	$R_{\text{и6}} / \sigma$	F(R)	f' / n	f'
1	0,15	0,3	9	0,90	0,25	0,25	12,5
2	0,3	0,45	18	1,35	0,5704	0,32	16,0
3	0,45	0,6	8	1,80	0,7602	0,19	9,5
4	0,6	0,75	9	2,25	0,885	0,13	6,5
5	0,75	0,9	3	2,69	0,9527	0,06	3,0
6	0,9	1,05	2	3,14	0,9833	0,03	1,5
7	1,05	1,2	1	3,59	0,9949	0,01	0,5

Среднее арифметическое значение X – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$X = 24,35 : 50 = 0,487.$$

Дисперсию S^2 определим как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения X на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{2,4}{50}} = 0,219; \quad S = 0,219.$$

Закон эксцентриситета (закон Релея). Имея опытные данные величин отклонения от соосности, проверим соответствие опытных данных закону эксцентриситета, отражающего распределение существенно положительных величин.

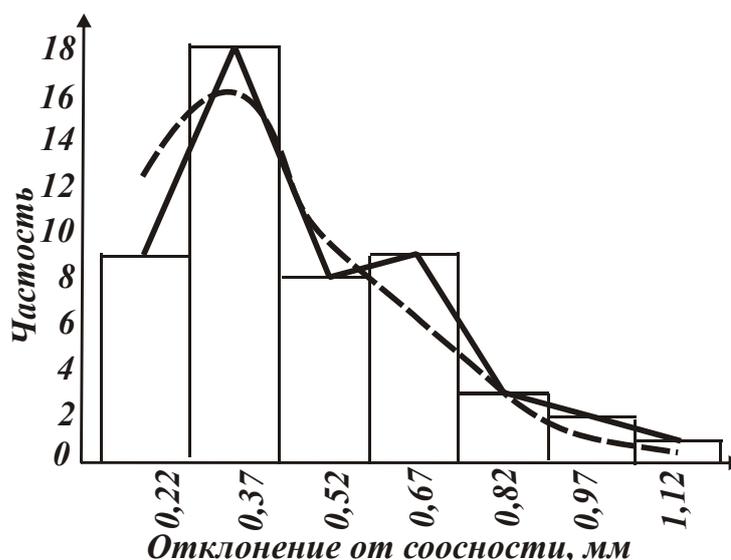


Рис. Е.1. Гистограмма и кривые распределения величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после сверливания

Приложение Ж

Данные измерений отклонений от соосности горловины баллона диаметром 48 мм и отверстия в нем после зенкерования по базовому технологическому процессу и их обработки методом математической статистики

Таблица Ж.1

Данные измерений отклонений (в мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	0,2	26	0,2
2	0,5	27	0,7
3	0,2	28	0,0
4	0,4	29	0,2
5	0,2	30	0,2
6	0,6	31	0,5
7	0,3	32	0,1
8	0,1	33	0,3
9	0,1	34	0,4
10	0,3	35	0,2
11	0,0	36	0,5
12	0,5	37	0,2
13	0,1	38	0,3
14	0,1	39	0,2
15	0,5	40	0,6
16	0,2	41	0,1
17	0,0	42	0,1
18	0,2	43	0,0
19	0,7	44	0,5
20	0,2	45	0,1
21	0,2	46	0,6
22	0,2	47	0,1
23	0,5	48	0,3
24	0,4	49	0,3
25	0,2	50	0,1

Данные измерения представляем в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при

этом составляет $d = 0,1$, для каждого интервала подсчитываем частоту m – количество значений, которые попали в данный интервал. В табл. Ж.2 приведен ряд распределений величин, расположенный в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Такая таблица носит название таблицы сгруппированных данных.

Таблица Ж.2

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частота	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	0,0	0,1	0,05	3	0,06	3	0,06
2	0,1	0,2	0,15	10	0,20	13	0,26
3	0,2	0,3	0,25	15	0,30	28	0,56
4	0,3	0,4	0,35	9	0,16	37	0,74
5	0,4	0,5	0,45	7	0,14	44	0,88
6	0,5	0,6	0,55	3	0,06	48	0,96
7	0,6	0,7	0,65	2	0,04	50	0,10

Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных или в виде гистограммы распределения, можно перейти к оценке свойств кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица Ж.3

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	$[x-X]$	$(x - X)^2$	$(x - X)^2 m$
1	0	0,1	0,05	3	0,15	0,25	0,06	0,19
2	0,1	0,2	0,15	10	1,5	0,15	0,02	0,22
3	0,2	0,3	0,25	15	3,75	0,05	0,00	0,04
4	0,3	0,4	0,35	9	3,15	-0,05	0,00	0,02
5	0,4	0,5	0,45	7	3,15	-0,15	0,02	0,16
6	0,5	0,6	0,55	3	1,65	-0,25	0,06	0,19
7	0,6	0,7	0,65	2	1,3	-0,35	0,12	0,25
Σ				50	14,65			1,06

Среднее арифметическое значение X – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$X = 14,65 : 50 = 0,29898.$$

Дисперсию S^2 определяют как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего

арифметического значения X на соответствующие частоты, квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{1,06}{50}} = 0,14577.$$

Закон нормального распределения.

Таблица Ж.4

Расчетная таблица

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	t_i	z_i	m'_i	N'_i
1	0	0,1	0,05	3	-1,71	0,0925	3,17	3,17
2	0,1	0,2	0,15	10	-1,02	0,2372	8,14	11,31
3	0,2	0,3	0,25	15	-0,34	0,3765	12,91	24,22
4	0,3	0,4	0,35	9	0,35	0,3752	12,87	37,09
5	0,4	0,5	0,45	7	1,04	0,2323	7,97	45,06
6	0,5	0,6	0,55	3	1,72	0,0909	3,12	48,18
7	0,6	0,7	0,65	2	2,41	0,0219	0,75	48,93

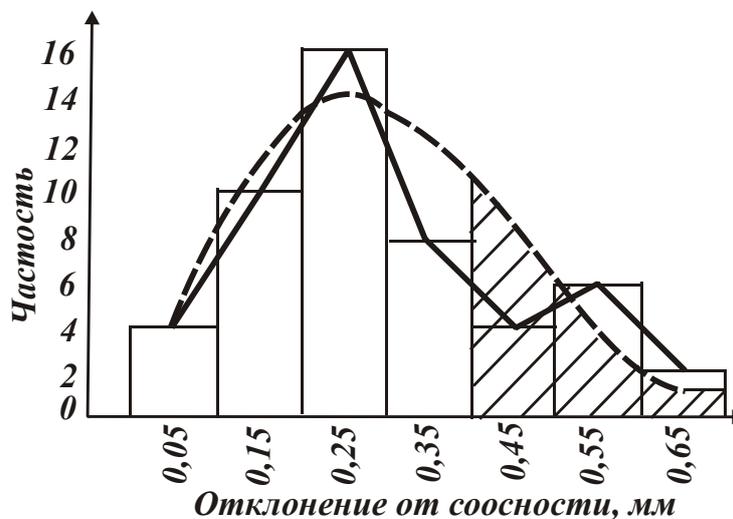


Рис. Ж.1. Гистограмма и кривые распределения величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после зенкерования

Приложение И

Данные измерений отклонений торца горловины баллона от основной поверхности и их обработки методом математической статистики

Таблица И.1

Данные измерений отклонений (в мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	-0,30	26	0,50
2	0,75	27	0,90
3	-0,10	28	0,45
4	0,30	29	0,90
5	0,20	30	0,50
6	0,80	31	-0,20
7	-0,30	32	0,00
8	0,50	33	0,80
9	0,30	34	0,40
10	-0,10	35	0,60
11	0,75	36	-0,20
12	0,55	37	0,55
13	0,20	38	0,50
14	0,85	39	0,10
15	0,30	40	1,10
16	-0,20	41	0,35
17	0,95	42	-0,20
18	0,65	43	1,00
19	1,10	44	0,50
20	0,25	45	0,95
21	0,80	46	0,10
22	1,00	47	0,95
23	0,35	48	1,10
24	0,85	49	-0,3
25	0,40	50	0,50

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частота	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	-0,40	-0,18	-0,29	6	0,12	6	0,12
2	-0,18	0,04	-0,07	2	0,04	8	0,16
3	0,04	0,26	0,15	6	0,12	14	0,28
4	0,26	0,48	0,37	8	0,16	22	0,44
5	0,48	0,70	0,59	11	0,22	33	0,66
6	0,70	0,92	0,81	9	0,18	42	0,84
7	0,92	1,14	1,03	8	0,16	50	1,00

Данные измерения представляем в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при этом составляет $d = 0,22$, для каждого интервала подсчитываем частоту m – количество значений, которые попали в данный интервал. В табл. И.2 приведен ряд распределений величин, расположенный в порядке возрастания с указанием соответствующих частот.

Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных и в виде гистограммы распределения, перейдем к оценке свойств кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	$[x-X]$	$(x-X)^2$	$(x-X)^2m$
1	-0,4	-0,18	-0,29	6	-1,74	0,77	0,59	3,56
2	-0,18	0,04	-0,07	2	-0,14	0,55	0,30	0,61
3	0,04	0,26	0,15	6	0,9	0,33	0,11	0,65
4	0,26	0,48	0,37	8	2,96	0,11	0,01	0,10
5	0,48	0,7	0,59	11	6,49	-0,11	0,01	0,13
6	0,7	0,92	0,81	9	7,29	-0,33	0,11	0,98
7	0,92	1,14	1,03	8	8,24	-0,55	0,30	2,42
Σ				50	24			8.45

Среднее арифметическое значение \bar{X} – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$\bar{X} = 24 : 50 = 0,48.$$

Дисперсию S^2 определим как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения \bar{X} на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{8,45}{50}} = 0,411.$$

Закон нормального распределения.

Таблица И.4

Расчетная таблица

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	t_i	z_i	m'_i	N'_i
1	-0,4	-0,18	-0,29	6	-1,87	0,0694	1,86	1,86
2	-0,18	0,04	-0,07	2	-1,34	0,1624	4,35	6,20
3	0,04	0,26	0,15	6	-0,80	0,2709	7,25	13,45
4	0,26	0,48	0,37	8	-0,27	0,3856	10,32	23,77
5	0,48	0,7	0,59	11	0,27	0,3856	10,32	34,10
6	0,7	0,92	0,81	9	0,80	0,2897	7,75	41,85
7	0,92	1,14	1,03	8	1,34	0,1624	4,35	46,20

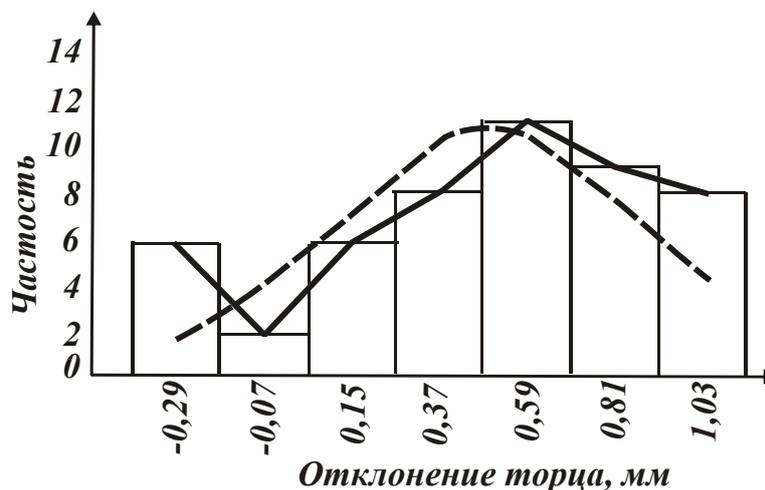


Рис. И.1. Гистограмма и кривые распределения величины отклонения торца горловины баллона от основной поверхности

Приложение К

Данные измерений диаметра наружной поверхности горловины баллона и их обработки методом математической статистики

Таблица К.1

Данные измерений диаметра наружной поверхности горловины баллона (мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	47,61	26	47,46
2	47,62	27	47,73
3	47,42	28	47,38
4	47,86	29	47,47
5	47,21	30	47,58
6	47,52	31	47,59
7	47,63	32	47,32
8	47,45	33	47,69
9	47,22	34	47,57
10	47,64	35	47,72
11	47,41	36	47,33
12	47,57	37	47,68
13	47,65	38	47,53
14	47,27	39	47,74
15	47,51	40	47,31
16	47,67	41	47,54
17	47,44	42	47,55
18	47,83	43	47,36
19	47,34	44	47,55
20	47,82	45	47,79
21	47,56	46	47,52
22	47,66	47	47,77
23	47,34	48	47,37
24	47,49	49	47,53
25	47,88	50	47,76

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частость	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	47,2	47,3	47,25	3	0,06	3	0,06
2	47,3	47,4	47,35	8	0,16	11	0,22
3	47,4	47,5	47,45	7	0,14	18	0,36
4	47,5	47,6	47,55	13	0,26	31	0,62
5	47,6	47,7	47,65	9	0,18	40	0,80
6	47,7	47,8	47,75	6	0,12	46	0,92
7	47,8	47,9	47,85	4	0,08	50	1

Данные измерения представим в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частостей. Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при этом составляет $d = 0,1$, для каждого интервала подсчитываем частоту m – количество значений, которые попали в данный интервал. В табл. К.2 приведен ряд распределений величин, расположенный в порядке возрастания с указанием соответствующих частот.

Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных и в виде гистограммы распределения, перейдем к оценке свойств кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	X_m	$[x-X]$	$(x - X)^2$	$(x - X)^2 m$
1	47,2	47,3	47,25	3	141,75	0,30	0,09	0,27
2	47,3	47,4	47,35	8	378,8	0,20	0,04	0,33
3	47,4	47,5	47,45	7	332,15	0,10	0,01	0,07
4	47,5	47,6	47,55	13	618,15	0,00	0,00	0,00
5	47,6	47,7	47,65	9	428,85	-0,10	0,01	0,09
6	47,7	47,8	47,75	6	286,5	-0,20	0,04	0,24
7	47,8	47,9	47,85	4	191,4	-0,30	0,09	0,36
Σ				50	2377,6			1,35

Среднее арифметическое значение X – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$X = 2377,6 : 50 = 47,552.$$

Дисперсию S^2 определим как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения X на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{1,35}{50}} = 0,164305.$$

Закон нормального распределения.

Таблица К.4

Расчетная таблица

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	t_i	z_i	m'_i	N'_i
1	47,2	47,3	47,25	3	-1,84	0,0734	2,23	2,23
2	47,3	47,4	47,35	8	-1,23	0,1872	5,70	7,93
3	47,4	47,5	47,45	7	-0,62	0,3292	10,02	17,95
4	47,5	47,6	47,55	13	-0,01	0,3989	12,14	30,09
5	47,6	47,7	47,65	9	0,60	0,3332	10,14	40,23
6	47,7	47,8	47,75	6	1,21	0,1919	5,84	46,07
7	47,8	47,9	47,85	4	1,81	0,0775	2,36	48,43

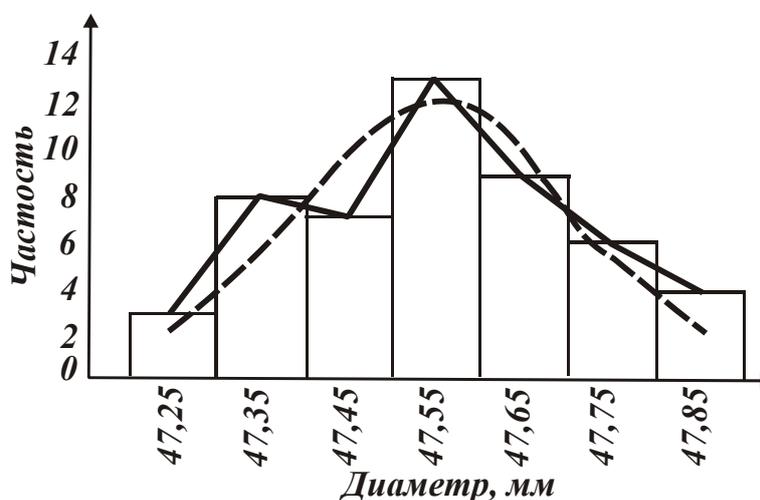


Рис. К.1. Гистограмма и кривые распределения диаметра наружной поверхности горловины баллона

Приложение Л

Данные измерений отклонений от соосности горловины баллона диаметром 48 мм и отверстия в нем после рассверливания по разработанному технологическому процессу и их обработки методом математической статистики

Таблица Л.1

Данные измерений отклонений (в мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	0,10	26	0,02
2	0,04	27	0,04
3	0,06	28	0,06
4	0,02	29	0,00
5	0,08	30	0,04
6	0,04	31	0,04
7	0,00	32	0,02
8	0,02	33	0,12
9	0,06	34	0,06
10	0,02	35	0,02
11	0,04	36	0,00
12	0,06	37	0,04
13	0,00	38	0,08
14	0,02	39	0,02
15	0,04	40	0,04
16	0,10	41	0,02
17	0,02	42	0,12
18	0,00	43	0,04
19	0,04	44	0,00
20	0,06	45	0,12
21	0,08	46	0,02
22	0,02	47	0,08
23	0,06	48	0,06
24	0,00	49	0,04
25	0,04	50	0,12

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частота	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	0,00	0,01	0,01	8	0,16	8	0,16
2	0,01	0,03	0,02	11	0,22	19	0,38
3	0,03	0,05	0,04	13	0,26	32	0,64
4	0,05	0,07	0,06	8	0,16	40	0,8
5	0,07	0,09	0,08	4	0,08	44	0,88
6	0,09	0,11	0,10	2	0,04	46	0,92
7	0,11	0,13	0,12	4	0,08	50	1

Данные измерения представим в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при этом составляет $d = 0,02$, для каждого интервала подсчитываем частоту m – количество значений, которые попали в данный интервал. В табл. Л.2 приведен ряд распределений величин, расположенный в порядке возрастания с указанием соответствующих частот.

Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных и в виде гистограммы распределения, перейдем к оценке свойств кривых распределения.

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	$[x-X]$	$(x - X)^2$	$(x - X)^2 m$
1	0,00	0,01	0,01	8	0,08	0,04	0,00	0,01
2	0,01	0,03	0,02	11	0,22	0,03	0,00	0,01
3	0,03	0,05	0,04	13	0,52	0,01	0,00	0,00
4	0,05	0,07	0,06	8	0,48	-0,01	0,00	0,00
5	0,07	0,09	0,08	4	0,32	-0,03	0,00	0,00
6	0,09	0,11	0,10	2	0,2	-0,05	0,00	0,01
7	0,11	0,13	0,12	4	0,48	-0,07	0,01	0,02
Σ				50	2,3			0,05

Среднее арифметическое значение X – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$X = 2,3 : 50 = 0,046.$$

Дисперсию S^2 определим как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения X на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{0,05}{50}} = 0,032311.$$

Закон эксцентриситета (закон Релея). Имея опытные данные величин отклонения от соосности, проверим соответствие опытных данных закону эксцентриситета, отражающего распределение положительных величин.

Таблица Л.4

Расчетная таблица

№	Интервал		Частота m	R_{i0} / σ	F(R)	f' / n	f'
1	0,00	0,01	8	0,20	0,02	0,02	1,0
2	0,01	0,03	11	0,61	0,1698	0,15	7,5
3	0,03	0,05	13	1,01	0,3995	0,23	11,5
4	0,05	0,07	8	1,42	0,6351	0,24	12,0
5	0,07	0,09	4	1,83	0,8126	0,17	8,5
6	0,09	0,11	2	2,23	0,9168	0,11	5,5
7	0,11	0,13	4	2,64	0,9693	0,05	2,5

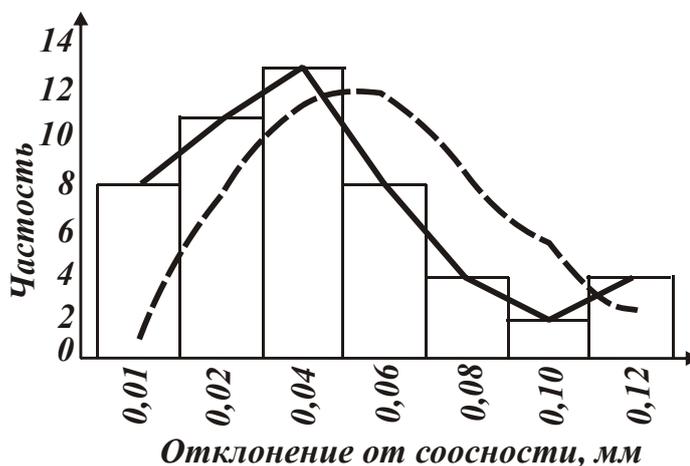


Рис. Л.1. Гистограмма и кривые распределения величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рас­сверливания по разработанному технологическому процессу

Приложение М

Данные измерений отклонений от соосности горловины баллона диаметром 48 мм и отверстия в нем после зенкования по разработанному технологическому процессу и их обработки методом математической статистики

Таблица М.1

Данные измерений отклонений (в мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	0,02	26	0,02
2	0,00	27	0,04
3	0,04	28	0,06
4	0,06	29	0,00
5	0,04	30	0,04
6	0,02	31	0,06
7	0,00	32	0,04
8	0,02	33	0,02
9	0,12	34	0,06
10	0,02	35	0,02
11	0,10	36	0,04
12	0,06	37	0,04
13	0,10	38	0,00
14	0,00	39	0,02
15	0,10	40	0,04
16	0,04	41	0,00
17	0,02	42	0,04
18	0,08	43	0,02
19	0,02	44	0,08
20	0,04	45	0,02
21	0,00	46	0,06
22	0,04	47	0,02
23	0,02	48	0,04
24	0,04	49	0,00
25	0,08	50	0,04

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частота	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	0,00	0,01	0,01	8	0,16	8	0,16
2	0,01	0,03	0,02	14	0,28	22	0,44
3	0,03	0,05	0,04	15	0,3	37	0,74
4	0,05	0,07	0,06	6	0,12	43	0,86
5	0,07	0,09	0,08	3	0,06	46	0,92
6	0,09	0,11	0,10	3	0,06	49	0,98
7	0,11	0,13	0,12	1	0,02	50	1

Данные измерений представим в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при этом составляет $d = 0,02$, для каждого интервала подсчитываем частоту m – количество значений, которые попали в данный интервал. В табл. М.2 приведен ряд распределений величин, расположенный в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных и в виде гистограммы распределения, перейдем к оценке свойств кривых распределения, рассматривая среднее арифметическое значение.

Таблица М.3

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	$[x-X]$	$(x - X)^2$	$(x - X)^2 m$
1	0,00	0,01	0,01	8	0,08	0,03	0,00	0,01
2	0,01	0,03	0,02	14	0,28	0,02	0,00	0,01
3	0,03	0,05	0,04	15	0,6	0,00	0,00	0,00
4	0,05	0,07	0,06	6	0,36	-0,02	0,00	0,00
5	0,07	0,09	0,08	3	0,24	-0,04	0,00	0,00
6	0,09	0,11	0,10	3	0,3	-0,06	0,00	0,01
7	0,11	0,13	0,12	1	0,12	-0,08	0,01	0,01
Σ				50	1,98			0,04

Среднее арифметическое значение X – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$X = 1,98 : 50 = 0,0396.$$

Дисперсию S^2 определим как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения X на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{0,04}{50}} = 0,027273.$$

Закон эксцентриситета (закон Релея). Имея опытные данные величин отклонения от соосности, проверим соответствие опытных данных закону эксцентриситета, отражающего распределение положительных величин.

Таблица М.4

Расчетная таблица

№	Интервал		Частота m	$R_{\text{иб}} / \sigma$	F(R)	f' / n	f'
1	0,00	0,01	8	0,24	0,0283	0,03	1,5
2	0,01	0,03	14	0,72	0,2283	0,20	10,0
3	0,03	0,05	15	1,20	0,5132	0,28	14,0
4	0,05	0,07	6	1,68	0,7561	0,25	12,5
5	0,07	0,09	3	2,16	0,903	0,14	7,0
6	0,09	0,11	3	2,64	0,9693	0,07	3,5
7	0,11	0,13	1	3,13	0,9925	0,02	1,0

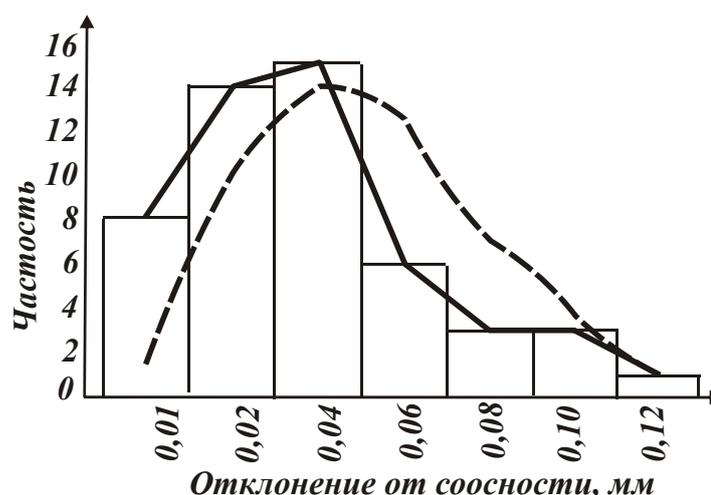


Рис. М.1. Гистограмма и кривые распределения величины отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после зенкерования по разработанному технологическому процессу

Приложение Н

Данные измерений отклонений торца горловины баллона от основной поверхности (по разработанному технологическому процессу) и их обработки методом математической статистики

Таблица Н.1

Данные измерений отклонений (в мм)

Номер измерения	Измеренное значение	Номер измерения	Измеренное значение
1	-0,15	26	-0,05
2	0,00	27	0,10
3	0,05	28	-0,10
4	-0,15	29	0,05
5	0,15	30	-0,05
6	-0,05	31	0,00
7	-0,15	32	0,05
8	0,05	33	-0,10
9	0,10	34	0,05
10	0,00	35	-0,05
11	-0,10	36	0,15
12	0,05	37	0,00
13	-0,05	38	0,1
14	0,00	39	-0,05
15	-0,05	40	0,05
16	0,10	41	0,00
17	-0,15	42	0,15
18	0,00	43	-0,05
19	-0,10	44	0,10
20	0,00	45	-0,15
21	-0,05	46	0,05
22	0,00	47	-0,15
23	-0,05	48	0,00
24	0,10	49	0,15
25	-0,05	50	-0,05

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Частота	Накопленные частоты	Накопленные частоты
1	-0,15	-0,10	-0,125	6	0,12	6	0,12
2	-0,10	-0,05	-0,075	4	0,08	10	0,20
3	-0,05	0,00	-0,025	12	0,24	22	0,44
4	0,00	0,05	0,025	10	0,20	32	0,62
5	0,05	0,10	0,075	8	0,16	40	0,80
6	0,10	0,15	0,125	6	0,12	46	0,92
7	0,15	0,20	0,175	4	0,08	50	1,00

Данные измерений представим в виде ряда распределения. Для этого все измеренные значения разбиваем на ряд интервалов и располагаем в порядке возрастания с указанием соответствующих частот. Число интервалов принимаем $n = 7$, ширина интервала при этом составляет $d = 0,05$, для каждого интервала подсчитываем частоту m – количество значений, которые попали в данный интервал. В табл. НМ.2 приведен ряд распределений величин, расположенный в порядке возрастания с указанием соответствующих частот.

Представив результаты эксперимента в виде таблицы сгруппированных данных и в виде гистограммы распределения, перейдем к оценке свойств кривых распределения. При анализе технологического процесса чаще всего применяется среднее арифметическое значение.

Таблица сгруппированных данных

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	Xm	$[x-X]$	$(x - X)^2$	$(x - X)^2 m$
1	-0,15	-0,1	-0,125	6	-0,75	0,14	0,0207	0,1244
2	-0,1	-0,05	-0,075	4	-0,3	0,09	0,0088	0,0353
3	-0,05	0	-0,025	12	-0,3	0,04	0,0019	0,0232
4	0	0,05	0,025	10	0,25	-0,01	0,0000	0,0004
5	0,05	0,1	0,075	8	0,6	-0,06	0,0031	0,0251
6	0,1	0,15	0,125	6	0,75	-0,11	0,0112	0,0674
7	0,15	0,2	0,175	4	0,7	-0,16	0,0243	0,0973
Σ				50	0,95			0,3732

Среднее арифметическое значение X – частное от деления суммы измеренных значений на количество слагаемых этой суммы:

$$X = 0,95 : 50 = 0,019.$$

Дисперсию S^2 определим как сумму произведений квадратов отклонений наблюдаемых значений случайной величины от ее среднего арифметического значения X на соответствующие частоты. Квадратом дисперсии является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{0,3732}{50}} = 0,086$$

Закон нормального распределения.

Таблица Н.4

Расчетная таблица

№	Интервал		Серединный интервал	Частота m	t_i	z_i	m_i'	N_i'
1	-0,15	-0,1	-0,125	6	-1,67	0,989	28,62	28,62
2	-0,1	-0,05	-0,075	4	-1,09	0,2203	6,37	34,99
3	-0,05	0	-0,025	12	-0,51	0,3485	10,08	45,08
4	0	0,05	0,025	10	0,07	0,3977	11,51	56,59
5	0,05	0,1	0,075	8	0,65	0,323	9,35	65,93
6	0,1	0,15	0,125	6	1,23	0,1872	5,42	71,35
7	0,15	0,2	0,175	4	1,81	0,0775	2,24	73,59

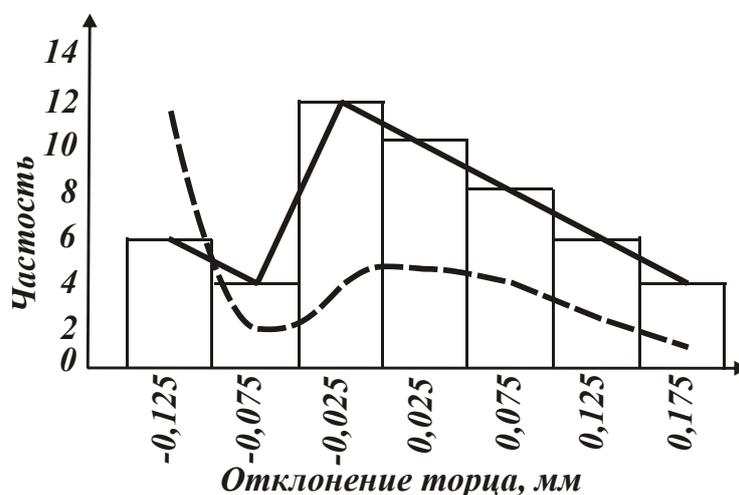


Рис. Н.1. Гистограмма и кривые распределения величины отклонения торца горловины баллона от основной поверхности при обработке по разработанному технологическому процессу

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	3
Раздел 1. Основные проблемы изготовления баллонов в условиях массового производства и пути их решения	7
1.1. Анализ действующих технологических процессов изготовления баллонов в условиях массового производства	7
1.1.1. Технические требования, предъявляемые к качеству изготовления баллонов	7
1.1.2. Действующий технологический процесс изготовления баллонов и его недостатки	9
1.2. Анализ путей повышения качества нарезаемой конической резьбы в условиях массового производства ...	17
1.3. Особенности обработки отверстий с начальной значительной некруглостью в условиях массового производства	20
1.4. Анализ существующих подходов к определению точности обработанных деталей методами математической статистики	25
1.5. Научные предпосылки повышения точности и стабильности изготовления резьбовых отверстий в горловинах баллонов в условиях массового производства	27
1.6. Выводы	29
Раздел 2. Разработка математической модели формирования погрешностей при механической обработке отверстия	31
2.1. Теоретический анализ формирования погрешностей при обработке отверстия с начальной значительной некруглостью	31
2.2. Аналитическое определение переменной глубины резания при рассверливании отверстия	39
2.3. Теоретический анализ условий уменьшения погрешностей обработки отверстия при его рассверливании	46
2.4. Аналитическое описание и исследование параметров силовой напряженности процесса сверления	50
2.5. Аналитическое определение составляющих силы резания при рассверливании и сверлении отверстий	59
2.6. Исследование упругих деформаций в технологической системе и жесткости сверла при обработке отверстия с начальной значительной некруглостью	66

2.7. Теоретический анализ и выбор эффективной схемы базирования заготовки баллона на станке	71
2.8. Выводы	77
Раздел 3. Структурно–параметрический анализ и синтез технологического процесса механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона	80
3.1. Экспериментальные исследования параметров точности обработки отверстий в горловинах баллонов по базовой технологии	80
3.1.1. Общие условия проведения экспериментальных исследований	80
3.1.2. Экспериментальные исследования погрешностей базирования заготовок баллонов на станке	85
3.1.3. Экспериментальные исследования некруглости отверстий после рассверливания	88
3.1.4. Экспериментальные исследования величин отклонения от соосности горловины баллона и отверстия в нем после рассверливания и зенкерования	90
3.1.5. Экспериментальные исследования неравномерности длины хода осевого многолезвийного инструмента в продольном направлении при обработке конусного отверстия	92
3.1.6. Экспериментальные исследования точности обработки наружной цилиндрической поверхности горловины баллона	93
3.1.7. Экспериментальные исследования структурного состояния и твердости металла горловины баллона	94
3.1.8. Экспериментальные исследования качества нарезанной конической резьбы в отверстиях горловин баллонов	95
3.1.9. Анализ условий повышения эффективности процесса нарезания конической резьбы в отверстиях горловины баллона	99
3.1.10. Расчет и анализ погрешностей, возникающих при установке заготовки баллона на станке и при обработке отверстий по базовой технологии	104
3.2. Разработка оптимального технологического процесса механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона	110
3.2.1. Выбор оптимального маршрута обработки и схемы базирования заготовки баллона	110
3.2.2. Разработка системы автоматизированной	

подналадки останова рабочего хода инструментальной головки	114
3.2.3. Разработка приспособления для юстировки инструментальных головок	115
3.3. Определение параметров разработанного технологического процесса механической обработки резьбового отверстия в горловине баллона	116
3.3.1. Расчет припусков на механическую обработку	116
3.3.2. Расчет оптимальных режимов резания на технологических переходах	119
3.3.3. Расчет параметров станочного приспособления .	121
3.4. Экспериментальные исследования параметров точности отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов, обработанных по разработанной технологии	124
3.5. Выводы	127
Раздел 4. Создание и внедрение промышленной технологии изготовления отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов в условиях массового производства	132
4.1. Техническое обеспечение промышленной технологии	132
4.2. Характеристика основных технических разработок, используемых в технологическом процессе	139
4.2.1. Приспособление для юстировки силовых головок ...	139
4.2.2. Инструментальная головка	141
4.2.3. Кондуктор	142
4.2.4. Система подналадки останова рабочего хода силовой головки на операции развертывания конуса	143
4.2.5. Система подналадки останова рабочего хода силовой головки на операции нарезания резьбы ...	144
4.3. Оценка экономической эффективности от внедрения в производство разработанного технологического процесса	146
4.4. Выводы	147
Список литературы	149
Приложения	150
Приложение А. Прогрессивные технологии обработки металлов методами пластического деформирования, используемые для производства газовых баллонов	150
Приложение Б. Данные измерений отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона и их обработка методом математической статистики	168
Приложение В. Данные измерений отклонения оси пояска от оси	

	цилиндрической части баллона и их обработка методом математической статистики	171
Приложение Г.	Данные измерений точности формы сферической поверхности горловины баллона на $\varnothing 70$ мм и их обработка методом математической статистики ...	174
Приложение Д.	Данные измерений диаметров отверстий в горловинах баллонов после рассверливания по базовому технологическому процессу и их обработка методом математической статистики	177
Приложение Е.	Данные измерений отклонений от соосности горловины баллона диаметром 48 мм и отверстия в нем после рассверливания по базовому технологическому процессу и их обработки методом математической статистики	185
Приложение Ж.	Данные измерений отклонений от соосности горловины баллона диаметром 48 мм и отверстия в нем после зенкерования по базовому технологическому процессу и их обработки методом математической статистики	188
Приложение И.	Данные измерений отклонений торца горловины баллона от основной поверхности и их обработки методом математической статистики	191
Приложение К.	Данные измерений диаметра наружной поверхности горловины баллона и их обработки методом математической статистики	194
Приложение Л.	Данные измерений отклонений от соосности горловины баллона диаметром 48 мм и отверстия в нем после рассверливания по разработанному технологическому процессу и их обработки методом математической статистики	197
Приложение М.	Данные измерений отклонений от соосности горловины баллона диаметром 48 мм и отверстия в нем после зенкерования по разработанному технологическому процессу и их обработки методом математической статистики	200
Приложение Н.	Данные измерений отклонений торца горловины баллона от основной поверхности (по разработанному технологическому процессу) и их обработки методом математической статистики	203

МОНОГРАФИЯ

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
РЕЗЬБОВЫХ ОТВЕРСТИЙ В ГОРЛОВИНАХ БАЛЛОНОВ НА
АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ**

Авторы: **Иванов Игорь Евгеньевич**
Новиков Федор Васильевич
Иванов Евгений Иванович

Ответственный за выпуск **Иванов Е.И.**
Ответственный редактор Андилахай А.А.

МОНОГРАФІЯ

**ВИСОКОЕФЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РІЗЬБОВИХ
ОТВОРІВ У ГОРЛОВИНАХ БАЛОНІВ НА АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЯХ**

Автори: **Іванов Ігор Євгенович**
Новіков Федір Васильович
Іванов Євгеній Іванович

ISBN 978-966-604-065-0

Подписано к печати 22.10.2010 р. Формат 60x90 1/16.
Бумага белая. Печать – ризография. 13,1 усл.-печ. л. 10,9 уч.-изд. л.
Тираж 500 экз. Заказ № 312 Цена договорная.

*Свидетельство о внесении в Государственный реестр субъектов
издательского дела ДК №3729 от 15.03.2010 г.*

Издатель и изготовитель – издательство ПГТУ, 87500, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7