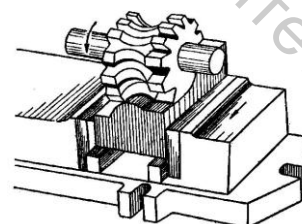
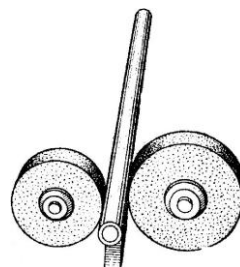
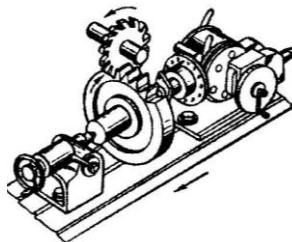
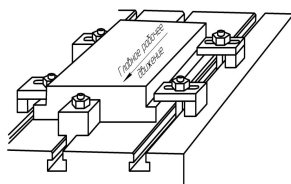
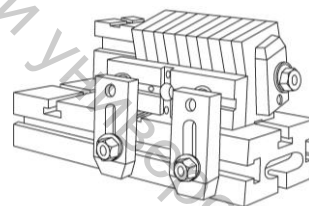
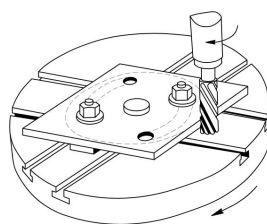
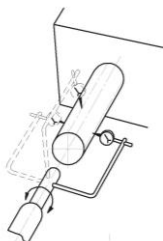
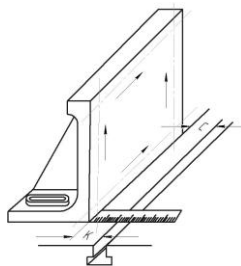
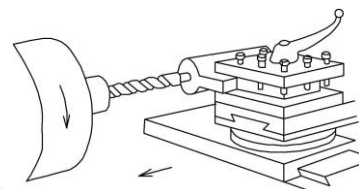
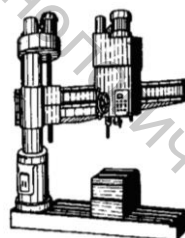
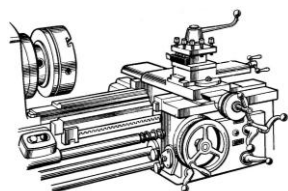
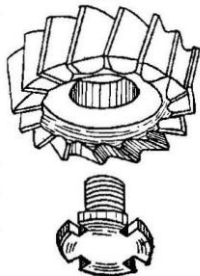
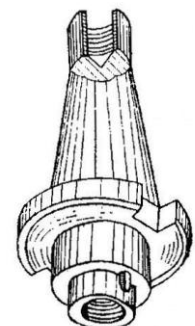


ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Н.В. БЕЛЯКОВ

В.А. ГОРОХОВ

Ю.Е. МАХАРИНСКИЙ

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Рекомендовано УМО ВУЗов Республики Беларусь по образованию в области автоматизации технологических процессов, производств и управления в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств»

Витебск
2012

УДК 621
ББК 34.4
Б 44

Рецензенты:

доктор технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета Каштальян И.А.;

доктор технических наук, профессор, директор государственного научного учреждения «Институт технической акустики» Национальной академии наук Беларуси Рубаник В.В.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 1 от 07.02.2012

Б 44 Беляков, Н. В. Основы технологии машиностроения : лабораторный практикум / Н. В. Беляков, В. А. Горохов, Ю. Е. Махаринский ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – 351 с.

ISBN 978 – 985 – 481 – 261 – 8

В лабораторном практикуме приводятся методические указания по проектированию операций строгания, точения, фрезерования, сверления, шлифования, обработки ППД различных поверхностей. Даются рекомендации по установке и закреплению заготовок, размерной настройке, выбору режущего и вспомогательного инструмента, назначению и настройке режимов резания, а также контроля обработки на поперечно-строгальных, токарных, фрезерных, сверлильных, расточных и шлифовальных станках. Лабораторные работы должны проводиться в специализированной станочной лаборатории с демонстрацией возможностей оборудования, станочных приспособлений, режущего, вспомогательного и мерительного инструмента, а также реализацией спроектированных операций на оборудовании. Лабораторный практикум может использоваться для курсового проектирования.

УДК 621
ББК 34.4

ISBN 978 – 985 – 481 – 261 – 8

© Н.В. Беляков, В.А. Горохов,
Ю.Е. Махаринский, 2012
© УО «ВГТУ», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Обработка на поперечно-строгальных станках (работа № 1)	7
1.1 Основные компоненты станков.....	7
1.2 Выбор строгальных резцов.....	10
1.3 Методы установки и закрепления заготовок.....	15
1.4 Схемы обработки типовых поверхностей.....	21
1.5 Выбор показателей режима строгания.....	25
1.6 Определение затрат основного времени.....	27
1.7 Вопросы для самоконтроля	28
2 Обработка на токарных станках (работа № 2)	31
2.1 Основные компоненты станков.....	31
2.2 Методы формообразования на токарных станках.....	34
2.2.1 Обработка наружных поверхностей вращения.....	34
2.2.2 Обработка внутренних поверхностей вращения.....	38
2.2.3 Обработка резьбы.....	41
2.2.4 Отделочная обработка.....	45
2.3 Методы установки и закрепления заготовок.....	47
2.3.1 Схема базирования и схема установки	47
2.3.2 Оснастка для установки и закрепления заготовок.....	49
2.4 Установка и размерная настройка инструментов	56
2.5 Назначение компонентов режима резания.....	59
2.6 Контроль качества обработки.....	61
2.7 Вопросы для самоконтроля.....	65
3 Обработка на фрезерных станках (работа № 3)	68
3.1 Основные компоненты станков.....	68
3.2 Методы формообразования	70
3.3 Схема базирования и схема установки	77
3.4 Оснастка для установки и закрепления заготовок	77
3.5 Методы деления на УДГ.....	83
3.6 Установка, закрепление и размерная настройка инструмента	88
3.7 Назначение показателей режимов резания и определения основного времени.....	96
3.8 Вопросы для самоконтроля.....	99
4 Обработка на сверлильных станках (работа № 4)	101
4.1 Основные компоненты станков.....	101
4.2 Выбор режущего инструмента.....	102
4.3 Выбор вспомогательного инструмента.....	116
4.4 Методы установки и закрепления заготовок.....	125
4.5 Рекомендации по последовательности и режимам обработки отвер- стий.....	127
4.6 Контроль размеров и взаимного расположения отверстий.....	133

4.7 Вопросы для самоконтроля.....	134
5 Обработка на расточных станках (работа № 5)	138
5.1 Основные компоненты станков.....	138
5.1.1 Горизонтально-расточной станок.....	138
5.1.2 Вертикально-расточной станок.....	141
5.2 Методы установки и закрепления заготовок.....	144
5.2.1 Универсальные крепежные детали и установочные приспособ- ления.....	144
5.2.2 Установка заготовки на стол или плиту станка.....	145
5.2.3 Выверка заготовки относительно станка.....	152
5.3 Методы обработки типовых функциональных модулей.....	158
5.3.1 Функциональные модули и основные переходы их обработки.....	158
5.3.2 Сверление.....	161
5.3.3 Растачивание отверстий.....	162
5.3.4 Зенкерование, развертывание и нарезание резьбы в отверсти- ях.....	166
5.3.5 Фрезерование.....	171
5.4 Размерная настройка.....	171
5.5 Методы контроля точности обработки.....	178
5.6 Назначение показателей режима резания.....	183
5.7 Вопросы для самоконтроля.....	185
6 Обработка на шлифовальных станках (работа № 6).....	189
6.1 Виды шлифования.....	189
6.2 Характеристики шлифовальных кругов.....	191
6.3 Правка шлифовальных кругов.....	196
6.4 Технологические характеристики процесса шлифования.....	200
6.5 Охлаждение при шлифовании.....	205
6.6 Круглое наружное шлифование.....	209
6.7 Круглое внутреннее шлифование.....	215
6.8 Координатно-планетарное шлифование.....	222
6.9 Плоское шлифование.....	226
6.10 Технологическая оснастка для плоскошлифовальных станков.....	232
6.11 Выбор характеристики шлифовального круга.....	235
6.12 Назначение показателей режима шлифования.....	237
6.13 Вопросы для самоконтроля.....	251
7 Обработка поверхностным пластическим деформированием (рабо- та № 7).....	255
7.1 Регулярные микрорельефы и их разновидности.....	255
7.2 Взаимосвязь микрогеометрии рабочих поверхностей и свойств под- поверхностного слоя материала с эксплуатационными свойствами дета- лей и соединений.....	258
7.3 Отделочно-упрочняющая обработка ППД, оборудование и инстру- менты.....	267
7.4 Приспособления, микрогеометрия поверхности и состояние металла	

при отделочно-упрочняющей обработке ППД.....	279
7.5 Комбинированные процессы и расчет параметров режима отделочно-упрочняющей обработки ППД.....	294
7.6 Формообразующая обработка ППД фасонных поверхностей.....	302
7.7. Упрочняющая обработка ППД.....	307
7.8 Вопросы для самоконтроля.....	311
Задания по проектированию операций обработки на строгальных станках.....	313
Задания по проектированию операций обработки на токарных станках.....	317
Задания по проектированию операций обработки на фрезерных станках.....	321
Задания по проектированию операций обработки на сверлильных станках.....	330
Задания по проектированию операций обработки на расточных станках.....	334
Задания по проектированию операций обработки на шлифовальных станках.....	338
Задания по проектированию операций обработки ППД.....	343
Список использованных источников.....	348

ВВЕДЕНИЕ

Цель выполнения работ: приобретение опыта проектирования технологических операций обработки типовых элементов деталей на различных станках.

На основе рекомендаций, изложенных в теоретическом материале, для заданных вариантов исходя из условий серийного производства, необходимо последовательно решить следующие задачи:

- 1) выбрать модель станка и привести эскиз компоновки с движениями и описанием органов управления;
- 2) выбрать способ получения заготовки и изобразить её эскиз;
- 3) выбрать режущие (деформирующие) инструменты;
- 4) выбрать соответствующий вспомогательный инструмент;
- 5) выбрать мерительный инструмент и разработать схемы измерений;
- 6) разработать схемы формообразования;
- 7) разработать схему базирования;
- 8) разработать схему установки и оценить её погрешность;
- 9) разработать схему обработки;
- 10) выбрать, соответствующее схеме установки, стандартное приспособление или разработать эскиз конструкции специального или универсального наладочного приспособления для установки и закрепления заготовки;
- 11) для шлифовальной операции выбрать: способ и показатели режима правки круга, состав СОЖ и способ ее подачи;
- 12) разработать схему размерной настройки и её описание;
- 13) разработать текстовое описание вспомогательных и рабочих переходов;
- 14) выбрать (рассчитать) показатели режима обработки;
- 15) разработать математическую модель затрат основного времени (привести схему для её вывода);
- 16) оформить комплект технологической документации согласно ГОСТ 3.1119 – 83 и ГОСТ 3.1404 – 86 в составе: а) маршрутная карта МК (маршрутно-операционное описание) ГОСТ 3.1118 – 82 или карта технологического процесса КТП ГОСТ 3.1404 – 86; б) операционная карта ОК ГОСТ 3.1404 – 86; в) карта эскизов КЭ ГОСТ 3.1105 – 84 и ГОСТ 3.1128 – 93.

Для операции ППД, кроме указанных выше пунктов, оценить изменение диаметральных размеров, высотных параметров микрогеометрии и поверхностной твердости материала заготовки при обработке обточенных поверхностей; для этого осуществить обработку ППД участков образца на 4-х уровнях значения силы поджима инструмента, вычислить изменения размеров поясков образца, построить графики зависимостей изменения диаметра и Ra от силы.

При оформлении отчёта должны приводиться соответствующие иллюстрации, указываться обозначения и стандарты. Лабораторные работы должны проводиться в специализированной станочной лаборатории с демонстрацией возможностей оборудования, станочных приспособлений, режущего, вспомогательного и мерительного инструмента, а также реализацией спроектированных операций на оборудовании. Практикум может использоваться для курсового проектирования по дисциплине «Основы технологии машиностроения».

1 ОБРАБОТКА НА ПОПЕРЕЧНО-СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКАХ

(работа № 1)

1.1 Основные компоненты станков

На рисунке 1.1 показан общий вид поперечно-строгального станка модели 7305. Основным узлом этого станка является станина 1, по горизонтальным направляющим 2 которой перемещается ползун 3 с суппортом 4. По вертикальным направляющим станины может передвигаться поперечина 5 (для настройки с учетом высоты заготовки). По направляющим поперечины перемещается стол 6.

Обрабатываемая деталь перемещается либо прямо на столе, либо в приспособлении (обычно тиски). Резец закреплен в резцедержателе, установленном на суппорте.

Главное движение (прямолинейное возвратно-поступательное) сообщается ползуну с резцом. Движение подачи при строгании горизонтальных поверхностей сообщается обрабатываемой заготовке, которая вместе со столом 6 перемещается по направляющим поперечины. При строгании вертикальных и наклонных поверхностей, а также канавок подача осуществляется перемещением суппорта по вертикальным направляющим.

Вертикальное ручное перемещение суппорта применяется также при строгании горизонтальных поверхностей для размерной настройки.

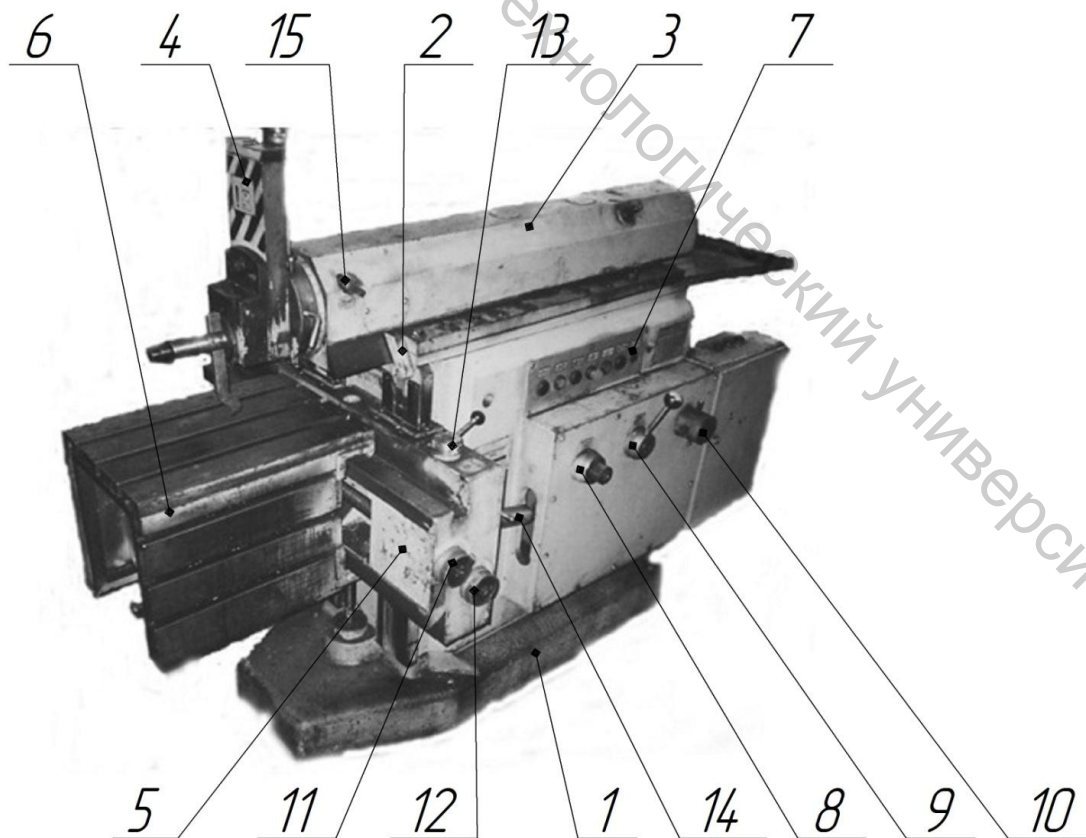


Рисунок 1.1 – Поперечно-строгальный станок мод. 7305

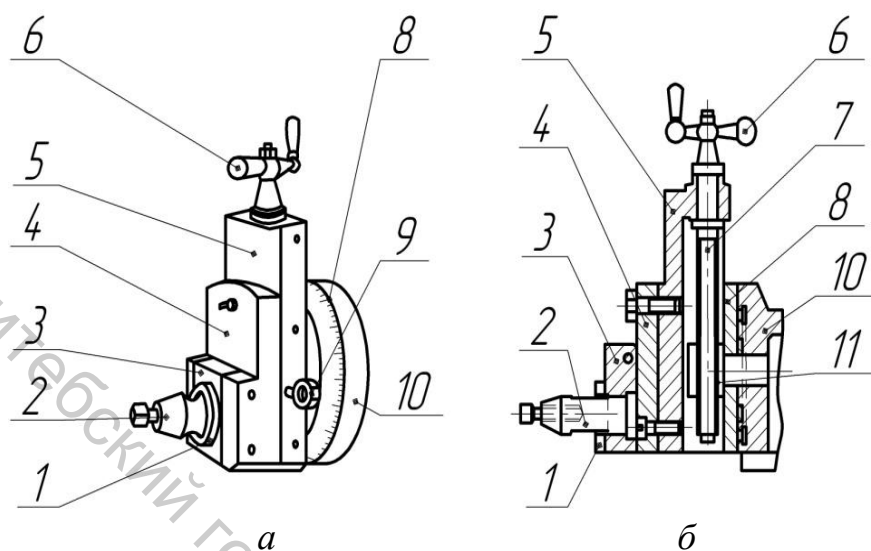


Рисунок 1.2 – Суппорт поперечно-строгального станка:
а – общий вид; б – продольный разрез

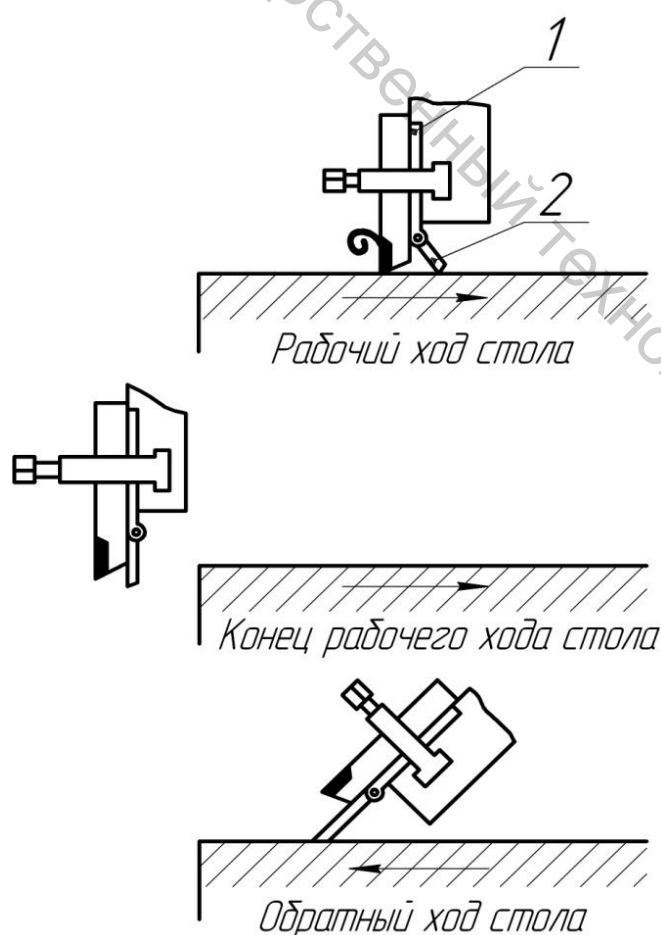


Рисунок 1.3 – Простейшее приспособление для
подъема резца при обратном ходе

Суппорт показан на рисунке 1.2. На передней торцевой поверхности ползуна 10 при помощи двух болтов 9 закрепляются поворотные салазки 8 суппорта. Наружная цилиндрическая поверхность салазок градуирована, а на ползуне нанесена риска-указатель, служащая для установки угла наклона суппорта

при строгании наклонных поверхностей. Салазки 5 перемещаются винтом 7, который вращается вручную рукояткой 6. На станках, имеющих автоматическую вертикальную подачу, последняя осуществляется вращением гайки 11 конической пары шестерен.

На передней стороне салазок 5 закреплена поворотная плита 4, к которой шарнирно крепится откидная доска 3. На ней крепится резцедержатель 2 с опорным кольцом 1.

При строгании горизонтальных поверхностей и пазов резец при обратном ходе набегает задней гранью на обрабатываемую поверхность и, поворачивая откидную доску, несколько приподнимается. Благодаря

этому режущая кромка резца при обратном ходе не прижимается со значительной силой к обработанной поверхности и не изнашивается. На рисунке 1.3 по-

казано простейшее приспособление для подъема резца при обратном ходе. Пластина 1 устанавливается в резцедержателе под резцом. Конец створки 2 расположен ниже вершины резца, и она при рабочем ходе свободно откидывается назад. В конце рабочего хода створка принимает вертикальное положение, а при обратном ходе упирается в деталь и поднимает резец, не давая ему соприкасаться с обработанной поверхностью.

Управление станком осуществляется с помощью рукояток и кнопок. Назначение органов управления поперечно-строгального станка приведено в таблице 1.1. Кнопки панели управления 7 (рисунок 1.1) обозначены в таблице номерами от 1 до 7 слева направо с индексом П.

Таблица 1.1 – Органы управления поперечно-строгального станка

Поз. (рисунок 1.1)	Назначение
8	рукоятка регулирования вылета ползуна
9	рукоятка регулирования подачи
10	рукоятка регулирования частоты вращения ведущего колеса
11	рукоятка горизонтального перемещения стола
12	рукоятка вертикального перемещения стола
13	рукоятка автоматического горизонтального перемещения стола
14	рукоятка автоматического вертикального перемещения стола
15	рукоятка поворота суппорта
П1	кнопка «быстрое перемещение стола»
П2	кнопка «останов ползуна»
П3	кнопка «пуск ползуна»
П4	кнопка «общий стоп»
П5	кнопка «пуск двигателя»
П6	кнопка «рабочее движение в режиме наладки»

Настройка режимов обработки осуществляется с помощью таблицы 1.2, которая располагается возле панели 7.

Таблица 1.2 – Значения режимов обработки

L _{мм}	Частота вращения ведущего колеса 1/мин							
	13,2	19	26,5	37,5	53	75	106	150
	Скорость резания м/мин							
50	1,2	1,9	2,5	3,6	5,1	7,6	10,4	14,8
100	2,4	3,6	5	7,2	9,9	14,9	20,3	28,9
150	3,6	5,4	7,3	10,4	14,6	21,8	29,8	
200	4,8	7,0	9,6	13,6	19	28,5	39	
250	5,8	8,6	11,7	16,6	23,3	34,9	47,7	
300	6,7	10,0	13,8	19,6	27,3	41		
350	7,7	11,5	15,7	22,4	31,3	46,9		
400	8,6	12,9	17,6	25	35			
450	9,5	14,2	19,4	27,6	38,6			
500	10,3	15,5	21,2	30,1	42			

1.2. Выбор строгальных резцов

В зависимости от служебного назначения и обрабатываемого материала строгальные резцы подразделяются по следующим признакам: 1) материалу режущей части; 2) форме; 3) типу.

Режущая часть строгальных резцов изготавливается из быстрорежущей стали или твердых сплавов.

По форме стержня различают прямые (рисунок 1.4 а) и изогнутые (рисунок 1.4 б).

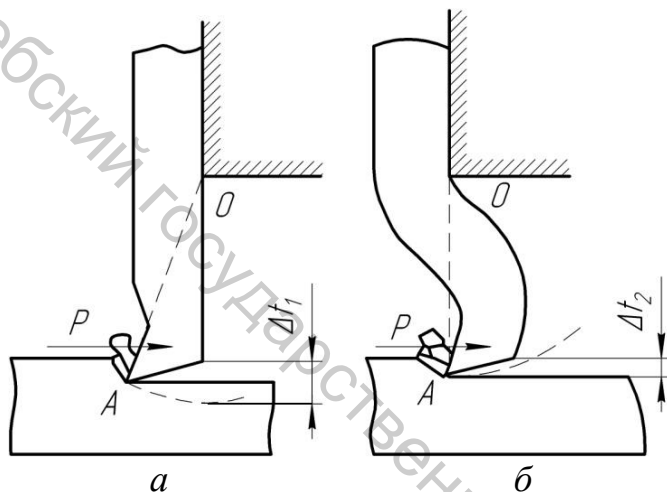


Рисунок 1.4 – Схема строгания прямым (а) и наклонным (б) резцами

В первом случае в результате упругой деформации стержня резца под действием силы резания P его вершина A смещается так, что глубина резания увеличивается с увеличением силы резания. Это приводит к потере устойчивости процесса резания (к автоколебаниям). При работе изогнутого резца указанная упругая деформация вызовет не увеличение, а уменьшение глубины резания, что приводит к устойчивому резанию.

Однако прямые строгальные резцы имеют некоторые преимущества по сравнению с изогнутыми:

- 1) прямой резец можно установить с меньшим вылетом, чем изогнутый, что повышает его жесткость;
- 2) прямые резцы можно изготавливать двухсторонними, сокращая расход металла на державки;
- 3) прямые резцы проще в изготовлении.

По типу строгальные резцы различают в зависимости от характера обработки. Некоторые стандартные типы резцов с пластинками из быстрорежущей стали показаны на рисунке 1.5, а с пластинками из твердых сплавов – на рисунке 1.6, где: проходные изогнутые с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$ для предварительного и чистового строгания (рисунки 1.5 а, 1.6 а); проходные прямые с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$ (рисунок 1.6 б); чистовые широкие изогнутые для чистового строгания с большими подачами (рисунки 1.5 б, 1.6 в); подрезные прямые для подрезания уступов, вертикальных и наклонных плоскостей (рисунки 1.5 в, 1.6 д); подрезные изогнутые (рисунки 1.5 г, 1.6 г); отрезные-прорезные изогнутые для отрезания детали и прорезания канавок, пазов и т.д. (рисунки 1.7 в, 1.8 е).

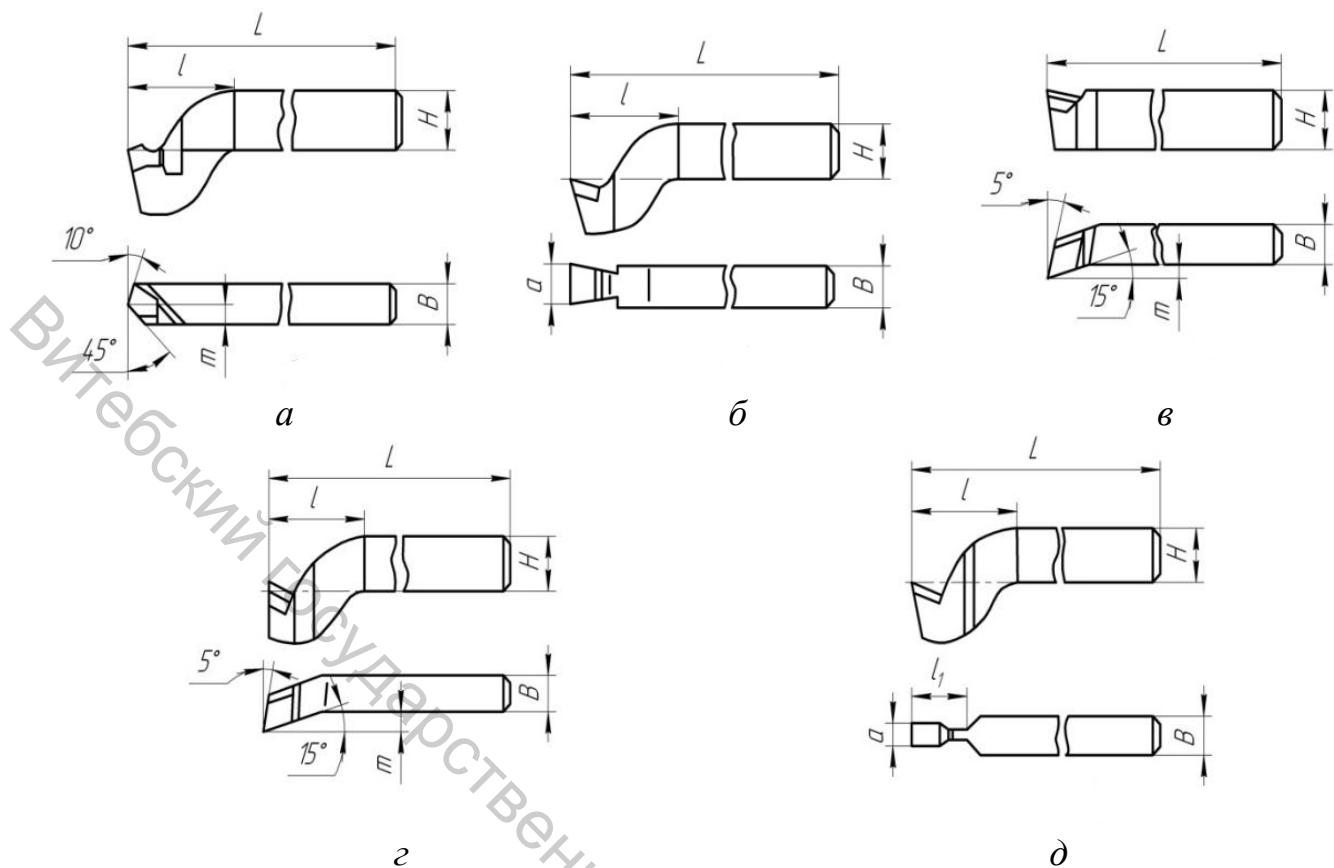


Рисунок 1.5 – Строгальные резцы с пластинками из быстрорежущей стали (основные размеры приведены в ГОСТ 10045 – 62)

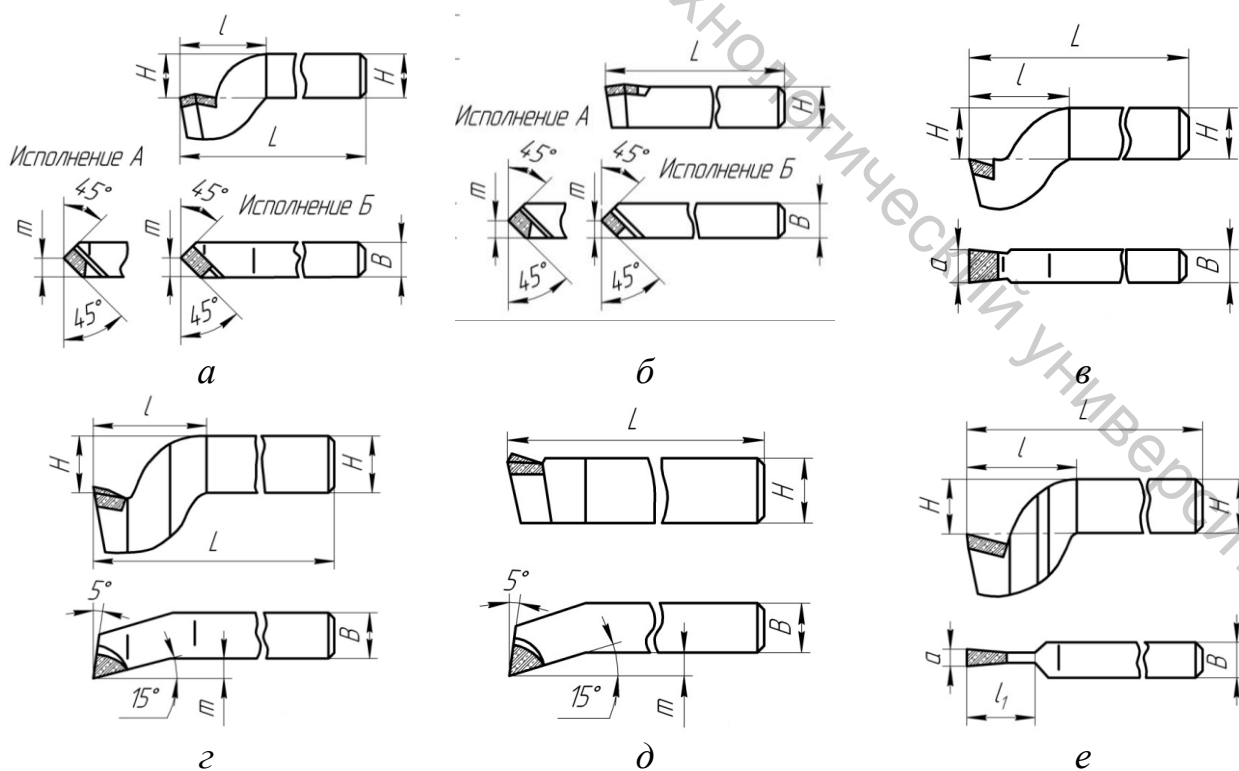


Рисунок 1.6 – Строгальные резцы с пластинками из твёрдого сплава (основные размеры приведены в ГОСТ 9796–61)

На рисунке 1.7 приведены некоторые типы сборных строгальных резцов с механическим креплением режущих пластинок из быстрорежущей стали, предназначенных для тонкого строгания разнообразных поверхностей корпусных деталей. Стругальные резцы с напайными пластинками из твердого сплава, предназначенные для чистового строгания корпусных деталей, приведены на рисунке 1.8.

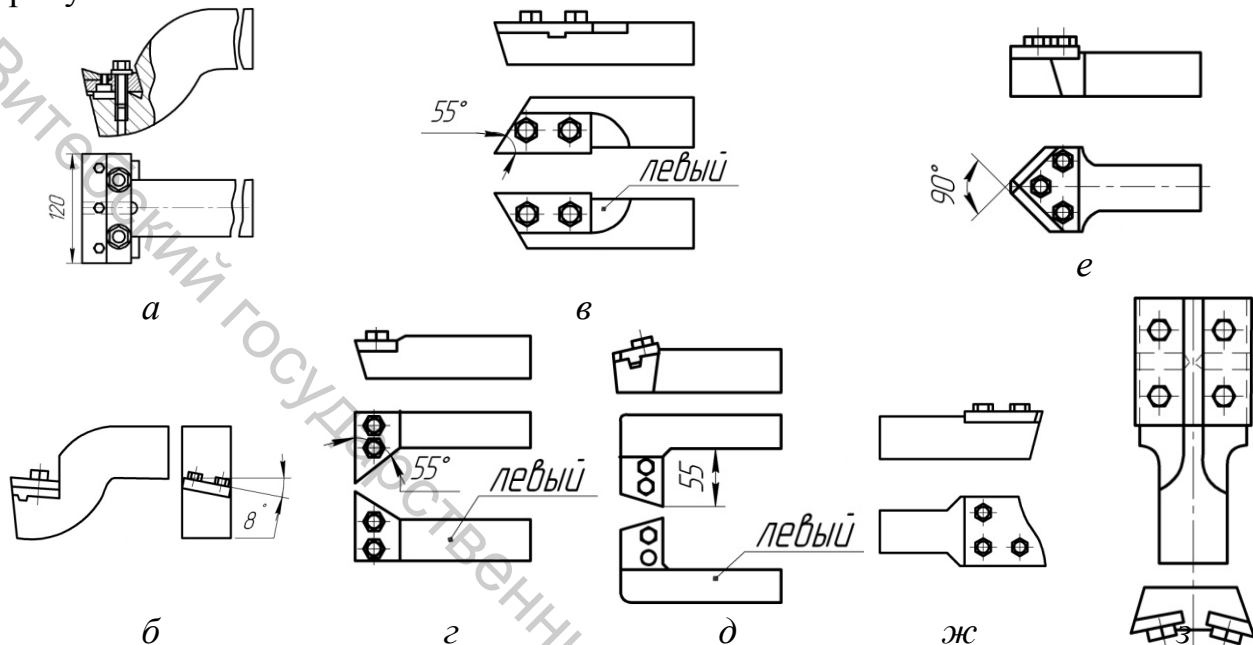


Рисунок 1.7 – Стругальные чистовые резцы с механическим креплением режущих пластин из быстрорежущей стали:

а, б – для обработки плоскостей; в – для обрезки; г – для обработки направляющих типа «ласточкин хвост»; д – подрезной; е – для обработки V-образных направляющих; ж – профильный; з – для обработки пазов

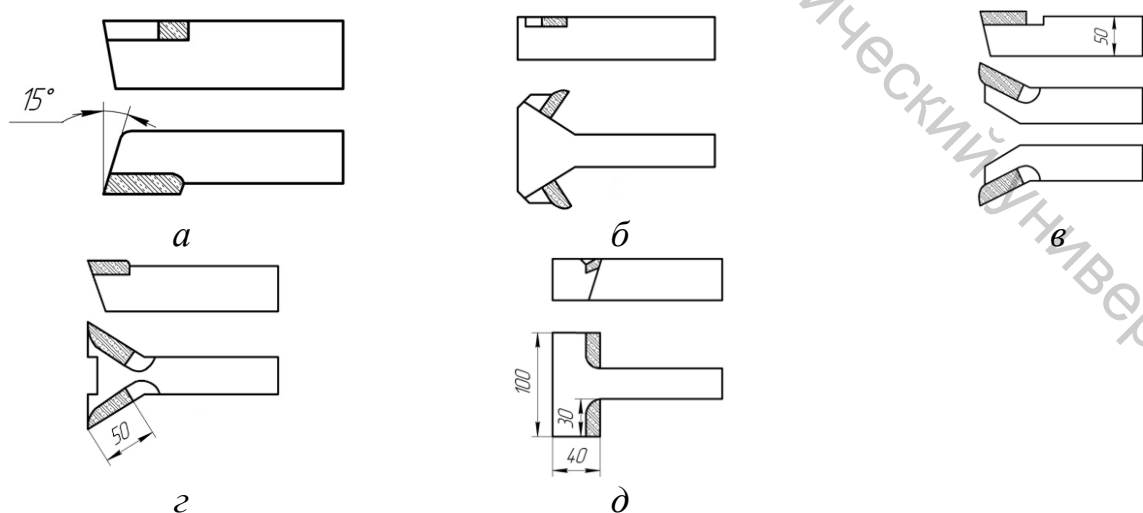


Рисунок 1.8 – Стругальные резцы с напайными пластинками из твердого сплава: а – для обрезки; б – наклонно-подрезной; в – односторонний для обработки направляющих типа «ласточкин хвост»; г – двусторонний для обработки направляющих типа «ласточкин хвост»; д – для двусторонней подрезки

Строгальные резцы с клиновым креплением сменных режущих вставок показаны на рисунке 1.9. Схемы применения основных типов строгальных резцов приведены на рисунке 1.10.

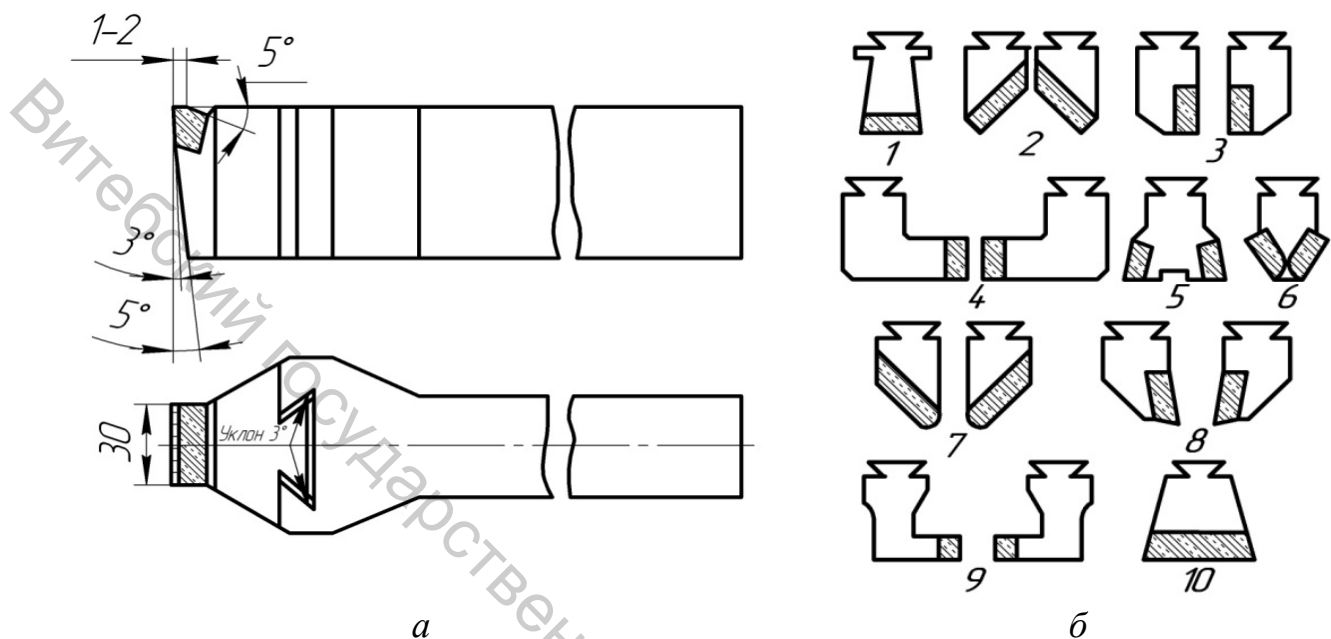


Рисунок 1.9 – Строгальные резцы с клиновым креплением сменных режущих вставок с напайными пластинками из твердого сплава

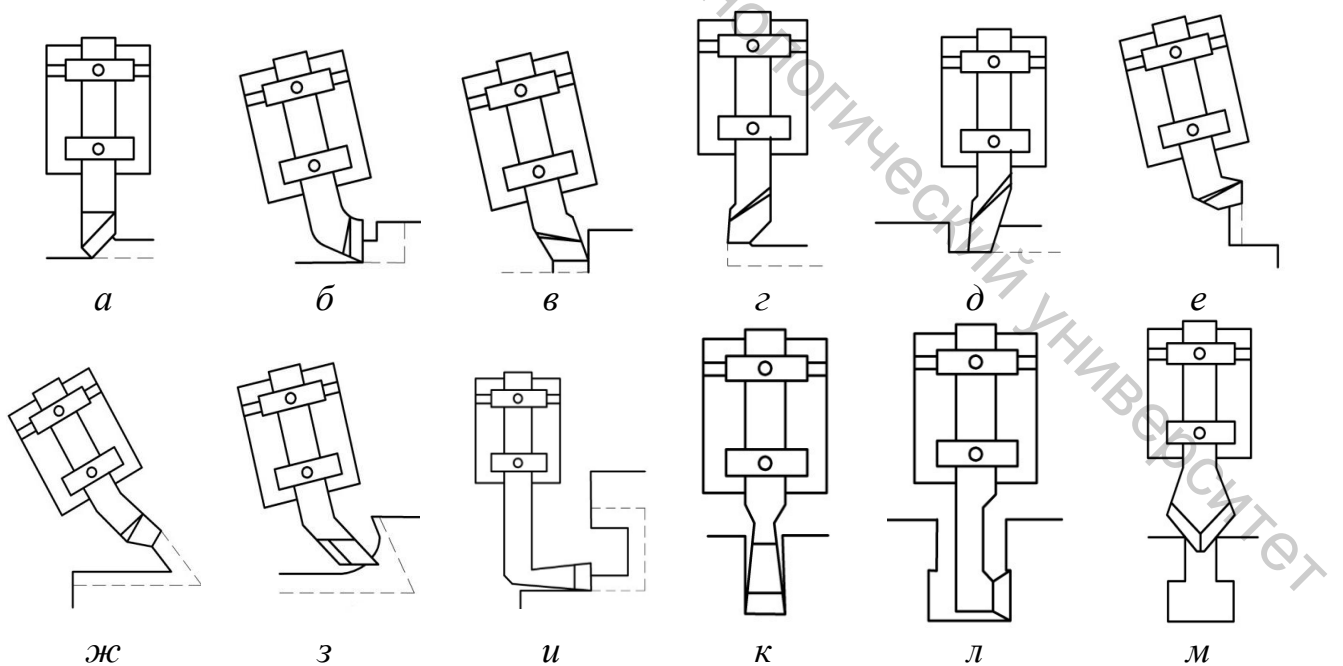


Рисунок 1.10 – Схемы применения основных типов строгальных резцов

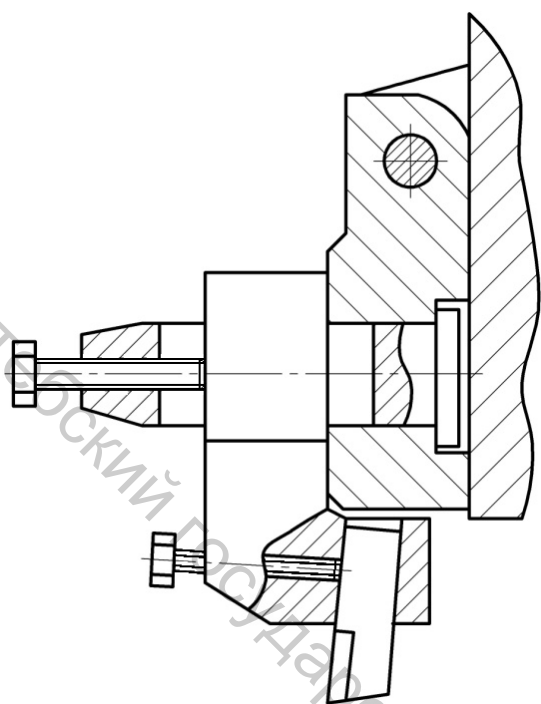


Рисунок 1.11 – Державка для проходных резцов

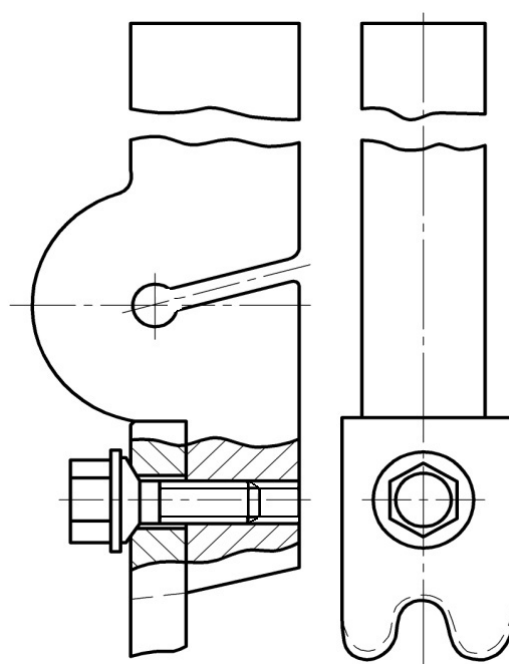


Рисунок 1.12 – Пружинящая державка для фасонных резцов

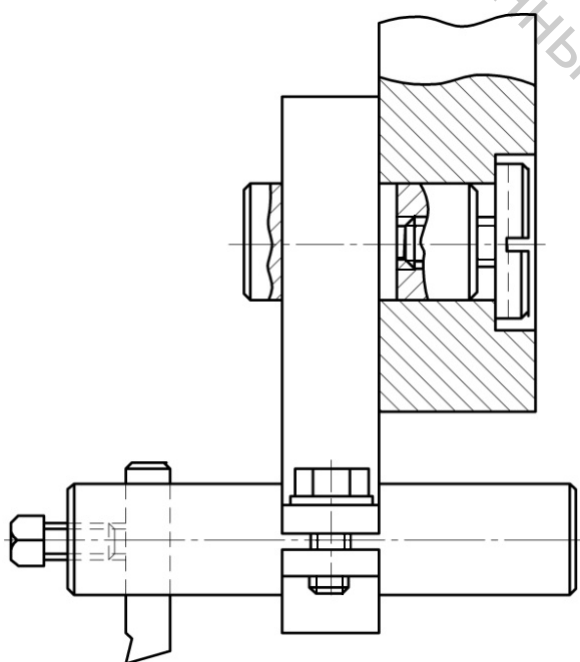


Рисунок 1.13 – Оправка для горизонтальной державки

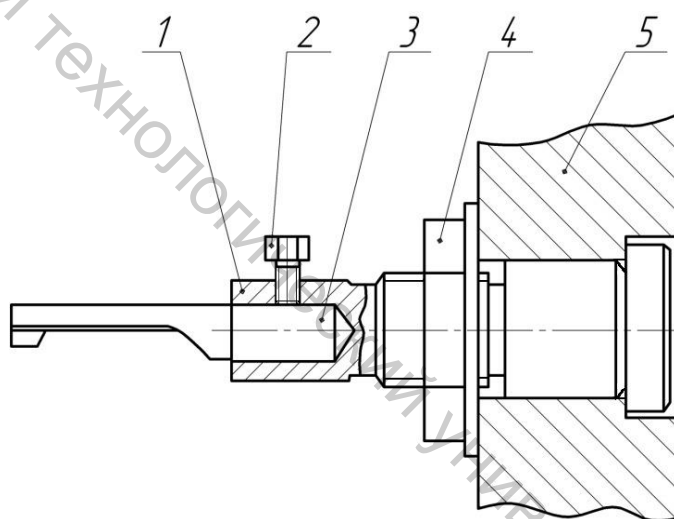


Рисунок 1.14 – Горизонтальная оправка для канавок

Достаточное распространение нашли державки для крепления вставных резцов. Державка для проходных и подрезных резцов показана на рисунке 1.11, а для фасонных резцов – на рисунке 1.12. Для строгания шпоночных канавок в отверстиях диаметром более 20 мм служит оправка с цилиндрической горизонтальной передвигающей державкой (рисунок 1.13). Для строгания канавок в отверстиях менее 20 мм и длиной до 75 мм служит короткая горизонтальная

оправка, закрепляемая гайкой 4 в отверстии откидной доски 5 (рисунок 1.14). В передней части оправки 1 выполнено отверстие для вставного долбежного резца 3 с цилиндрическим хвостовиком. Резец закрепляется в гнезде болтом 2.

При строгании плоскостей и уступов размерная настройка осуществляется методом пробных проходов.

1.3 Методы установки и закрепления заготовок

Обрабатываемые строганием заготовки закрепляются:

- 1) на столе станка с помощью универсальных крепежных элементов;
- 2) в машинных тисках;
- 3) на угольниках и призмах;
- 4) на магнитных плитах;
- 5) на поворотных столах.

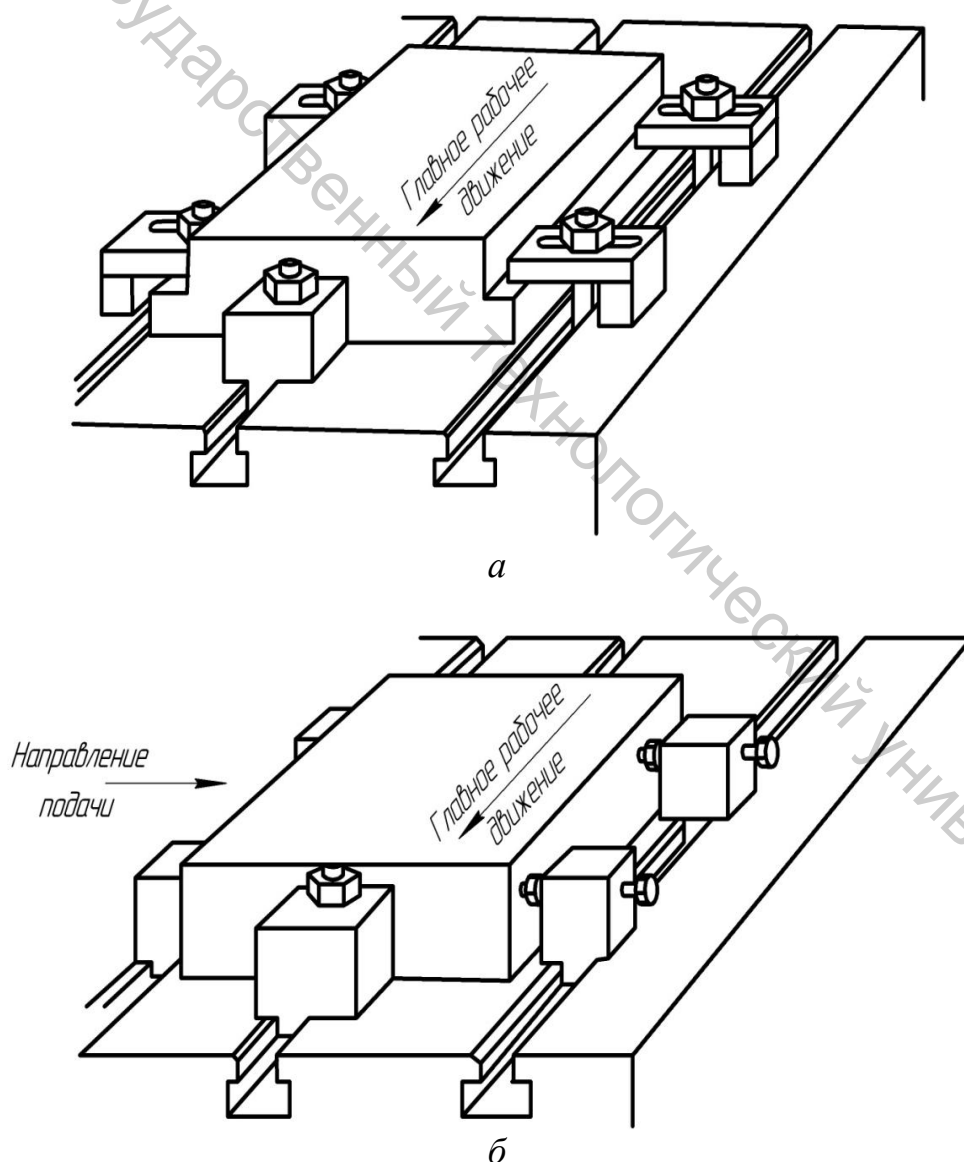


Рисунок 1.15 – Схема закрепления заготовок с плоскими технологическими базами непосредственно на столе станка

На рисунке 1.15 показаны схемы закрепления заготовок с плоскими технологическими базами непосредственно на столе станка. Для ориентации и закрепления используются опорные и зажимные колодки, а также прихваты. Эти нормализованные узлы показаны на рисунках 1.16 и 1.17. При установке и креплении на столе станка высоких и неустойчивых заготовок, особенно со свисающими концами, для создания дополнительных опор применяются раздвижные (распорные) винты (рисунок 1.18) и домкраты (рисунок 1.19).

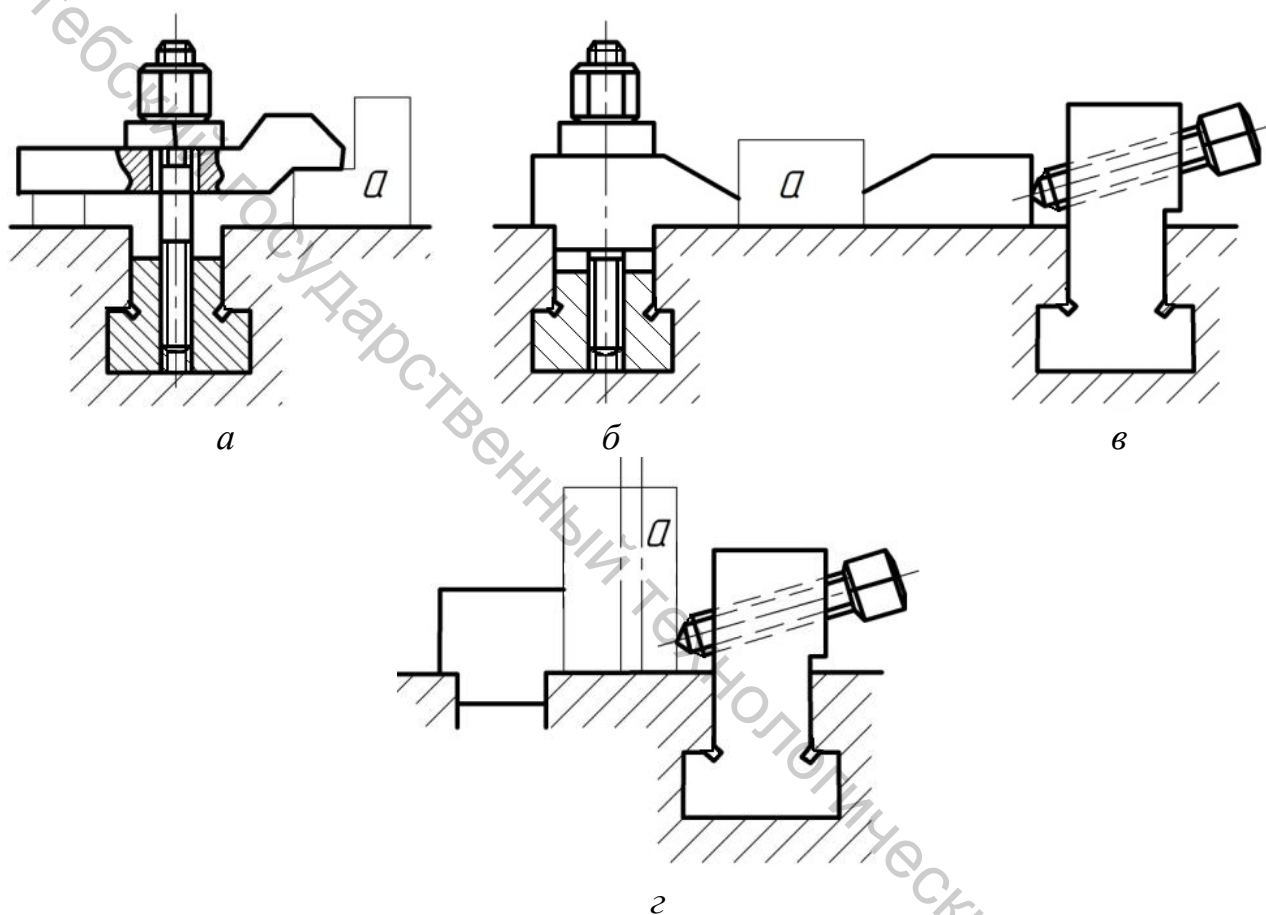


Рисунок 1.16 – Нормализованные зажимные узлы, собираемые из нормализованных зажимных деталей:

а – винтовые прихваты; *б, в* – клиновые зажимы; *г* – винтовые зажимы

Установка и крепление цилиндрических заготовок на столе станка изображены на рисунке 1.20. Заготовки более сложной формы часто крепятся на угольнике 1 (рисунок 1.21) при помощи струбцин или прихватов 2. Угольники на столе станка крепятся пазовыми болтами или прихватами.

Машинные тиски, которые применяются для закрепления заготовок на строгальном станке, показаны на рисунке 1.22. Наиболее жесткими являются простые тиски. Поворотные тиски менее жесткие, но зато заготовку можно повернуть вокруг вертикальной оси на необходимый угол, значение которого отсчитывается по лимбу. Универсальные тиски позволяют поворачивать заготовку как вокруг вертикальной, так и вокруг горизонтальной оси.

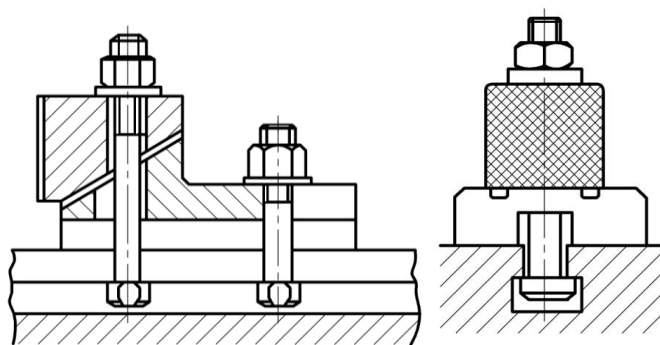


Рисунок 1.17 – Клиновые прижимы для поперечного крепления заготовок

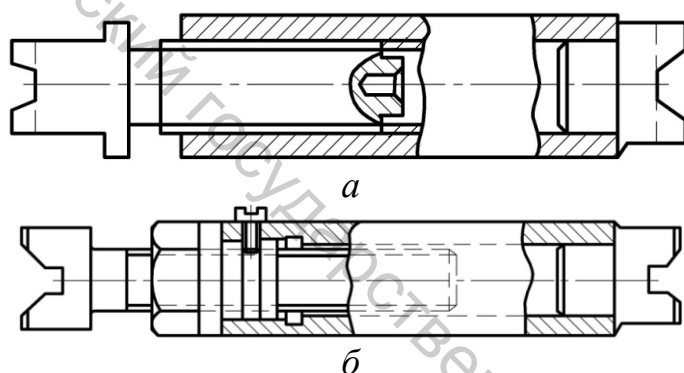


Рисунок 1.18 – Распорные винты:
а – изготавливают длиной до 400 мм,
б – изготавливают длиной от 400 до 2600 мм

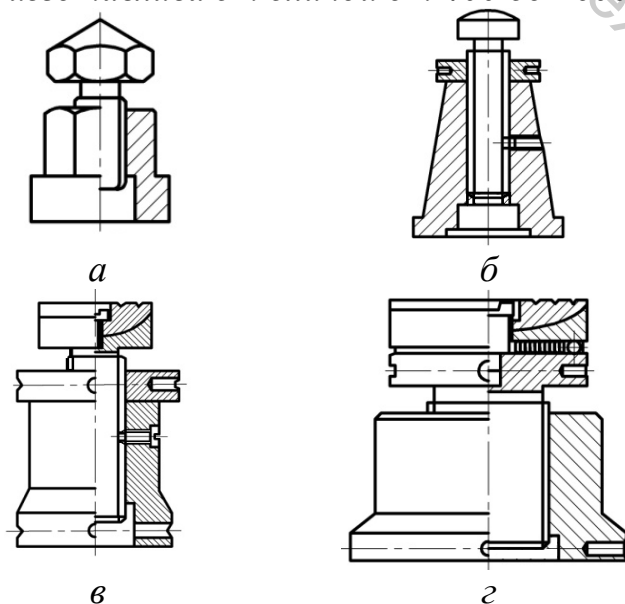


Рисунок 1.19 – Винтовые домкраты:
а, б – простые; в, г – со сферическими
самоустанавливающимися шайбами

Станочные тиски закрепляют на столе станка при помощи двух болтов, головки которых входят в Т-образные пазы стола. Проверка положения тисков на столе станка производится в продольном и поперечном направлениях, а также проверяется горизонтальное положение направляющих тисков и перпендикулярность неподвижной губки тисков к зеркалу станка. Если тиски поворотные или универсальные, то перед контролем шкалу (шкалы) устанавливают на нуль.

Для проверки продольного положения тисков в них короткой стороной закрепляется угольник, длинная сторона которого длиной не менее 300 мм должна быть направлена параллельно движению ползуна. В резцедержателе суппорта станка закрепляется чертилка (рисунок 1.23 а) или индикатор (рисунок 1.23 в). Чертилка (или индикатор) приводится в соприкосновение с линейкой в точке А (рисунок 1.23 а), затем она поднимается вверх и перемещением ползуна переводится в точку Б. Если острие чертили совпадает с ребром угольника, значит тиски установлены правильно. В противном случае постукиванием поправляют положение тисков и повторяют проверку.

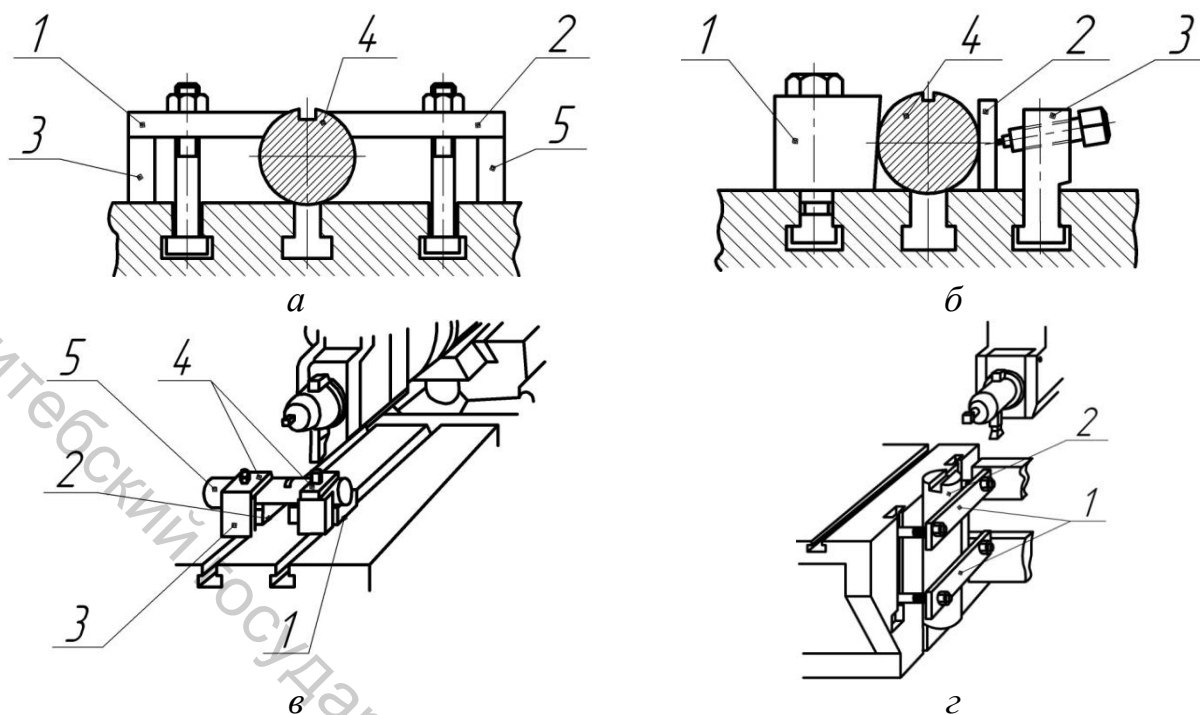


Рисунок 1.20 – Установка и крепление заготовок цилиндрической формы:
 а – при помощи прихватов: 1 и 2 – прихваты; 3, 5 – подставки;
 4 – обрабатываемая деталь; б – при помощи упорных и прижимных колодок:
 1 – упорная колодка; 2 – промежуточная планка; 3 – прижимная колодка;
 4 – обрабатываемая заготовка; в – при помощи призм: 1, 2 – призмы;
 3 – подставка; 4 – прихваты; 5 – заготовка; г – на боковой поверхности сто-
 ла: 1 – прихваты; 2 – заготовка, устанавливаемая в вертикальном
 положении

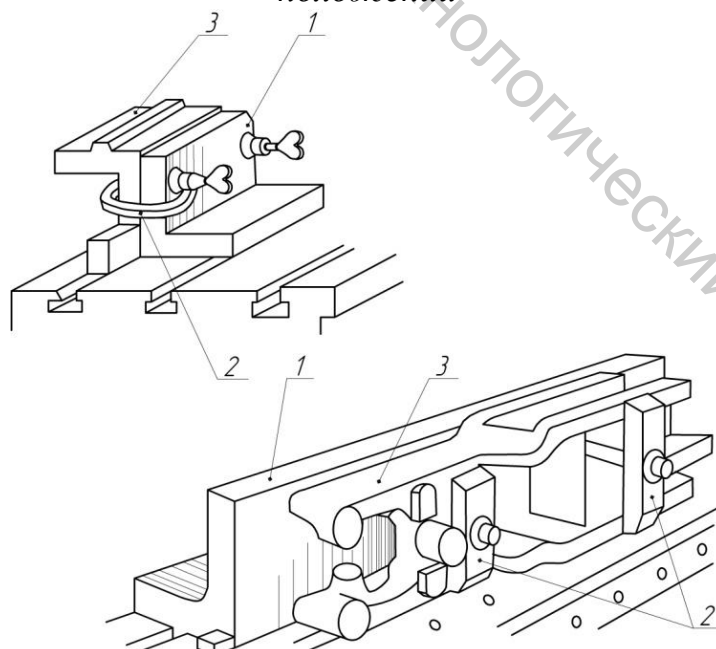


Рисунок 1.21 – Установка и крепление заготовок более сложной формы:
 а – на угольнике при помощи струбцин: 1 – угольник; 2 – струбцина;
 3 – заготовка; б – на угольнике при помощи прихватов: 1 – угольник;
 2 – прихваты; 3 – заготовка

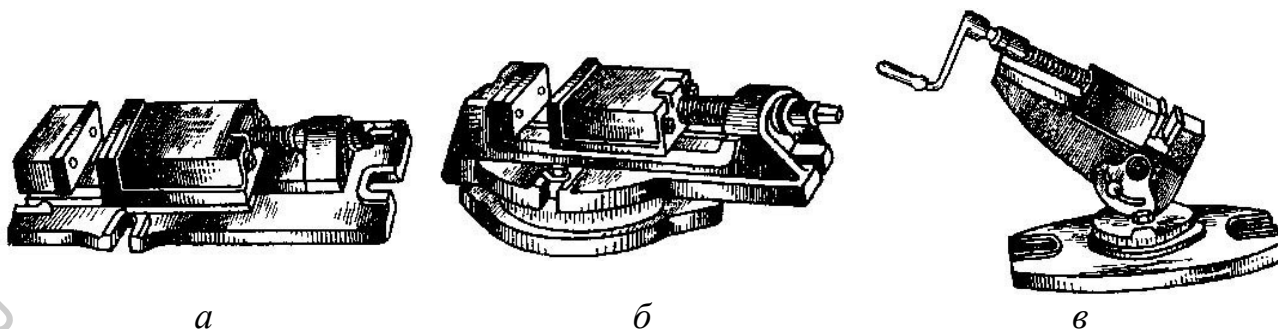


Рисунок 1.22 – Машинные тиски: а – простые; б – поворотные; в – универсальные

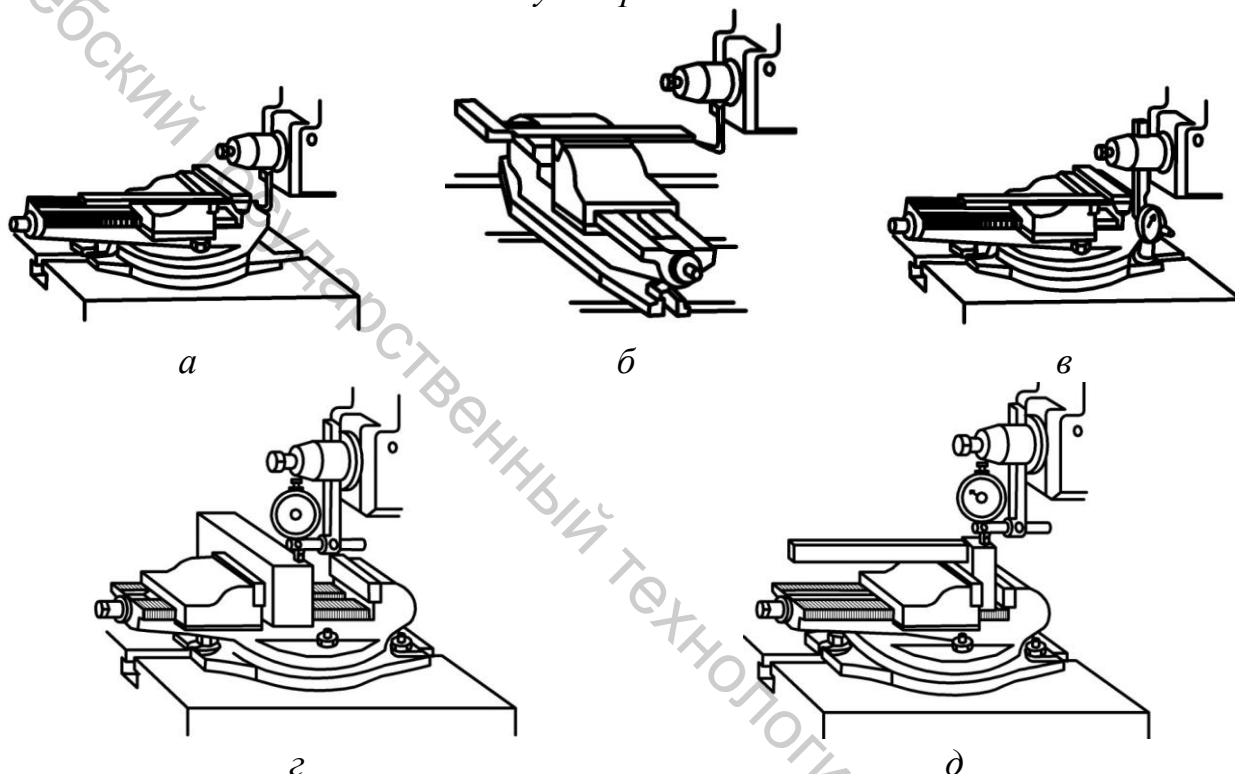


Рисунок 1.23 – Проверка положения станочных (машинных) тисков, установленных на столе станка: а – проверка продольного положения; б – проверка поперечного положения; в – проверка продольного и поперечного положений при помощи индикатора; г – проверка горизонтального положения направляющих тисков; д – проверка правильности заготовок губками тисков

Точность установки с помощью чертилки не превышает 0,15 мм. С помощью индикатора можно установить тиски с погрешностью 0,02 мм на длине 300 мм.

Проверка поперечного положения тисков (рисунок 1.23 б) производится так же, как и продольного, только угольник закрепляется в тисках длинной стороной. Проверка горизонтального положения направляющих тисков проводится при помощи точного призматического бруска и индикатора (рисунок 1.23 г). Перемещение настроенного на ноль индикатора по бруску осуществляется перемещением стола. Отклонение от горизонтальности не должно превышать 0,02 мм. Проверка проводится возле неподвижной и подвижной губок тисков. В случае необходимости горизонтальность тисков регулируется прокладками.

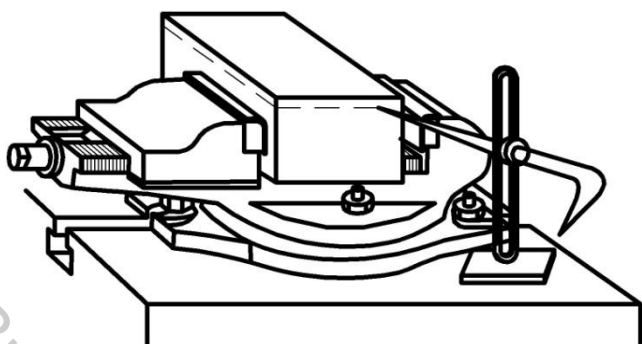


Рисунок 1.24 – Установка и проверка положения детали в тисках при помощи рейсмаса по разметке

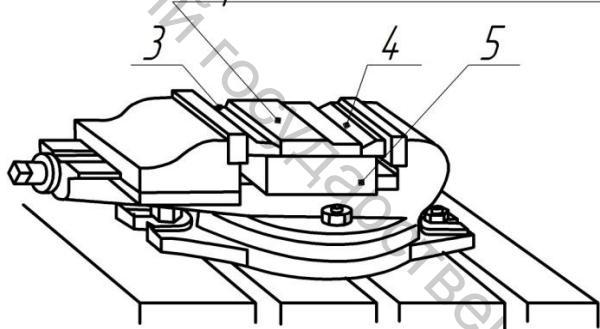


Рисунок 1.25 – Установка заготовки с ориентацией по направляющим тисков

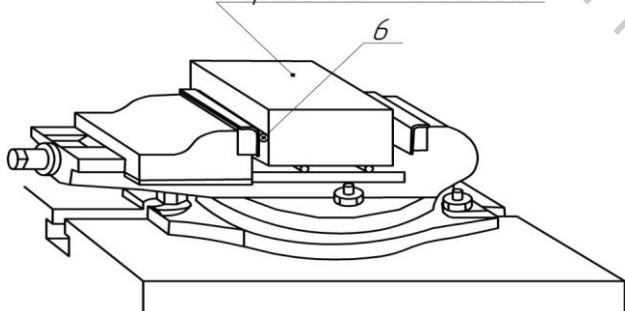


Рисунок 1.26 – Установка заготовки с ориентацией по неподвижной губке

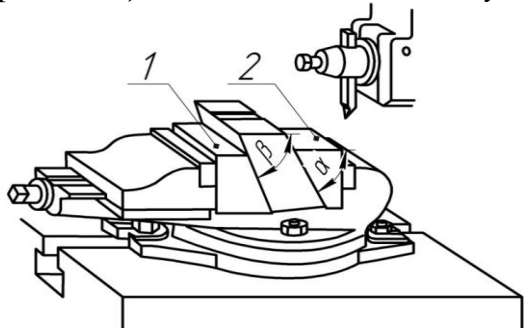


Рисунок 1.27 – Установка и закрепление в тисках призматического бруска для обработки под углом β

Схема проверки перпендикулярности неподвижной губки тисков показана на рисунке 1.23 д. При перемещении ползуна с индикатором вдоль длинной стороны угольника не должно превышать 0,03 мм на длине 300 мм.

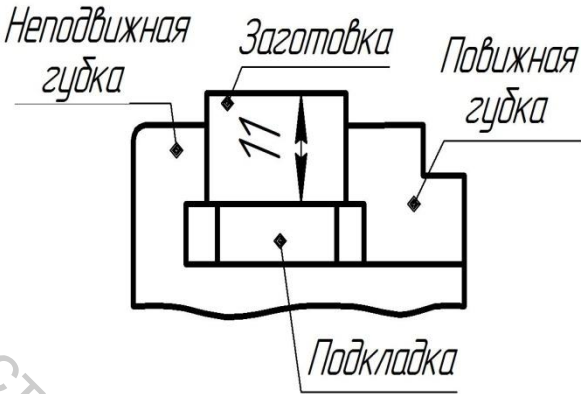
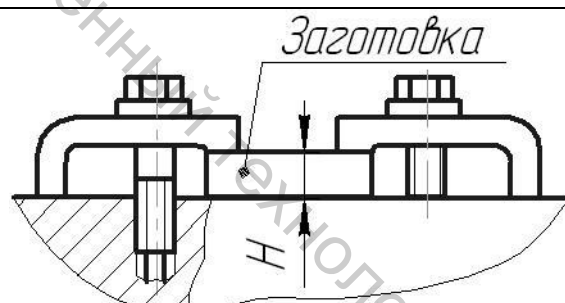
Заготовка в тисках может устанавливаться выверкой (в основном по разметке, см. рисунок 1.24) или сопряжением. В последнем случае технологической базой может быть обработанная ранее плоскость, обращенная при установке к направляющим тисков (рисунок 1.25) или к неподвижной губке (рисунок 1.26). Для установки относительно невысоких заготовок на направляющие кладут подкладку 5 (рисунок 1.25). Заготовка зажимается губками тисков через клинья 3 и 4. Если заготовка ориентируется неподвижной губкой, то рекомендуется силу зажима от подвижной губки передавать заготовке через цилиндрическую прокладку 6 (рисунок 1.26).

При закреплении заготовок в тисках обычно возникает ее вертикальное смещение, причиной которого является несоосность зажимного винта и зажимающей силы, а также необходимые зазоры в направляющих подвижной губки. Плотное прилегание технологической базы заготовки к подкладке или направляющим тисков обеспечивается постукиванием медным молотком перед окончательным закреплением.

Если нужно обработать плоскость бруска под углом β к технологической базе, применяют угловые прокладки (рисунок 1.27). Угол α должен быть равен углу β .

В таблице 1.3 показана зависимость погрешности установки заготовки от способа ее реализации.

Таблица 1.3 – Погрешности установки детали на размер

Характер установки	Схемы установки	Величина погрешности в мм
Эксцентрикковые тиски с подкладкой		0,1
Винтовые тиски без подкладки		0,05
То же с подкладкой (деталь свободно кладется на подкладку)		0,1-0,2
То же (деталь плотно поджимается к подкладке и после зажатия подстукивается молотком)		0,05-0,08
Установка на плоскости при закреплении прихватами		0,01-0,02

1.4 Схемы обработки типовых поверхностей

Схема строгания горизонтальной плоскости показана на рисунке 1.28. Заготовка устанавливается в тисках или на столе. Поворотная часть суппорта ставится на ноль градусов, а откидная доска – в среднее положение. Вертикальной подачей резца осуществляется размерная настройка. Стругание плоскости осуществляется с горизонтальной (продольной) подачей.

Схема строгания сопряженных (взаимно перпендикулярных) плоскостей показана на рисунке 1.29. Брусок сначала устанавливается в тисках на подставках широкой стороной кверху (а). После строгания верхней плоскости брусок переворачивают и ставят обработанной плоскостью к неподвижной губке, а необработанной через круглый стержень к подвижной (б). Стержень применяется для надежности базирования. После строгания первой узкой стороны заготовку переворачивают для строгания второй узкой стороны. Широкая обработанная сторона повернута к неподвижной губке, а обработанная узкая лежит на направляющих тисков или на подкладке. В последнюю очередь строгается вторая широкая сторона бруска.

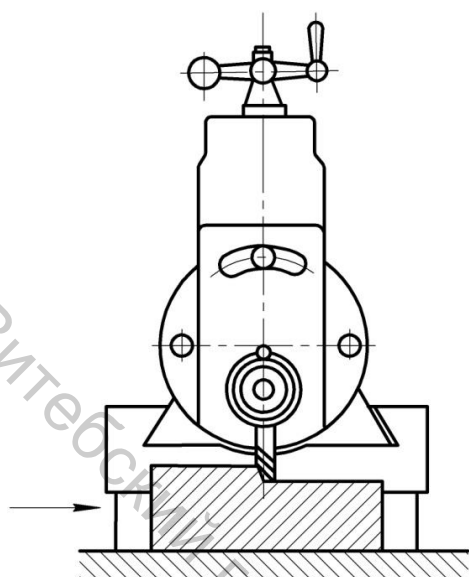


Рисунок 1.28 – Стругание горизонтальных плоскостей

Схемы строгания вертикальных плоскостей показаны на рисунке 1.30. При этом поворотная часть суппорта ставится на ноль градусов, а поворотная плита поворачивается до отказа. Стругание вертикальных плоскостей осуществляется подрезным (см. рисунок 1.30 а) или проходным (см. рисунок 1.30 б) резцом. При установке заготовки на столе необходимо, чтобы обрабатываемая плоскость находилась над пазом стола. При этом не будет опасности повреждения стола.

На рисунке 1.31 показаны схемы, иллюстрирующие рациональную последовательность переходов при строгании крупных уступов.

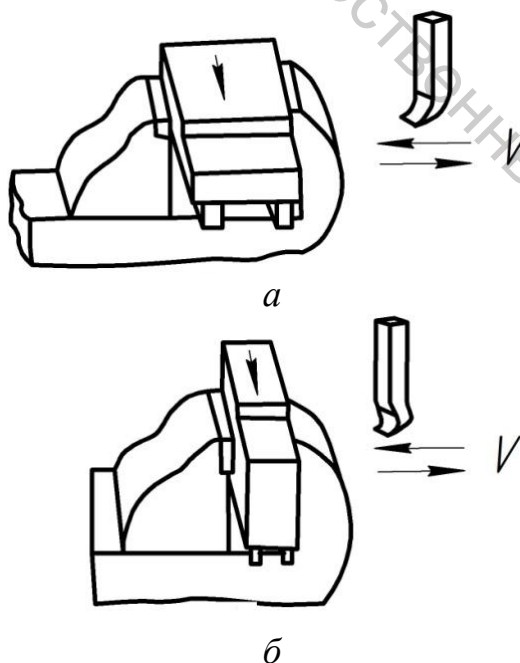


Рисунок 1.29 – Стругание сопряженных поверхностей

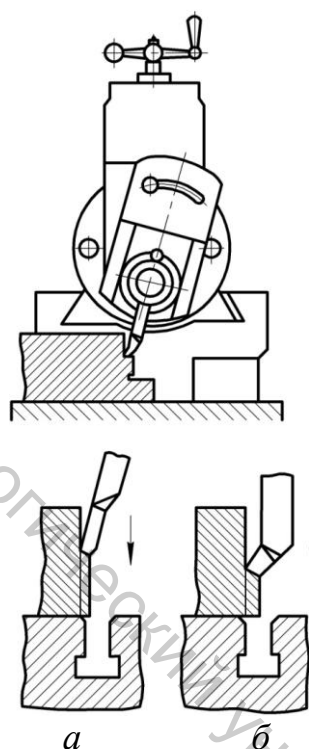


Рисунок 1.30 – Стругание вертикальных плоскостей

Схема строгания наклонных плоскостей показана на рисунке 1.32. Перед началом работы поворотная часть суппорта устанавливается на угол, равный углу наклона обрабатываемой плоскости к вертикали, а поворотная плита поворачивается до отказа верхним концом от заготовки, как это показано на рисунке. Схемы, иллюстрирующие рациональную последовательность переходов при строгании сопряженных горизонтальной и наклонной плоскостей, показаны на рисунке 1.33.

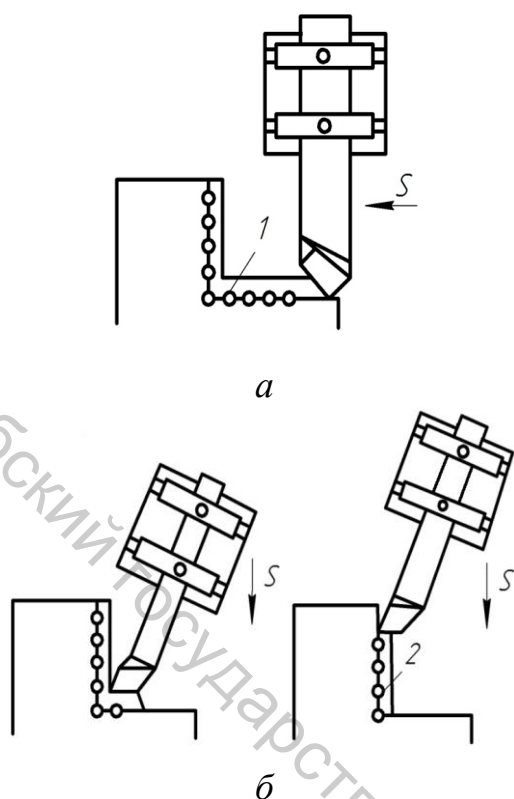
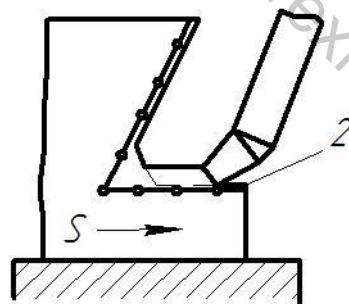
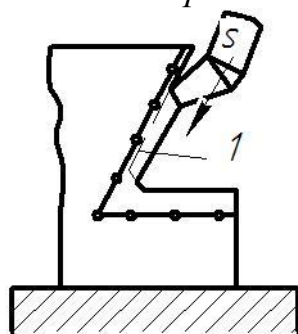


Рисунок 1.31 – Схема рациональной последовательности переходов при строгании уступов

1-й переход

2-й переход



3-й и 4-й переходы

5-й и 6-й переходы

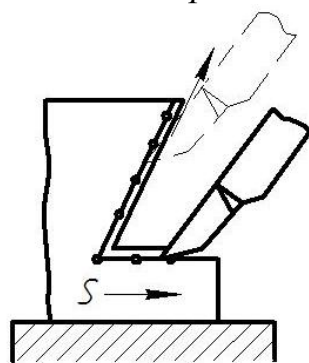
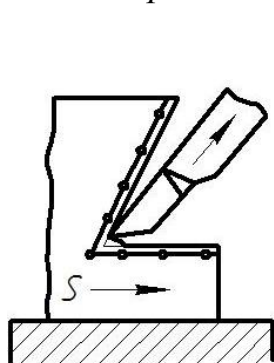


Рисунок 1.33 – Схема рациональной последовательности переходов при строгании сопряженных горизонтальной и наклонной плоскостей

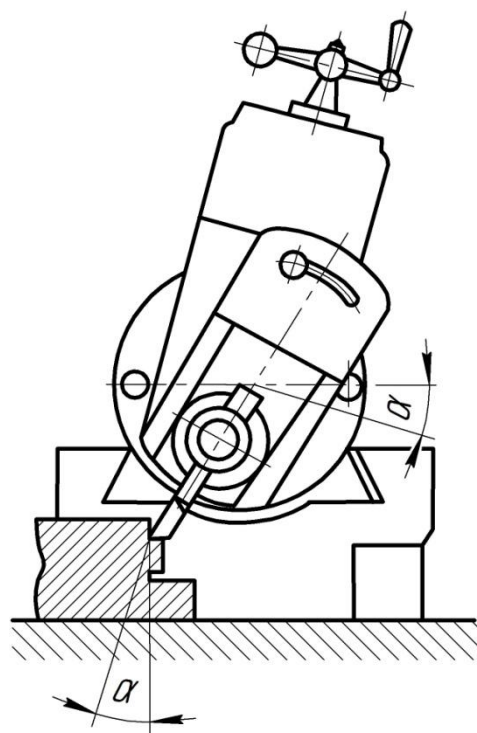


Рисунок 1.32 – Стругание наклонных плоскостей

Схемы, иллюстрирующие рациональную последовательность переходов строгания различных пазов, показаны на рисунке 1.34. Паз типа «ласточкин хвост» обрабатывается в три перехода. Сначала формируется прямоугольный паз, а затем – в два перехода наклонные стороны с угловой (как это показано на рисунке 1.34 а) подачей или, если глубина паза не превышает 15 мм, а ширина больше чем двойная глубина, с горизонтальной подачей. Тогда наклонные стороны паза формируются копированием образующей. Т-образный паз формируется за три основных перехода (см. рисунок 1.34 б) и за два дополнительных, на которых снимаются фаски.

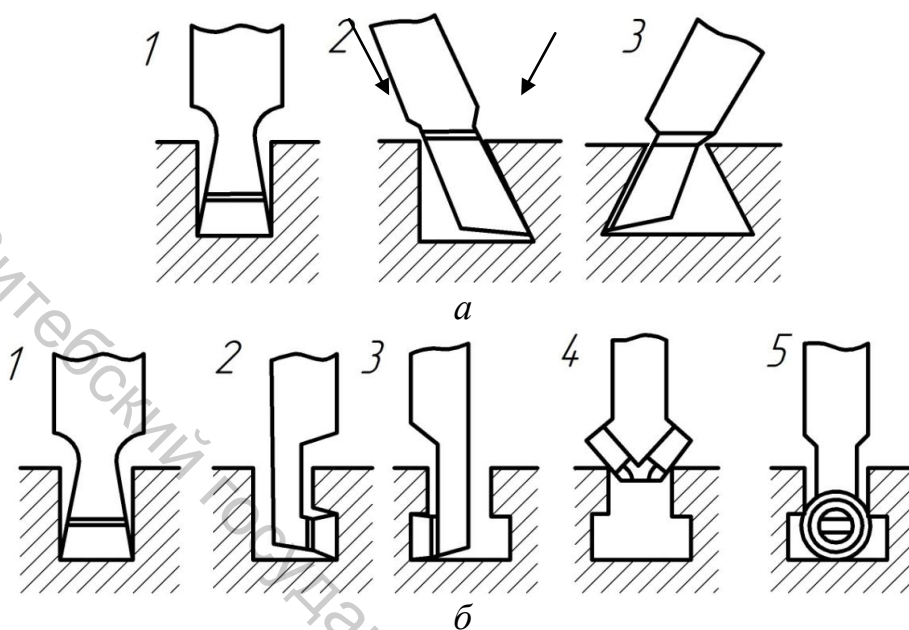


Рисунок 1.34 – Схемы рациональной последовательности переходов при строгании пазов

Схема строгания полуоткрытых и закрытых пазов показана на рисунке 1.35. Вначале сверлится отверстие, диаметр которого несколько больше ширины паза, а глубина – больше глубины паза. Эти отверстия (одно для полуоткрытого и два для закрытого паза) служат для обеспечения перебега (входа и выхода резца).

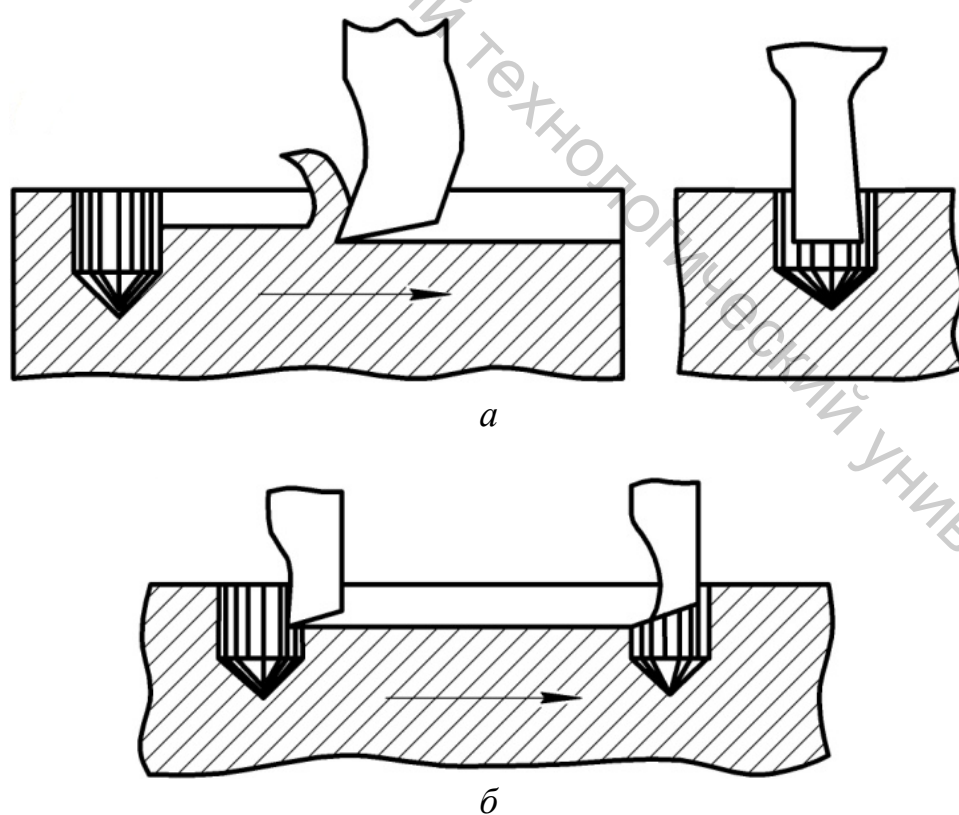


Рисунок 1.35 – Схема строгания пазов без свободного выхода резца

1.5 Выбор показателей режима строгания

Рекомендуемые значения показателей режима строгания (глубина резания a – в мм, подача S – в мм/ дв. ход и скорость резания V – в м/мин) для предварительного и чистового строгания плоскостей, обработки пазов и отрезке приводятся в таблицах 1.4 – 1.10.

Таблица 1.4 – Подача при предварительном строгании плоскостей ($Ra = 12,5 \dots 25$ мкм)

Обрабатываемый материал	Глубина резания a , мм			
	3 – 4	5 – 7	8 – 11	12
Сталь	1 – 1,2	0,5 – 0,7	0,3 – 0,4	0,15 – 0,25
Чугун	1,2 – 1,4	0,9 – 1,2	0,6 – 1,0	0,4 – 0,6

Примечание. Меньшие значения из диапазона подач соответствуют большей глубине резания из диапазона

Таблица 1.5 – Подача при чистовом строгании плоскостей проходными резцами

Ra , мкм	Обрабатываемый материал	Радиус при вершине r , мм			Глубина резания a , мм
		1	2	3	
5 – 10	Сталь и чугун	0,7 – 0,9	1 – 1,2	1,2 – 1,5	до 2
2,5 – 5	Сталь	0,25 – 0,4	0,5 – 0,7	0,7 – 0,9	до 1
	Чугун	0,35 – 0,5	0,5 – 0,8	0,9 – 1	до 1

Таблица 1.6 – Подача при чистовом строгании плоскостей широкими резцами

Ra , мкм	Обрабатываемый материал	Переходы	Глубина a , мм	Подача S , мм/ дв.х.
2,5 – 5	Чугун	Чистовой	до 2	10 – 20
0,63 – 2,5	Чугун	Предварительный	0,15 – 0,3	10 – 20
		Окончательный	0,05 – 0,1	12 – 16

Таблица 1.7 – Поддачи при строгании пазов и отрезке

Обрабатываемый материал	Ширина резца b , мм			
	до 5	5 – 8	8,5 – 10	10,5 – 15
Сталь	0,12 – 0,14	0,15 – 0,18	0,18 – 0,20	0,20 – 0,22
Чугун	0,22 – 0,27	0,28 – 0,32	0,32 – 0,36	0,36 – 0,4

Примечания:
 1. При строгании боковых полок Т-образных пазов поддачи уменьшать на 20 – 25 %.
 2. При строгании пазов в отверстиях диаметром до 100 мм резцами на оправке табличные значения подач при длине паза до 100 мм уменьшать на 20 %, до 200 мм – на 40 % и свыше 200 мм – на 60 %.

Таблица 1.8 – Скорости резания при обработке плоскостей в заготовках из стали резцами из быстрорежущих сталей (Р6М5)

Твердость	Подача, мм/дв.х.	Глубина резания до, мм				
		1	1,6	2,8	4,7	8
160 – 200	до 0,3	48	38	29	12	17
	0,3 – 1	32	25	19	15	11
	1 – 1,5	21	17	12,5	9,7	7,5
220 – 300	до 0,3	40	32	24	18,5	14
	0,3 – 1	26	21	15,5	12	9
	1 – 1,5	17	13	10	8	6

Примечания:

1. Табличные значения скорости резания приняты для стойкости $T = 120$ мин.
2. Для периодов стойкости $T = 60, 180$ и 240 мин скорости резания умножать соответственно на 1,1; 0,95 и 0,9.
3. При наличии у поковок или отливок скорость корки резания уменьшать на 20 %.

Таблица 1.9 – Скорости резания при обработке плоскостей в заготовках из чугуна

Твердость	Материал резца	Подача мм/дв.х.	Глубина резания до, мм				
			1	1,6	2,8	4,7	8
до 180	P5M6	до 0,35	35	27,5	21	16	12
		0,35 – 1,2	22	17,5	15	10	8
		1,2 – 1,6	15	12	9	7	5,5
св. 180		до 0,35	26	20,5	15,5	12	9
		0,35 – 1,2	16	12,5	9,5	7,5	6
		1,2 – 1,6	11,5	9	7	5,5	4
160 – 260	BK8	до 0,35	54	50	46	43	39,5
		0,35 – 1,2	42,5	39,5	36,5	33,5	31
		1,2 – 1,6	36	33,5	31	28,5	26,5

Примечания:

1. Табличные значения скорости резания приняты для стойкости $T = 120$ мин.
2. Для периодов стойкости $T = 60, 180$ и 240 мин скорости резания умножать соответственно на 1,1; 0,95 и 0,9.
3. При наличии у поковок или отливок корки скорость резания уменьшать на 20 %.

Таблица 1.10 – Скорости резания при обработке пазов

Обрабатываемый материал	Твердость НВ	Материал резца	Подача, мм/дв.ход			
			0,12	0,21	0,3	0,4
Сталь	160 – 200	Р6М5	36	25	19,5	16
	220 – 300		20	14	11	9
Чугун	160	Р6М5	20	14	11	9
	200		16	11	9	7
	160	ВК8	35	22,5	17	13,5
	200		28	18	13,5	11

Примечания:

1. Табличные скорости резания действительны для стойкости $T = 120$ мин. и заготовок из проката или поковок. Для стальных отливок скорость резания уменьшать на 10 %.
2. Для периодов стойкости $T = 60, 180$ и 240 мин. Скорости резания при обработке стальных заготовок резцом из Р6М5 умножать соответственно на 1,19; 0,9 и 0,84, а при обработке чугуна резцами из Р6М5 – на 1,11; 0,94 и 0,9, а резцами из ВК8 – на 1,15; 0,92 и 0,87.

При чистовом строгании широкими резцами скорость резания выбирается в пределах 4–10 м/мин. Большие значения выбираются для меньшей площади обрабатываемой плоскости, чтобы обеспечить обработку всей заготовки без смены инструмента.

1.6 Определение затрат основного времени

Для определения затрат основного времени сначала определяется длина хода L_v в направлении главного движения:

$$L_v = L + 2L_{en},$$

где L_{en} – длина перебега, которую можно определить по таблице 1.11;

L – длина заготовки.

Таблица 1.11 – Перебеги при строгании

Длина заготовки, мм	до 100	101 – 200	201 – 300	более 300
$2L_{en}$	35	50	60	75

Для выбранного значения глубины резания определяем подачу S (см. табл. 1.3 – 1.6) и рекомендуемую скорость резания V . Рекомендуемую подачу корректируем по станку (S_c). В строке таблицы 1.2, соответствующей значению L_v находим ближайшее меньшее значение V_c и соответствующее ей значение частоты n движений ползуна.

Число двойных ходов N , необходимых для обработки плоскости шириной B , равно

$$N = \frac{L_s}{S_c},$$

где $L_s = B + L_\phi + (1...2)$; $L_\phi = a * \operatorname{tg} \varphi$ – длина врезания резца с углом в плане φ .

Тогда основное время t_o обработки плоскости находим из выражения

$$t_o = \frac{N}{n} = \frac{B + a * \operatorname{tg} \varphi + (1...2)}{n * S_c}.$$

При строгании паза N определяется из выражения

$$N = \frac{L_s}{S_c} = \frac{[h + (0,5...1)]}{S_c},$$

тогда

$$t_o = \frac{h + (0,5...1)}{n * S_c}.$$

1.7 Вопросы для самоконтроля

1. Назовите главные компоненты технологической системы поперечно-строгального станка.
2. Какие компоненты технологической системы поперечно-строгального станка совершают главное движение?
3. Какие компоненты технологической системы поперечно-строгального станка совершают движения подачи?
4. Как устроено простейшее приспособление для подъема резца при обратном ходе для строгания горизонтальных поверхностей?
5. Как включить возвратно-поступательное движение ползуна поперечно-строгального станка?
6. Каково назначение стола поперечно-строгального станка?
7. Каково назначение суппорта поперечно-строгального станка?
8. Как осуществляется подача при строгании вертикальных и наклонных поверхностей, а также канавок на поперечно-строгальном станке?
9. Каково назначение ползуна поперечно-строгального станка?
10. Как установить угол наклона суппорта при строгании наклонных поверхностей на поперечно-строгальном станке?
11. Как установить длину вылета ползуна поперечно-строгального станка?
12. Как настроить и включить продольную и вертикальную подачу стола поперечно-строгального станка?
13. Как настроить значение частоты движений ползуна поперечно-строгального станка?
14. Как включить ускоренную продольную и вертикальную подачу стола поперечно-строгального станка?
15. По каким признакам подразделяются строгальные резцы?
16. Из каких материалов изготавливается режущая часть строгальных резцов?
17. Какие бывают строгальные резцы по форме стержня?
18. Какие преимущества имеют прямые строгальные резцы по сравнению с изогнутыми резцами?
19. Какое преимущество имеют изогнутые строгальные резцы по сравнению с прямыми резцами?
20. В зависимости от чего различают строгальные резцы по типу?
21. Для чего используют проходные изогнутые строгальные резцы с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$?
22. Для чего используют подрезные прямые строгальные резцы?
23. Какие резцы обозначены позициями 1 – 10 на рисунке 1.9 б?

24. Какими позициями обозначена на рисунке 1.10 обработка направляющих типа «ласточкин хвост» и Т-образных направляющих? Как осуществляется их обработка?

25. Для чего используется оправка с цилиндрической горизонтальной передвижной державкой при обработке на поперечно-строгальном станке?

26. Как осуществляется размерная настройка при строгании плоскостей и уступов при обработке на поперечно-строгальном станке?

27. Как закрепляются заготовки, обрабатываемые строганием, на поперечно-строгальном станке?

28. Какие нормализованные узлы используются для ориентации и закрепления заготовок с плоскими технологическими базами при обработке на поперечно-строгальном станке?

29. Для чего используются раздвижные (распорные) винты и домкраты при обработке на поперечно-строгальном станке?

30. Как устанавливаются и крепятся заготовки цилиндрической формы на поперечно-строгальном станке?

31. Для чего используют угольники при обработке на поперечно-строгальном станке?

32. Как крепятся угольники при обработке на поперечно-строгальном станке?

33. При помощи чего крепятся заготовки к угольникам при обработке на поперечно-строгальном станке?

34. Какие тиски применяются для крепления заготовок при обработке на поперечно-строгальном станке?

35. Как закрепить станочные тиски на столе поперечно-строгального станка?

36. Что проверяется при установке тисков на столе поперечно-строгального станка?

37. Как производится проверка положения тисков на столе поперечно-строгального станка в продольном направлении?

38. Как производится проверка положения тисков на столе поперечно-строгального станка в поперечном направлении?

39. Как проверяется горизонтальное положение направляющих тисков при их установке на столе поперечно-строгального станка?

40. Как проверяется перпендикулярность неподвижной губки тисков к зеркалу поперечно-строгального станка?

41. Как осуществляется установка заготовок в тисках при помощи выверки и сопряжением при обработке на поперечно-строгальном станке?

42. Что является причиной вертикального смещения заготовки при ее закреплении в тисках и как это смещение устраняется при обработке на поперечно-строгальном станке?

43. Для чего при креплении заготовки в тисках при обработке на поперечно-строгальном станке применяют угловые подкладки?

44. Во сколько раз больше погрешность установки заготовки на размер с помощью эксцентриковых тисков с подкладкой по сравнению с установкой заготовки с помощью винтовых тисков без подкладки?

45. Во сколько раз больше погрешность установки детали на размер с помощью винтовых тисков с подкладкой по сравнению с установкой заготовки на плоскости при закреплении прихватами?

46. Как обработать сопряженные (взаимно перпендикулярные) плоскости на поперечно-строгальном станке?

47. Как обработать вертикальную плоскость на поперечно-строгальном станке?

48. Как обработать наклонную плоскость на поперечно-строгальном станке?

49. Опишите рациональную последовательность переходов при строгании крупных уступов.

50. Опишите рациональную последовательность переходов при строгании паза типа «ласточкин хвост».

51. Опишите рациональную последовательность переходов при строгании Т-образного паза.

52. Как обрабатываются полуоткрытые и закрытые пазы на поперечно-строгальном станке?

53. От чего зависит подача при предварительном строгании плоскостей ($Ra = 12,5 - 25 \text{ мкм}$)?

54. От чего зависит подача при чистовом строгании плоскостей проходными резцами?

55. От чего зависит подача при строгании пазов и отрезке от групповой заготовки?

56. От чего зависит скорость резания при строгании плоскостей?

57. Для какого материала (чугуна или стали) скорость резания при обработке плоскости резцом из быстрорежущей стали P5M6 больше?

58. От чего зависит длина перебега при строгании?

59. Как определить и установить на станке значение частоты движений ползуна?

60. Как определить число двойных ходов для обработки плоскости шириной В?

61. От чего зависит основное время обработки плоскости?

2 ОБРАБОТКА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ (работа № 2)

2.1 Основные компоненты станков

К станкам токарной группы относят: токарно-винторезные, токарно-револьверные, токарно-карусельные, токарные автоматы и полуавтоматы и специальные станки. В настоящей работе рассматривается обработка на токарно-винторезном станке, основные узлы которого показаны на рисунке 2.1.

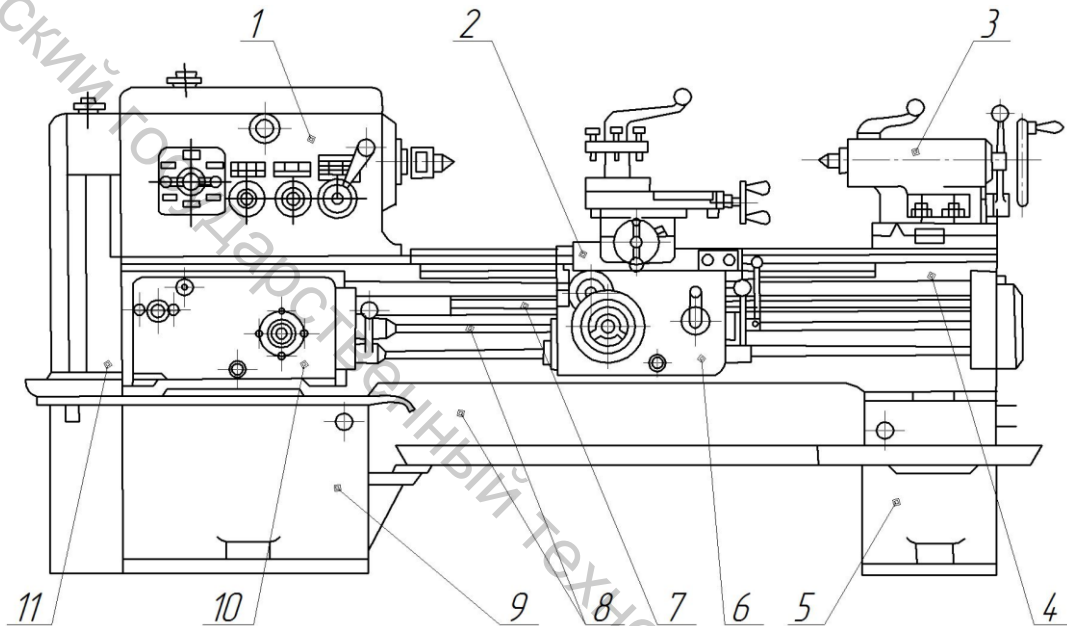


Рисунок 2.1 – Схема токарно-винторезного станка:

1 – передняя бабка; 2 – суппорт; 3 – задняя бабка; 4 – станина;
5, 9 – тумбы; 6 – фартук; 7 – ходовой винт; 8 – ходовой валик;
10 – коробка подач; 11 – гитара сменных шестерен

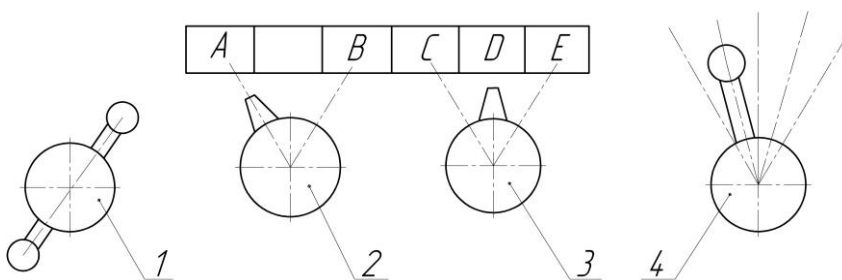


Рисунок 2.2 – Рукоятки для варьирования частоты вращения шпинделя (1 и 4)

В передней бабке размещены шпиндель и коробка скоростей, которые сообщают заготовке главное движение с заданной частотой вращения.

Частота вращения шпинделя в пределах от 12,5 до 2000 об/мин

настраивается при помощи рукояток, расположенных на передней бабке (рисунок 2.2).

Коробка подач получает движение от шпинделя через тrenzель (для смены направления подачи) и гитару сменных колес (для настройки на нарезание точ-

ной резьбы с нестандартным шагом) и передает его ходовому валлику (при точении) или ходовому винту (при нарезании резьбы). Настройка на заданную продольную подачу от 0,07 до 2,08 мм/об и на шаг резьбы (метрической – от 0,5 до 12 мм, дюймовой – от 56 до 2 ниток на дюйм, модульной – для модулей от 2 до 10) осуществляется при помощи рукояток, расположенных на коробке подач (рисунок 2.3) и коробке скоростей (рисунок 2.2, позиции 2 и 3).

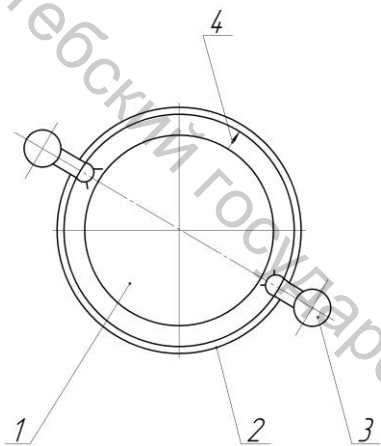


Рисунок 2.3 – Рукоятка на коробке подач

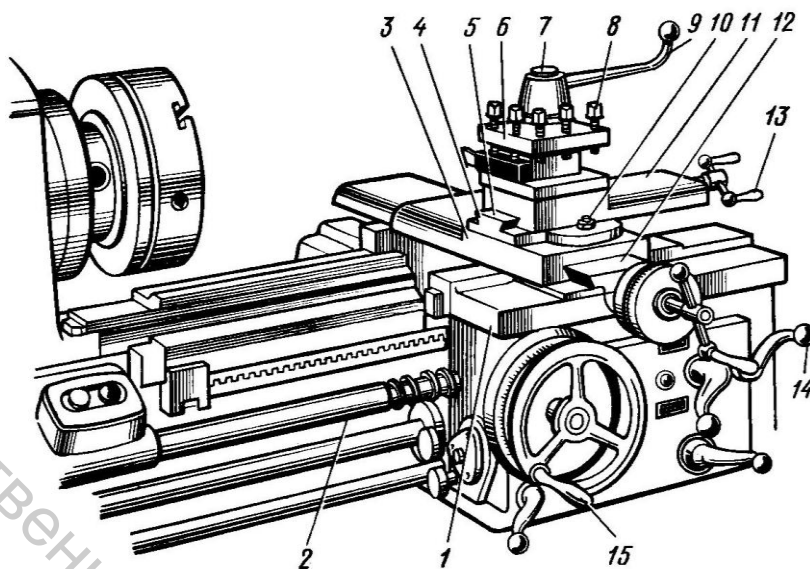


Рисунок 2.4 – Суппорт

В таблице 2.1 приведены частоты вращения шпинделя в зависимости от положения рукояток 1 и 4. А в таблице 2.2 приведены значения подачи в зависимости от сектора на барабане 2 (см. рисунок 2.3), расположенного на коробке подач, положения стрелки 4 в секторе и положения рукояток 2 и 3, расположенных на коробке скоростей (см. рисунок 2.2).

Суппорт (рисунок 2.4) предназначен для перемещения рабочего инструмента, закрепленного в резцедержателе, в продольном, поперечном или угловом направлении. Для углового направления поворачиваем поворотную плиту 4 на заданный угол, закрепляем ее гайками 10, и возникает возможность ручную, при помощи рукоятки 13 перемещать верхние салазки 11 по направляющим 5.

Продольное и поперечное механизированное перемещение салазок суппорта осуществляется от ходового валика или ходового винта через фартук (рисунок 2.1). Ручная продольная подача производится маховиком 15 (рисунок 2.4), который через зубчатую передачу сообщает вращение зубчатому колесу, катящемуся по рейке, закрепленной на станине. Продольная подача суппорта от ходового винта производится включением разъемной гайки рукояткой 14 (рисунок 2.4).

Таблица 2.1 – Скорости резания

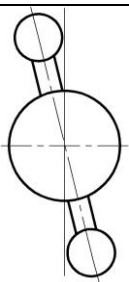



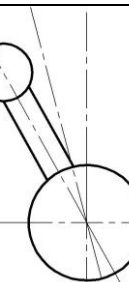
				
1	12,5	50	200	630
2	16	63	250	800
3	20	80	315	1000
4	25	100	400	1250
5	31,5	125	500	1600
6	40	160	630	2000

Таблица 2.2 – Поддачи

Рукоятки	Сектор	Поддачи при положении стрелки внутри сектора						
		0,13	0,12	0,11	0,097	0,084	0,074	0,07
A – D	1	0,13	0,12	0,11	0,097	0,084	0,074	0,07
A – D	2	0,26	0,23	0,21	0,195	0,17	0,15	0,14
A – D	3	0,52	0,47	0,43	0,39	0,34	0,30	0,28
A – D	4	1,00	0,95	0,87	0,78	0,70	0,61	0,57
A – E	4	2,08	1,90	1,74	1,56	1,40	1,21	1,14

Устройство задней бабки показано на рисунке 2.5. В конусном отверстии (конус Морзе) пиноли 4 устанавливается либо центр для ориентации заготовки, либо режущий инструмент (через вспомогательный). Ручную подачу инструмента, закрепленного в пиноли, осуществляют вращением маховика 7, а механическую – путем присоединения задней бабки к поперечным салазкам при помощи замка 11.

Настройку гитары сменных колес (рисунок 2.6) осуществляют согласно следующему уравнению:

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = P/8,$$

где P – шаг нарезаемой резьбы; a , b , c , и d – числа зубьев сменных шестерен.

При этом необходимо, чтобы соблюдались неравенства

$$\frac{a+b}{2} > (c+1); \quad \frac{c+d}{2} > (b+1).$$

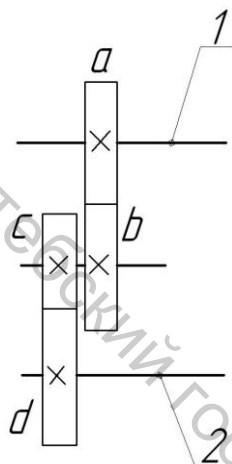


Рисунок 2.6 – Схема гитары сменных колес

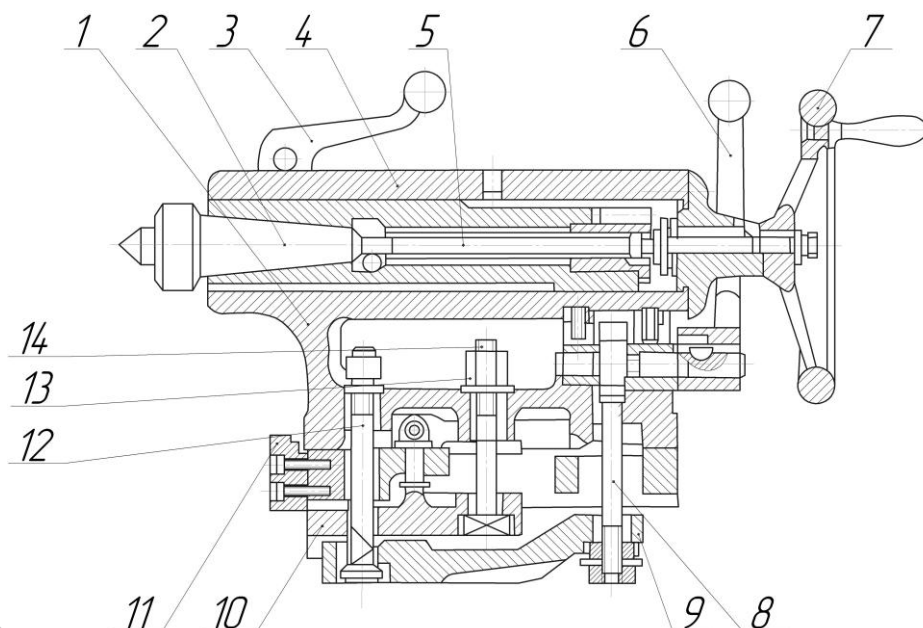


Рисунок 2.5 – Устройство задней бабки

2.2 Методы формообразования на токарных станках

На токарно-винторезном станке обрабатываются поверхности вращения и винтовые поверхности (резьбы) на деталях, в основном относящихся к классу тел вращения (валы, полые цилиндры, диски и многоосные тела). В некоторых случаях обработка указанных поверхностей производится в небольших деталях, относящихся к классам корпусные и некруглые стержни.

2.2.1 Обработка наружных поверхностей вращения

К ним относятся цилиндрические, конические и фасонные элементарные поверхности, а также прямые и угловые канавки. Частным случаем конической поверхности является торец.

Формообразование наружных поверхностей осуществляется резцами, тип которых зависит от формы поверхности и от типа ее границы. Так, открытые цилиндрические поверхности обрабатываются прямыми или отогнутыми проходными резцами с углом в плане $\phi = 30 - 60^\circ$. Чем меньше ϕ , тем выше стойкость резца. Но чаще всего применяют резцы с $\phi = 45^\circ$ (рисунок 2.7).

Полуоткрытые цилиндрические поверхности обрабатываются проходными упорными резцами с углом в плане $\phi = 90 - 93^\circ$. Предпочтительнее $\phi = 93^\circ$, чтобы торец формировался не за счет положения режущей кромки, а за счет поперечной подачи S (рисунок 2.8).

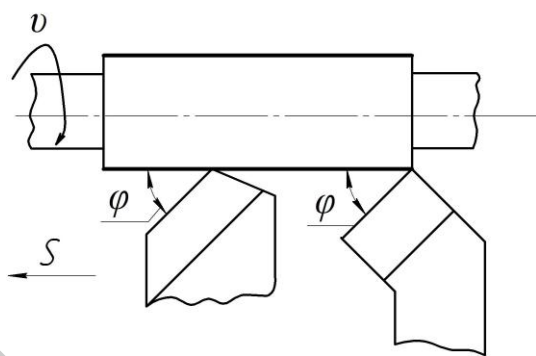


Рисунок 2.7 – Схема обработки прямыми и отогнутыми проходными резцами

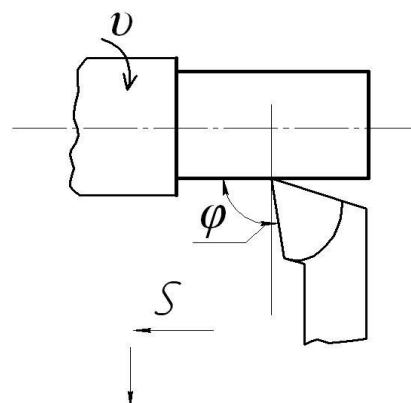


Рисунок 2.8 – Схема обработки проходным упорным резцом

Порядок удаления напуска со ступенчатой поверхности необходимо выбирать таким, чтобы суммарная длина рабочих и холостых проходов была минимальной. На рисунке 2.9 показаны два варианта удаления напуска. В случае I общая длина проходов будет

$$L_I = 2(L_1 + L_2 + L_3) + 2(L_1 + L_2) + 2L_1 = 6L_1 + 4L_2 + 2L_3,$$

а во втором

$$L_{II} = 2(L_1 + L_2 + L_3) = 2L_1 + 2L_2 + 2L_3;$$

разница ΔL составляет $\Delta L = 4L_1 + 2L_2$.

Следовательно, второй метод организации удаления напуска эффективнее первого, особенно если $a_1 \leq a_y$, где a_y – допустимая по жесткости и виброустойчивости глубина резания.

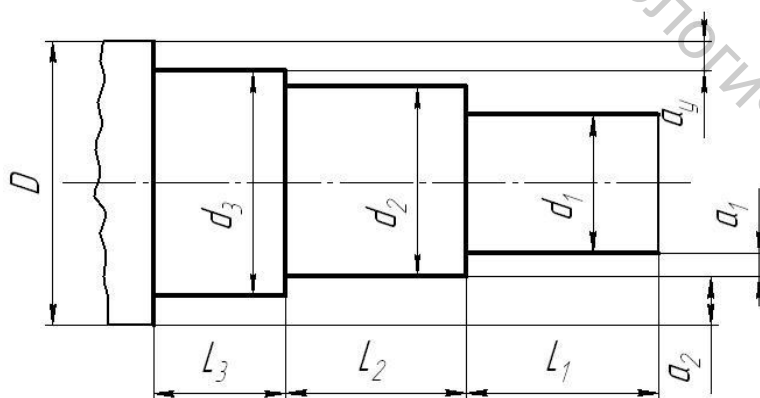


Рисунок 2.9 – Варианты удаления напуска

что и цилиндрическую, но при этом поворачивают ось вращения заготовки так, чтобы образующая конуса стала параллельна направлению продольной подачи. Это осуществляется обычно за счет смещения центра задней бабки в горизонтальной плоскости на величину h , зависящую от требуемого угла α (рисунок 2.10 а). $h = L \cdot \sin \alpha$, где L – длина заготовки.

Короткую (не более 30 – 40 мм) коническую поверхность можно обработать поперечной подачей специальным широким резцом, режущая кромка ко-

торого повернута на заданный угол (рисунок 2.10 б). Кроме того, любую коническую поверхность можно обработать (ручной подачей), повернув поворотную плиту 4 верхних салазок 11 (рисунок 2.10) на заданный угол (рисунок 2.10 в).

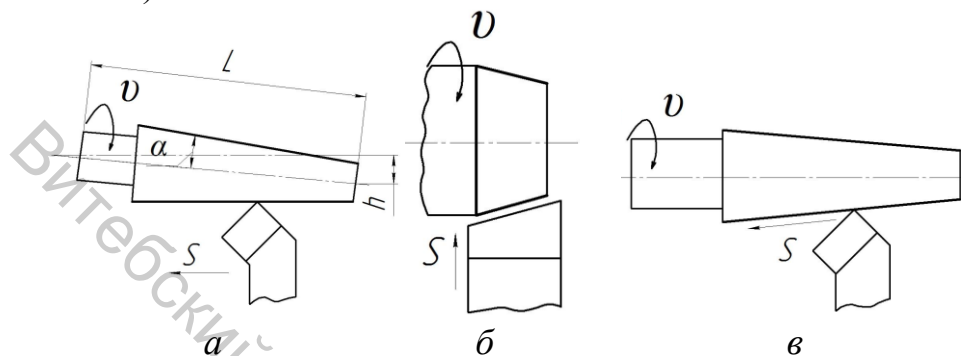


Рисунок 2.10 – Схема обработки конических поверхностей

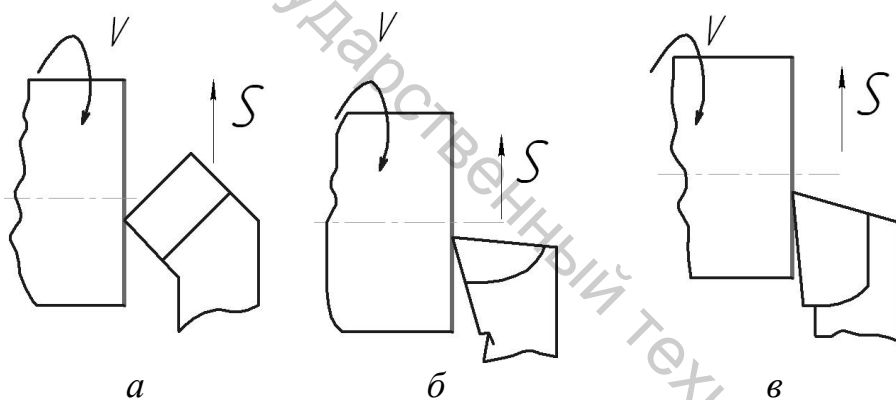


Рисунок 2.11 – Подрезка торца

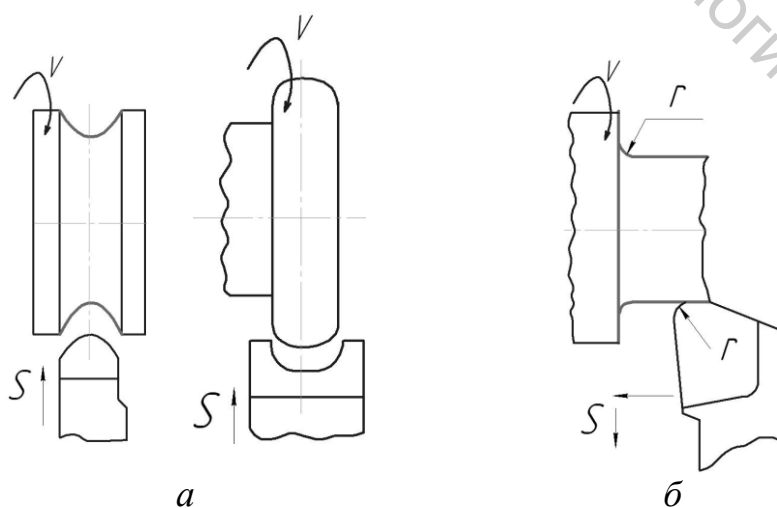


Рисунок 2.12 – Схема обработки короткой фасонной поверхности (а) и галтельного перехода (б)

Подрезание торца осуществляют либо подрезным резцом, либо проходными (отогнутым или упорным). Второе предпочтительнее, так как при этом нет необходимости в смене инструмента, когда после подрезания торца переходят к обтачиванию (рисунок 2.11).

Короткие фасонные поверхности обрабатываются призматическим или круглым фасонным резцом, радиальной подачей (рисунок 2.12 а), галтельный переход от цилиндрической поверхности к торцу обрабатывают проходным упорным резцом, вершина которого имеет скругление соответствующего радиуса (рисунок 2.12 б). Обработка

длинной фасонной поверхности, к точности профиля которой не предъявляются высокие требования (14 – 16 квалитет), может быть выполнена при одновременном ручном управлении продольной и поперечной подачей остроконечного фасонного резца (рисунок 2.13). Производительность и качество обработки за-

висят от навыков рабочего. Для повышения производительности опытные рабочие используют автоматическую продольную подачу, управляя вручную только поперечной. Обработка такой фасонной поверхности осуществляется за несколько проходов и по частям. Контроль профиля осуществляется шаблоном, для которого на необрабатываемой и обрабатываемой поверхностях формируют измерительные базы.

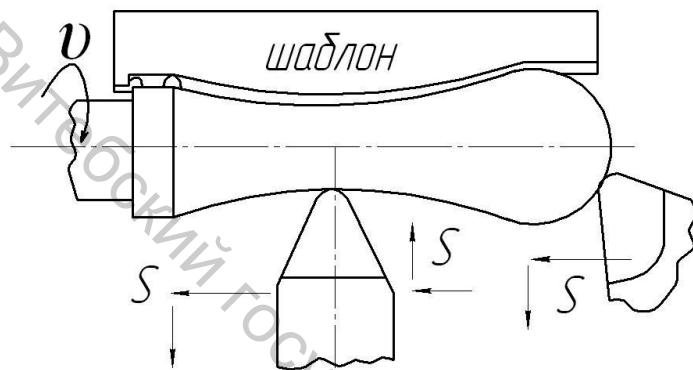


Рисунок 2.13 – Схема обработки неточной длиной фасонной поверхности

Канавки на периферии и на торце заготовки выполняются прорезными (канавочными) резцами. Канавки могут быть технологическими (для выхода инструмента при последующей отделочной обработке) или функциональными. Схемы обработки прямых и угловых технологических канавок приведены на рисунке 2.14. Прямые технологические канавки обрабатываются либо резцами канавочными соответствующего профиля и ширины, которая обычно

равна ширине канавки (см. рисунок 2.14 а и б), или проходным упорным резцом со вспомогательным углом в плане $\varphi_1 = 45^\circ$. Для последнего сначала осуществляют врезание поперечной подачей на глубину канавки, а затем продольной подачей обеспечивают ее ширину (см. рис. 2.14 в).

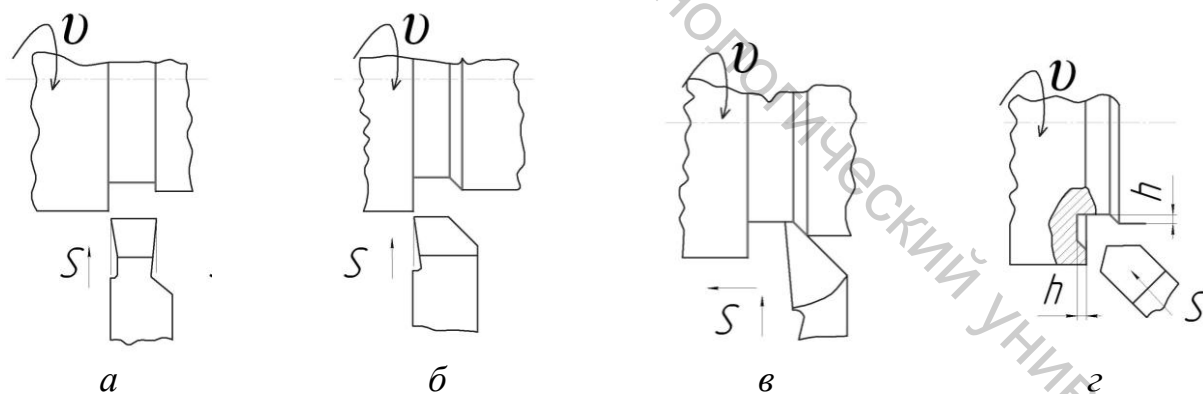


Рисунок 2.14 – Схемы обработки прямых и угловых технологических канавок

Угловая технологическая канавка выполняется канавочным отогнутым резцом с подачей под углом 45° к оси заготовки. Профиль рабочей части резца соответствует профилю канавки. Вместо подачи под углом можно использовать двухэтапную обработку: сначала радиальное врезание на глубину канавки, а затем осевое на такую же глубину в торец. Но при этом ширина резца должна быть меньше на $\Delta = 0,71 \cdot h$, где h – радиальная (и торцевая) глубина канавки (рисунок 2.14 г).

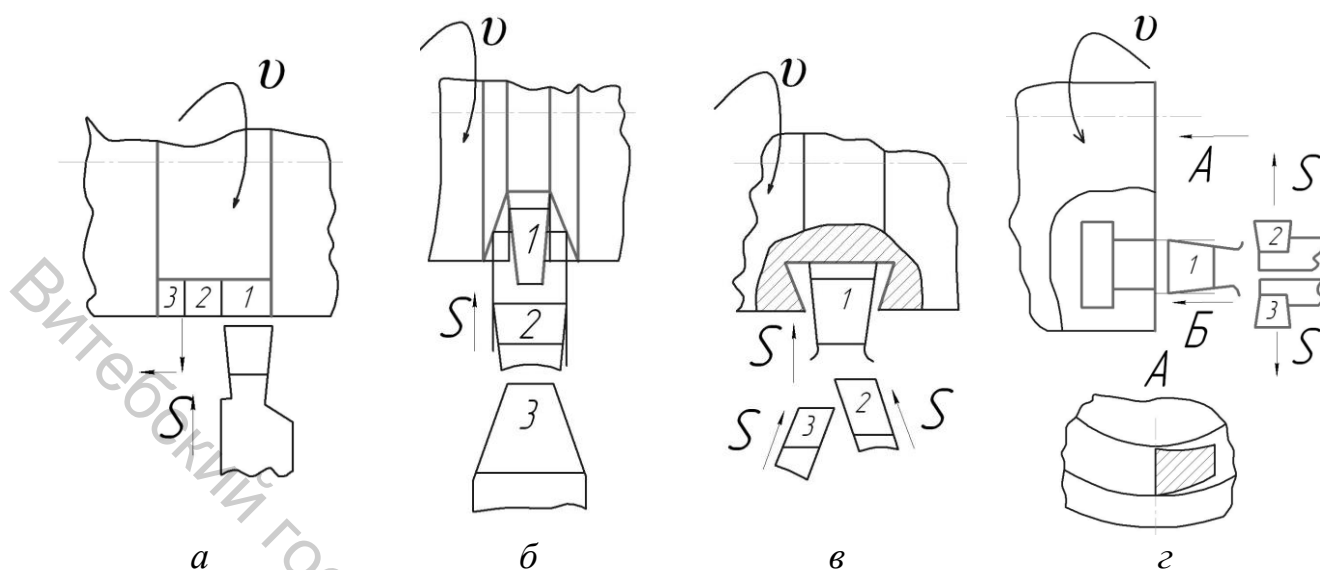


Рисунок 2.15 – Схемы обработки функциональных канавок

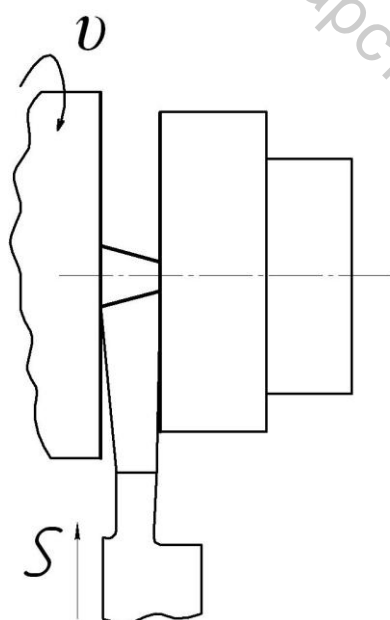


Рисунок 2.16 – Отрезание детали

Функциональные канавки могут быть прямоугольного, трапецеидального профиля и типа «ласточкин хвост». Кроме того, на торце могут быть Т-образные канавки. Прямоугольные и трапецеидальные канавки обрабатываются прорезными резцами соответствующего профиля. Широкие прямоугольные канавки обрабатываются за несколько проходов (рисунок 2.15 а). Крупные трапецеидальные канавки часто обрабатываются в три перехода (резцами трех видов, см. рисунок 2.15 б). В несколько переходов обрабатываются также канавки типа «ласточкин хвост» и Т-образные канавки (см. рисунок 2.15 в и 2.15 г).

Деталь отрезается от групповой заготовки отрезными резцами (рисунок 2.16).

2.2.2 Обработка внутренних поверхностей вращения

Цилиндрические отверстия в сплошном материале, если их диаметр меньше или равен 25 мм, получают сверлением. Главным движением при этом на токарном станке является вращение заготовки, а движение подачи совершает инструмент. Чтобы в начале сверления сверло не сместилось (не было увода), рекомендуется перед сверлением проводить зацентровку заготовки коротким жестким спиральным или перовым сверлом с углом при вершине 90°. Увод сверла существенно зависит от биения его режущих кромок и смещения лезвия перемычки. Размер отверстия при сверлении получается больше заданного при:

- 1) смещении оси сверла по отношению к оси вращения заготовки; 2) режущие кромки сверла имеют разную длину, хотя и заточены под одинаковыми углами; 3) режущие кромки имеют разную длину и заточены под разными углами; 4) режущие кромки имеют равную длину, но заточены под разными углами.

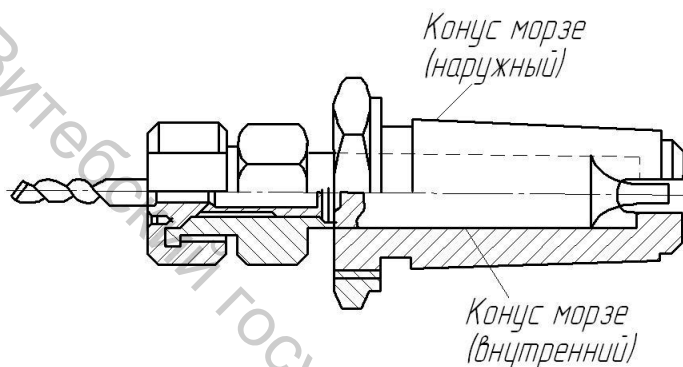


Рисунок 2.17 – Переходная втулка

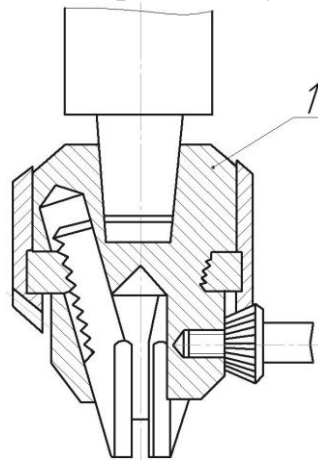


Рисунок 2.18 – Сверлильный кулачковый патрон

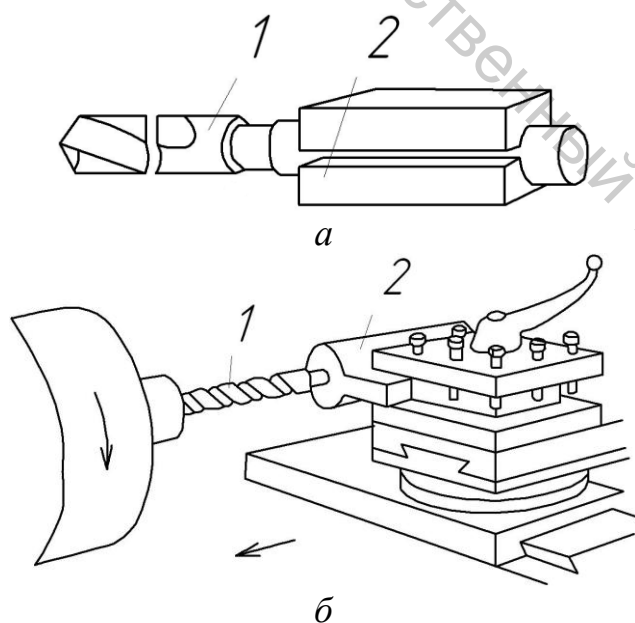


Рисунок 2.19 – Крепление в резцедержателе сверла с цилиндрическим (а) и коническим (б) хвостовиками

Если длина отверстия превышает пять диаметров, то оно считается глубоким. При сверлении таких отверстий периодически выводят сверло из отверстия для охлаждения и удаления накопившейся в канавках стружки.

Сверло с коническим хвостовиком устанавливается в пиноли задней бабки при помощи переходной втулки (рисунок 2.17), а с цилиндрическим при помощи цангового патрона или сверлильного кулачкового патрона 1 (рисунок 2.18). Вручную трудно обеспечить постоянное (стабильное) значение подачи. Для ее стабилизации можно связать заднюю бабку с суппортом для механической подачи или установить сверло 1 в резцедержателе с помощью корпуса 2 (рисунок 2.19).

Но в последнем случае затруднительно обеспечить совпадение осей сверла и вращения заготовки. При необходимости получить в сплошном материале отверстие диаметром больше 25 мм его сверлят в два приема. Сначала в сплошном материале сверлится отверстие с диаметром меньше заданного в 2 раза (но не больше 25 мм), а затем полученное отверстие рассверливается сверлом нужного диаметра. Зенкерование применяется для предварительной обра-

ботки отлитых или отштампованных отверстий либо для повышения точности и качества поверхности отверстия, предварительно обработанного сверлением.

Конструкция зенкера зависит от формы границы отверстия (открытое или полуоткрытое). Для уменьшения увода оси зенкера (особенно при обработке литых или штампованных глубоких отверстий) предварительно растачивают отверстие в заготовке до диаметра, равного диаметру зенкера, и на глубину, равную половине длины рабочей части зенкера.

Для формообразования конических, ступенчатых или фасонных отверстий применяют первые (двузубые) зенкеры (рисунок 2.20).

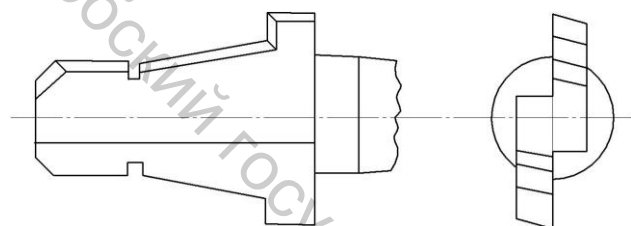


Рисунок 2.20 – Перовой зенкер

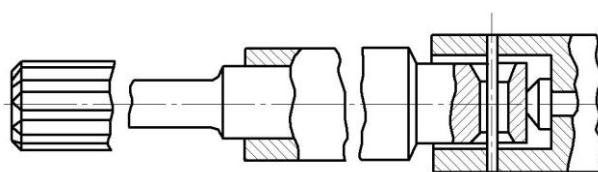


Рисунок 2.21 – Качающаяся оправка для разверток

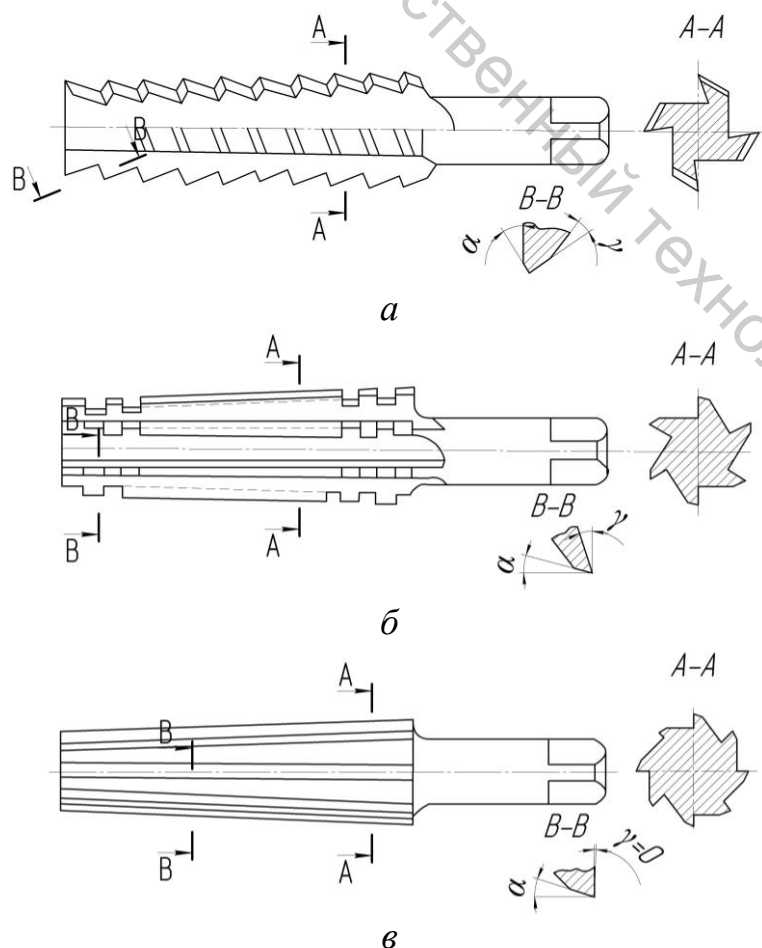


Рисунок 2.22 – Комплект конических разверток: а – черновая, б – получистовая, в – чистовая

Для получения отверстий высокой точности и малой шероховатости поверхности применяют развертывание: или непосредственно после сверления (для отверстий с диаметром меньше 10 мм), или после чистового зенкерования. При работе с чистовыми развертками применяют качающиеся оправки (рисунок 2.21), которые компенсируют несовпадение оси отверстия, обработанного предварительно другим инструментом, с осью развертки. Это в 1,5 – 2 раза уменьшает разбивку отверстия по сравнению с жестким креплением развертки.

Развертывание конического отверстия относительно небольшого диаметра выполняется последовательно комплектом конических разверток (рисунок 2.22) после

предварительного сверления сверлом, диаметр которого на 0,5 – 1 мм меньше

минимального диаметра конического отверстия. Крупные конические отверстия перед развертыванием обрабатывают коническим зенкером или растачивают. Растачивают отверстие на токарном станке, если диаметр отверстия по размеру нельзя обработать сверлом или зенкером, а также если ось отверстия в заготовке имеет существенное биение, а форма его образующей существенно отличается от требуемой.

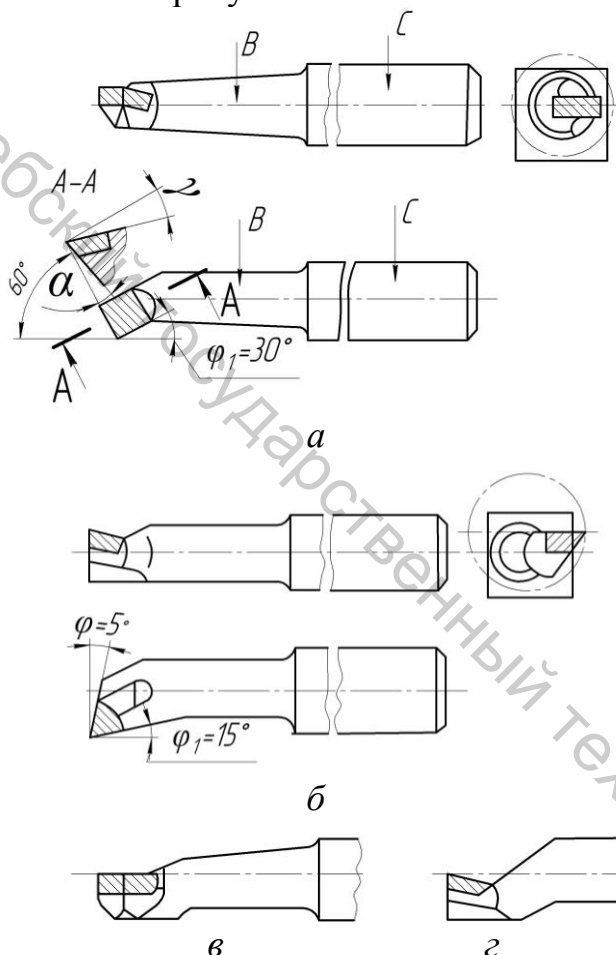


Рисунок 2.23 – Токарные расточные стержневые резцы:

а – для растачивания сквозных отверстий;
б – для растачивания глухих (несквозных) отверстий; *в, г* – конструктивные варианты резцов

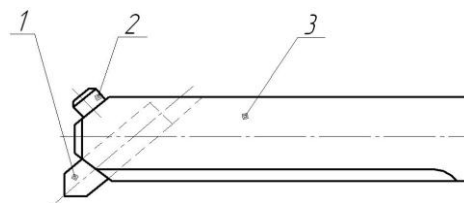


Рисунок 2.24 – Расточной резец, закрепляемый в оправке:

1 – резец, *2* – винт крепления резца, *3* – державка

Токарные расточные резцы показаны на рисунках 2.23 и 2.24. Растачивание конических отверстий осуществляется ручной подачей резца вдоль образующей конуса при повороте плиты 4 верхних салазок 11 (рисунок 2.23) на заданный угол.

Растачивание коротких фасонных отверстий осуществляется фасонными круглыми расточными резцами.

2.2.3 Обработка резьбы

По служебному назначению различают крепежные и ходовые (для передачи движения) резьбы, варианты профиля которых показаны на рисунке 2.25. Формообразование резьбы на токарном станке осуществляют либо резьботочением, либо нарезанием с самоподачей.

Резьботочение (нарезание) наружной и внутренней резьбы осуществляют резьбовым резцом, профиль которого соответствует требуемому профилю резьбы, за несколько проходов. Плоскость симметрии профиля резьбового резца должна быть перпендикулярна к оси вращения заготовки, а число его прохо-

дов зависит от шага резьбы (таблица 2.3). Удаление напуска из резьбовой остроугольной канавки может осуществляться одним из указанных на рисунке 2.26 способов.

Таблица 2.3 – Зависимость числа проходов от шага резьбы

Шаг резьбы	Число черновых проходов	Число чистовых проходов
0,5 – 1	3 – 5	1
1,25 – 1,5	4 – 6	2
1,75 – 2	6 – 8	2
2,5 – 3	9 – 12	3

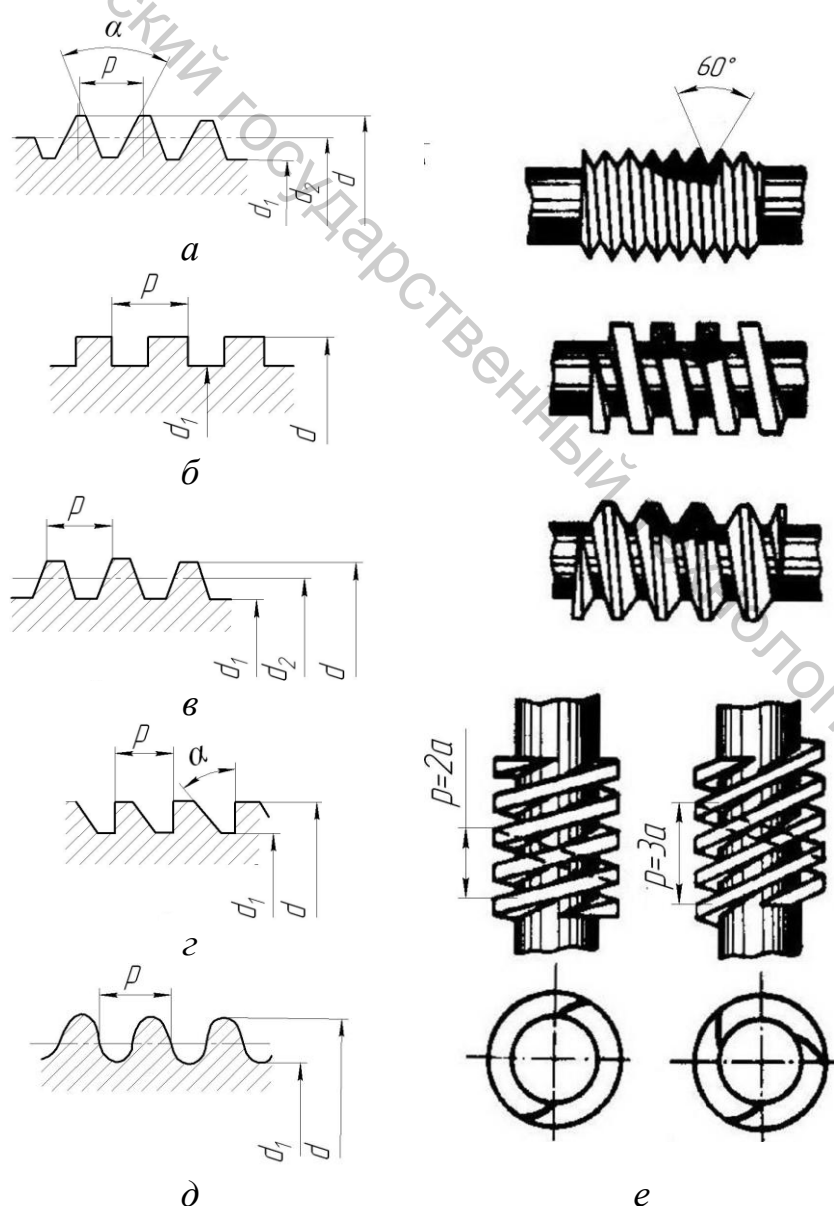


Рисунок 2.25 – Варианты профиля резьбы:

а – остроугольная; б – прямоугольная;
в – трапецидальная; г – упорная; д – круглая;
е – двух- и трехзаходная

Если резьбу нарезают сразу двумя режущими кромками, то образующаяся стружка слишком широкая, что снижает устойчивость процесса резания. Поэтому перед началом каждого рабочего хода резец следует смещать на 0,1 – 0,15 мм вдоль оси заготовки с помощью верхних салазок. При этом предварительная обработка ведется только одной режущей кромкой. Лучший результат получают, если радиальная подача осуществляется в направлении, параллельном одной из сторон профиля, при помощи верхних салазок.

При нарезании полуоткрытой резьбы резцом на детали обязательно нужно выполнять канавку для выхода резца. Внутренний диаметр канавки для наружной

резьбы выполняется на 0,1 – 0,3 мм меньше внутреннего диаметра резьбы, а наружный диаметр канавки для внутренней резьбы выполняют на 0,1 – 0,3 мм больше наружного диаметра резьбы. Ширина канавки для выхода резца обычно равна двум-трем шагам резьбы. Для возврата резца в исходное положение после рабочего прохода необходимо в момент его нахождения в канавке осуществить реверс вращения шпинделя и радиальный отвод резца. Это требует повышенного внимания рабочего, чтобы избежать поломки режущего инструмента или повреждения резьбы. Кроме того, снижается производительность, так как, чтобы успеть выполнить реверс и отвод, уменьшают частоту вращения шпинделя. Чтобы устранить указанный недостаток, применяют нарезание резьбы «обратным ходом», когда направление вращения и подачи рабочего хода изменяют на обратный (рисунок 2.27). Передняя грань резца при этом обращена вниз.

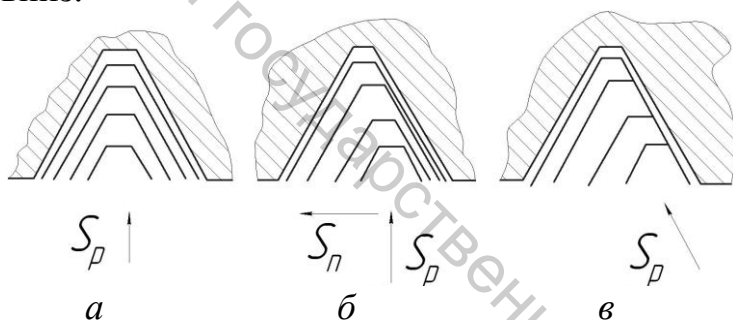


Рисунок 2.26 – Схема удаление напуска из резьбовой остроугольной канавки

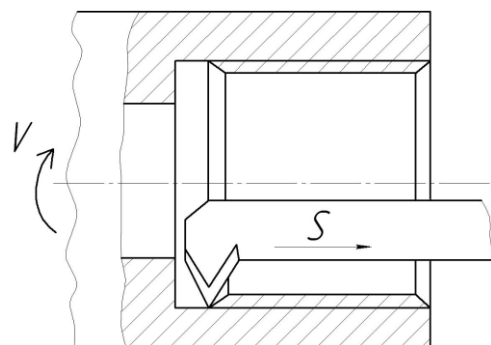


Рисунок 2.27 – Нарезание резьбы «обратным ходом»

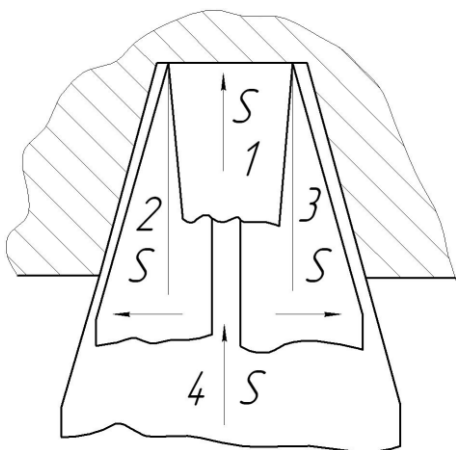


Рисунок 2.28 – Удаление напуска при нарезании трапецидальной резьбы с шагом, большим 3 – 4 мм

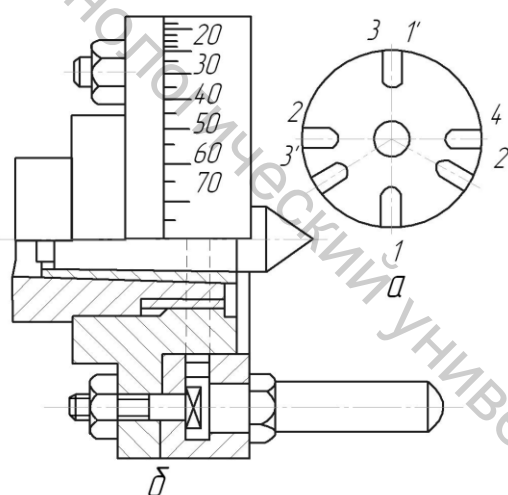


Рисунок 2.29 – Патроны для нарезания многозаходных резьб: а – поводковый, б – градуированный; 1, 2, 3, 4 – прорезы для нарезания двух- и четырехзаходных резьб; 1', 2', 3' – прорезы для нарезания трехзаходных резьб; 5 – поводковая часть; 6 – корпус; 7 и 8 – гайки

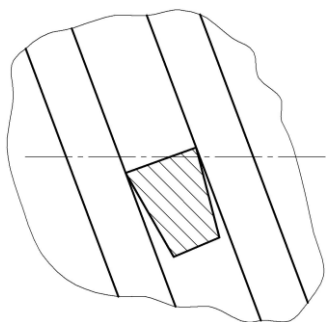


Рисунок 2.30 –
Поворот передней
грани резца

Удаление напуска при нарезании трапецеидальной резьбы с шагом, большим 3 – 4 мм, осуществляется несколькими резцами (рисунок 2.29). Например, сначала канавочным резцом, ширина которого на 0,1 – 0,2 мм меньше ширины профиля резьбы у внутреннего диаметра (для наружной резьбы), прорезают винтовую канавку. Затем правым и левым резцами (или одним профильным) придают канавке предварительный трапецеидальный профиль. Окончательная обработка осуществляется резцом полного профиля.

Винтовые канавки многозаходных резьб обрабатывают по очереди так же, как и однозаходных. После прорезания одного захода необходимо либо сместить резец на шаг резьбы при помощи лимба верхних салазок суппорта, либо при помощи делительного патрона (рисунок 2.29) повернуть заготовку на 180°, если резьба двухзаходная, на 120°, если резьба трехзаходная, или на 90°, если резьба четырехзаходная. Так как угол подъема многозаходной резьбы большой, то для предварительной прорезки переднюю грань резца поворачивают так, чтобы она была перпендикулярна к направлению витка (рисунок 2.30). Это легко осуществляется при помощи специальной державки, показанной на рисунке 2.31.

Нарезание резьбы с самоподачей инструмента осуществляется плашками (наружной) и метчиками (внутренней). Особенностью такого процесса является то, что принудительная осевая подача инструмента необходима только в начальный период обработки, пока инструмент не сформировал несколько (1 – 3) первых витков резьбы. И метчик и плашка имеют заборную часть с формирующими элементами, которые вступают в работу постепенно по мере осевого перемещения инструмента (рисунок 2.32).

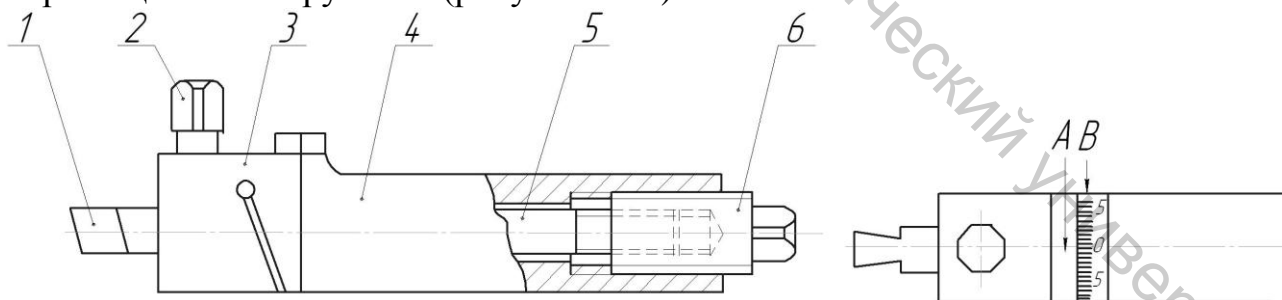


Рисунок 2.31 – Державка с поворотной головкой для резьбового резца

Когда заборная часть инструмента создает в заготовке первые винтовые канавки (хотя и неполного профиля), образуется винтовая пара, которая в дальнейшем, при наличии вращательного движения, обеспечивает подачу (самозатягивание). Следствием самозатягивания является подрезание боковых сторон профиля первых ниток резьбы, обращенных в сторону, противоположную подаче (рисунок 2.33). Резьбообрабатывающий инструмент устанавливают в пиноли задней бабки при помощи выдвижной державки, допускающей осевое

движение инструмента при неподвижной задней бабке. Чтобы устранить подрезание резьбы, лучше соединить заднюю бабку с суппортом и сообщать инструменту принудительную подачу.

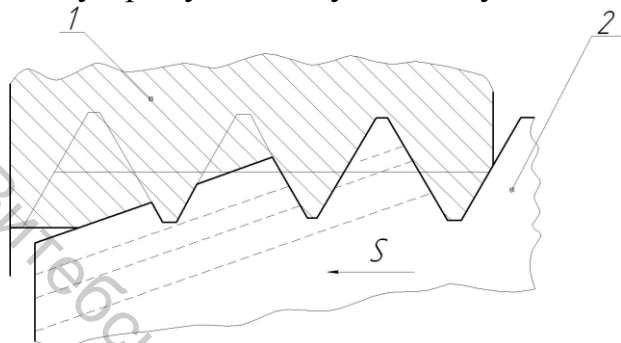


Рисунок 2.32 – Схема нарезания резьбы метчиком

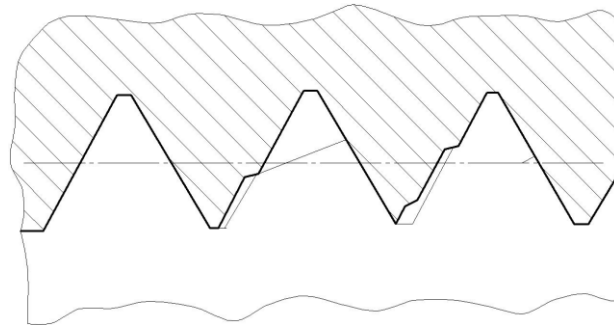


Рисунок 2.33 – Схема подрезания боковых сторон профиля первых ниток резьбы

Участок детали, на котором необходимо нарезать резьбу, предварительно обрабатывается по наружному контуру (для наружной) или по внутреннему (для внутренней резьбы) диаметру. Диаметр отверстия под резьбу d_0 можно определить по формуле

$$d_0 = d_n - 1,299 \cdot P,$$

где d_n – номинальный наружный диаметр резьбы, P – шаг.

2.2.4 Отделочная обработка

Доводку применяют для повышения точности и снижения шероховатости обработанной поверхности. При доводке сьем металла с обрабатываемой поверхности осуществляется абразивными зёрнами, свободно распределёнными в пасте или суспензии в зазоре между притиром и обрабатываемой поверхностью или вдавленными (шаржированными) в рабочую поверхность притира.

Различают твердые и мягкие абразивные материалы. К первым относятся: электрокорунд (1А, 2А, 3А), карбид кремния зелёный (6С) и чёрный (5С), карбид бора (КБ), эльбор (Л) и алмаз синтетический (АС). Мягкие абразивные материалы – это оксиды хрома или железа.

Жидкая фаза притирочной смеси состоит из: связующего (стеарин, парафин, воск и др.), разжижающего (масло промышленное, керосин) и поверхностно-активного (анилин, олеин, ортофосфорная кислота) материалов. Поверхностно-активные добавки повышают производительность доводки в 1,5 – 3 раза.

Чаще всего притиры изготавливают из чугуна. В некоторых случаях, особенно при обработке высокоточных отверстий, применяют притиры из стали Ст3 или А12. Так как в процессе притирки диаметр обрабатываемой поверхности изменяется, а притир изнашивается, в его конструкции должна быть предусмотрена возможность регулирования диаметра рабочей поверхности притира. Конструкции притиров показаны на рисунке 2.34. В этом случае притир делает-

ся разрезным, а регулирование диаметра его рабочей поверхности осуществляется конусной поверхностью корпуса или оправки.

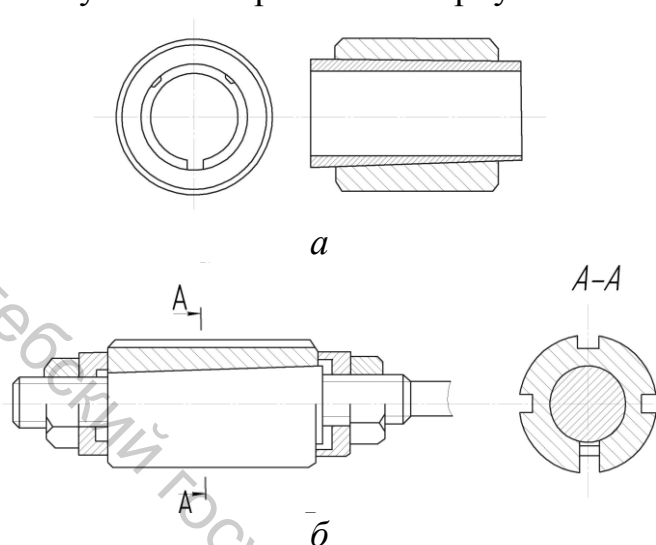


Рисунок 2.34 – Конструкции притиров

На токарном станке обрабатываемую заготовку обычно закрепляют в цанге или патроне шпинделя, а возвратно-поступательное движение притира осуществляется вручную. Паста с абразивом наносится тампоном на обрабатываемую поверхность. Часто на рабочую поверхность притира наносят канавки для повышения производительности процесса. Доводка может включать несколько операций (переходов), коли-

чество которых зависит от требований к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности (таблица 2.4). На эффективность доводки значительное влияние оказывает давление между притиром и обрабатываемой поверхностью. Наиболее рациональными являются: давление 0,1 – 0,2 МПа при предварительной и 0,05 – 0,1 МПа и ниже при окончательных операциях доводки деталей из закаленной стали. При доводке деталей из незакаленных сталей давление принимается в 2 – 3 раза меньшим, чем при доводке закаленных.

Таблица 2.4 – Вид доводки в зависимости от требований к точности

Вид доводки	Допуск в мкм	R_a , мкм	Количество переходов	Зернистость абразивов
Предварительная	3 – 5	0,32 – 0,1	1	M40 – M14
Чистовая	1 – 2	0,16 – 0,04	2	M10 – M5
Тонкая	0,01 – 0,5	0,08 – 0,02	4	M1 – M3

Выглаживание применяют для уменьшения показателя шероховатости R_a и некоторого повышения твердости обрабатываемой поверхности. Для этого процесса применяют твердосплавной или алмазный наконечник со сферической рабочей частью (рисунок 2.35), радиус которого 2,5 – 3,5 мм (для незакаленных сталей) и 1,5 – 2,5 мм (для термически улучшенных). Показатель шероховатости рабочей части этого инструмента должен быть меньшим или равным 0,02 мкм. Радиальная сила выглаживания $P_n = 100 – 150$ Н для деталей из материала средней твердости. Качество поверхности (R_a) зависит от подачи. С уменьшением подачи от 0,1 до 0,03 мм/об показатель шероховатости R_a уменьшается с 0,4 до 0,04 мкм. Выглаживающий наконечник закрепляется в приспособлении (рисунок 2.36) и прижимается к обрабатываемой поверхности пружиной. Скорость выглаживания мало влияет на шероховатость и назначается в пределах 16 – 100 м/мин. Эффективность выглаживания увеличивается при применении смазки индустриальным маслом.

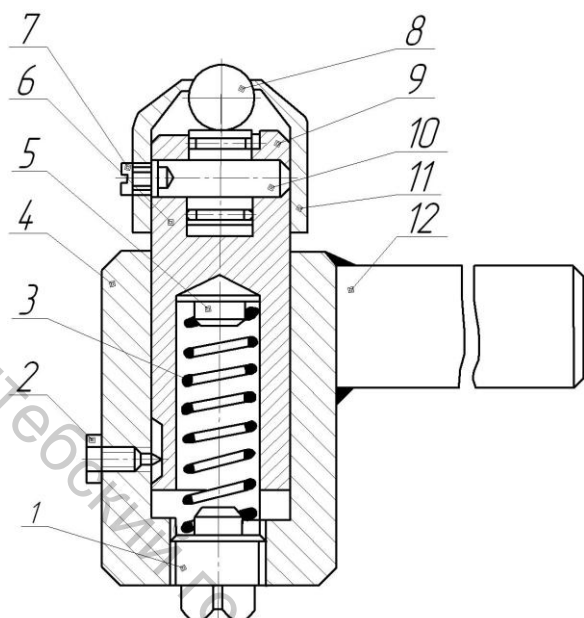


Рисунок 2.35 – Инструмент для обкатывания наружных поверхностей вращения

Высокое качество поверхности можно получить также обкатыванием (раскатыванием) поверхности шариком или роликом. Схема инструмента для обкатывания приведена на рисунке 2.35. Подача при обкатывании может выбираться по формуле $S = 0,015R$, где R – радиус скругления ролика, или радиус шарика. Радиальная сила P_n назначается в пределах 0,5 – 2 кН в зависимости от твердости заготовки. Чем выше твердость заготовки, тем больше P_n . Скорость вращения заготовки при обкатывании выбирают в пределах 20 – 25 м/мин. Число проходов 2 – 3. Охлаждение веретенным маслом.

2.3 Методы установки и закрепления заготовок

2.3.1 Схема базирования и схема установки

Схемой базирования будем называть эскиз детали в состоянии после выполнения рассматриваемой операции, на котором выделены обработанные поверхности, проставлены выполняемые технологические размеры и условными значками отмечены точки сопряжения технологических баз заготовки с плоскостями (осями) собственной (базовой) системы координат. Технологическими базами заготовок, которые обрабатываются на токарном станке, чаще всего бывают оси цилиндрических и конических поверхностей и плоскости (торец, плоскость симметрии, плоскость). Сочетание технологических баз, обеспечивающих полную определенность расположения заготовки относительно собственной системы координат, будем называть комплектом технологических баз, который должен накладывать на заготовку шесть связей.

Схема установки отличается от схемы базирования тем, что на ней вместо точек сопряжения условными знаками указывают установочные и установочно-зажимные компоненты приспособления, а также точку приложения и направление силы зажима.

На рисунке 2.36 показаны примеры схем базирования и соответствующих им схем установки. Комплект технологических баз, показанный на рисунке 2.36 а, состоит из оси заготовки – двойной направляющей (1, 2, 3, 4) и двух опорных (5 и 6) баз – торца и плоскости симметрии, проходящей через ось заготовки. Эта схема базирования может быть реализована установкой заготовки на плавающий и вращающийся центры. Центром задней бабки заготовка пода-

ется до жесткого упора. Вращение заготовки передается поводковым патроном и хомутиком.

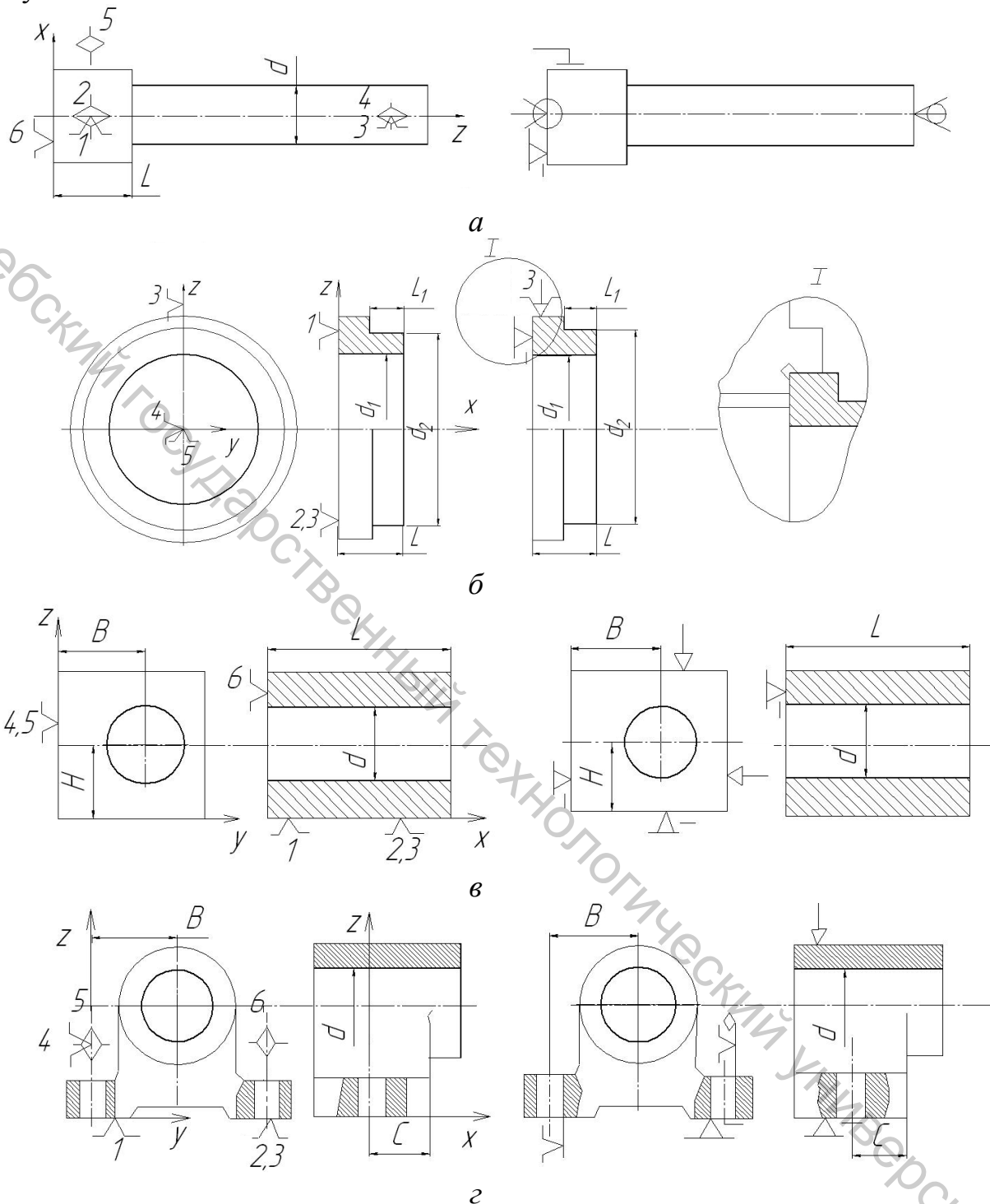


Рисунок 2.36 – Примеры схем базирования и соответствующих им схем установки

Комплект технологических баз, показанный на рисунках 2.36 б и 2.36 г, состоит из установочной (1, 2, 3), двойной опорной (4, 5) и опорной (6) баз. Для подрезания торца и обтачивания уступа на детали типа диск заготовка устанавливается в трехкулачковый самоцентрирующий патрон с опорой торцом в выточки кулачков.

Комплект технических баз при обработке небольшой корпусной детали (см. рисунок 2.36 г) реализуется при установке заготовки на плоские опоры и два пальца (цилиндрический и ромбический). Сила зажима прижимает заготовку к опорам. Такое специальное приспособление можно смонтировать из стандартных элементов на планшайбе.

Комплект технологических баз, показанный на рисунке 2.36 в состоит из установочной (1, 2, 3), направляющей (4, 5) и опорной (6) баз. Он может быть реализован при установке заготовки в четырехкулачковом патроне.

2.3.2 Оснастка для установки и закрепления заготовок

Для установки заготовки с использованием в качестве реальной технологической базы наружной цилиндрической или шестигранной поверхности обычно используется трехкулачковый самоцентрирующийся патрон (рисунок 2.37). Такой патрон можно использовать, если в качестве реальной технологической базы принята внутренняя цилиндрическая поверхность и прилегающий к ней торец, но диаметр этой поверхности должен быть достаточно большим, чтобы внутри могли разместиться кулачки. Четырехкулачковый патрон (рисунок 2.38) с независимым перемещением кулачков применяют преимущественно для закрепления заготовок с технологической базой некруглой формы (квадрат, прямоугольник и т. д.). Кулачки могут быть повернуты на 180° для закрепления за внутреннюю поверхность.

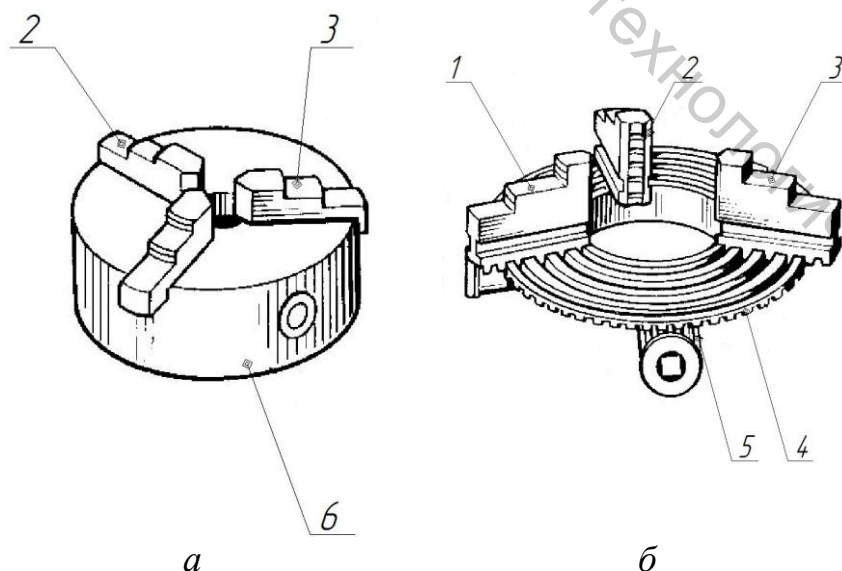


Рисунок 2.37 – Трехкулачковый самоцентрирующийся патрон

При токарной обработке валов в качестве реальных технологических баз используются центровые отверстия (рисунок 2.39). В шпинделе передней бабки устанавливают неподвижный или плавающий центр (рисунок 2.40 а, б). При обтачивании наружной конической поверхности в шпинделе передней бабки и пиноли зад-

ней бабки устанавливаются центры со сферической рабочей частью (см. рисунок 2.40 в). Если необходимо подрезать торец заготовки, в пиноль задней бабки устанавливают полуцентр (см. рисунок 2.40 г). При обычном обтачивании в пиноль задней бабки устанавливают вращающийся центр (рисунок 2.41).

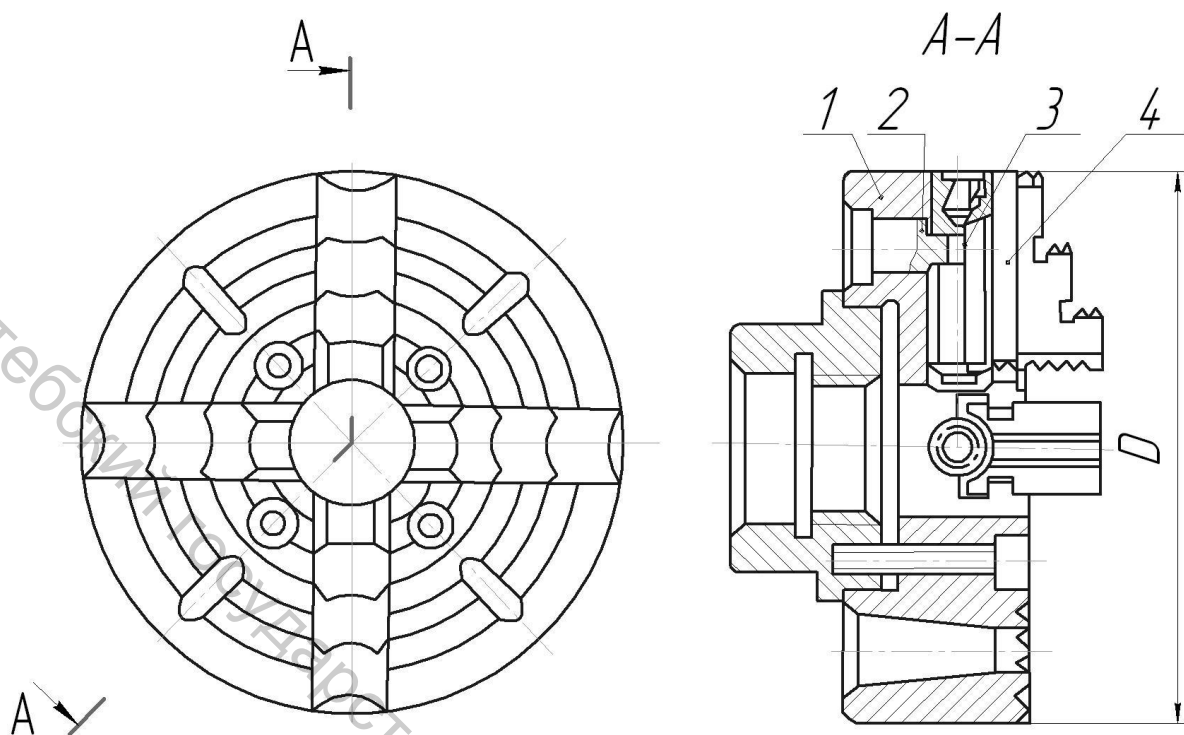


Рисунок 2.38 – Четырехкулачковый патрон с независимым креплением кулачков

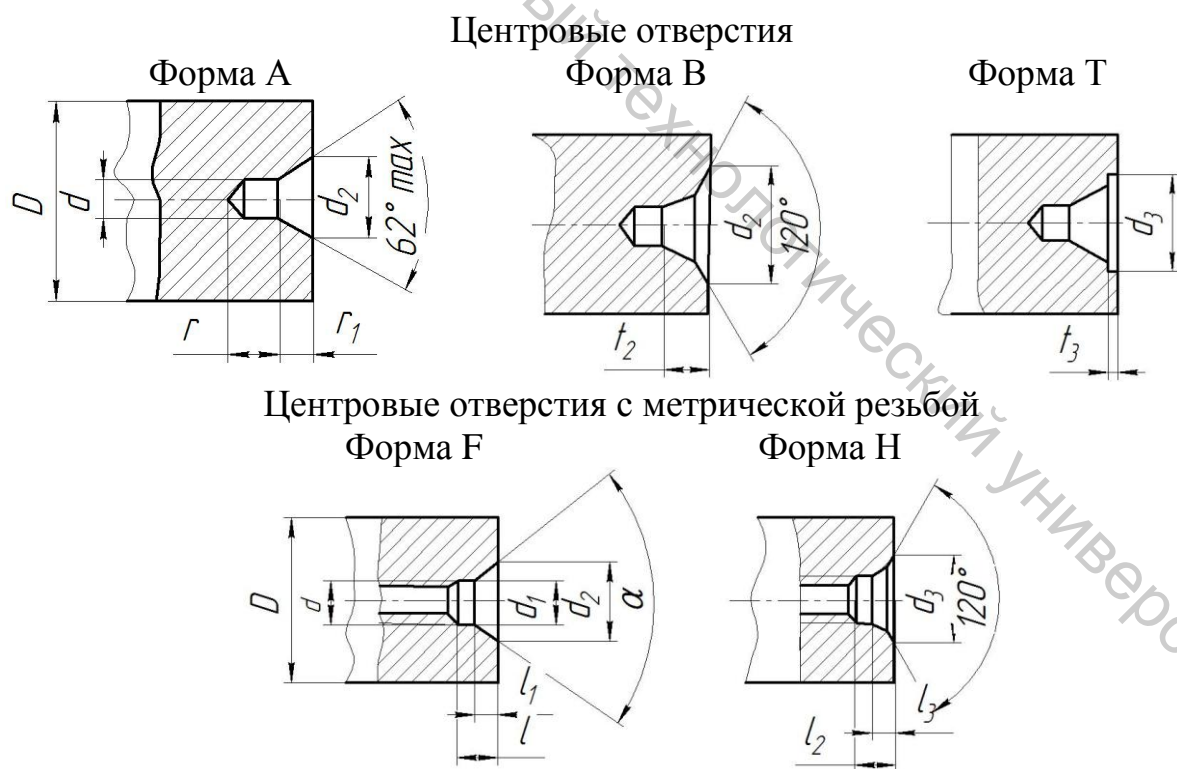


Рисунок 2.39 – Формы центровых отверстий

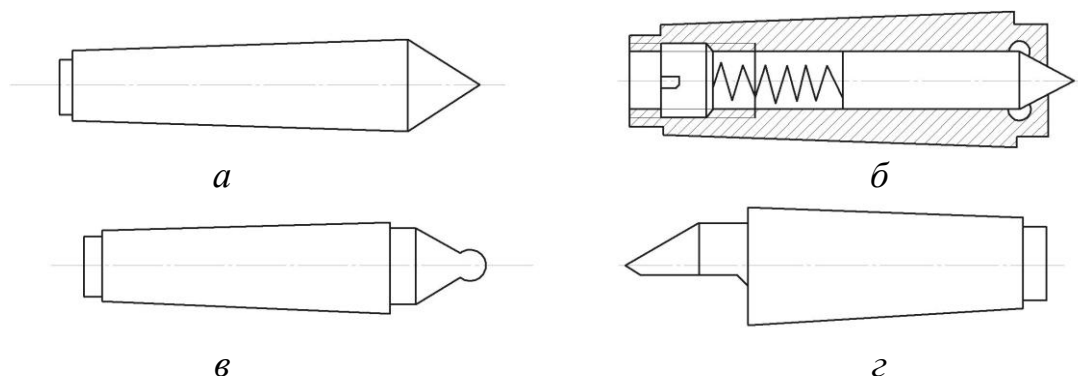


Рисунок 2.40 – Схемы центров

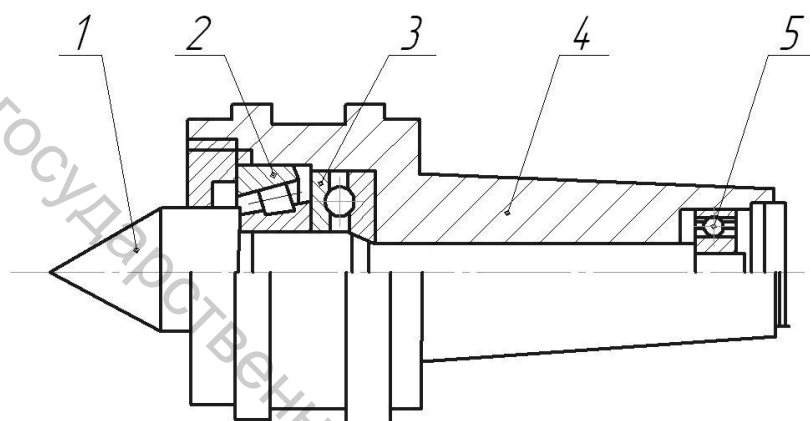


Рисунок 2.41 – Вращающийся центр

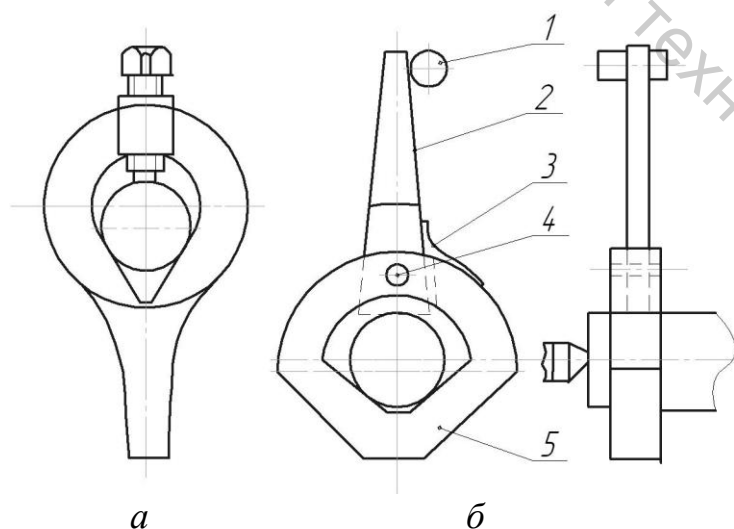


Рисунок 2.42 – Токарные хомутики:
а – обычный, б – самозатягивающийся

Передача крутящего момента от шпинделя заготовке осуществляется пальцем поводкового патрона, закрепленного на шпинделе, через хомут, который закрепляется на заготовке (рисунок 2.42). Передача крутящего момента заготовке может осуществляться поводковым патроном (рисунок 2.43), зубцы которого внедряются в торец заготовки действием осевой силы, создаваемой задней бабкой.

Для повышения жесткости заготовку вала устанавливают в трехкулачковом патроне и центре задней бабки или при обтачивании длинной цилиндрической поверхности используют подвижный люнет, который закрепляется на продольных салазках суппорта (рисунок 2.44). Опорные кулачки люнета сдвинуты по отношению к резцу в сторону задней бабки на 20 – 30 мм.

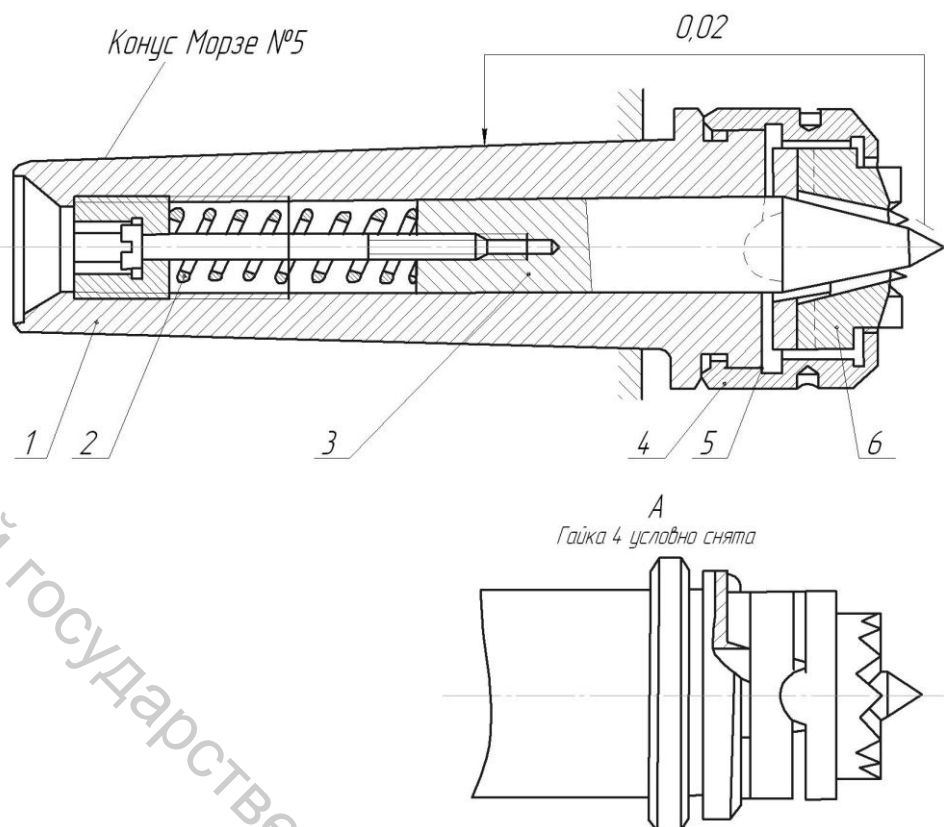


Рисунок 2.43 – Плавающий передний центр с шарнирным поводковым устройством

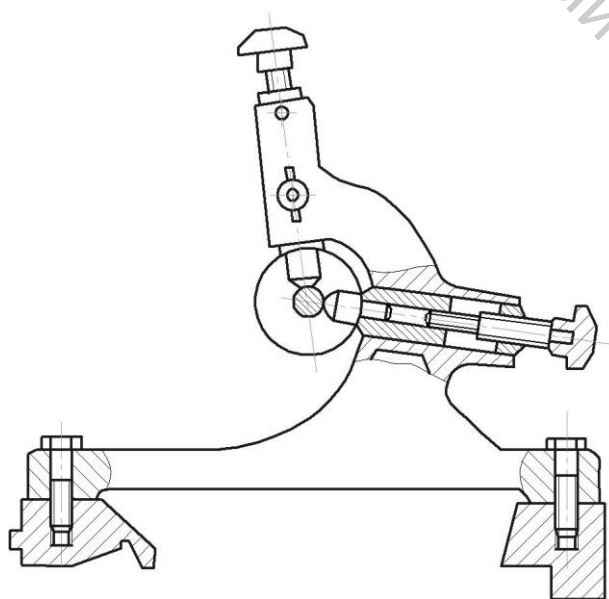


Рисунок 2.44 – Подвижный люнет

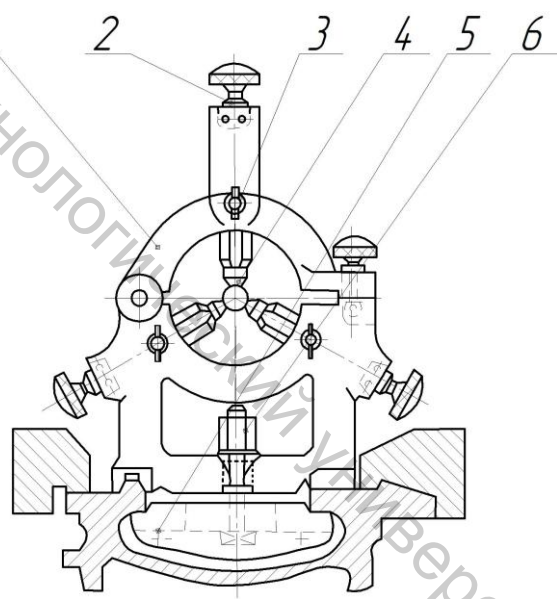


Рисунок 2.45 – Неподвижный люнет

Если на длинном валу или втулке, наружный диаметр которых не позволяет их разместить внутри шпинделя, необходимо обработать отверстие, то заготовку устанавливают в трехкулачковый патрон и неподвижный люнет (рисунок 2.45), закрепляемый на направляющих станины.

При обработке втулок и дисков, чтобы обеспечить соосность обрабатываемых поверхностей с отверстием, которое служит реальной технологической базой, заготовку устанавливают и закрепляют на оправках различной конструк-

ции. Оправки могут быть консольными, когда они своим хвостовиком (конус Морзе) устанавливаются в шпинделе, или центровыми, когда они с закрепленной на них заготовкой устанавливаются в центрах. Цилиндрические оправки для установки заготовок с гарантированным зазором (рисунок 2.46) конструктивно простые, позволяют вести многоместную обработку, но не обеспечивают точного центрирования. Цилиндрические прессовые оправки (рисунок 2.47) применяются при необходимости обеспечить высокую точность взаимного расположения отверстия и обрабатываемых поверхностей. Используя при запрессовке упорные кольца (на рисунке не показаны), точно ориентируют заготовку по длине оправки. При наличии кольцевой выточки 1 можно подрезать оба торца заготовки. Шейка 2 – направляющая при напрессовке.

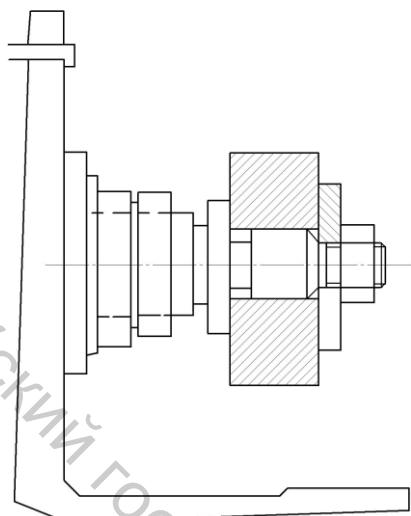


Рисунок 2.46 – Консольная оправка с зазором

точно ориентируют заготовку по длине оправки. При наличии кольцевой выточки 1 можно подрезать оба торца заготовки. Шейка 2 – направляющая при напрессовке.

Наряду с жесткими применяют разжимные оправки: 1) цанговые; 2) кулачковые; 3) с тарельчатыми пружинами; 4) с гофрированными центрирующими втулками; 5) с упругой гильзой, которая разжимается изнутри гидропластом; 6) самозажимные роликовые. Консольная цанговая и кулачковая центровая оправки показаны на рисунке 2.48. Силу закрепления на этих оправках обеспечивает давление центра задней бабки.

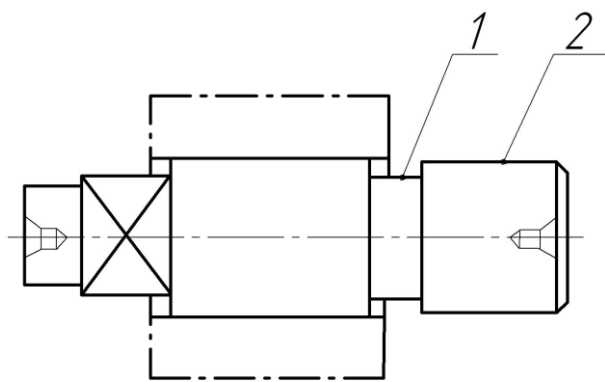


Рисунок 2.47 – Схема цилиндрической прессовой оправки

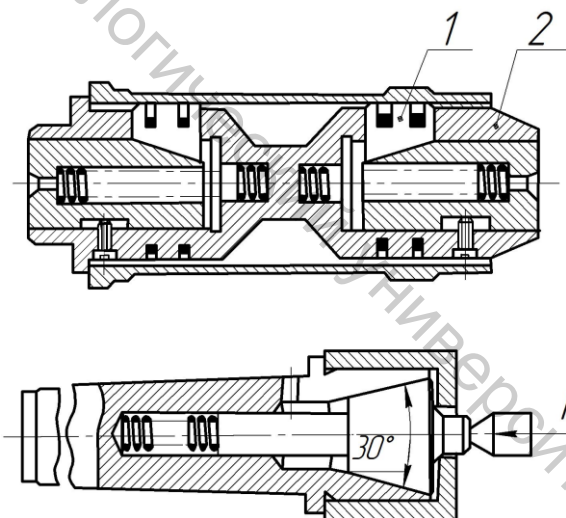


Рисунок 2.48 – Консольная цанговая и кулачковая центровая оправки

Консольная оправка с тарельчатыми пружинами показана на рисунке 2.49. При вращении винта 5 втулка 2 сплющивает пружины, их наружный диаметр увеличивается, а внутренний уменьшается, за счет чего происходит центрирование и зажим заготовки. Схема оправки с гофрированной центрирующей

втулкой показана на рисунке 2.50. При сжатии такой втулки также происходит увеличение наружного и уменьшение внутреннего диаметров. Схема однороликовой самозажимной оправки показана на рисунке 2.51.

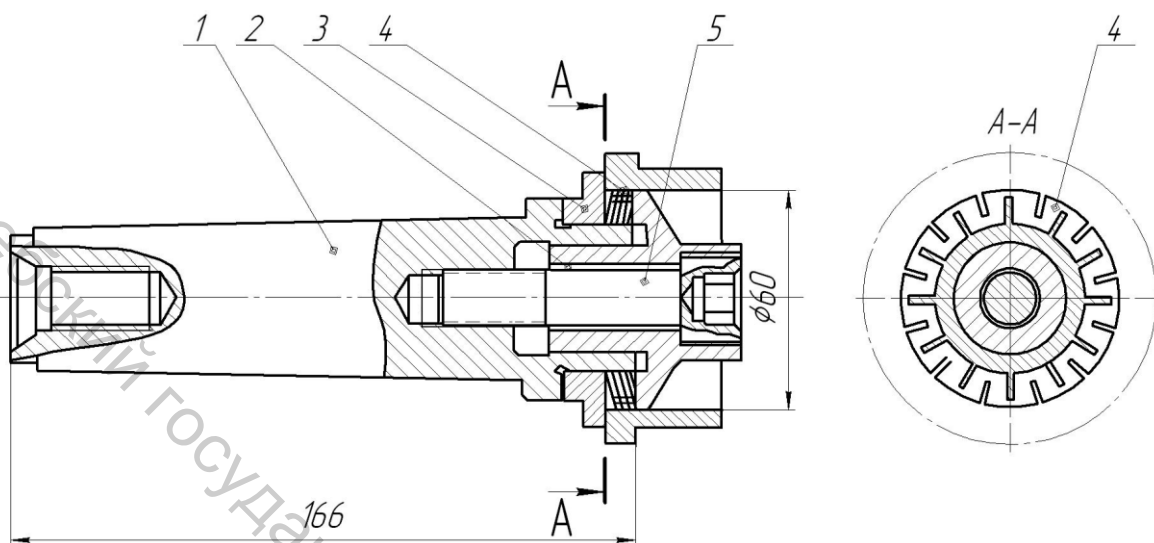


Рисунок 2.49 – Консольная оправка с тарельчатыми пружинами

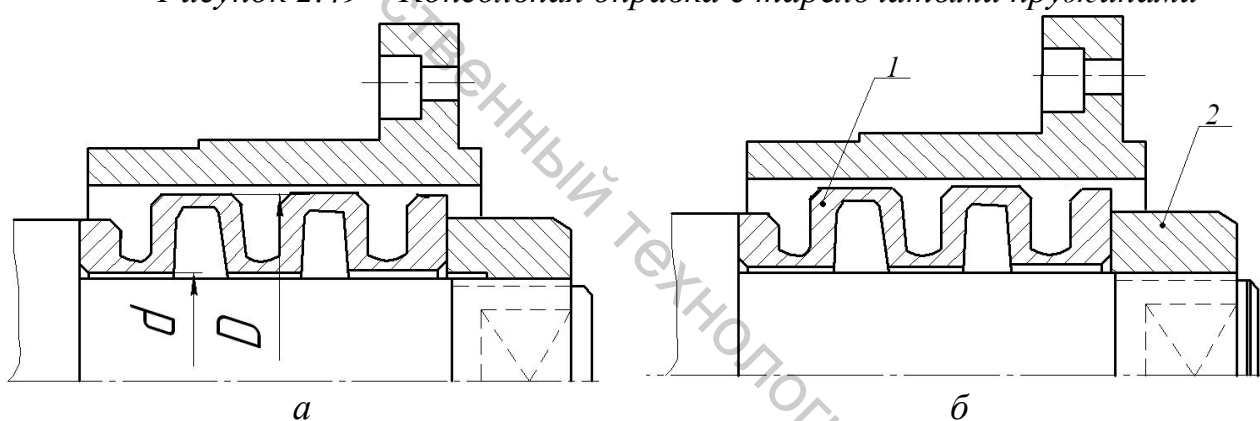


Рисунок 2.50 – Схема оправки с гофрированной центрирующей втулкой

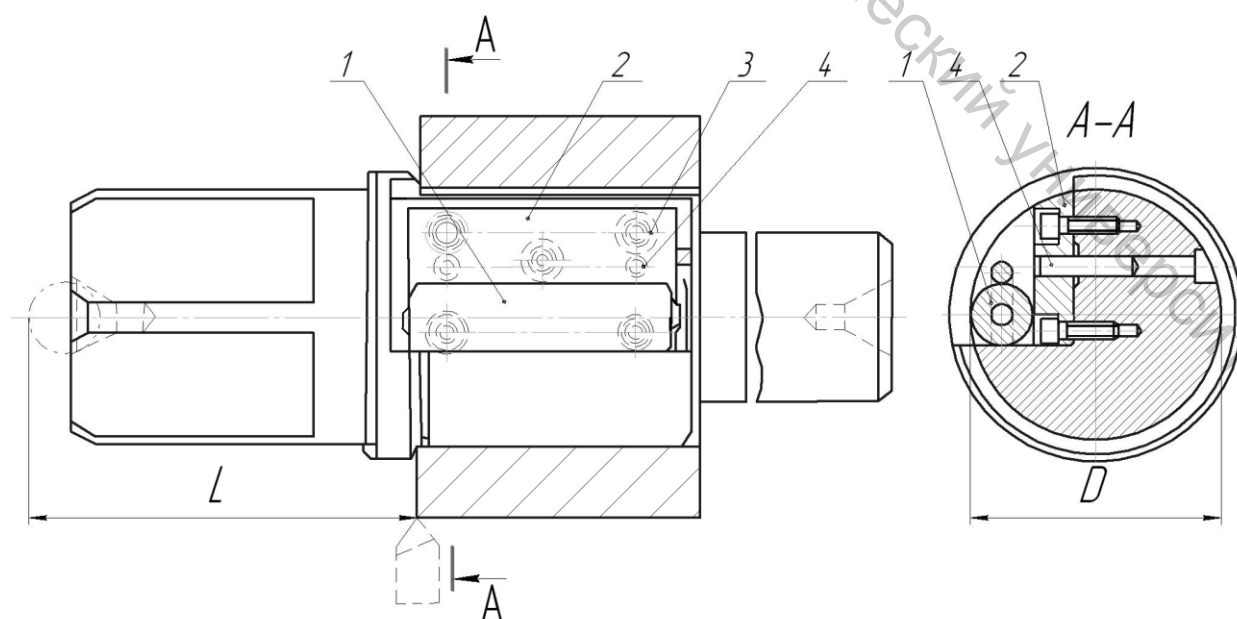


Рисунок 2.51 – Схема однороликовой самозажимной оправки

Ролик 1 установлен в обойме 2, предотвращающей его перекаливание и выпадание. При вращении оправки ролик за счет трения о заготовку закатывается в узкую часть паза и заклинивает заготовку. Чем больше сила резания, тем сильнее заклинивается ролик с заготовкой.

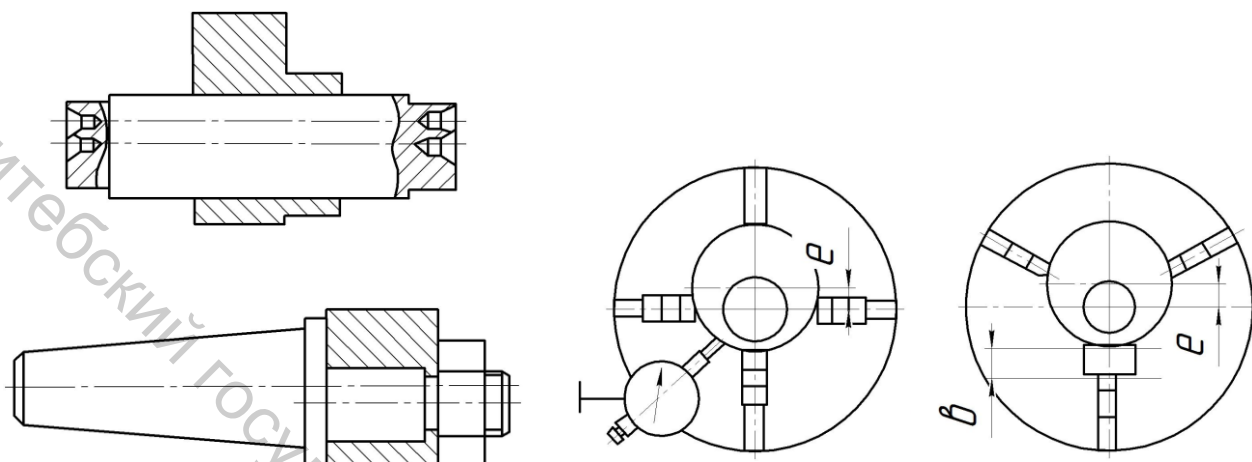


Рисунок 2.52 – Эксцентрические оправки

Для обработки эксцентрической поверхности детали с отверстием, которое используется в качестве технологической базы, заготовка устанавливается: на эксцентрические оправки (рисунок 2.52), в четырехкулачковом патроне (рисунок 2.53 а), в трехкулачковом патроне с мерной пластиной (рисунок 2.53 б), в специальном патроне (рисунок 2.53 в), который состоит из трехкулачкового патрона 1, поворотного стола 2 и суппорта 3 для создания эксцентриситета. Толщина мерной пластины (см. рисунок 2.53 б) определяется из выражения

$$b = 1,5e[1 + e/(2D)],$$

где D – диаметр технологической базы, e – эксцентриситет.

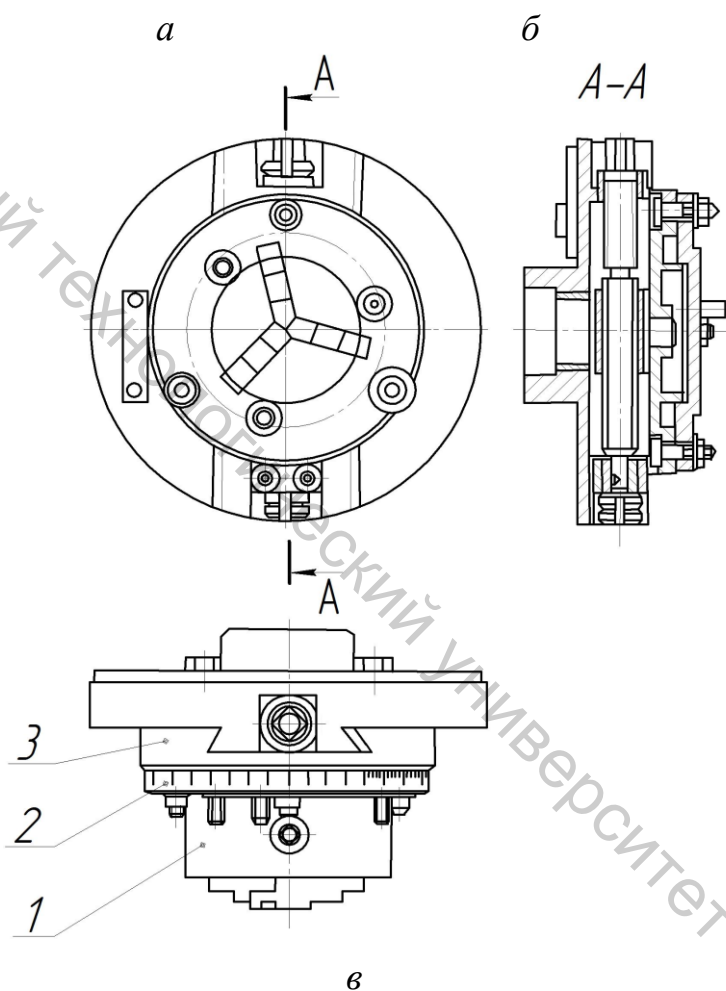


Рисунок 2.53 – Установка эксцентрических оправок

2.4 Установка и размерная настройка инструментов

При установке резцов необходимо, чтобы их вершина находилась в одной горизонтальной плоскости с осью вращения шпинделя. Это условие обеспечивается применением прокладок. Необходимый набор прокладок толщиной h_n легко подобрать, если известно расстояние h от установочной поверхности резцедержателя (рисунок 2.54) до горизонтальной плоскости, проходящей через ось шпинделя и расстояние h_p от подошвы резца до его вершины. Особенно важным это условие установки является для отрезных и подрезных резцов. Ошибка в установке вершины резца может привести к преждевременной поломке, если вершина установлена выше, или к тому, что после отрезания или подрезания торца на нем останется выступ (рисунок 2.55).

При установке резьбовых и канавочных резцов необходимо, чтобы ось симметрии их профиля была перпендикулярна оси шпинделя. Это условие соблюдается при помощи шаблона 1 (рисунок 2.56), который прижимается к пиноли 2 задней бабки. Расточной резьбовой резец устанавливается аналогично, но резцедержатель при этом следует повернуть на 180° по сравнению с рабочим положением. В качестве базы для шаблона можно использовать обратную сторону проточенного специально цилиндрического участка (рисунок 2.57).

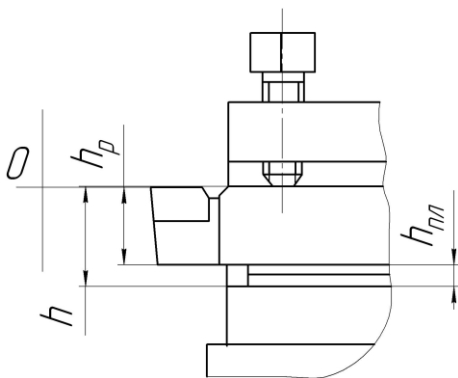


Рисунок 2.54 – Схема подбора прокладок

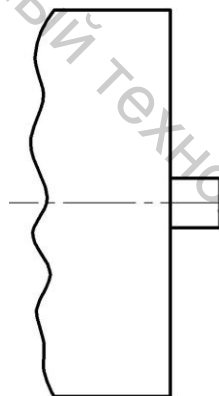


Рисунок 2.55 – Выступ вследствие ошибки установки резца

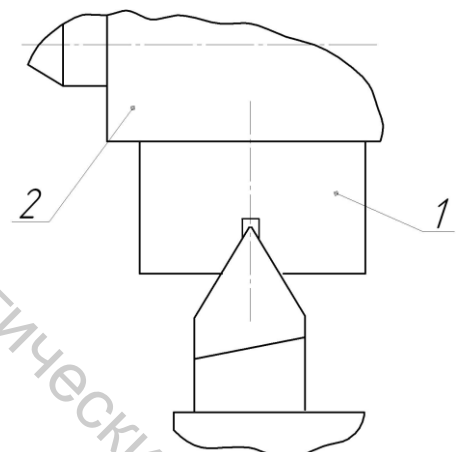


Рисунок 2.56 – Схема установки резьбовых и канавочных резцов

При установке отрезного резца необходимо обеспечить равенство вспомогательных углов в плане φ_1 (рисунок 2.58). Чтобы на отрезанной от групповой заготовки детали не оставался выступ, который возникает потому, что деталь отламывается до того, как главная режущая кромка подойдет к оси, главный угол в плане делают не 90° , а 80° .

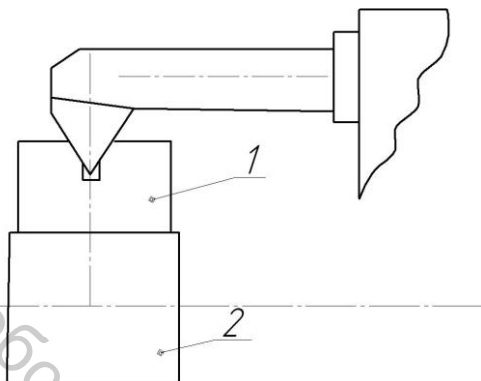


Рисунок 2.57 – Схема установки расточного резьбового резца

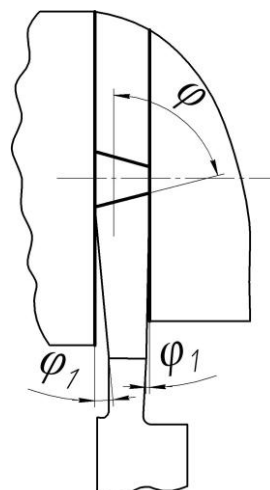


Рисунок 2.58 – Установка отрезного резца

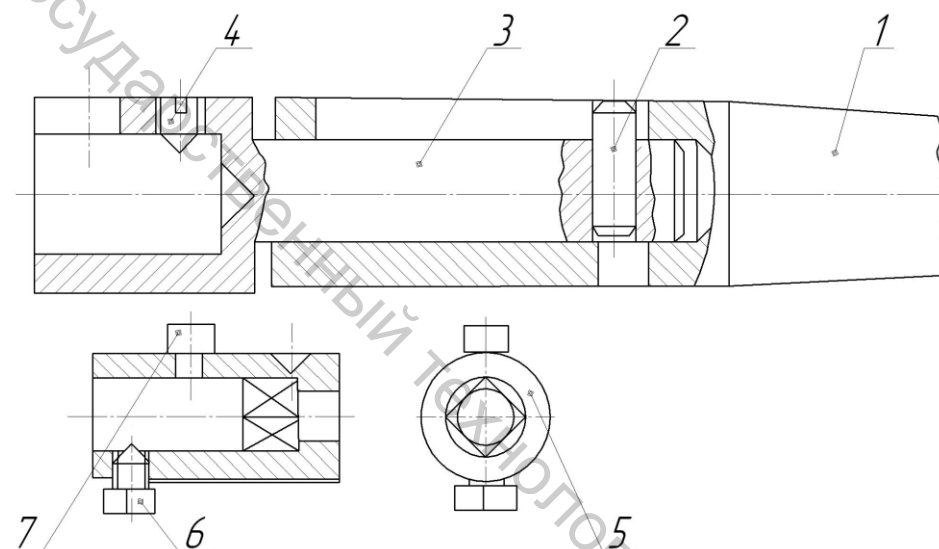


Рисунок 2.59 – Резьбoreзная державка: 1 – корпус; 2 – штифт-шпонка; 3 – оправка; 4 – винт стопорения сменного вкладыша; 5 – штифт-шпонка; 6 – штифт-шпонка; 7 – винт стопорения метчика

При установке фасонного резца необходимо обеспечить перпендикулярность его базовой плоскости к оси шпинделя. Правильность установки резцов можно проверить при контроле обработанной детали.

Сверла, зенкеры, развертки, метчики и плашки устанавливаются с помощью вспомогательных инструментов (различные патроны) в пиноли задней бабки. Вспомогательный инструмент для крепления разверток (качающаяся оправка) компенсирует несовпадение оси предварительно обработанного отверстия и оси пиноли задней бабки (рисунок 2.21). Вспомогательный инструмент для метчиков и плашек (резьбoreзная державка), установленный в пиноль задней бабки, обеспечивает возможность подачи режущего инструмента самозатягиванием при неподвижной пиноли (рисунок 2.59).

Из всех методов размерной настройки резцов в настоящей работе рассматривается только единичная динамическая размерная настройка только методом

«пробных стружек» и методом «пробных проходов». Пример использования первого метода показан на рисунке 2.60.

После включения вращения шпинделя вершина резца переводится из исходного положения (точки 0) до касания с вращающейся заготовкой (в точке 1). Затем резец отводится вправо (в точку 2 за пределы заготовки), лимб поперечной подачи устанавливается на нуль, и осуществляется переход вершины резца в точку 3 поперечной подачей на величину $h = (D - d)/4$, где d – требуемый размер. Включается продольная подача и заготовка обтачивается на небольшой длине L_1 («пробная стружка» – переход в точку 4). Резец ускоренно отводится вправо в точку 5, которая может совпадать с точкой 3. Отключают вращение шпинделя и измеряют значение полученного диаметра d_1 . Снова включают вращение шпинделя, вершину резца перемещают в точку 6 на расстояние $h_1 = (d_1 - d)/2$ и заготовку обрабатывают на требуемой длине L .

Если запомнить значение делений на лимбе поперечной подачи, то следующие несколько заготовок, на которых обрабатывается только одна цилиндрическая поверхность, можно обтачивать сразу, установив резец (в точку 6) по лимбу.

Недостаток данного метода – относительно низкая точность. Кроме того, на участке длиной L_1 получается уменьшенный окончательный размер (особенно при малой жесткости заготовки), так как этот участок обрабатывается с меньшей глубиной резания, чем остальная заготовка.

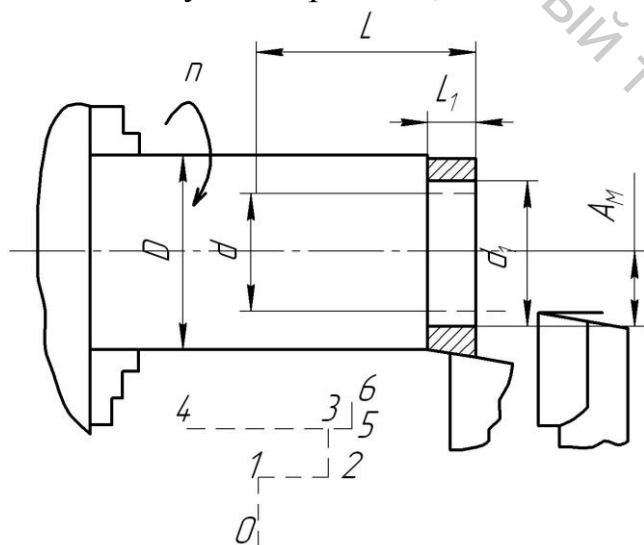


Рисунок 2.60 – Схема размерной настройки методом «пробных стружек»

Метод «пробных проходов» отличается от метода «пробных стружек» тем, что предварительно обтачивается не малый участок обрабатываемой поверхности заготовки, а вся поверхность. Далее, после отвода резца вправо в точку 5, проводят коррекцию размерной настройки (перевод в точку 6) и повторную обработку на всей длине. Последнюю процедуру можно повторять несколько раз, пока не будет достигнут заданный размер. Этот метод обеспечивает высокую точность, ограниченную только точностью измерения, точностью регулировки (по лимбу винта поперечной подачи или по индикатору часового

типа) и минимальной глубине резания, с которой может работать резец. Однако при размерной настройке методом «пробных проходов» существенно теряется производительность.

Ограничение длины рабочего хода осуществляется по лимбу маховика продольной подачи или по упору, который устанавливается на станине.

2.5 Назначение компонентов режима резания

Типовые режимы точения стали твердосплавными резцами марки Т15К6 приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Типовые режимы точения стали

Вид обработки	Параметры режима	Способ обработки		
		Продольное обтачивание	Продольное расточивание	Поперечное точение
1	2	3	4	5
Предварительная	a , мм	3-5	2-4	-
	S , мм/об	0,3-1,2	0,15-0,8	0,05-0,1
	v , м/мин	100-140	100-140	100-140
Однократная	a	3-5	2-4	-
	S	0,2-0,6	0,1-0,4	0,03-0,08
	v	100-140	100-140	100-140
Чистовая $Ra = 6,3$	a	0,5-1	0,3-0,8	
	S	0,25-0,4	0,15-0,25	
	v	150-200	150-200	
$Ra = 2,5$	a	0,1-0,3	0,1-0,25	
	S	0,1-0,2	0,08-0,15	
	v	150-200	150-200	
Тонкая	a	0,03-0,1	0,03-0,05	
	S	0,08-0,12	0,08-0,12	
	v	150-250	150-250	

Скорость резания при обработке сплавом ВК8 чугуна принимается примерно в 1,7 – 2 раза меньшей. При подрезании торцов скорость резания принимается на 20 % выше, чем при обтачивании. При отрезании детали поперечная подача выбирается в пределах $S = 0,05 - 0,3$ мм/об. Скорость резания при обработке резанием резцами из быстрорежущей стали Р6М5 выбирается в пределах 25 – 30 м/мин (для отрезных резцов) и 40 – 50 м/мин (для фасонных резцов).

Типовые режимы при сверлении, зенкерования и развертывании стали приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Типовые режимы при сверлении, зенкерования и развертывании стали

Способ обработки	Материал режущей части	Параметры		
		a , мм	S , мм/об	v , м/мин
Сверление спиральными сверлами	Сталь Р6М5	0,5d	(0,015 – 0,03)d	30 – 35
	Тв.спл.Т15К6	0,5d	(0,05 – 0,08)d	45 – 80
Зенкерование	Сталь Р6М5	1 – 3	(0,03 – 0,06)d	25 – 30
	Тв.спл.Т15К6	1 – 3	–//–	40 – 55
Развертывание	Сталь Р6М5		(0,06 – 0,15)d	5 – 10
	Тв.спл.Т15К6	0,05 – 0,15	(0,02 – 0,06)d	20 – 50

При обработке сверлением заготовок из чугуна подачу увеличивают в 1,3 – 1,6 раза, зенкерованием – в 1,4 – 1,7 раза, а развертыванием – в 2,5 раза. Скорость резания при этом остается той же, что и при обработке стальных заготовок.

При нарезании резьбы резцами продольная подача равна шагу резьбы, а поперечная определяется числом проходов (см. таблицу 2.3). Скорость резания при нарезании резьбы резцом зависит от шага резьбы, материала режущей части резца и заготовки и типа резьбы (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Скорость резания при нарезании резьбы резцом

Тип резьбы	Шаг	Материал заготовки	Материал инструмента	v
Наружная	$1 \leq$	Сталь	T15K6	126
		—//—	P6M5	4
		чугун	BK8	42
		—//—	P6M5	20
	1,25-1,75	Сталь	T15K6	111
		—//—	P6M5	21
		чугун	BK8	47
		—//—	P6M5	24
	2-3	Сталь	T15K6	98
		—//—	P6M5	14
		чугун	BK8	51
		—//—	P6M5	30
Внутренняя	$1 \leq$	Сталь	T15K6	108
		—//—	P6M5	21
		чугун	BK8	32
		—//—	P6M5	20
	1,25-1,75	Сталь	T15K6	89
		—//—	P6M5	18
		чугун	BK8	37
		—//—	P6M5	22
	2-3	Сталь	T15K6	77
		—//—	P6M5	14
		чугун	BK8	40
		—//—	P6M5	26

При нарезании точных резьб к рекомендуемым в таблице 2.3 следует добавить два-три рабочих хода, а у калибрующих проходов резцами из P6M5 скорость резания $v = 4$ м/мин.

Рекомендуемая скорость резания при нарезании резьбы метчиками и плашками приведена в таблице 2.8. При повышении прочности стальных заготовок и твердости чугунных рекомендуемая скорость резания уменьшается на 20 – 30 %.

При доводке скорость вращения заготовки выбирается в зависимости от ее вида. При предварительной доводке $v = 40 - 100$ м/мин; 2) при чистовой – $15 - 30$ м/мин; 3) при тонкой – $5 - 10$ м/мин. Скорость продольного перемещения притира выбирается в пределах $0,15 - 0,3$ от скорости рабочего движения.

Таблица 2.8 – Скорость резания при нарезании резьбы метчиками и плашками

Диаметр резьбы	v , м/мин при шаге S мм					
	0,75	1	1,25	1,5	2	3
3-6	9	8	-	-	-	-
8-10	12	11	11	10	-	-
12-16	16	16	15	14	12	-
18-24	28	18	16	15	13	12
27 и больше	20	20	18	16	14	13

Рекомендации по выбору показателей режима выглаживания, обкатывания и раскатывания приведены выше (раздел 2.2.4).

При настройке станка рукоятками (рис. 2.2 и 2.3) устанавливаются подачи S и частота вращения шпинделя в соответствии с выбранными показателями режима резания и возможностями станка. Подача устанавливается ближайшая меньшая чем назначенная по таблице, а частота вращения – ближайшая меньшая вычисленной по формуле

$$n = \frac{1000v}{\pi d},$$

где d – диаметр обрабатываемой поверхности. Если поверхность конусная или фасонная, d – максимальный диаметр.

2.6 Контроль качества обработки

Показатели точности и качества поверхности зависят от вида и режима обработки. В таблице 2.9 приведены показатели качества обработки на токарном станке.

Наиболее распространенным инструментом для измерения размеров после предварительной и чистовой обработки точением (допуск размера больше $0,1$ мм) является штангенциркуль типа ШЦ-1 (рисунок 2.61). Губки С и D предназначены для измерения размеров наружных, а губки А и В – внутренних поверхностей, с помощью ножки 4 измеряются уступы и углубления. В серийном производстве размеры деталей измеряют предельными скобами (наружных) и предельными калибрами (внутренних).

Глубину канавки на наружной (или торцевой) поверхности измеряют линейкой, штангенциркулем, штангенглубиномером или шаблоном (в серийном производстве) (рисунок 2.62). Проходная сторона шаблона (Б – большая) при измерении должна упираться в дно канавки, а непроходная (М – малая) – в наружную цилиндрическую поверхность (базу измерения) (рисунок 2.62). При этом глубина канавки находится в пределах допуска. Если Б не упирается в дно

канавки, то глубина ее недостаточна, а если Б упирается в базу измерения, то глубина канавки больше, чем требуется. Контроль фасонных поверхностей также выполняется с помощью шаблонов.

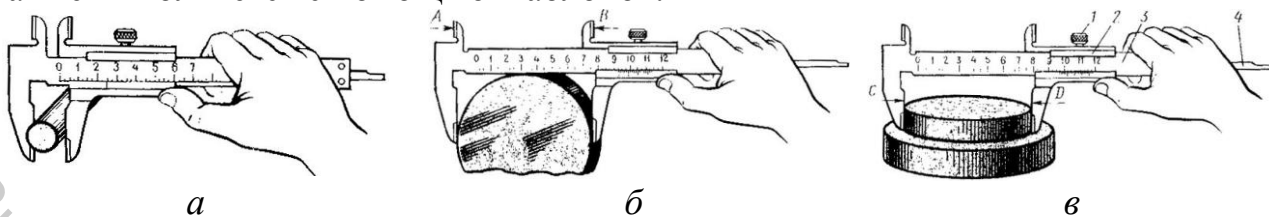


Рисунок 2.61 – Измерения штангенциркулем:

а – правильное измерение небольшого диаметра; б – неправильное;
в – правильное измерение большого диаметра

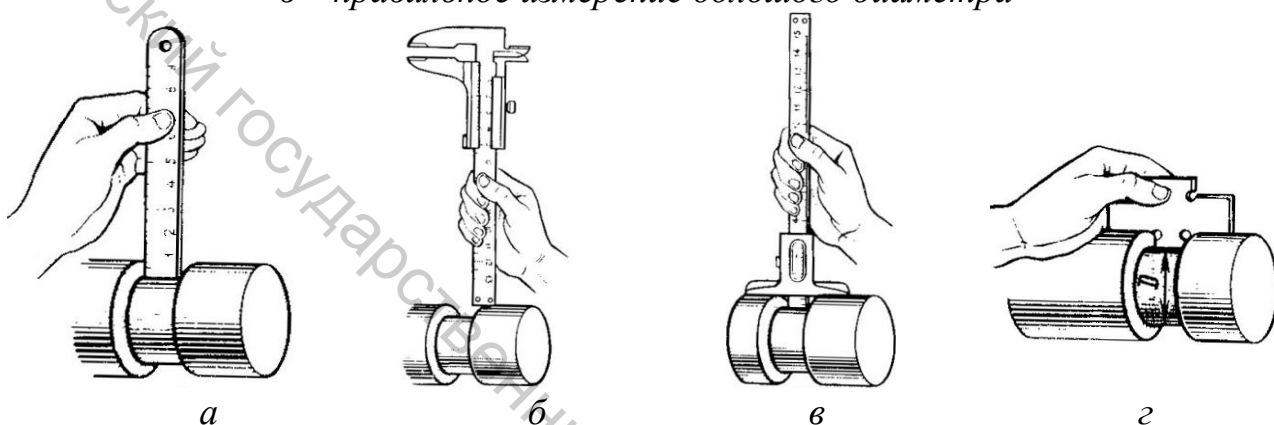


Рисунок 2.62 – Схема измерения глубины канавки: а – линейкой;
б – штангенциркулем; в – штангенглубиномером; г – уступомером

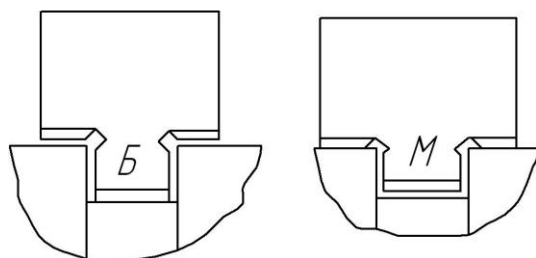


Рисунок 2.63 – Схема измерения глубины канавки на наружной (или торцевой) поверхности шаблоном

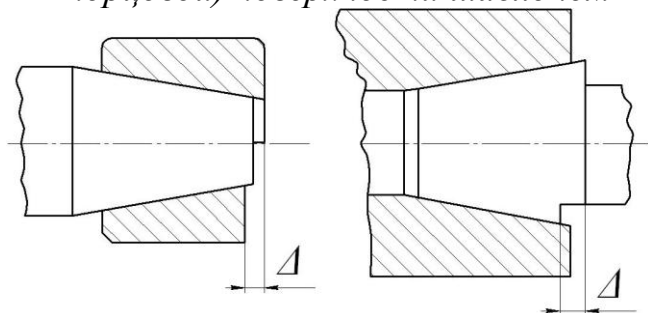


Рисунок 2.64 – Схема измерения конусности калибром-пробкой

Измерение конусности наружных конических поверхностей может выполняться шаблоном или универсальным угломером. Более точная и комплексная проверка осуществляется с помощью калибра-втулки (для наружных конусов) или калибра-пробки (для внутренних) (рисунок 2.64). При помощи таких калибров проверяется не только угол, но и диаметр.

Для контроля на наружную конусную поверхность (обработанной детали или калибра-пробки) мягким карандашом или тампоном с шабровочной краской наносят полосу. Затем надевают калибр-втулку (или вводят калибр-пробку) и, слегка прижимая вдоль оси, поворачивают калибр. При правильно выполненном конусе вся полоска стирается и торец детали (измерительная

база) находится в пределах ступеньки высотой Δ .

Комплексную проверку крепежной резьбы производят резьбовыми калибрами-пробками (внутренней) и калибрами-кольцами (наружной резьбы). Проходной калибр имеет полный профиль резьбы и является прототипом детали резьбового соединения, а непроходной контролирует только средний диаметр и имеет укороченный профиль. Для измерения наружного, среднего и внутреннего диаметров и шага резьбы применяют резьбовые микрометры, которые на шпинделе и на пятке имеют посадочные отверстия. В эти отверстия устанавливаются комплекты сменных вставок, соответствующие измеряемым элементам резьбы. Схема измерения элементов резьбы показана на рисунке 2.65. Микрометр настраивается по резьбовым эталонам. Погрешность измерения 0,01 – 0,02 мм.

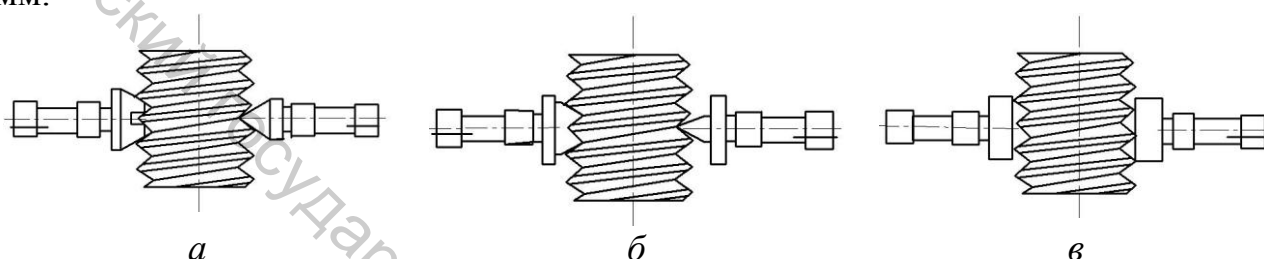


Рисунок 2.65 – Схемы измерения микрометром диаметров резьбы:
а – среднего; б – внутреннего; в – наружного

Таблица 2.9 – Показатели качества обработки

Вид обработки		Квалитет точности		Показатель шероховатости Ra , мкм
		экономический	достижимый	
1		2	3	4
Обтачивание	Однократное	10-11	9	1,25-3,2
	Предварительное	12-14	-	6,3-12,5
	Чистовое	9-10	7	0,8-3,2
	Тонкое	6-7	5	0,2-0,8
Растачивание продольное	Однократное	9-10	8	1,6-6,3
	Предварительное	12-14	-	12,5-25
	Чистовое	8-9	7	0,8-3,2
	Тонкое	6-7	5	0,2-0,8
Обтачивание поперечное	Однократное	11-12	10	2-5
	Предварительное	13-15	-	6,3-12,5
	Чистовое	10-11	8-9	1,6-3,3
Подрезание торцов	Однократное	10-12	9	1,6-3,2
	Предварительное	12-14	-	6,3-12,5
	Чистовое	9-10	7-8	0,8-3,2
Сверление	$d \leq 15 \text{ мм}$	9-13	8-10	6,3-12,5
	$15 < d \leq 25 \text{ мм}$	12-14	10-11	12,5-25
Рассверливание		12-14	10-11	6,3-12,5

Окончание таблицы 2.9

	1	2	3	4
Зенкерование	Черновое (по корке	12-15	-	12,5-25
	Чистовое)	10-11	8-9	3,2-6,3
Развертывание	Однократное	8-11	7	1,6-3,2
	Предварительное	9-10	8	3,2-6,3
	Чистовое	7-8	6	1,25-3,2
	Тонкое	5-6	-	0,4-0,8
Нарезание резьбы	Резцом	7-8*	6*	1,6-3,2
	Плашкой, метчиком	6-8*	-	3,2-6,3
Доводка	Грубая	7-8	6	0,4-0,6
	Средняя	5-6	5	0,1-0,2
	Тонкая	5	4	0,05
	Отделочная	4	3	0,01-0,025
Выглаживание		7-8*	-	0,04-0,16
Обкатывание и раскатывание		6-9**	-	0,16-0,8

Примечание: 1*– указана степень точности резьбы; 2**– квалитет точности заготовки не изменяется, исходный показатель шероховатости $Ra = 0,8 - 6,3$ мкм

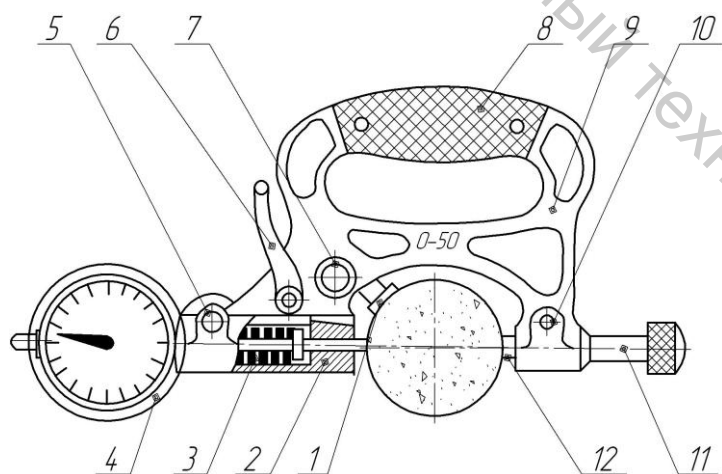


Рисунок 2.66 – Рычажная скоба

Диаметр точного наружного цилиндра (после отделочных методов обработки) измеряется микрометром (если допуск больше 0,01 мм) или рычажной индикаторной скобой (рисунок 2.66). Цена деления индикатора от 2 мкм до 0,01 мм. Если цена деления индикатора 2 мкм, то точность измерения 4 – 5 мкм. Правильное расположение измеряемой детали относительно измерительных компонентов скобы обеспечивается регулируемым упором 1. При установке скобы на деталь подвижный

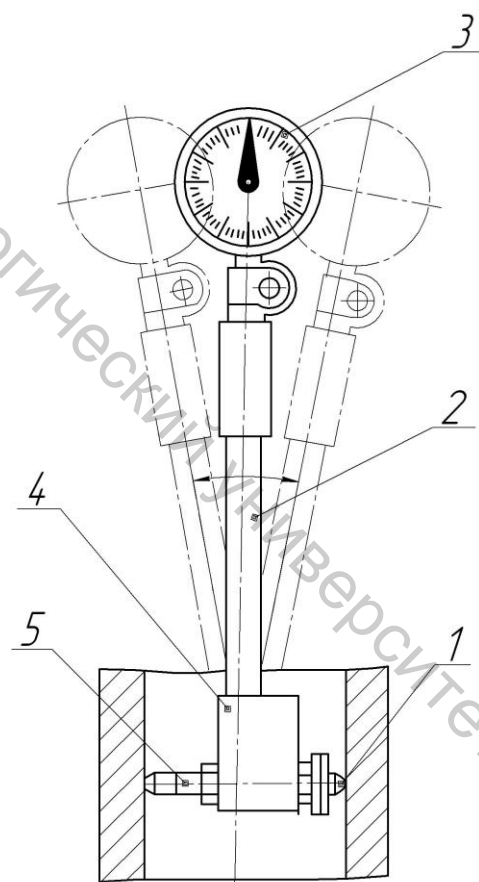


Рисунок 2.67 – Схема измерения индикаторным нутромером

наконечник отводится рычажком 6.

Схема измерения диаметра точного отверстия при помощи индикатора нутромера показана на рисунке 2.67. Прибор вводится в измеряемое отверстие корпусом 4 с измерительными наконечниками (регулируемым 5 и подвижным 1). При измерении индикаторный нутромер следует покачивать с тем, чтобы найти наименьшее показание, соответствующее размеру отверстия.

Показатель шероховатости обработанной поверхности оценивается визуально сравнением с соответствующими эталонами.

2.7 Вопросы для самоконтроля

1. Назовите главные компоненты технологической системы токарно-винторезного станка.
2. Какие компоненты технологической системы токарно-винторезного станка совершают главное движение?
3. Какие компоненты технологической системы токарно-винторезного станка совершают движения подачи?
4. Как настроить частоту вращения шпинделя, если заданы: скорость резания $V = 120$ м/мин, а обрабатываемый диаметр $d = 85$ мм?
5. Как включить вращение шпинделя?
6. Какие компоненты технологической системы совершают автоматическое движение подачи?
7. Назовите компоненты суппорта.
8. Как настроить и включить продольную подачу, если задано $S = 0,122$ мм/об?
9. Как настроить и включить поперечную подачу, если задано $S = 0,073$ мм/об?
10. Назовите группы инструментов, которые применяются на токарно-винторезном станке.
11. Как установить заготовку двустороннего ступенчатого вала для предварительной обработки?
12. Как установить заготовку двустороннего ступенчатого вала для окончательной обработки?
13. Какие поперечные погрешности могут возникнуть при установке заготовки в центрах?
14. Какие продольные погрешности могут возникнуть при установке заготовки в центрах?
15. Как установить заготовку длинного вала для обработки в нем отверстия (или ступени), параллельного оси технологической базы?
16. Какая векторная погрешность возникает при установке заготовки в трехкулачковом патроне и как ее уменьшить?
17. Какими способами можно передать крутящий момент от шпинделя заготовке, установленной в центрах?

18. Какими способами можно установить заготовку, если технологической базой является цилиндрическое отверстие и торец заготовки?

19. Какая погрешность возникает при установке заготовки на гладкой оправке и как ее уменьшить?

20. Как установить заготовку вала низкой жесткости?

21. Как установить заготовку кольца малой жесткости, если технологической базой является наружная поверхность и торец?

22. Как установить заготовку длинного вала для обработки отверстия, соосного оси вала, в одном из его концов?

23. Какие требования предъявляются к установке проходного резца и как их выполнить?

24. Какие требования предъявляются к установке проходного упорного резца и как их выполнить?

25. Какие требования предъявляются к установке отрезного резца и как их выполнить?

26. Какие требования предъявляются к установке резьбового резца и как их выполнить?

27. Какие требования предъявляются к установке канавочного резца и как их выполнить?

28. Какие требования предъявляются к установке расточного резца и как их выполнить?

29. Как установить сверло и зенкер на токарно-винторезном станке?

30. Какая погрешность появляется, если ось сверла или зенкера не совпадает с осью шпинделя?

31. Как обеспечить подачу при сверлении и зенкерении отверстий на токарно-винторезном станке?

32. Как установить развертку на токарно-винторезном станке, чтобы уменьшить разбивку отверстия?

33. Как установить метчик на токарно-винторезном станке?

34. Как установить плашку на токарно-винторезном станке?

35. Какой недостаток имеет место при нарезании резьбы метчиком или плашкой?

36. Как устранить известный недостаток, который имеет место при нарезании резьбы метчиком или плашкой?

37. Как осуществляется размерная настройка для обтачивания уступа?

38. Как осуществляется размерная настройка для обтачивания трапецидальной канавки?

39. Укажите варианты удаления напуска при обтачивании наружной ступенчатой односторонней поверхности.

40. Укажите варианты удаления напуска при обработке внутренней ступенчатой односторонней поверхности.

41. Укажите возможные варианты формообразования наружных конических поверхностей.

42. Укажите возможные варианты формообразования внутренних конических поверхностей.

43. Как обеспечить соосность обработанных с одной установки точных наружной и внутренней цилиндрических поверхностей из заготовки без отверстия?

44. Как обработать кольцевой паз типа «ласточкин хвост»?

45. Как обработать торцевой паз типа «ласточкин хвост»?

46. Как обработать торцевой Т-образный паз?

47. Укажите варианты удаления напуска при нарезании крепежной резьбы резцом.

48. Укажите варианты удаления напуска при нарезании трапецеидальной резьбы резцом.

49. Как проверить правильность обработки наружной конусной поверхности?

50. Как проверить правильность обработки внутренней конусной поверхности?

51. Как проверить точность обработки наружной крепежной резьбы?

52. Как проверить точность обработки внутренней крепежной резьбы?

53. Как проверить точность обработки внутренней цилиндрической поверхности?

54. Перечислите позиции, указанные на рисунке 2.66.

55. Как проверить точность обработки наружной фасонной поверхности?

3 ОБРАБОТКА НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ (работа № 3)

3.1 Основные компоненты станков

К станкам фрезерной группы относят: консольно-фрезерные (универсальные, горизонтальные, широкоуниверсальные, вертикальные); продольно-фрезерные (одно- и двухстоечные); фрезерные непрерывного действия (баранчатые и карусельные); копировально-фрезерные; бесконсольные вертикально-фрезерные и разные (шпоночно-фрезерные, фрезерно-центровальные, торце-фрезерные и др.). В настоящей работе будут рассматриваться только горизонтальные и вертикальные консольно-фрезерные станки.

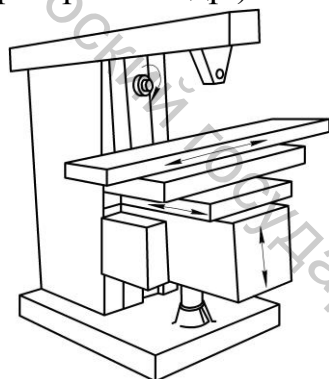


Рисунок 3.1 –
Компоновка
консольного
горизонтально-
фрезерного станка

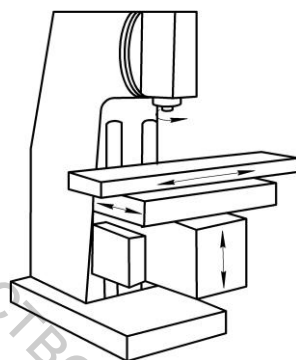


Рисунок 3.2 –
Компоновка
консольного
вертикально-
фрезерного станка

Компоновка консольного горизонтально-фрезерного станка показана на рисунке 3.1, а вертикально-фрезерного – на рисунке 3.2. На рисунке 3.3 показаны органы управления консольного горизонтально-фрезерного станка. Их назначения приведены в таблице 3.1.

Настройка частоты вращения шпинделя осуществляется рукояткой 23 и рукояткой переключения перебора 24. В окошке диска у рукоятки 23 видно значение настроенной частоты вращения (рисунок 3.4) в зависимости от положения рукоятки 24. Возможные значения частоты вращения шпинделя приведены в таблице 3.2.

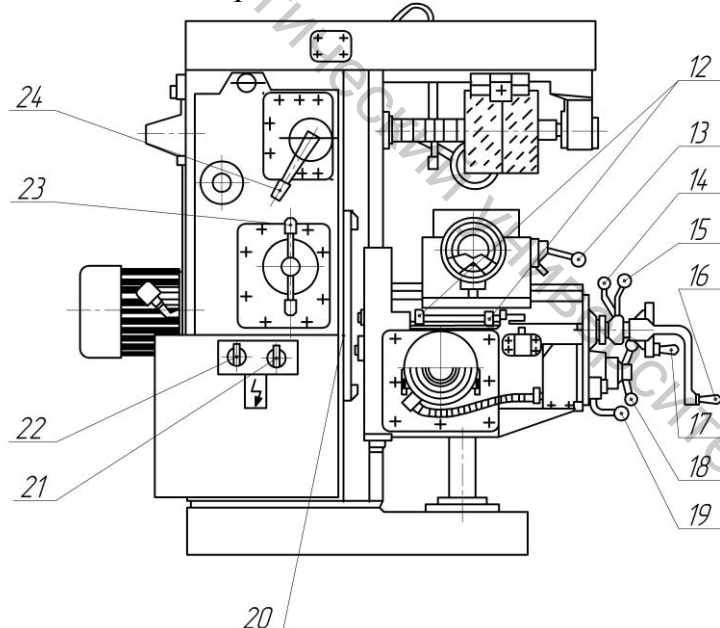
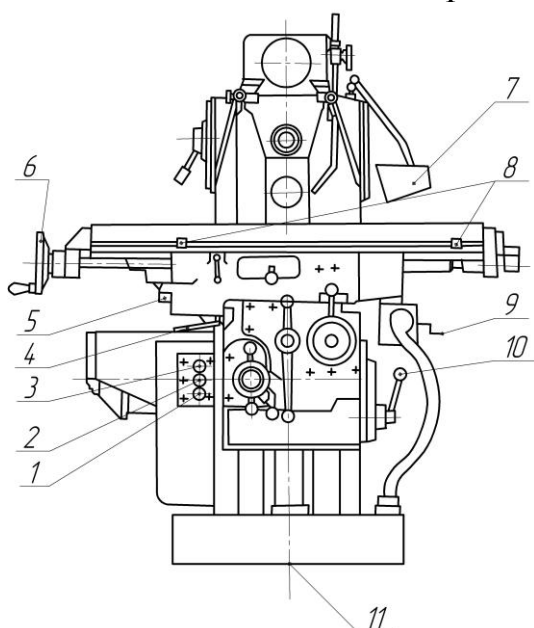


Рисунок 3.3 – Органы управления консольно-фрезерными станками моделей 6P81 и 6P81Г

Таблица 3.1 – Органы управления

Номер	Назначения	Номер	Назначения
1	кнопка «общий стоп»	13	рукоятка выключения механической продольной подачи
2	кнопка «пуск подачи»	14	рукоятка включения механической поперечной подачи
3	кнопка «пуск шпинделя»	15	рукоятка включения механической вертикальной подачи
4	рукоятка зажима консоли на станке	17	рукоятка ручного поперечного перемещения стола
5	рукоятка зажима стола	18	рукоятка переключения подач стола
6	маховичок ручного продольного перемещения	19	рукоятка переключения перебора коробки подач
7	выключатель освещения	20	ограничитель вертикального перемещения консоли
8	упоры продольной подачи стола	21	переключатель направления вращения шпинделя
9	рукоятка плунжерного насоса	22	выключатель насоса охлаждения
10	рукоятка ускоренного перемещения стола	23	рукоятка переключения скоростей шпинделя
11, 16	рукоятка вертикального перемещения консоли	24	рукоятка переключения перебора коробки скоростей
12	конечные выключатели поперечного перемещения		

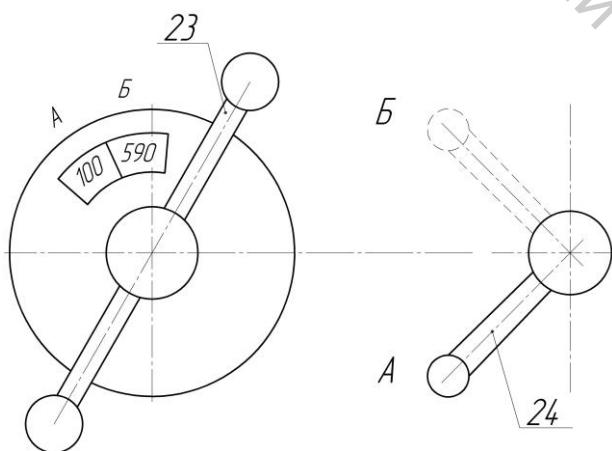


Рисунок 3.4 – Визуальный контроль настройки частоты вращения шпинделя

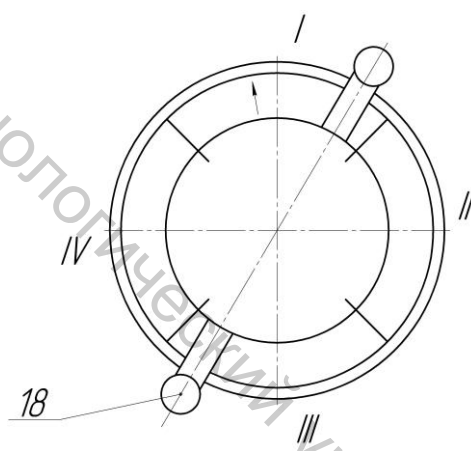


Рисунок 3.5 – Рукоятка переключения подач

На ободе 1 рукоятки переключения подач 18 (рисунок 3.5) в зависимости от положения рукоятки 19 (А и Б) нанесены значения скоростей продольных подач стола (развертка показана в таблице 3.3).

Таблица 3.2 – Частоты вращения шпинделя

n , об/мин								
А (с перебором)	65	80	100	125	160	210	255	300
Б (без перебора)	380	490	590	725	945	1225	1500	1800

Таблица 3.3 – Значения скоростей продольных перемещений стола

Б	210	270	330	400	1020	835	690
А	35	45	55	65	170	135	115

Поперечные подачи составят 0,8 от продольных, а вертикальные – 0,4 от продольных подач. Скорость ускоренного перемещения стола равна 2900 мм/мин, поперечного – 2300 мм/мин, а вертикального – 1150 мм/мин.

Управление консольного вертикально-фрезерного станка идентично управлению горизонтально-фрезерного.

3.2 Методы формообразования

На фрезерных станках обрабатывают: 1) плоскости (горизонтальные, вертикальные и наклонные); 2) уступы; 3) пазы прямоугольные (открытые, полуоткрытые и закрытые); 4) Т-образные пазы (открытые и полуоткрытые); 5) направляющие типа «ласточкин хвост» (охватывающие и охватываемые); 6) многогранники; 7) угловые канавки (на периферии и торце цилиндра или конуса); 8) прямоугольные выступы кулачковых муфт; 9) зубья зубчатых колес и реек; 10) окна; 11) фасонные поверхности. Главным движением резания на фрезерном станке является вращение инструмента (фрезы). Движение подачи (продольной, поперечной и вертикальной) осуществляет заготовка. При помощи круглого поворотного стола заготовке можно сообщать круговую подачу.

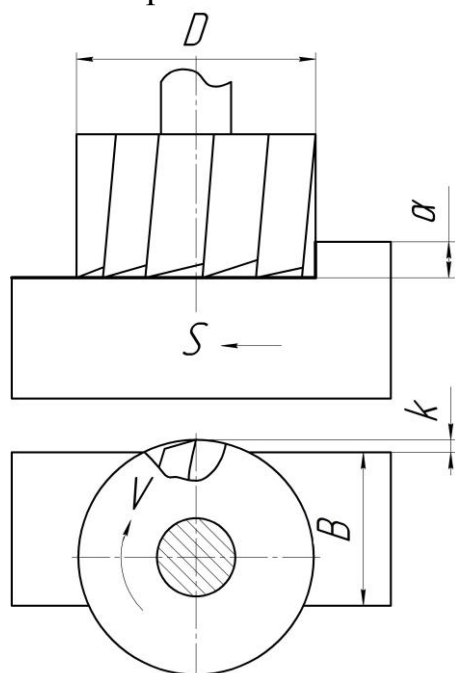


Рисунок 3.6 – Схема фрезерования плоскости без уступа

Обработку открытых относительно широких плоскостей без уступов с небольшими уступами обычно осуществляют торцовыми фрезами, диаметр D которых выбирают в зависимости от ширины фрезерования B . $D = (1,25 - 1,5)B$. При фрезеровании плоскости без уступа в заготовке из конструкционной стали необходимо сдвинуть ось фрезы так, как это показано на рисунке 3.6. Сдвиг $K = (0,03 - 0,05)D$. При этом резание каждый зуб фрезы начинается при меньшей толщине среза. При обработке жаропрочной стали сдвиг нужно сделать в противоположную сторону. Такая настройка станка обеспечивает повышение стойкости фрезы.

Плоскость, наклонную к другим под углом, можно фрезеровать, если расположить заготовку так, чтобы эта плоскость была параллельна подаче.

Схемы фрезерования уступов показаны на рисунках 3.7 – 3.8. Уступ можно обрабатывать либо концевой (рисунок 3.7, на вертикально-фрезерном станке),

либо дисковой фрезой (рисунок 3.8, на горизонтально-фрезерном станке). Ширина дисковой и диаметр концевой должны быть больше ширины уступа. Набором дисковых фрез (рисунок 3.9) можно одновременно фрезеровать 2 уступа.

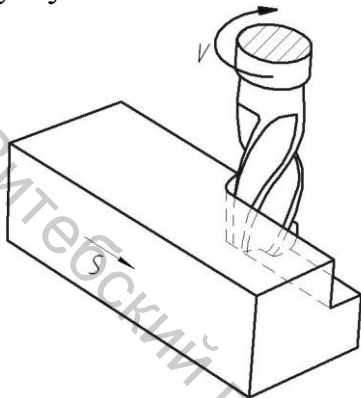


Рисунок 3.7 – Схема фрезерования уступов концевой фрезой

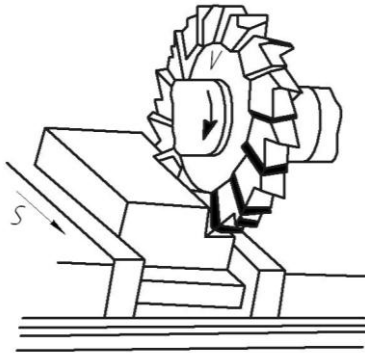


Рисунок 3.8 – Схема фрезерования уступов дисковой фрезой

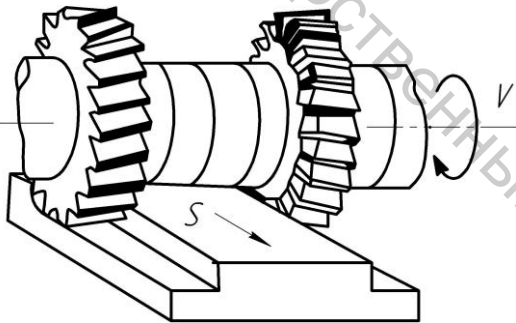


Рисунок 3.9 – Фрезерование уступа набором дисковых фрез

Обработка прямоугольных и шпоночных пазов производится дисковыми, концевыми и шпоночными фрезами, а пазов для сегментных шпонок – специальными фрезами (рисунок 3.10). Открытые прямоугольные пазы чаще всего фрезеруют

трехсторонними дисковыми фрезами, а полуоткрытые и закрытые – концевыми. Для ввода концевой фрезы в заготовку на концах закрытого паза сверлятся отверстия соответствующего диаметра. Шпоночные закрытые пазы иногда фрезеруют за несколько проходов «маятниковым» способом. За каждый проход шпоночная фреза внедряется на 0,3 – 0,5 мм.

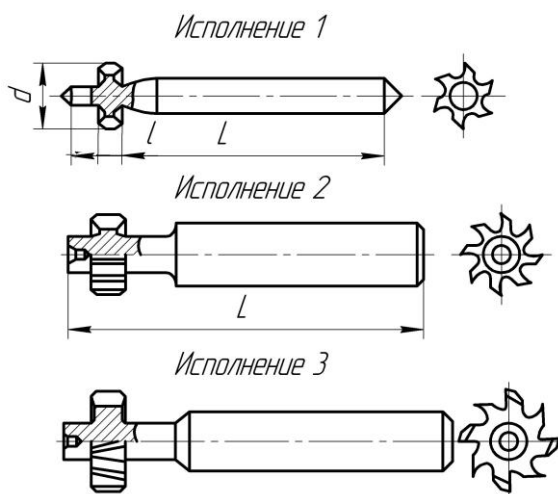


Рисунок 3.10 – Фрезы для пазов сегментных шпонок

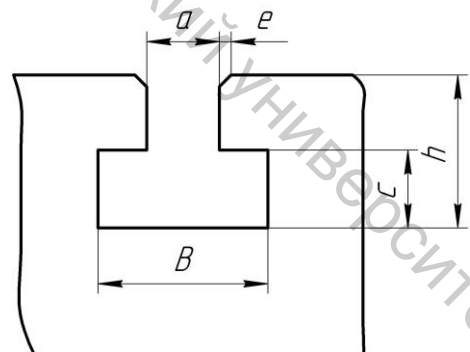


Рисунок 3.11 – Форма Т-образного паза

Т-образные пазы (рисунок 3.11) обрабатывают за несколько операций. Сначала фрезеруется прямоугольный паз шириной a и глубиной h концевой или дисковой трехсторонней фрезой, затем специальной фрезой для Т-образных пазов, размеры которой соответствуют размерам паза, фрезеруют внутреннюю часть паза с размерами b и c . Фаски в размер e обрабатывают концевыми или дисковыми угловыми фрезами. Один из вариантов последовательности обработки Т-образного паза показан на рисунке 3.12.

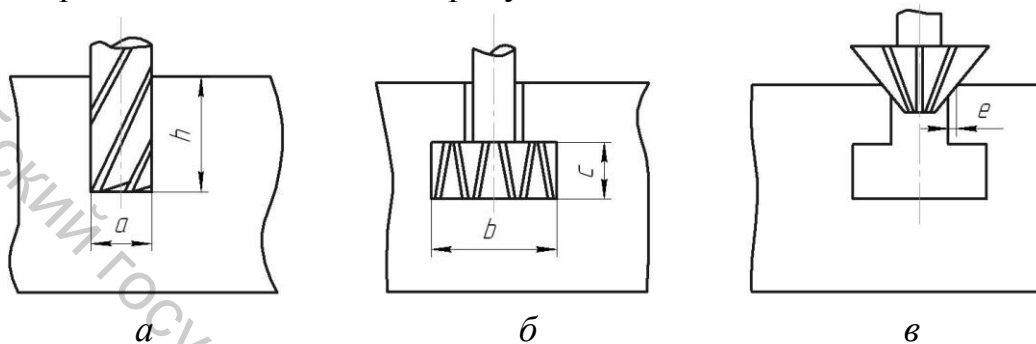


Рисунок 3.12 – Последовательность фрезерования Т-образного паза

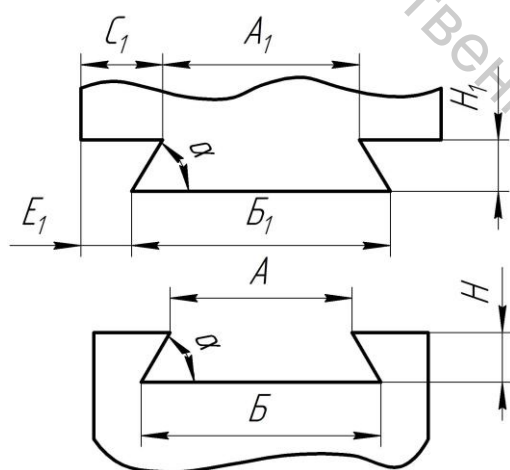


Рисунок 3.13 – Форма паза типа «ласточкин хвост»

Обработка направляющих типа «ласточкин хвост» (рисунок 3.13) также осуществляется за несколько операций. Последовательность обработки охватывающих направляющих на вертикально-фрезерном станке показана на рисунке 3.14. Прямоугольный паз можно обрабатывать дисковой трехсторонней фрезой, а углы не только концевой, но и дисковой одноугловой фрезой (рисунок 3.15).

Вариант последовательности обработки охватываемых направляющих типа «ласточкин хвост» показан на рисунке 3.16.

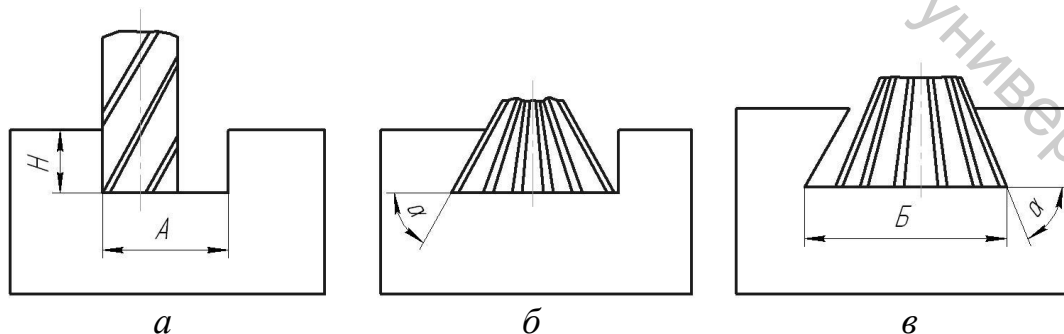


Рисунок 3.14 – Фрезерование паза типа «ласточкин хвост»

Обработка круговых прямоугольных пазов или круговых контуров осуществляется на вертикально-фрезерном станке с помощью поворотного стола

(рисунок 3.17), который имеет ручной или механический привод круговой подачи. При установке заготовки на поворотный стол необходимо обеспечить совпадение центра фрезеруемой дуги с осью поворотного стола.

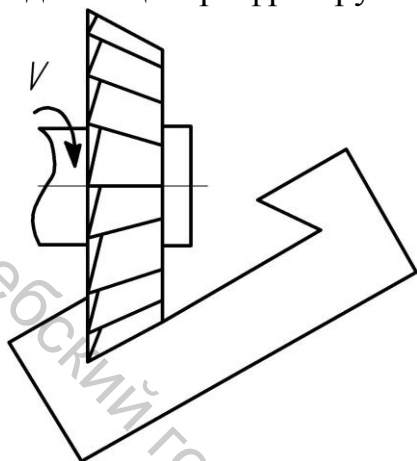


Рисунок 3.15 – Обработка дисковой одноугловой фрезой

Фасонная поверхность на фрезерном станке может быть обработана: 1) фасонной фрезой или набором фрез (рисунок 3.18); 2) по разметке комбинированием двух подач; 3) с помощью накладного копира (рисунок 3.19), который крепится на заготовке или над ней. В процессе фрезерования заготовке 1 и копиру 2 комбинированием двух подач сообщаются необходимые движения с таким расчетом, чтобы поверхность постоянной соприкасалась с цилиндрической частью 3 концевой фрезы.

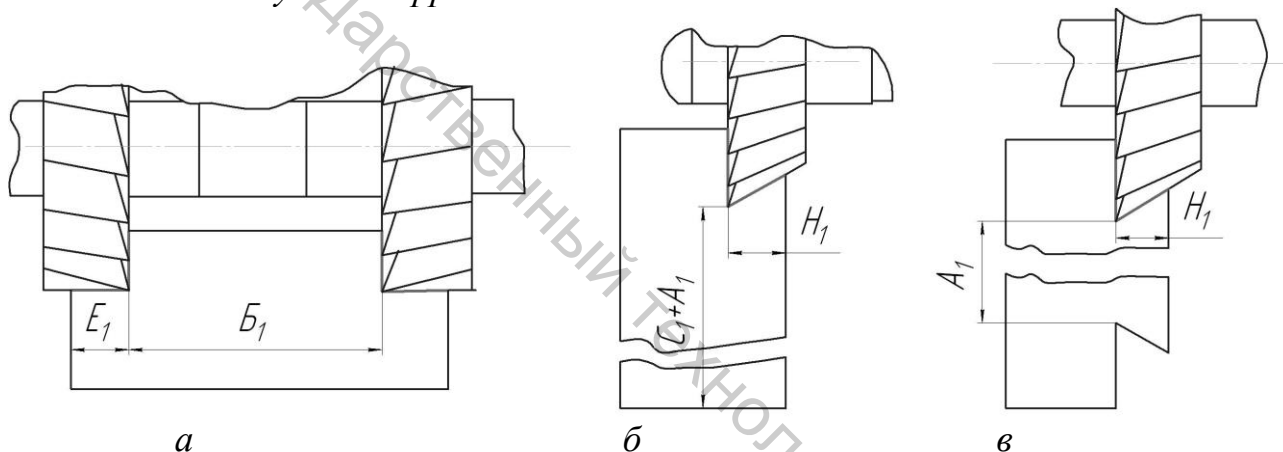


Рисунок 3.16 – Вариант последовательности обработки охватываемых направляющих типа «ласточкин хвост»

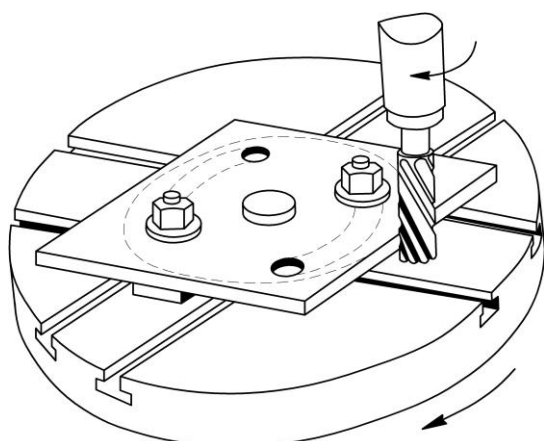
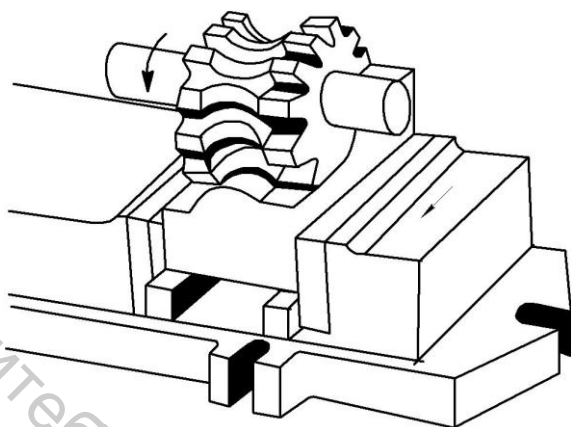
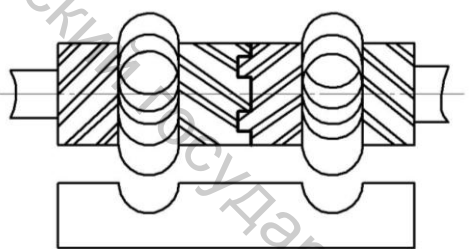


Рисунок 3.17 – Фрезерование фасонной поверхности на круглом поворотном столе

Кулачковые муфты с выступами (канавками) на торцевых поверхностях показаны на рисунке 3.20, а варианты профиля – на рисунке 3.21. Число зубьев кулачков с треугольным профилем равно 15 – 30, с трапецидальным – 5 – 11, с прямоугольным – 3 – 4. Боковые стороны зубьев прямоугольного профиля выполняются в виде плоскостей проходящих через геометрическую ось муфты.



б



б

Рисунок 3.18 – Фрезерование фасонных поверхностей фасонными фрезами

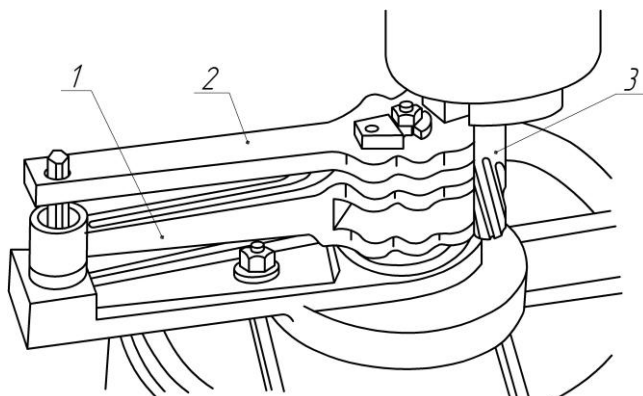
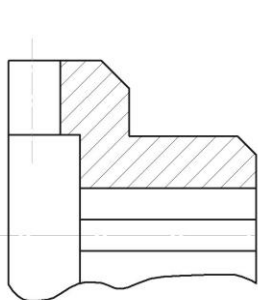
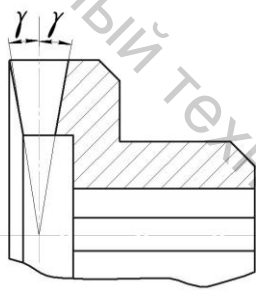


Рисунок 3.19 – Фрезерование фасонных поверхностей по накладному копиру



а



б

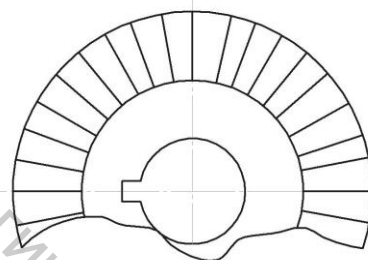
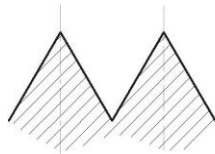
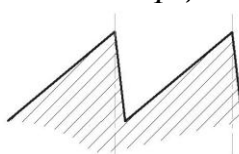


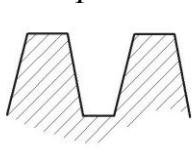
Рисунок 3.20 – Кулачковые муфты с выступами (канавками) на торцевых поверхностях



а



б



в



г

Рисунок 3.21 – Варианты профиля кулачковых муфт с выступами на торцевых поверхностях

Зубья кулаков треугольного и трапецидального профилей с уменьшающейся к центру высотой позволяют обрабатывать обе стороны каждой впадины дисковой фрезой соответствующего профиля за один проход. Чтобы обработать все впадины, необходимо заготовку установить и закрепить на шпинделе делительной головки, повернутой так, чтобы ось шпинделя составляла с вертикалью угол γ (рисунок 3.22). Если зубья треугольного и трапецидального профиля

имеют постоянную высоту, то каждую сторону профиля канавки необходимо фрезеровать отдельно.

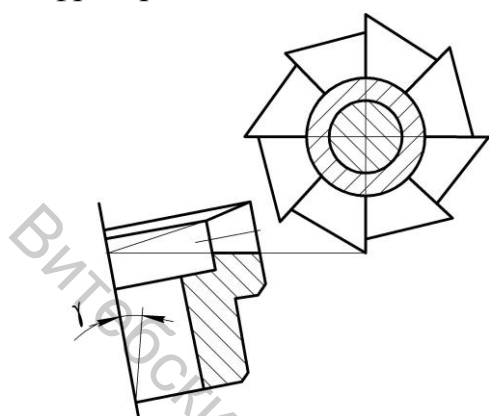
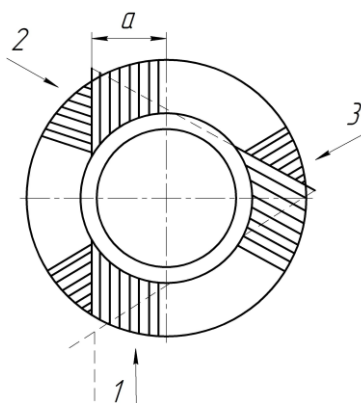
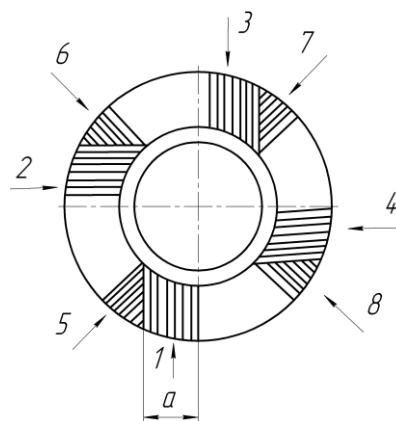


Рисунок 3.22 – Положение муфты при обработке зубьев



а



б

Рисунок 3.23 – Последовательность фрезерования кулачковых муфт

Фрезерование впадин, образующих зубья с прямоугольным профилем, производится концевыми или трехсторонними дисковыми фрезами. Последовательность фрезерования таких муфт с тремя и четырьмя кулачками показана на рисунке 3.23. Трехкулачковая муфта является более технологичной, так как в ней за один проход окончательно обрабатывается одна сторона двух противоположных впадин. Следовательно, для обработки трехкулачковой муфты требуется 3 перехода (см. рисунок 3.23 а). А для обработки четырехкулачковой – 8 переходов (см. рисунок 3.23 б). Для обработки кулачков с прямоугольным профилем необходимо правильно выбрать диаметр концевой или ширину дисковой фрезы.

Ширина фасонной фрезы B определяется по формуле

$$B = \frac{d}{2} \cos(180/z), \quad (3.1)$$

где d – внутренний диаметр кулачков, z – число зубьев кулачка.

Фрезерование угловых канавок режущих инструментов и храповых колес (храповых тормозов) осуществляется на горизонтально-фрезерном станке одно- или двухугловой фрезой. Заготовка устанавливается в делительной головке. Схема впадины зуба храпового колеса показана на рисунке 3.24. На чертеже обычно задаются следующие показатели: число зубьев z , наружный R_n и внутренний R_g радиусы колеса, радиус дна канавки r , передний угол γ и угол профиля φ . Чтобы настроить станок для обработки канавок одноугловой фрезой, необходимо сместить в горизонтальном направлении центр радиуса скрепления фрезы на величину x , а в вертикальном на y . При этом передняя грань займет вертикальное положение (рисунок 3.25). Показатели наладки определяются из выражений

$$x = R_n \sin \gamma - r; \quad y = (R_n + r) - (R_g + r) \cos \gamma_1, \quad (3.2)$$

где $\sin \gamma_1 = (R_n \sin \gamma - r)/(R_g + r)$.

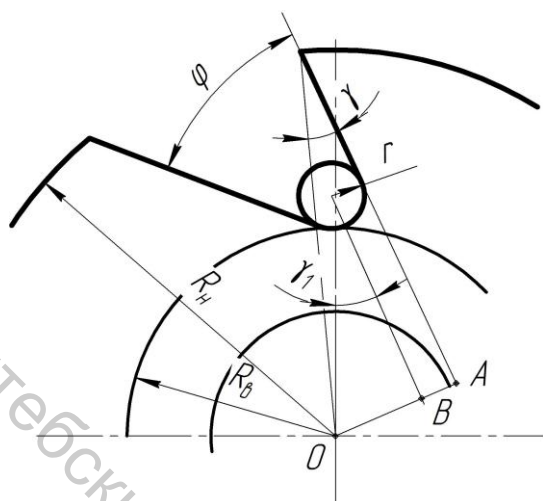


Рисунок 3.24 – Схема впадины зуба храпового колеса

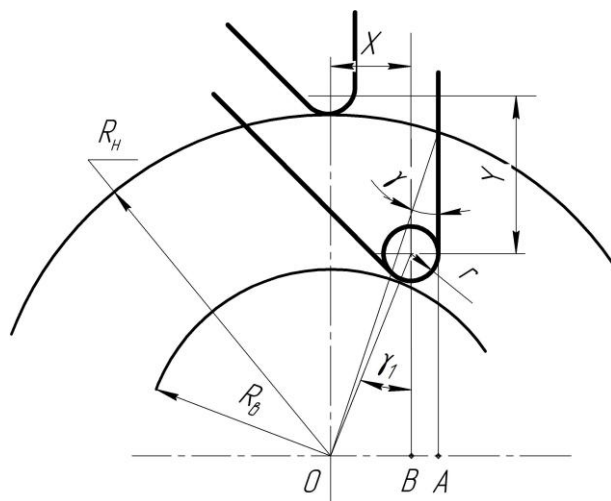


Рисунок 3.25 – Настройка станка для обработки впадины зуба храпового колеса

Фрезерование впадин зубьев зубчатых прямозубых колес осуществляется на горизонтально-фрезерном станке модульными дисковыми или концевыми фрезами. Профиль модульной фрезы должен соответствовать профилю впадины, которая зависит не только от модуля, но и от числа зубьев колеса. Поэтому для каждого модуля выполняется комплект из 8 или 15 фрез. Номер фрезы комплекта зависит от числа зубьев. В таблице 3.4 приведены номера фрез комплекта из 8 штук. Заготовка на оправке устанавливается на делительной головке.

Таблица 3.4 – Номера фрез комплекта для фрезерования зубьев

№ фрезы	1	2	3	4	5	6	7	8
Число зубьев колеса	12-13	14-16	17-20	21-25	26-34	35-54	55-134	135-рейка

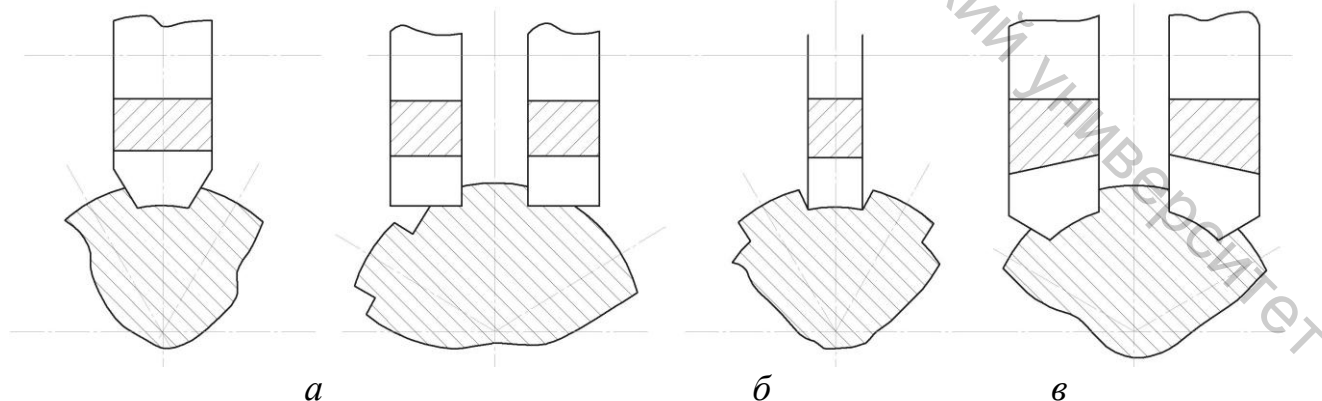


Рисунок 3.26 – Варианты способов обработки шлицевых элементов вала

Варианты способов обработки шлицевых элементов вала приведены на рисунке 3.26. Впадины между шлицами выфрезеровывают либо одной фрезой (см. рисунок 3.26 а), либо сначала двумя дисковыми фрезами, а затем дисковой

фрезой (см. рисунок 3.26 б), либо двумя фасонными фрезами (см. рисунок 3.26 в).

Последний метод самый производительный, так как требуемое число проходов в 2 раза меньше числа шлицов. Заготовка при обработке шлицов устанавливается в делительной головке и центре задней бабки.

3.3 Схема базирования и схема установки

На рисунке 3.27 показаны некоторые варианты схем базирования и соответствующие им схемы установки заготовок на фрезерном станке. В случае, показанном на рисунке 3.27 а, технологическими базами являются три взаимно перпендикулярные плоскости заготовки. А в случае, показанном на рисунке 3.27 б, технологическими базами являются плоскость заготовки и оси двух отверстий, перпендикулярных к ней. Заготовка устанавливается на опоры и два пальца: цилиндрический и ромбический. В случае, показанном на рисунке 3.27 в, технологическими базами являются плоскость (торец) заготовки, ось отверстия, перпендикулярная к ней, и плоскость симметрии заготовки, которая проходит через оси отверстий. Заготовка устанавливается на опоры и палец. Плоскость симметрии фиксируется подвижной призмой.

На рисунке 3.27 г показан вариант схемы базирования, в котором технологическими базами являются плоскость заготовки и оси двух отверстий. Ось одного из них перпендикулярна, а второго – параллельна плоской технологической базе. Заготовка устанавливается на опоры и два ромбических пальца. Длинный горизонтальный палец реализует направляющую базу, а короткий вертикальный – опорную. На рисунке 3.27 д изображен вариант схемы базирования, в котором технологическими базами являются две пересекающиеся взаимно перпендикулярные оси. Одна (двойная направляющая) – общая ось двух шеек, а вторая (двойная опорная) – ось перпендикулярного выступа.

3.4 Оснастка для установки и закрепления заготовок

Заготовки, обрабатываемые на фрезерных станках, устанавливаются на станке при помощи станочных приспособлений, которые можно разделить на три класса: универсальные, специализированные и специальные. К универсальным приспособлениям общего назначения относятся: прихваты, прижимы, упоры, машинные тиски различных видов, угольники, угловые плиты, круглые поворотные столы, делительные столы и головки.

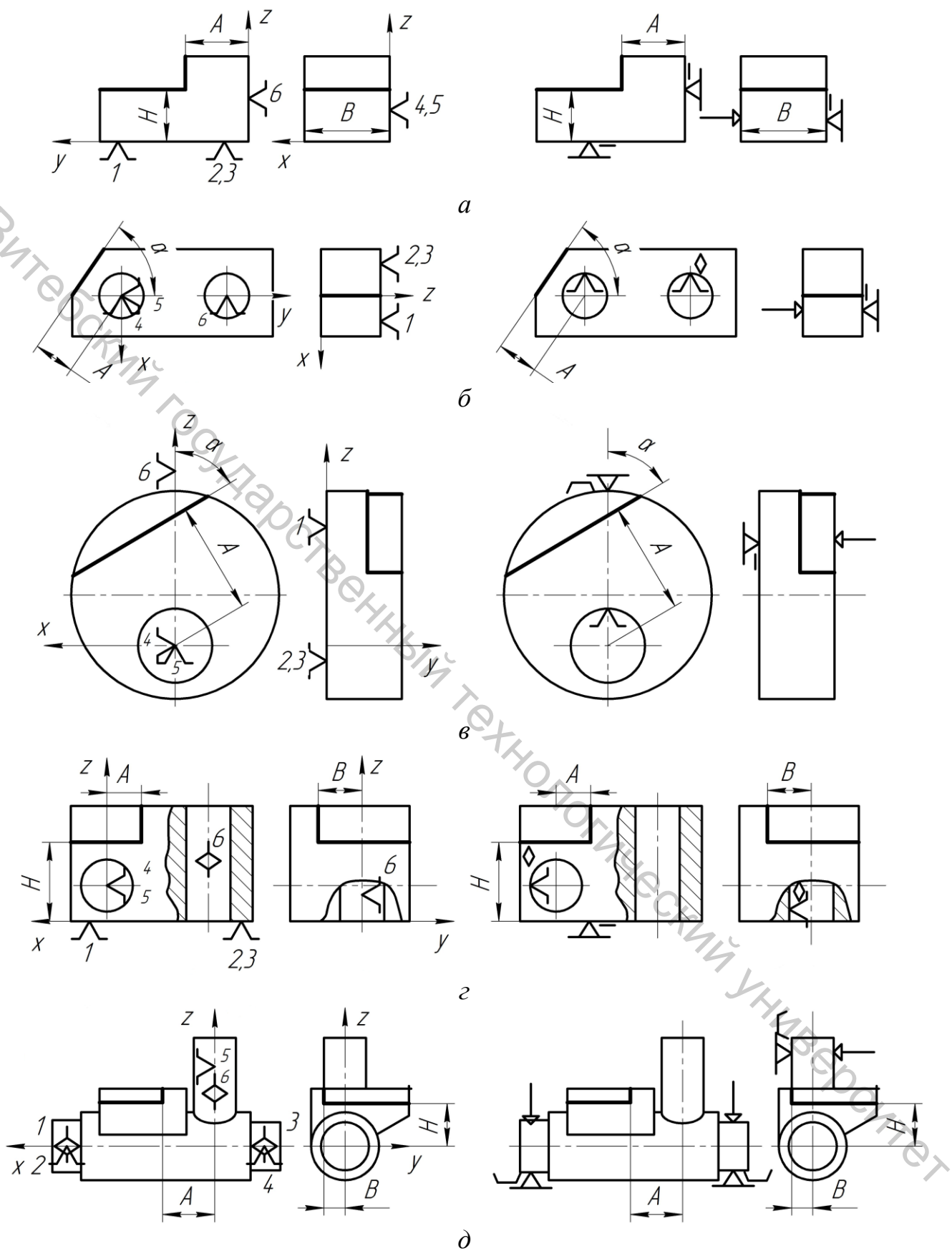


Рисунок 3.27 – Варианты схем базирования и соответствующие им схемы установки заготовок на фрезерном станке

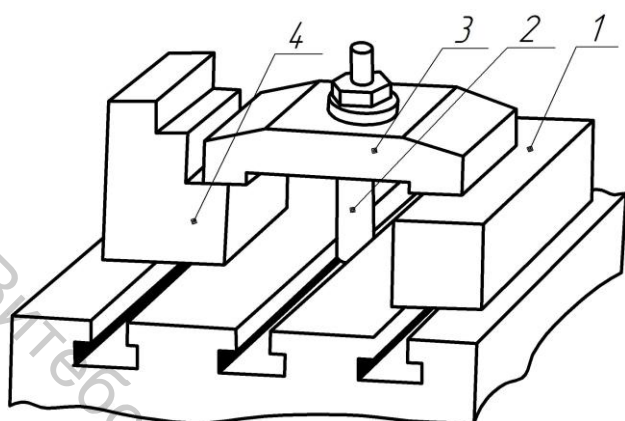
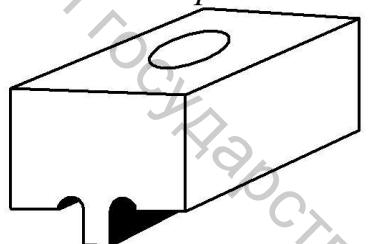
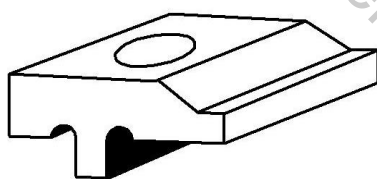


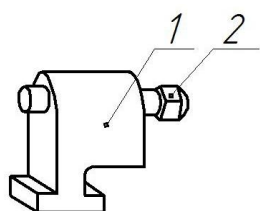
Рисунок 3.28 – Схема закрепления заготовки прихватами



а



б



в

Рисунок 3.29 – Упоры и прижимы

Прихваты служат для закрепления заготовок 1 непосредственно на столе станка (рисунок 3.28). Один конец прихвата 3 иногда опирается на подставку 4. Закрепление заготовки осуществляется с помощью болта 2 и гайки. Часто роль подставки играет болт, который ввинчивается в один конец прихвата и упирается в стол. Для ориентации заготовок при их установке на столе применяются упоры (рисунок 3.29 а, б). Они устанавливаются и закрепляются в продольных пазах стола. А при помощи прижимов (см. рисунок 3.29 в), устанавливаемых в параллельных пазах стола, проводят закрепление заготовки, прижимая винтом 2 ее к упорам.

Машинные тиски (рисунок 3.30) широко применяются для закрепления заготовок простой формы и относительно небольших размеров. По конструкции они делятся на следующие виды: 1) простые (см. рисунок 3.30 а); 2) поворотные (поворот вокруг вертикальной оси, рисунок 3.30 б); 3) универсальные (поворот вокруг двух осей, рисунок 3.30 в). Поворотные и универсальные тиски применяются при фрезеровании наклонных поверхностей и скосов.

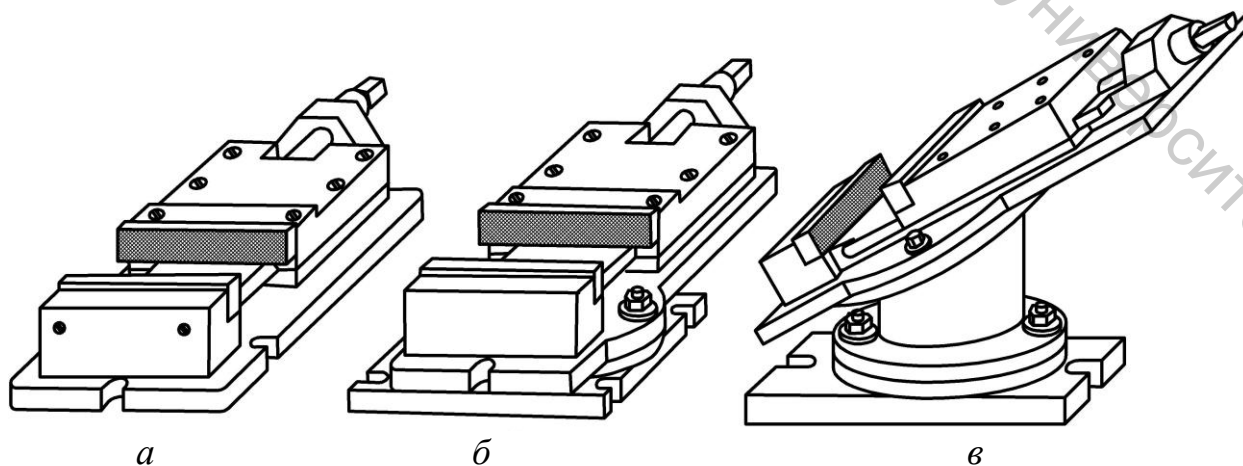


Рисунок 3.30 – Машинные тиски

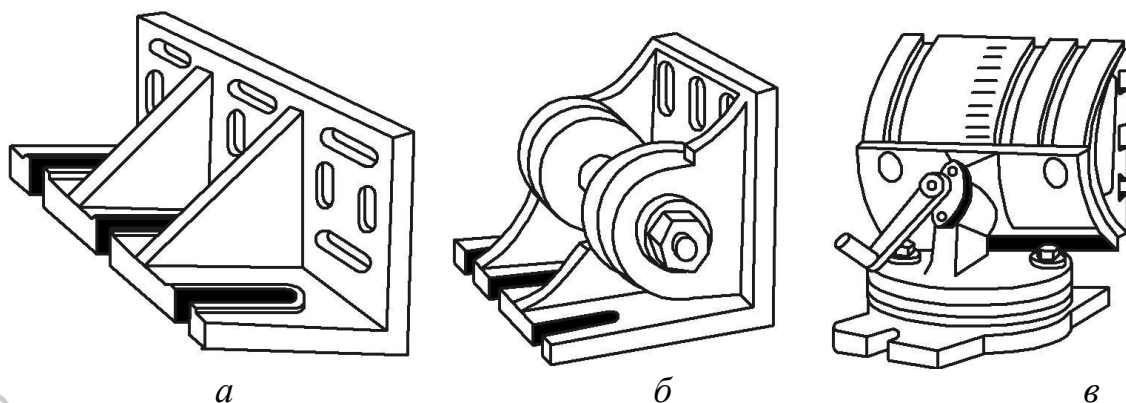


Рисунок 3.31 – Угловые плиты

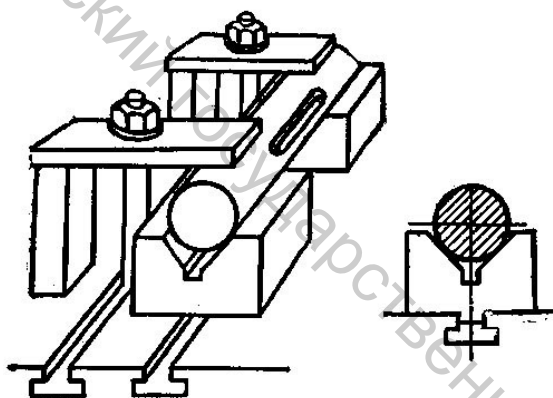


Рисунок 3.32 – Закрепление заготовки на призмах

Угловые плиты (рисунок 3.31) подразделяются на: неповоротные (рисунок 3.31 а); поворотные (вокруг горизонтальной оси, рисунок 3.31 б); универсальные (поворот вокруг вертикальной и горизонтальной оси, рисунок 3.31 в). Заготовки крепятся к угловым плитам прихватами или струбцинами.

Призмы (рисунок 3.32) служат для закрепления заготовок круглой формы при помощи прихватов.

Последние следует располагать над призмами, чтобы усилием зажима не деформировать заготовку. Правильное положение тисков, угловых плит и призм на столе относительно его продольной подачи обеспечивается за счет направляющих шпонок, которые имеются в названных приспособлениях и входят в паз стола.

Круглые поворотные столы (рисунок 3.33) применяются для закрепления заготовок на своем рабочем столе, для обработки круговых контуров или для поворота заготовки на заданный угол. В центре поворотного стола имеется точное конусное отверстие для установки центрирующего пальца.

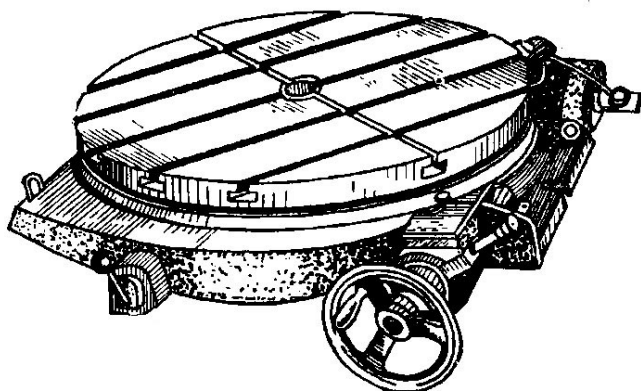


Рисунок 3.33 – Круглый поворотный стол

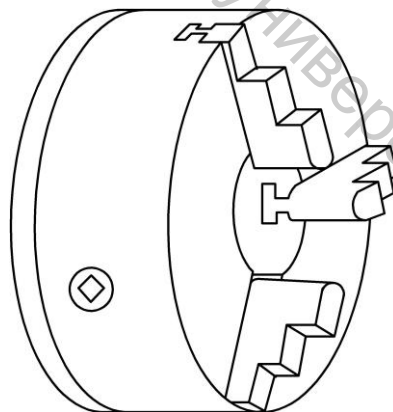


Рисунок 3.34 – Трехкулачковый самоцентрирующий патрон

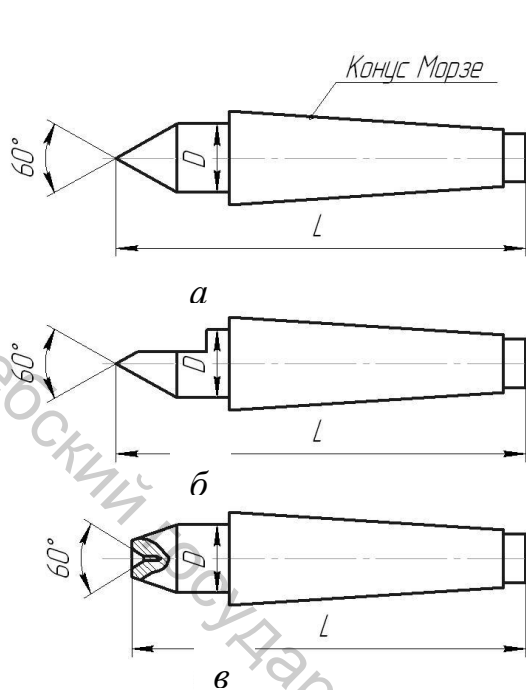


Рисунок 3.35 – Центры: а – прямой, б – полуцентр, в – обратный

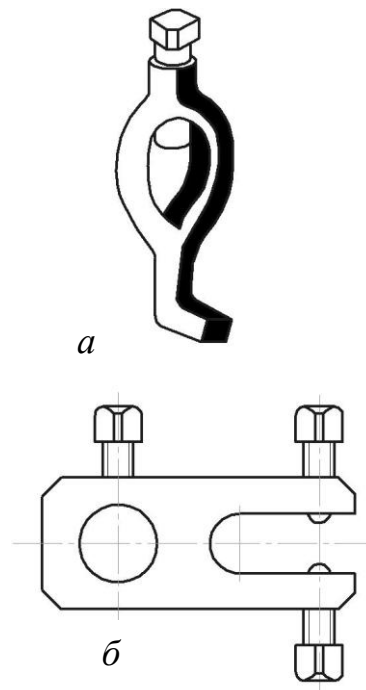


Рисунок 3.36 – Хомутики отогнутые (а) и поводковые (б)

Из приспособлений для закрепления заготовок при обработке многогранников, шлицов, зубчатых и храповых колес, зубчатых муфт и других деталей, где требуется делительная головка, наиболее широкое применение нашли трехкулачковые самоцентрирующие патроны (рисунок 3.34), постоянные центры (рисунок 3.35), хомутики (рисунок 3.36), люнеты (рисунок 3.37) и оправки (рисунок 3.38).

Трехкулачковые патроны предназначены для закрепления коротких цилиндрических заготовок, у которых длина выступающей из кулачков части не превышает трех ее диаметров. Длинные заготовки устанавливают в постоянные центры. Полуцентр, вставленный в пиноль задней бабки делительной головки, обеспечивает свободный подвод фрезы. Хомутики обеспечивают передачу крутящего момента при повороте заготовки на задний угол и воспринимают момент от сил резания.

Люнет применяют для поддержания нежестких заготовок и предотвращает их прогиб под действием силы резания. Установка призмы под заготовку производится вращением гайки 1, а ее фиксация – винтом 2 (см. рисунок 3.37).

Оправки применяют для закрепления заготовок типа втулок или дисков с окончательно обработанным отверстием, которое служит технологической базой. Оправки обеспечивают выполнение требований к точности взаимного расположения (биение) обрабатываемых поверхностей.

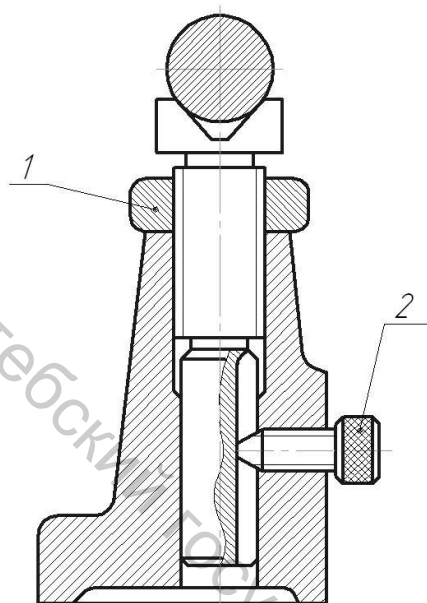


Рисунок 3.37 – Люнет

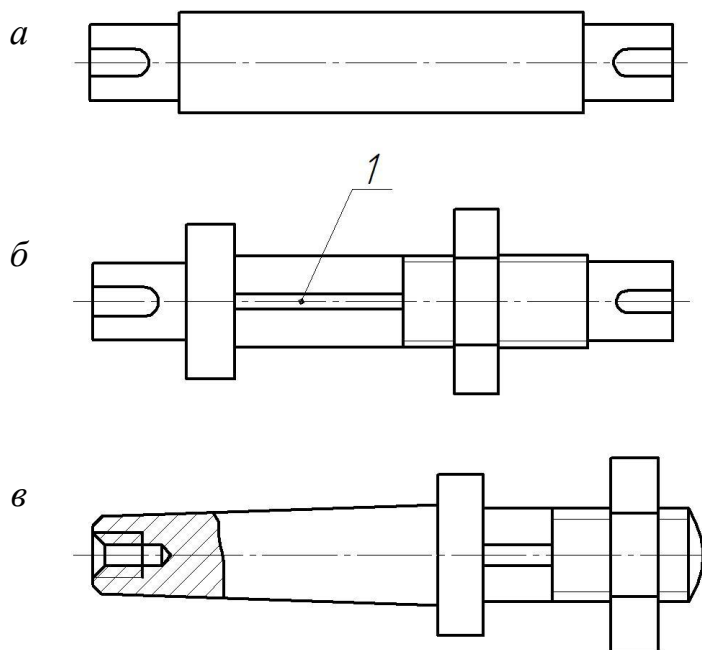
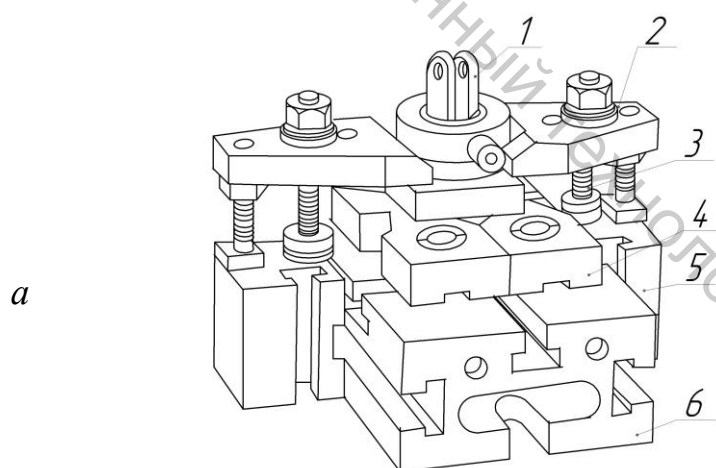
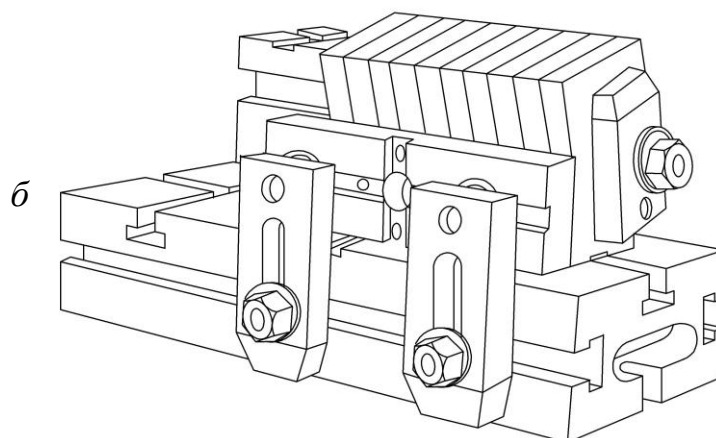


Рисунок 3.38 – Оправки:
а, б – гладкая цилиндрическая,
в – консольная

Оправки устанавливаются в центрах (см. рисунок 3.38 а и б) или непосредственно в шпинделе делительной головки (см. рисунок 3.38 в). Если в отверстии заготовки имеется шпоночная канавка, желательно на цилиндрической посадочной поверхности оправки иметь шпоночную канавку 1 для шпонки. Это увеличивает надежность закрепления заготовки. Заготовки, в отверстиях которых нарезаны шлицы, закрепляют на шлицевых оправках.



а



б

Рисунок 3.39 – Универсально-сборные приспособления

В единичном и мелкосерийном производстве выгодно использовать универсально-сборные приспособления (УСП). Это специальные приспособления, собираемые из нормализованных деталей и сборочных единиц. Основными элементами УСП явля-

ются базовые, корпусные, установочно-направляющие и крепежно-прижимные детали. В элементах УСП предусмотрены взаимно перпендикулярные Т-образные пазы. Фиксация деталей осуществляется способом «шпонка-паз». Недостаточная жесткость УСП заставляет снижать режимы резания. Число деталей и узлов в комплекте УСП составляет 2400 – 4200 единиц.

На рисунке 3.39 а показано УСП для фрезерования призмы штуцера, а на рисунке 3.39 б – для закрепления одновременно десяти заготовок в пакете, у которых фрезеруется боковая плоскость. После использования приспособление разбирается на элементы, из которых (с добавлением других) можно собрать новые.

При помощи универсальных делительных головок (УДГ) можно:

- 1) периодически поворачивать заготовку вокруг ее оси на заданное число делений (равные и неравные части);
- 2) устанавливать ось обрабатываемых заготовок под заданным углом к горизонтальной плоскости;
- 3) непрерывно вращать заготовку в процессе фрезерования винтовых каналов;
- 4) производить разметку заготовок.

На рисунке 3.40 показана универсальная делительная головка в комплекте с задней бабкой и люнетом. Поворотная колодка 10 со шпинделем 7 может быть повернута в пределах от 0 до 5° вниз и от 0 до 95° вверх. Концы шпинделя имеют конические отверстия с конусом Морзе. В передний конец шпинделя может быть вставлен постоянный центр, а с противоположной стороны шпиндельный валик. Передний конец шпинделя имеет резьбу для навинчивания трехкулачкового самоцентрирующегося патрона.

С боковой части делительной головки установлен боковой делительный диск 13, имеющий с обеих сторон ряд концентрично расположенных несквозных отверстий. Он может быть зафиксирован в требуемом положении стопором 17. Спереди к боковому делительному диску прикреплен раздвижной сектор 18, состоящий из двух линеек 14, служащих для облегчения отсчета требуемого числа промежутков между отверстиями. Линейки сектора можно повернуть относительно друг друга на любой угол.

3.5 Методы деления на УДГ

На УДГ возможны три метода деления: непосредственный, простой и дифференциальный.

Сущность непосредственного метода деления состоит в том, что нужный угол поворота заготовки выполняется непосредственным поворотом шпинделя УДГ с отсчетом угла по градусной шкале 8 (см. рисунок 3.40) на любом делительном диске. На нем с внутренней стороны имеется 24 равномерно расположенных отверстия под фиксатор, что позволяет непосредственно обеспечить деление на 2, 3, 4, 6, 8, 12 и 24 части. Этот метод обеспечивает наиболее точное

деление, так как в нем не имеют значения погрешности кинематической цепи и бокового делительного диска.

При делении на z частей угол поворота шпинделя α определяется из выражения $\alpha = 360 / z$.

Если задан угол β между гранями обрабатываемой поверхности, то угол α поворота шпинделя определяется из выражения

$$\alpha = 180 - \beta. \quad (3.3)$$

Деления на шкале 8 расположены через 1° . Точность отсчета с использованием нониуса равна $5'$. После каждого поворота шпинделя фиксируется стопором 11 (см. рисунок 3.40).

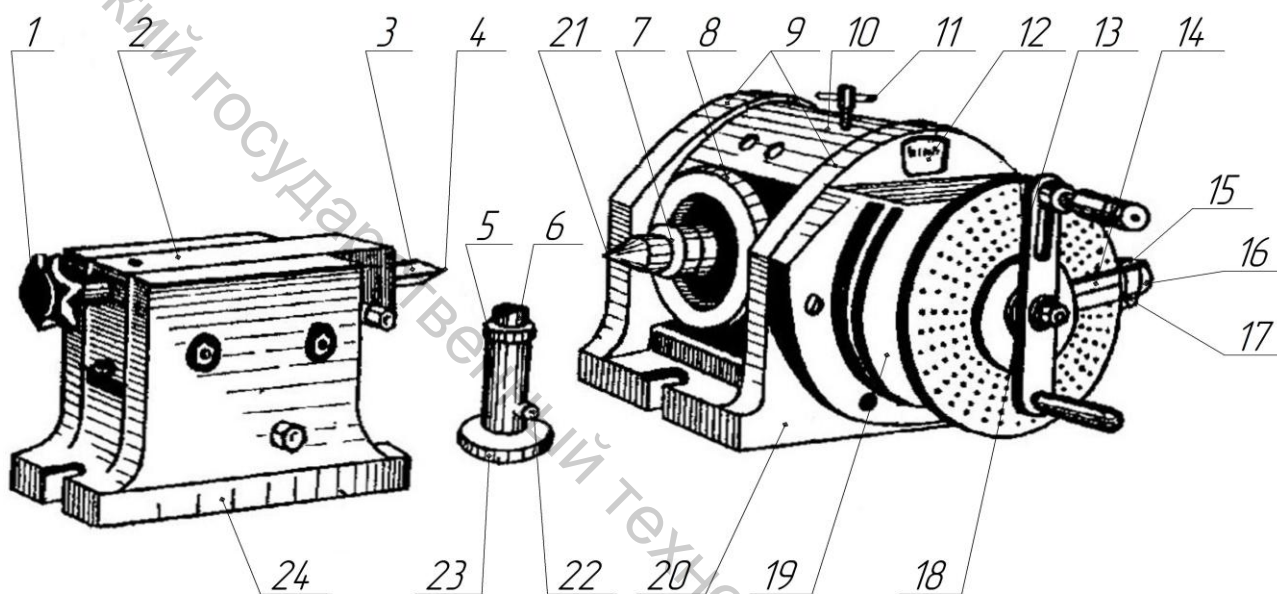


Рисунок 3.40 – Универсальная делительная головка

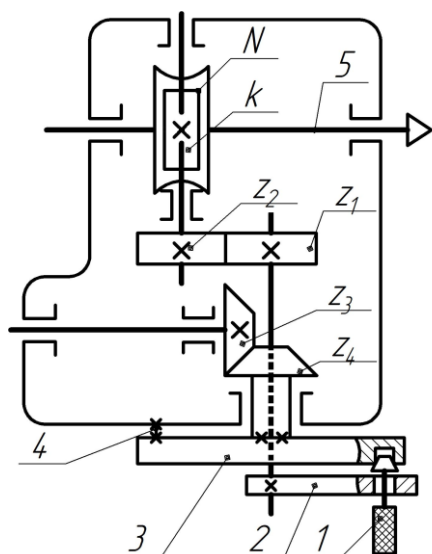


Рисунок 3.41 – Кинематическая схема УДГ, настроенной на простое деление

Кинематическая схема УДГ, настроенная на простое деление, показана на рисунке 3.41. Шпиндель 5 получает вращение от рукоятки 1, через шестерни с числом зубьев $z_1 = z_2$ и червячную передачу, у которой число заходов червяка $k = 1$, а число зубьев червячного колеса $N = 40$. Боковой делительный диск при этом застопорен фиксатором.

В зависимости от типоразмера УДГ на делительном диске может быть семь или восемь рядов с числами отверстий, приведенными в таблице 3.5, где D – наибольший диаметр заготовки.

Таблица 3.5 – Число отверстий делительного диска

Модель УДГ	D – 160 и D – 200	D – 250; D – 320 и D – 400
На одной стороне	16; 19; 23; 30; 33; 39; 49	16; 17; 19; 21; 23; 29; 30; 31
На другой стороне	17; 21; 29; 31; 37; 41; 54	33; 37; 39; 41; 43; 47; 49; 54

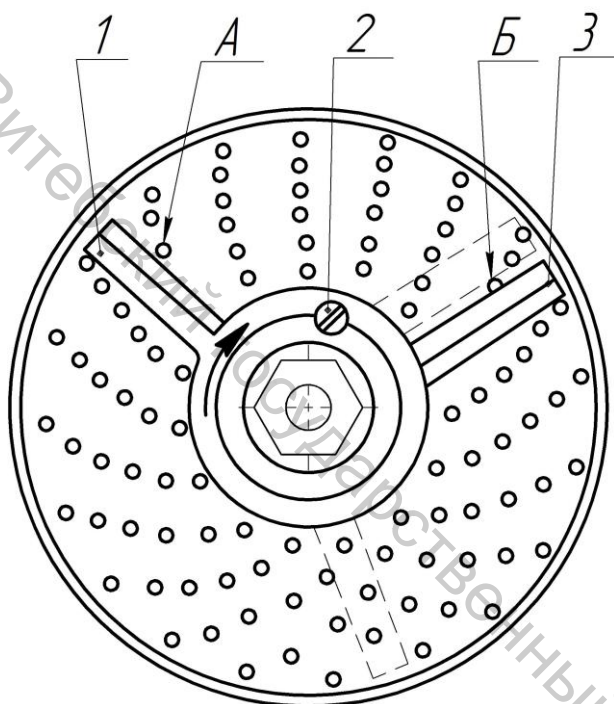


Рисунок 3.42 – Раздвижной сектор бокового деления диска УДГ

Пусть требуется разделить окружность на z_n частей. Чтобы заготовка и шпиндель 5 повернулись на $1/z_n$ оборота, рычаг 2 рукоятки 1 необходимо, согласно кинематической цепи, повернуть на n_p оборотов, где $n_p = N z / (K \cdot z_1 \cdot z_n)$. При $z_2 = z_1$ и $\kappa = 1$ получается $n_p = N / z_n = 40/z_n$.

Запишем $N / z_n = n_y + p / q$, где n_y – целое число оборотов рукоятки, p / q – доля оборота рукоятки (q – число отверстий в окружности делительного диска; p – число взятых шагов между отверстиями выбранной окружности).

Таким образом деление на $1 / z_n$ часть производят поворотом рукоятки на n_y целых оборотов и еще на величину p / q , отсчитываемую по окружности с числом отверстий q .

После этого рукоятку стопорят, вводя фиксатор в отверстие делительного диска.

Чтобы использовать раздвижной сектор с линейками 1 и 3 (рисунок 3.42), стержень фиксатора вводится в одно из отверстий выбранной окружности и бокового делительного диска, например в отверстие А. Освобождается винт 2, соединяющий линейки 1 и 3. Одну из линеек подвести скосом к стержню фиксатора, а вторую поверхность на угол, соответствующий требуемому числу p промежутков между отверстиями, подведя к последнему отверстию Б скос второй линейки, и закрепить их снова винтом 2.

После обработки поверхности детали при указанном положении фиксатора (в отверстии А) следует повернуть рукоятку по часовой стрелке на расчетное число оборотов, ввести стержень фиксатора в отверстие Б и повернуть линейки сектора в том же направлении до сопротивления скоса линейки 1 сектора с фиксатором. Сектор в новом положении показан штриховыми линиями.

Вращение рукоятки надо производить только в одном направлении, чтобы не допустить ошибки, связанной с зазором в передачах.

Пример. Определить число оборотов рукоятки УДГ и подобрать число отверстий на боковом делительном диске, если необходимо обработать многогранник с числом граней $z_n = 7$.

$$n_p = 40 / z_n = 40 / 7 = 5 + 5 / 7$$

По таблице подбираем число отверстий, которое при делении на 7 даст целое число. Это 21 и 49. $21 / 7 = 3$. $49 / 7 = 7$. Тогда

$$n_p = 5 + 15/21; \text{ или } n_p = 5 + 35/49.$$

Значения z_n , которые можно получить простым делением на УДГ $D - 160$ и $D - 200$, приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

z_n	Все числа от 2 до 42; 44; 45; 46; 48; 50; 52; 54; 55; 56; 60; 62; 64; 65; 66; 67; 70; 72; 74; 75; 76; 78; 80; 82; 84; 85; 88; 90; 92; 95; 100; 104; 105; 106; 108
-------	--

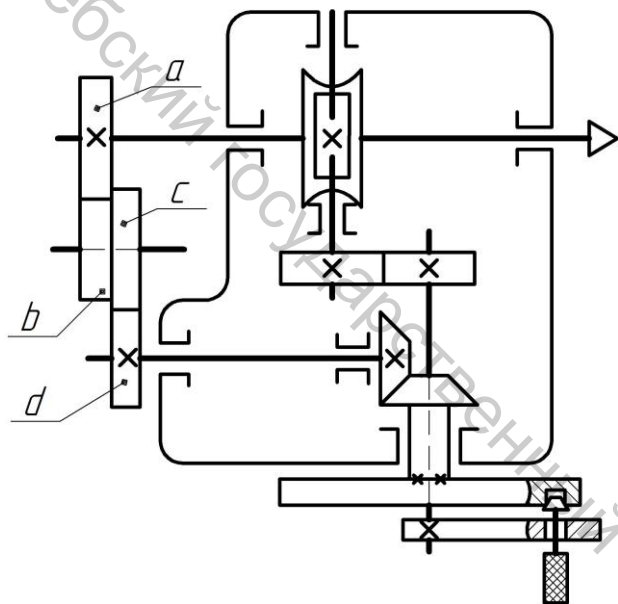


Рисунок 3.43 – Настройка УДГ на дифференциальное деление

Для других УДГ возможно дополнительно z_n , равное 43 и 47. Другие значения z_n можно получить только дифференциальным делением. Настройка УДГ на дифференциальное деление показана на рисунке 3.43. Сущность дифференциального деления заключается в том, что нужный угол поворота заготовки осуществляется за счет двух движений: вращения рукоятки с фиксатором относительно бокового делительного диска и вращения самого делительного диска.

Передача вращения боковому делительному диску производится от шпинделя через гитару сменных колес с числами зубьев a, b, c, d . При этом боковой делительный диск не зафиксирован. Теперь поворот n_p рукоятки для деления на $1/z_n$ часть можно представить в виде суммы двух движений: поворота рукоятки n'_p и поворота бокового делительного диска n_g .

$$n_p = n'_p + n_g \quad (3.4)$$

Первое слагаемое n'_p получим, выбрав фиктивное число Z_ϕ , близкое к Z_n и позволяющее применить простое деление, т. е. $n'_p = 40/Z_\phi$. Поворот диска n''_p определяется из кинематической цепи (см. рисунки 3.41 и 3.43)

$$n''_p = \frac{1}{Z_n} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \quad (3.5)$$

Обычно $Z_3/Z_4 = 1$. Тогда, согласно выражениям 3.4 и 3.5:

$$\frac{40}{Z_n} = \frac{40}{Z_\phi} + \frac{1}{Z_n} \cdot \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$$

или

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = 40 \cdot \left(\frac{Z_\phi - Z_n}{Z_\phi} \right) \quad (3.6)$$

Если передаточное отношение сменных колес получится положительным ($Z_\phi > Z_n$), то делительный диск должен вращаться в ту же сторону, что и рукоятка, а если передаточное отношение отрицательно ($Z_\phi < Z_n$), то навстречу рукоятке. Последнее достигается путем установки дополнительного паразитного колеса в гитару сменных колес.

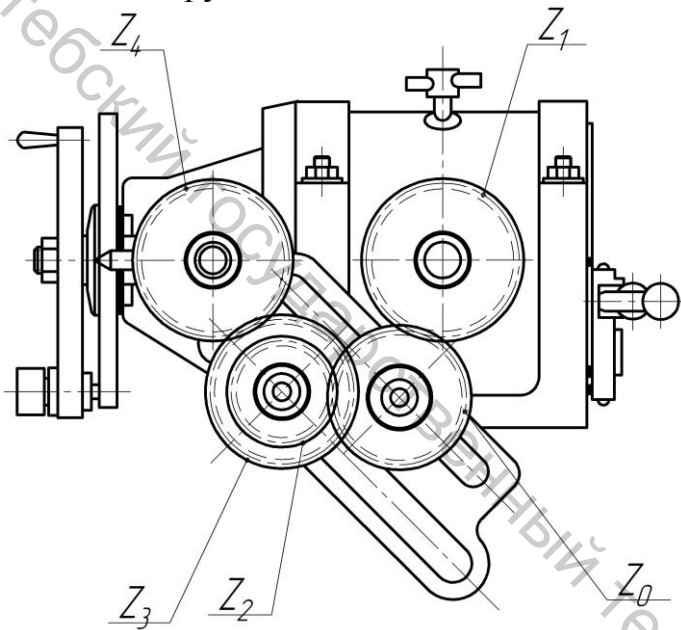


Рисунок 3.44 – Гитара сменных зубчатых колес для дифференциального деления

В зависимости от принятого числа Z_ϕ по отношению к Z_n гитара сменных колес (рисунок 3.44) может иметь четыре схемы настройки (рисунок 3.45). Если $Z_\phi > Z_n$, в одну пару с одним промежуточным колесом Z_0 (см. рисунок 3.45 а), в виде пары без промежуточного колеса (см. рисунок 3.45 б). Если $Z_\phi < Z_n$, в одну пару с двумя промежуточными колесами Z_{01} Z_{02} (см. рисунок 3.45 в) или в две пары с одним промежуточным колесом Z_0 (см. рисунок 3.45 г).

К делительным головкам прилагается комплект сменных зубчатых колес с числом зубьев, указанным в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Число зубьев сменных колес

Z_c	25; 25; 30; 35; 40; 50; 55; 60; 70; 80; 90; 100
-------	---

Пример. Настроить УДГ на дифференциальное деление, если $Z_n = 51$. Подбираем такое ближайшее значение Z_ϕ по таблице 3.6, чтобы Z_ϕ было равно или кратно числу зубьев сменных шестерен из таблицы 3.7. $Z_\phi = 50$. Тогда

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = 40 \left(\frac{50 - 51}{50} \right) = -\frac{40}{50}. \quad \text{Схема настройки соответствует рисунку 3.45 в.}$$

$$Z_o = Z_o' = 25.$$

$$n_p = \frac{40}{Z_\phi} = \frac{40}{50} = \frac{4}{5} = \frac{24}{30}$$

Выбираем на боковом делительном диске ряд с тридцатью отверстиями. Для упражнения в таблице 3.8 предлагаются следующие варианты Z_n .

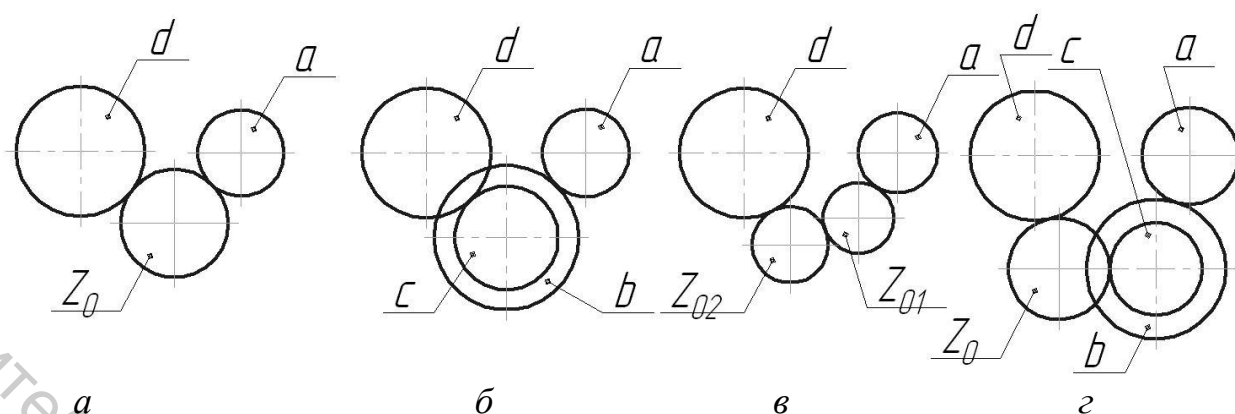


Рисунок 3.45 – Схемы настройки гитары сменных колес

Таблица 3.8 – Варианты для упражнений

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Z_H	5	7	9	11	12	13	14	15	17	18	19	20	21	22	23
Z_H	44	45	46	48	52	54	55	56	58	60	62	64	65	66	68
Z_H	43	47	49	53	57	59	61	63	67	69	71	73	77	79	81
N	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Z_H	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
Z_H	70	72	74	75	76	78	80	82	84	85	88	90	92	95	96
Z_H	83	86	87	89	91	93	94	97	98	99	101	102	103	107	109

При фрезеровании канавок цилиндрических и концевых фрез, разверток и других деталей с неравномерным шагом необходимо производить деление на неравные части, заданные центральными углами α_i . Необходимое число оборотов рукоятки для поворота заготовки на угол α_i определяется выражением

$$n_p = \alpha_i / 9 \quad (3.7)$$

Для поворота заготовки на 1° рукоятку необходимо повернуть на $1/9$ оборота относительно бокового делительного диска. Это удобнее всего делать, если выбрать на нем окружность с числом отверстий 54. Для деления на неодинаковые части лучше предварительно составить таблицу деления.

Пример. Требуется в развертке фрезеровать 6 канавок с центральными углами 55° ; 60° ; 65° ; 55° ; 60° ; 65° . Согласно выражению $n_{pi} = \alpha_i / 9$ вычисляем и заносим в таблицу результаты.

№ канавки	1	2	3	4	5	6
n_p	6+6/54	6+36/54	7+12/54	6+6/54	6+36/54	7+12/54

3.6 Установка, закрепление и размерная настройка инструмента

Режущий инструмент на фрезерных станках устанавливается и закрепляется при помощи вспомогательного инструмента. Это центровые и концевые оправки, переходные втулки, установочные кольца, цанговые патроны и др.

Центровые оправки (рисунок 3.46) применяются для установки цилиндрических, дисковых, угловых и фасонных фрез на горизонтально-фрезерном станке. Оправка коническим хвостовиком 2 устанавливается в коническом отверстии шпинделя и крепится натяжным винтом (шомполом) 1. Для восприятия крутящего момента от сил резания прямоугольные пазы на фланце оправки совмещают с поводковыми шпонками 1 и 2 (рисунок 3.47), расположенными в пазах торца шпинделя.

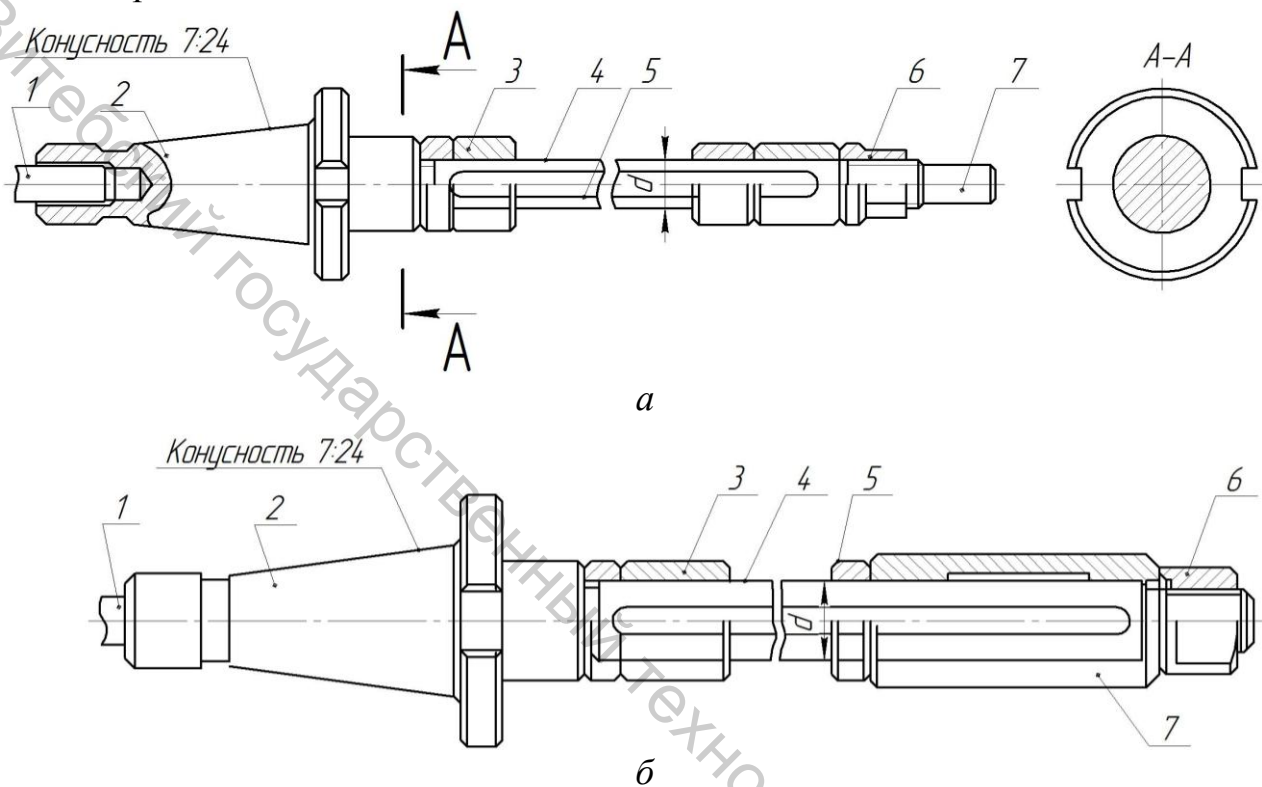


Рисунок 3.46 – Центровые оправки: с направляющей цапфой (а) и с поддерживающей вращающейся буксой (б)

На цилиндрическую часть 4 оправки со шпоночной канавкой насаживают установочные кольца 3 и фрезу. Комплект закрепляется гайкой 6. Второй сводный конец оправки поддерживается подшипником подвески 8, закрепляемой на хоботе 7 (см. рисунок 3.1). В подшипники подвески вводится направляющая опора 7 (см. рисунок 3.46 а) или поддерживающая букса 7 (см. рисунок 3.46 б).

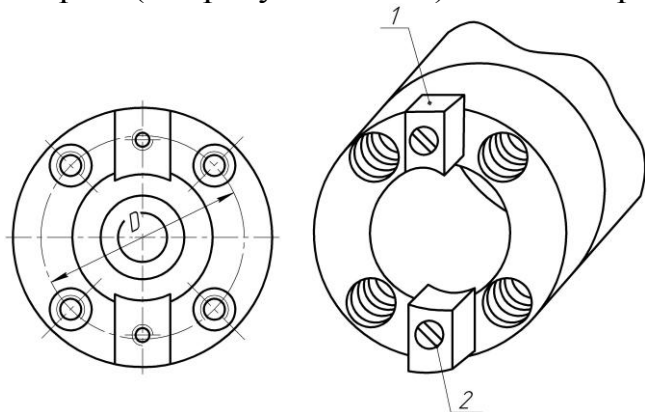


Рисунок 3.47 – Передний конец шпинделя фрезерного станка

Диаметр цилиндрической части оправки и отверстия установочных колец (от 13 до 50 мм) выбирают в зависимости от диаметра фрезы. Установочные кольца, прилагаемые к оправке, могут иметь ширину от 1 до 50 мм. Точные установочные кольца с допуском на ширину $\pm 0,01$ и $\pm 0,013$ мм применяются как промежуточные для установки заданного расстояния между дисковыми фрезами комплекта.

Концевые оправки (рисунок 3.48) служат для закрепления насадных торцевых фрез на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках. Они закрепляются в шпинделе станка так же, как центровые оправки. Крутящий момент от сил резания концевая оправка воспринимает продольной призматической шпонкой (рисунок 3.48 а), торцевой шпонкой (рисунок 3.48 б) или вкладышем 3 (рисунок 3.48 в), который входит в торцовый паз фрезы. Последний вариант применяется для установки торцевых фрез большого диаметра с коническим посадочным отверстием.

Некоторые насадные торцевые фрезы большого диаметра крепятся непосредственно на цилиндрическом буртике переднего конца шпинделя (рисунок 3.49). Крутящий момент от сил резания воспринимается торцевой шпонкой 3. Шпиндель станка должен иметь 4 резьбовых отверстия (см. рисунок 3.47).

Концевые фрезы 1 с коническим хвостовиком устанавливаются в шпиндель 5 станка (рисунок 3.50 а), используются переходные втулки 2, внутренний конус которых соответствует конусу инструмента, а наружный – конусу шпинделя. Комплект закрепляется шомполом 6. Концевые фрезы с цилиндрическим хвостовиком закрепляют в патроне, который своим коническим хвостовиком устанавливается в шпиндель станка. Конструкция одного из таких патронов показана на рисунке 3.50 б. Фрезу устанавливают в цангу 7 и гайкой 8 закрепляют в корпусе патрона 9.

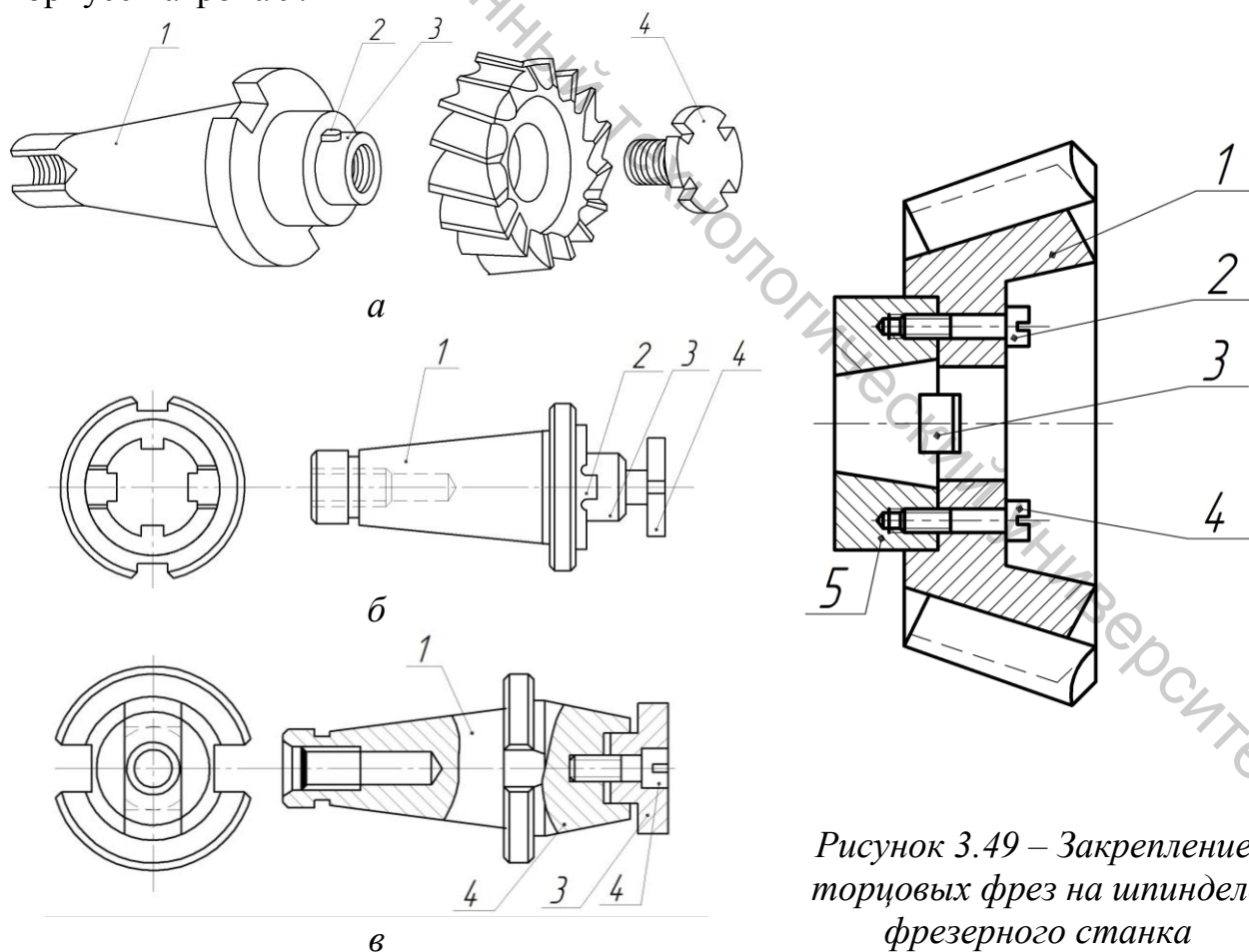


Рисунок 3.48 – Концевые оправки

Рисунок 3.49 – Закрепление торцевых фрез на шпинделе фрезерного станка

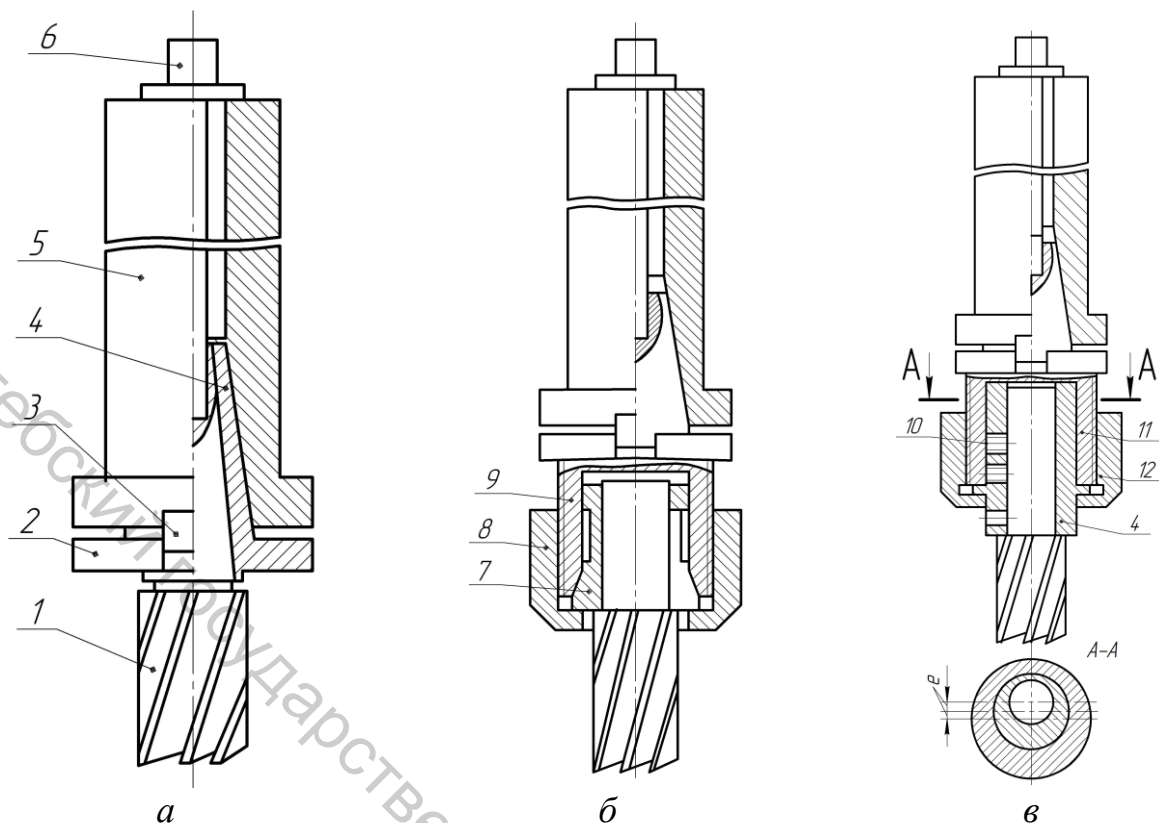


Рисунок 3.50 – Установка концевых фрез

При фрезеровании пазов, точных по ширине, изношенными фрезами удобно использовать патрон (рисунок 3.50 в) с регулируемым эксцентриситетом. Фрезу закрепляют винтами 10 во втулке 4, которую устанавливают в корпус 11 и затягивают колпачковой гайкой 12. Так как ось отверстия в корпусе смещена по отношению к оси его посадочного конуса, а ось отверстия для фрезы во втулке не совпадает с осью втулки, то поворотом втулки можно смещать ось фрезы относительно оси ее вращения, изменяя ширину фрезеруемого паза. Значительные затраты времени связаны с затяжкой шомпола при креплении инструмента, особенно на вертикально-фрезерных станках.

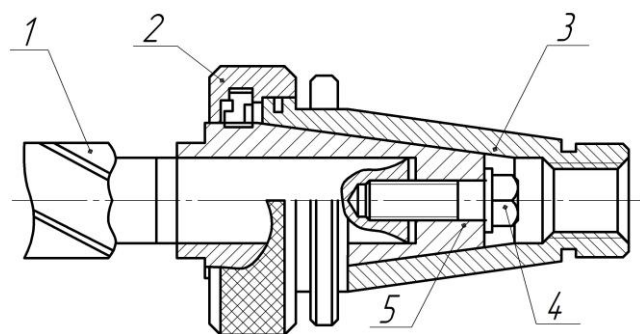
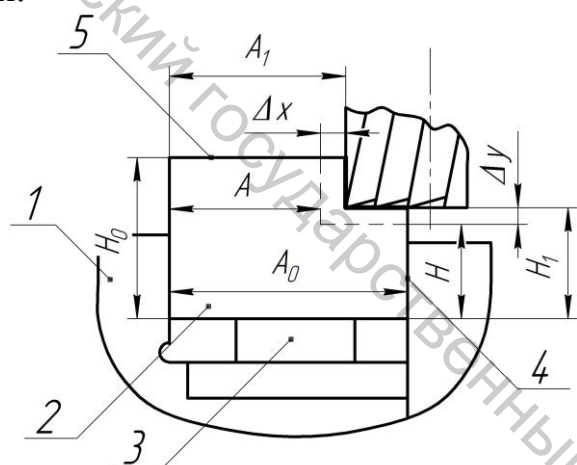


Рисунок 3.51 – Патрон для закрепления фрез

Для сокращения этих затрат при креплении концевых фрез с коническим хвостовиком применяется патрон, показанный на рисунке 3.51. В корпус патрона 3, установленного в шпинделе станка, вставляют сменную переходную втулку 5 с закрепленной в ней посредством винта 4

фрезой 1. При установке втулки в корпус патрона ее поводки проходят через соответствующие вырезы в гайке 2, накрученной на корпус 3, и входят в пазы, имеющиеся в торце корпуса патрона. Закрепление сменной втулки в корпусе осуществляется поворотом гайки 2 на $45 - 115^\circ$.

Размерная настройка при фрезеровании плоскостей инструментов выполняется методом пробных проходов (рисунок 3.52). Коснувшись верхней плоскости 4 заготовки 1, установленной в тисках 3 на подставке 2, вращающейся концевой фрезой, выводят поперечной подачей заготовку из-под фрезы и поднимают стол на величину $y < H_0 - H$. Затем, коснувшись плоскости 5, продольной подачей выводят заготовку от контакта с фрезой и поперечной подачей перемещают стол на величину ($x < A_0 - A$). Выполнив пробный проход (не обязательно на всей длине детали), измеряют полученные размеры и вводят коррекцию размерной настройки $\Delta x = A_1 - A$ и $\Delta y = H_1 - H$. Значения коррекционных перемещений отсчитываются по лимбам поперечной и вертикальной подачи.



Некоторые методы размерной настройки на расположение прямоугольного паза показаны на рисунке 3.53. Положение дисковой или концевой фрез в горизонтальном направлении контролируется штангенциркулем (рисунок 3.53 а и б) или угольником (исходное положение рисунок 3.53 в и г). Размерная настройка на глубину паза выполняется методом пробных проходов.

Рисунок 3.52 – Размерная настройка

Исходные положения фрезы в горизонтальном направлении можно определить, коснувшись вращающейся фрезой вертикальной плоскости заготовки (рисунок 3.53 д и е).

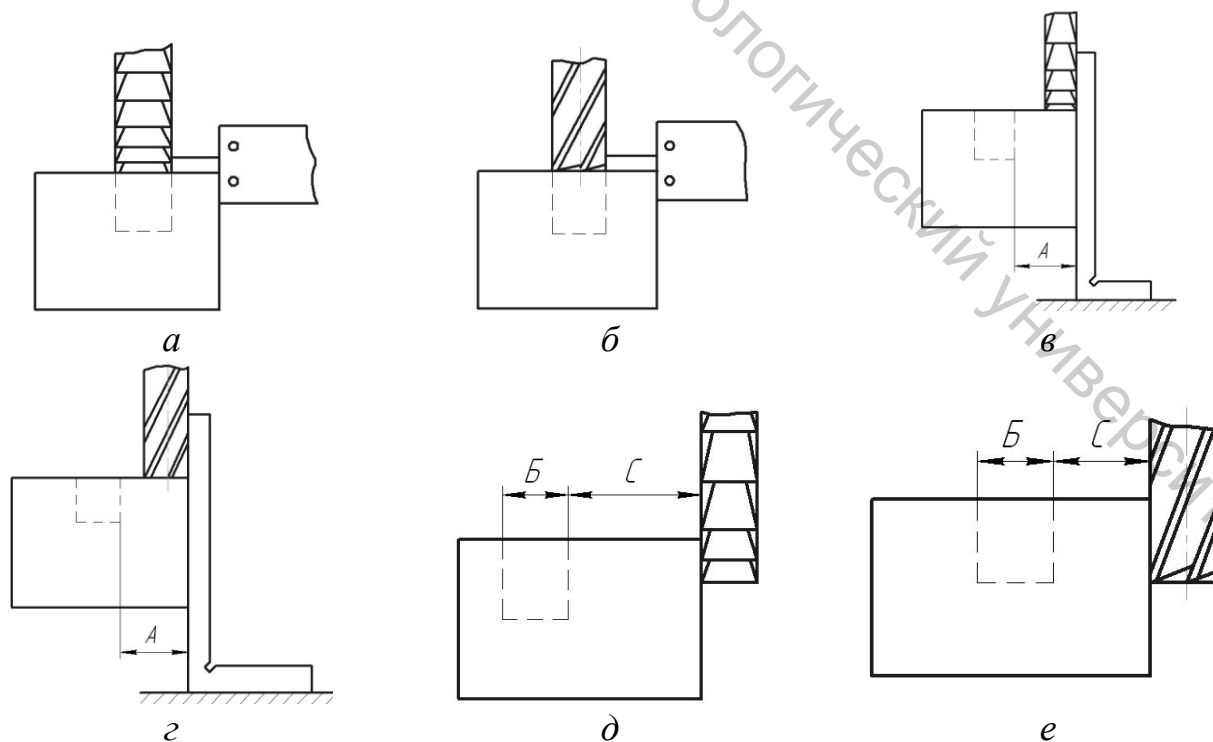


Рисунок 3.53 – Методы размерной настройки на расположение прямоугольного паза

Схема размерной настройки при фрезеровании шпоночных пазов показана на рисунке 3.54. Перемещая стол в нужных направлениях, устанавливают заготовку под фрезой (рисунок 3.54 а). Угольник располагают на столе так, чтобы его вертикальная полочка касалась боковой стороны заготовки. При помощи штангенциркуля или микрометра измеряют расстояние A . Затем, переставив угольник на другую сторону, измеряют расстояние B . Смещение стола поперечной подачей выполняется на расстояние $x = (B - A) / 2$. Тогда плоскость симметрии фрезы будет проходить через ось заготовки.

Возможен и другой способ размерной настройки дисковой шпоночной фрезы при помощи угольника (рисунок 3.54 б). Перемещая стол поперечной подачей, совмещают угольник с торцом фрезы. Затем в обратном направлении перемещают стол на величину $H = (d - B)/2$.

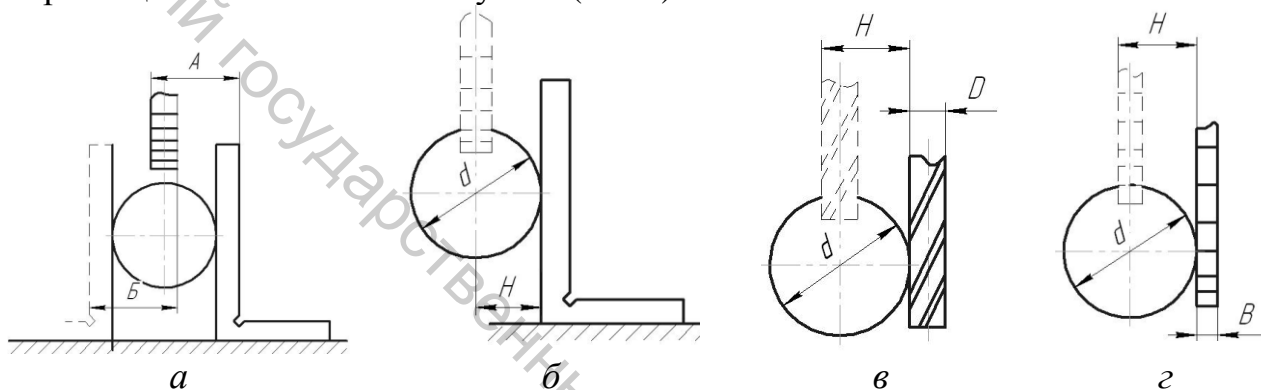


Рисунок 3.54 – Установка заготовок относительно фрезы при фрезеровании шпоночных пазов

Исходные положения фрезы и заготовки можно определить путем соприкосновения торца дисковой или цилиндрической поверхности концевой (шпоночной) вращающейся фрезы с заготовкой (рисунок 3.54 в и г). Затем стол перемещают на величину H : $H = (d + B) / 2$ – для дисковой фрезы; $H = (d + D) / 2$ – для концевой фрезы.

Аналогично осуществляется размерная настройка на начальное положение одноугловой фрезы (рисунок 3.55), которую затем смещают относительно заготовки согласно выражению 3.2.

Размерная настройка при обработке направляющих типа «ласточкин хвост» осуществляется методом пробных проходов. Однако измерение размера B (рисунок 3.56) универсальным измерительным инструментом практически невозможно, а размер A из-за заусенцев и сколов также нельзя точно измерить. Поэтому на практике широко применяется косвенный метод с использованием гладких цилиндрических калиброванных роликов 1. Тогда, если измерить размер C , то размеры B и A можно вычислить с помощью следующих выражений

$$B = C + 0,5d[1 + \operatorname{ctg}(\alpha/2)]; \quad A = B - H \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (3.8)$$

Для того, чтобы соединение типа «ласточкин хвост» сопрягалось, необходимо обеспечить равенство $B = B_1$ (рисунок 3.57). Измеряться при этом будут размеры C и C_1 . Тогда должно соблюдаться равенство

$$C_1 - C = d[2 + \operatorname{tg}(\alpha/2) + \operatorname{ctg}(\alpha/2)] = 2d[1 + 1/\sin \alpha] \quad (3.9)$$

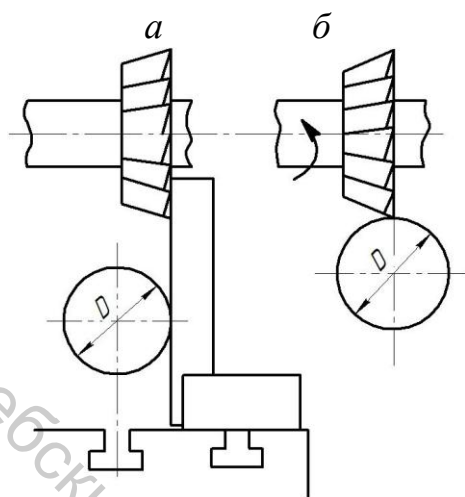


Рисунок 3.55 – Установка одноугловой фрезы в диаметральной плоскости

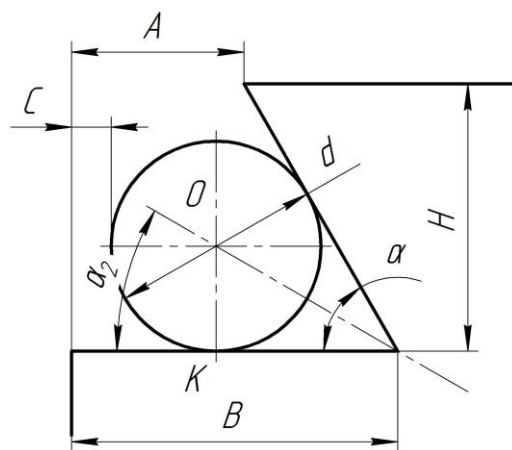


Рисунок 3.56 – Схема размерной настройки при обработке направляющих типа «ласточкин хвост»

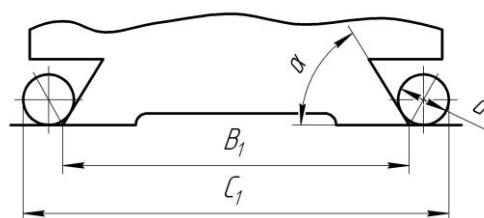
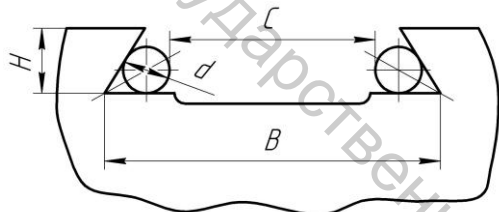


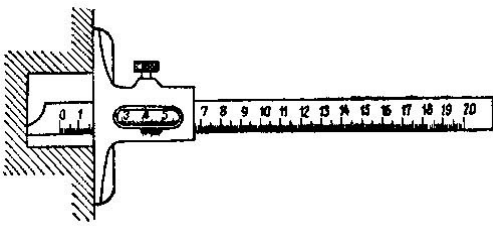
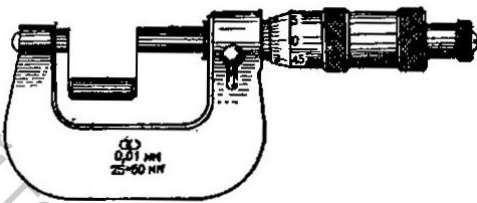
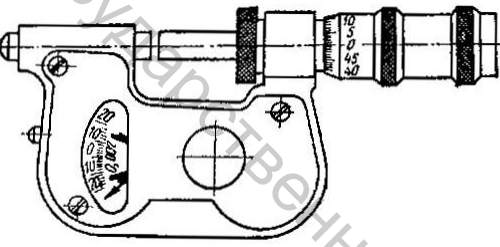
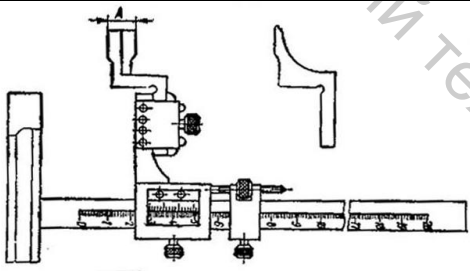
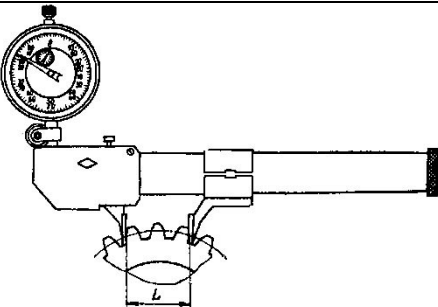
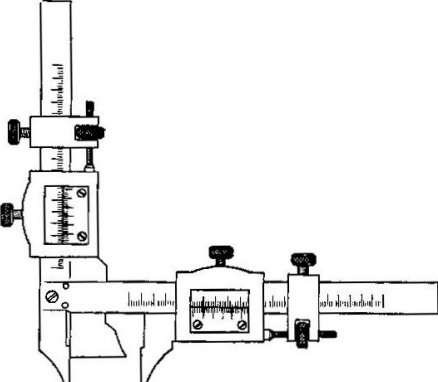
Рисунок 3.57 – Иллюстрация условия сопряжения соединения типа «ласточкин хвост»

Средства измерения для фрезерных работ приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Характеристики некоторых средств измерения для фрезерных работ

Инструмент	Внешний вид	Пределы измерения, мм	Точность отсчета размера, мм	Назначение и краткая характеристика
1	2	3	4	5
Линейка измерительная		0-150 0-300 0-500 0-1000	±0,5	Для измерения линейных размеров. Грубое измерение
Штангенциркуль ШЦ-I		0-125	0,1	Измерение наружных, внутренних размеров, глубин и высот
Штангенциркуль ШЦ-II		0-160 0-250	0,1 0,5	Измерение наружных, внутренних размеров. Ширина губок для внутренних измерений 10 мм. Точное измерение

Окончание таблицы 3.9

1	2	3	4	5
Штанген- глубиномер		0-160 0-250 0-400	0,05 0,1 0,1	Измерение глу- бины пазов, усту- пов, канавок
Микрометр гладкий		0-300 с интер- валом 25 мм, 300- 600 с интер- валом 100 мм.	0,01	Для точных наружных изме- рений
Микрометр рычажный		0-25 25-50	0,002	Для очень точных наружных изме- рений. Целые и сотые доли мил- лиметра отсчиты- ваются по нониу- су, а тысячные — по шкале скобы
Штанген- рейсмас		0-250 40-400 60-630 100- 1000 60-1600	0,05 0,1	Измерение высо- ты, проверка установки заго- товки и разметка
Нормалемер		—	0,005	Измерение длины общей нормали. Точное измерение
Кромочный штангензу- бомер		До мо- дуля 36	0,02	Измерение тол- щины зуба по диаметру дели- тельной окружно- сти

3.7 Назначение показателей режимов резания и определения основного времени

Показателями режима резания при фрезеровании будут:

1) глубина резания a , которая для всех видов фрез, кроме торцовых, измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы (у торцовых фрез глубина резания измеряется в направлении оси фрезы); ширина фрезерования b , которая для всех фрез, кроме торцовых, измеряется в направлении оси фрезы, а торцовых соответствует ширине обрабатываемой плоскости;

2) скорость подачи S_m мм/мин; в справочниках обычно рекомендуются подачи S_z – на один зуб фрезы (при предварительной обработке) или S_o – на один оборот фрезы;

3) частота вращения шпинделя n об/мин; в справочнике обычно задается скорость резания v , м/мин.

Все виды подач связаны между собой следующими выражениями $S_o = S_z \cdot Z$; $S_m = n \cdot S_o = n \cdot Z \cdot S_z$, где Z – число зубьев фрезы. Частота вращения может быть найдена из выражения $n = 1000v / \pi D$, где D – диаметр фрезы.

Полученные расчетом значения S_m и n следует корректировать в соответствии со значениями, приведенными в таблицах 3.2 и 3.3. Обычно принимаются ближайшие меньшие значения.

Показатели режима фрезерования стальных заготовок приведены в таблицах 3.10 – 3.14.

Таблица 3.10 – Поддачи на зуб при обработке фрезами из быстрорежущей стали

Типы фрез	Глубина фрезерования a , мм						
	1 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 15	15 – 30
Торцовые	0,15	0,12	0,085	0,055	0,050	0,045	–
Дисковые			0,08	0,06	0,04	0,03	0,02
Концевые							
D=4 – 6	0,020	0,015	0,01	–	–	–	–
D=6 – 8	0,035	0,025	0,02	0,015	–	–	–
D=8 – 10	0,05	0,035	0,03	0,025	0,02	–	–
D=10 – 15	0,065	0,060	0,045	0,035	0,025	0,020	–
D=15 – 20	0,080	0,07	0,055	0,045	0,03	0,025	–
D=20 – 30	0,090	0,075	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
D=30 – 40	0,110	0,09	0,07	0,055	0,05	0,04	0,03
Угловые и фасонные							
D = 40	–	0,07	0,055	0,045	0,030	–	–
D = 50	–	0,08	0,060	0,045	0,030	–	–
D = 60	–	0,09	0,065	0,050	0,040	0,035	–
D = 75	–	0,10	0,070	0,060	0,050	0,040	–
D = 90	–	0,10	0,075	0,070	0,060	0,055	–

При обработке чугуна и бронзы табличные значения поддачи следует увеличить в 1,5 раза.

При ширине фрезерования $B > 0,75D$ табличные значения поддачи следует уменьшить на 30 %.

При обработке стали фрезами с пластинами из T15K6 значения поддач следует уменьшить в 2 раза

Таблица 3.11 – Поддачи на зуб при фрезеровании шпоночными фрезами

Диаметр фрезы	Маятниковое фрезерование		За 1 проход
	Глубина a , мм	S_z	
6	0,3	0,1	0,02
8	0,3	0,12	0,022
10	0,3	0,16	0,024
12	0,3	0,18	0,026
18	0,4	0,22	0,028
20	0,4	0,25	0,030

Таблица 3.12 – Поддачи на зуб при фрезеровании шпоночных сегментных пазов

Диаметр фрез	25			32 – 35			38		
Число зубьев	8			10			10		
Ширина фрезы	4	5	6	5	6	8	6	8	10
S_z	0,015	0,01	0,007	0,01	0,007	0,005	0,007	0,005	0,003

Таблица 3.13 – Поддачи на 1 оборот при чистовом фрезеровании плоскостей и уступов

Ra , мкм	Твердосплавные	Из быстрорежущей стали
6,3	–	0,6
3,2	0,32	0,45
1,6	0,20	0,32
0,8	0,15	–
0,4	0,10	–

Скорость резания определяется по формуле

$$v = v_o \left(\frac{D}{D_o} \right)^{0,2} \left(\frac{a_o}{a} \right)^{0,15} \left(\frac{S_{zo}}{S_z} \right)^{0,3},$$

где v – скорость резания; D – диаметр фрезы; a – глубина фрезерования; S_z – подача на зуб; индекс o указывает на табличное значение соответствующего показателя.

Таблица 3.14 – Табличные значения показателей

Тип фрезы	D_o	a_o	S_{zo}	v_o	
				T15K6	P6M5
Торцовая	150	6	0,08	300	50
Дисковая	60	6	0,08	250	50
Концевая	20	6	0,08	200	48

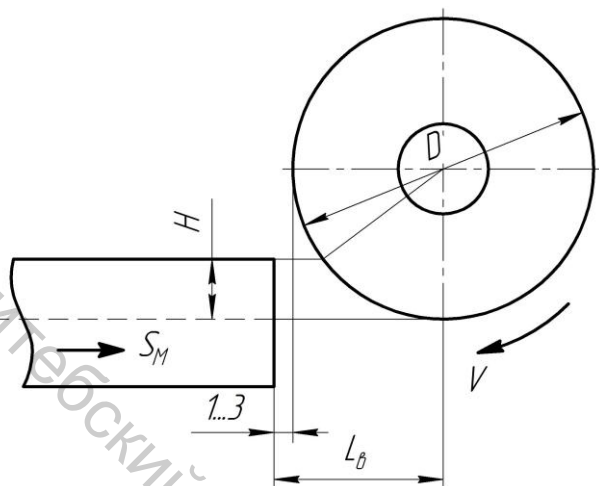


Рисунок 3.58 – Схема определения длины врезания для цилиндрических, фасонных, концевых и дисковых фрез

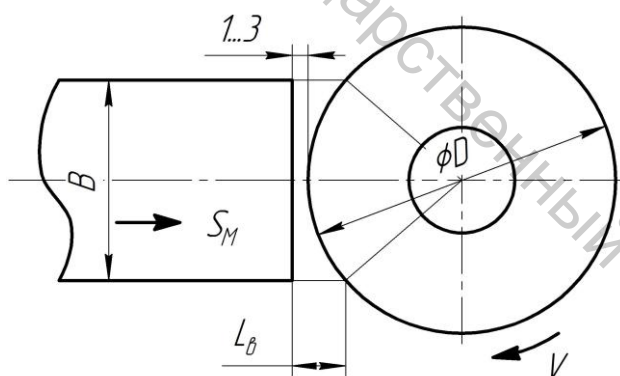


Рисунок 3.59 – Схема определения длины врезания для торцевых и концевых фрез при симметричном фрезеровании

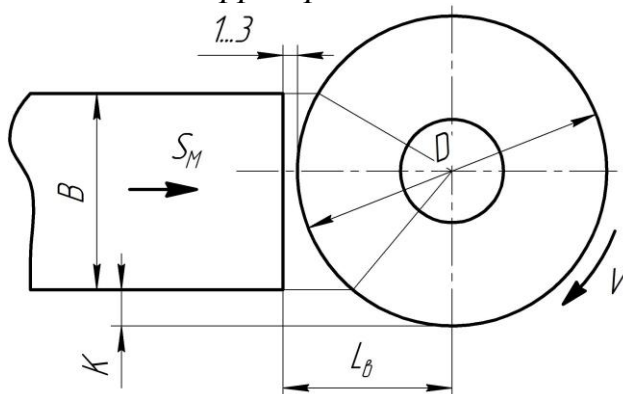


Рисунок 3.60 – Схема определения длины врезания при несимметричном фрезеровании плоскости торцевой фрезой

На основании принятых показателей режима фрезерования можно определить затраты основного времени t_o на операцию (за один проход):

$$t_o = L_{px} / S_m,$$

где L_{px} – длина рабочего хода; S_m – минутная подача.

$$L_{px} = L + L_g + L_n,$$

где L – длина детали; L_g – длина врезания; $L_n = 2...3$ мм * – длина перебега.

Длина врезания зависит от показателей обрабатываемой поверхности и способа фрезерования.

Для цилиндрических, фасонных, концевых и дисковых фрез

$$L_g = \sqrt{a(D - a)} + (1...3) \text{ мм},$$

где a – глубина резания (глубина канавки для дисковых фрез); D – диаметр фрезы (рисунок 3.58).

Для торцевых и концевых фрез при симметричном фрезеровании (рисунок 3.59)

$$L_g = 0,5(D - \sqrt{D^2 - B^2}) + (1...3),$$

где B – ширина фрезерования. Если $B > D$ (концевая фреза), то

$$L_g = 0,5D + (1...3) \text{ мм}.$$

При несимметричном фрезеровании плоскости торцевой фрезой (рисунок 3.60)

$$L_g = \sqrt{B(D - B - 2K)} + (1...3),$$

где K – смещение фрезы. При фрезеровании уступа торцевой или концевой фрезой $K=0$.

При фрезеровании полуоткрытых пазов шпоночной фрезой $L_g = (1-3)$ мм.

При фрезеровании закрытых шпоночных пазов маятниковым способом основное время определяется следующим выражением:

$$t_o = \frac{L - d}{S_m} \cdot \frac{h}{a},$$

где h – глубина шпоночной канавки; a – глубина фрезерования за один проход.

3.8 Вопросы для самоконтроля

1. Назовите главные компоненты технологической системы горизонтально-консольно-фрезерного универсального станка.
2. Какие компоненты технологической системы горизонтального консольно-фрезерного универсального станка совершают главное движение?
3. Какие компоненты технологической системы горизонтального консольно-фрезерного универсального станка совершают движения подачи?
4. Как настроить частоту вращения шпинделя, если заданы: скорость резания $V = 60$ м/мин, а диаметр фрезы $d = 185$ мм?
5. Как включить вращение шпинделя?
6. Каково назначение стола горизонтального консольно-фрезерного универсального станка?
7. Каково назначение салазок горизонтального консольно-фрезерного универсального станка?
8. Каково назначение консоли горизонтального консольно-фрезерного универсального станка?
9. Каково назначение хобота горизонтального консольно-фрезерного универсального станка?
10. Как переместить и зафиксировать положение хобота горизонтального консольно-фрезерного универсального станка?
11. Каково назначение серьги хобота?
12. Как настроить и включить продольную подачу, если задано: подача на зуб дисковой фрезы $S_z = 0,12$ мм, число зубьев фрезы $Z = 12$, ее диаметр $D = 136$ мм, а скорость резания $V = 60$ м/мин?
13. Как включить и вручную выполнить поперечную и вертикальную подачу горизонтального консольно-фрезерного универсального станка?
14. Как включить ускоренную подачу горизонтального консольно-фрезерного универсального станка?
15. Что и как нужно сделать, чтобы во время работы станка не было самопроизвольного сдвига консоли и салазок?
16. Назовите группы инструментов, которые применяются на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке.
17. Назовите виды формообразования поверхностей на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке.
18. Как установить дисковую, угловую, цилиндрическую или фасонную фрезу на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке?
19. Как установить торцовую или концевую фрезу на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке?

20. Назовите способы установки заготовок планок и корпусных деталей на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке.

21. Назовите способы установки цилиндрических заготовок на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке.

22. Как установить призматическую заготовку на столе горизонтального консольно-фрезерного универсального станка для обработки уступа?

23. Как установить дисковую заготовку на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для обработки пазов?

24. Как установить заготовку вала на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования шпоночного паза?

25. Как установить заготовку вала на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования квадрата или шестигранника?

26. Как установить заготовку на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования плоскости под углом к технологической базе?

27. Как выполнить размерную настройку на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования открытого паза дисковой фрезой в заготовке вала?

28. Как выполнить размерную настройку на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования открытого паза дисковой фрезой в заготовке диска?

29. Как выполнить размерную настройку на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования закрытого паза концевой фрезой в заготовке вала?

30. Как выполнить размерную настройку на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования открытого паза дисковой фрезой в заготовке планки (см. эскиз)?

31. Как выполнить размерную настройку на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования открытого паза типа «ласточкин хвост» в заготовке плиты?

32. Как выполнить размерную настройку на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования открытого Т-образного паза в заготовке призматического корпуса?

33. Как выполнить размерную настройку на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования угловых пазов в заготовках дисковых фрез?

34. Как выполнить размерную настройку на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке для фрезерования зубчатого венца в заготовке?

35. Назовите технологические возможности горизонтального консольно-фрезерного универсального станка.

36. Какая погрешность возникнет, если направление продольной подачи на горизонтальном консольно-фрезерном универсальном станке не перпендикулярно оси шпинделя?

4 ОБРАБОТКА НА СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКАХ (работа № 4)

4.1 Основные компоненты станков

Сверлильные и радиально-сверлильные станки предназначены для сверления отверстий в сплошном материале, рассверливания и зенкерования предварительно просверленных отверстий, зенкования торцовых поверхностей, развертывания отверстий, нарезания резьбы метчиками. Принципиальное отличие радиально-сверлильных от вертикально-сверлильных станков состоит в том, что при обработке отверстий на радиально-сверлильных станках инструмент перемещают (позиционируют) относительно обрабатываемой заготовки, а на вертикально-сверлильных позиционируют заготовку. Шпиндель радиально-

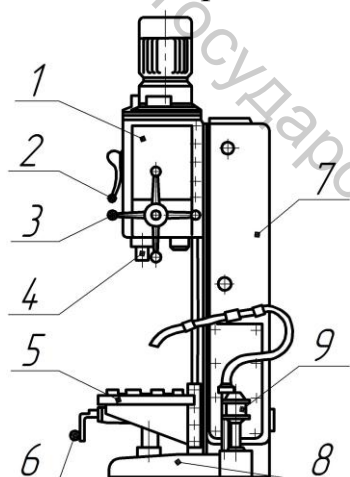


Рисунок 4.1 – Общий вид вертикально-сверлильного станка мод. 2Н135

сверлильного станка легко можно перемещать как в радиальном направлении, так и по окружностям различных радиусов. Это дает возможность сверлить отверстия в любой точке детали. На рисунке 4.1 приведен общий вид вертикально-сверлильного станка мод. 2Н135, а в таблице 4.1 представлена его техническая характеристика. Поперечное сечение колонны 7 представляет собой коробчатый прямоугольник, передняя сторона которого является направляющей для перемещения сверлильной (шпиндельной) бабки 1 и стола 5. Стол перемещают по направляющим колонны вручную с помощью винтового механизма, маховичком 6. Стол станка имеет три Т-образных паза.

Таблица 4.1 – Техническая характеристика станка мод. 2Н135

Наибольший условный диаметр сверления, мм	35
Размер конуса Морзе шпинделя	4
Вылет шпинделя, мм	300
Наибольший ход шпинделя, мм	250
Расстояние от конца шпинделя до стола, мм:	
наименьшее	30
наибольшее	750
Размеры рабочей поверхности стола (ширина x длина), мм	450 x 500
Ход стола, мм	300
Число скоростей шпинделя	12
Число подач шпинделя	9
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	4

Внутри колонны размещается грузовой противовес. В сверлильной головке расположены механизм главного движения, управляемый с помощью рукоятки 2, и штурвал 3, для управления механизмом подачи сверлильного шпинделя 4. Колонна станка прикреплена к фундаментной плите 8 (основанию). В этой плите размещается бак для эмульсии, которая подается электронасосом 9. Варианты частот вращения шпинделя n и подачи s приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Частоты вращения шпинделя и подачи

n	31,5	45	63	90	125	180	230	350	500	710	1000	1400
s	0,1	0,14	0,20	0,28	0,40	0,56	0,80	1,12	1,60			

Общий вид радиально-сверлильного станка мод. 2М55 приведен на рисунке 4.2. Основанием станка является фундаментная плита 1, на которой укреплен цоколь 2. Рукав (траверса) 3 станка со шпиндельной головкой 5 смонтированы на поворотной колонне и могут перемещаться по ней с помощью механизма подъема 4, установленного на верхнем торце колонны. Управление станком осуществляют с пульта 6. Шпиндельная (сверлильная) головка выполнена в виде отдельного агрегата, в котором смонтированы следующие узлы: коробка скоростей и подачи, механизм подачи, шпиндель с противовесом, механизм управления с коробкой скоростей и подачи и др. В фундаментной плите расположены бак и насосная установка для подачи охлаждающей жидкости к режущему инструменту. На фундаментной плите расположен стол 7 для закрепления и обработки на нем заготовок небольшого размера.

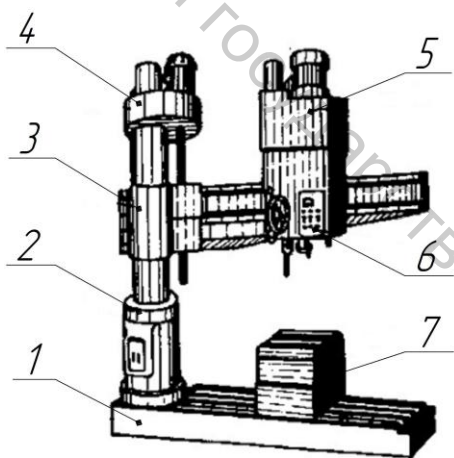


Рисунок 4.2 – Общий вид радиально-сверлильного станка мод. 2М55

На фундаментной плите расположен стол 7 для закрепления и обработки на нем заготовок небольшого размера.

4.2 Выбор режущего инструмента

Сверло состоит из рабочей части, шейки и хвостовика (рисунок 4.3). Конический или цилиндрический хвостовик служит для закрепления сверла в шпинделе станка или в патроне.

Повышение производительности и точности обработки отверстий сверлением достигается различными способами. К ним можно отнести применение новых материалов для режущей части, совершенствование геометрии инструмента, новые способы заточки и т. д. Использование этих способов во многих случаях дает возможность повышать режимы резания или увеличивать стойкость сверл.

При обработке отверстий в труднообрабатываемых материалах высокой прочности рекомендуется применять сверла повышенной жесткости. На рисунке 4.4 представлены элементы заточки сверла повышенной жесткости, разра-

ботанные К.Н. Кирилловым. Повышение жесткости сверла достигается за счет увеличения толщины сердцевины до $(0,35-0,4)d$, где d – диаметр сверла в мм.

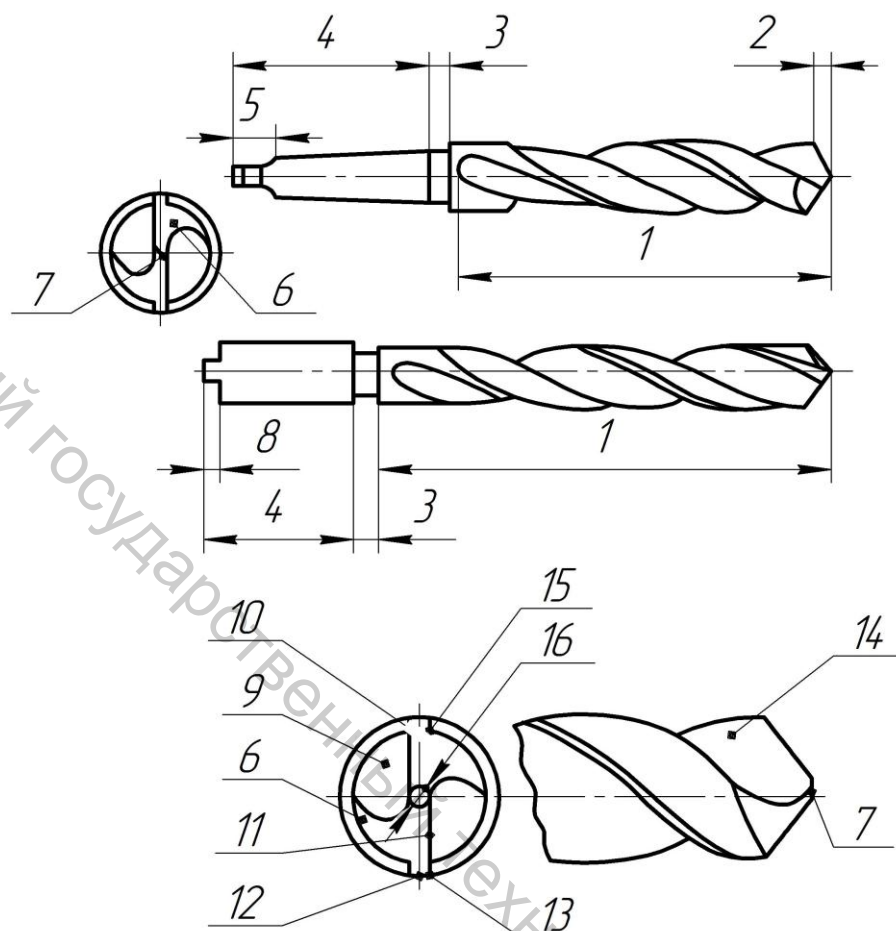


Рисунок 4.3 – Части и конструктивные элементы спирального сверла:
 1 – рабочая часть; 2 – режущая часть; 3 – шейка; 4 – хвостовик;
 5 – лапка; 6 – зуб; 7 – поперечная кромка; 8 – поводок; 9 – стружечная канавка; 10 – задняя поверхность; 11 – режущие кромки; 12 – ленточка;
 13 – кромка ленточки; 14 – передняя поверхность; 15 – спинка зуба;
 16 – сердцевина

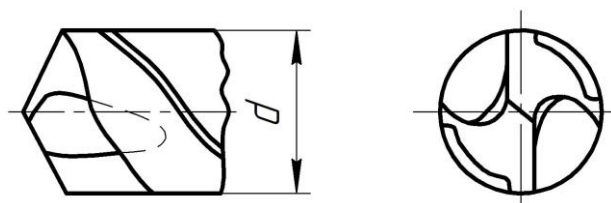


Рисунок 4.4 – Сверло повышенной жесткости

Производительность и точность обработки отверстий увеличивается при использовании *четырехленточных* сверл (рисунок 4.5). Они отличаются от обычных сверл наличием четырех направляющих ленточек и утолщенной в 1,5 – 2 раза сердцевиной сверла. Вследствие этого сверла имеют большую жест-

кость и устойчивость при сверлении. Это значительно повышает прямолинейность обработанного отверстия, что особенно важно при обработке отверстий 6 – 8-го квалитетов точности диаметром менее 5 мм. Сверление в данном случае является основной технологической операцией по изготовлению точного отверстия. Последующие операции развертывания практически не исправляют непрямолинейность отверстия.

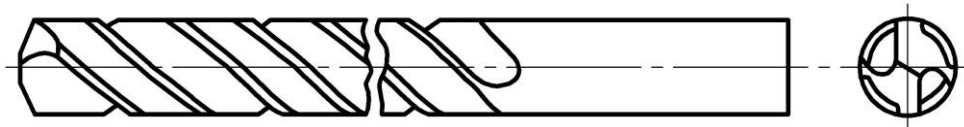


Рисунок 4.5 – Четырехленточное сверло

Для обработки отверстий в высокомарганцовистых сталях применяются сверла, показанные на рисунке 4.6. На рисунке 4.6 а представлено сверло, разработанное И. И. Олейниковым и М. А. Шатерным. Оно отличается укороченной рабочей частью, оснащенной пластинкой из твердого сплава, имеющей упрочняющие фаски шириной 1 – 2 мм с отрицательным передним углом до -15° . В корпусе сверла располагаются отверстия для подвода СОЖ в зону резания. Отверстия находятся на минимально возможном расстоянии от пластинки твердого сплава. Через отверстия в сверле к зоне резания подводится СОЖ, это обеспечивает хорошее охлаждение инструмента во время работы.

На рисунке 4.6 б показана форма заточки режущей части сверла, разработанная Ю.А. Аносовым и А.А. Виноградовым. Сверло оснащается твердым сплавом, как и обычные сверла, но форма заточки режущих кромок отличается от стандартизированной. При заточке обеспечивается смещение поперечной кромки относительно оси сверла для создания постоянного радиального усилия при работе инструмента. Величина смещения, как и другие параметры заточки, зависит от обрабатываемого материала, условий обработки, а также от допустимого значения разбивки отверстий. Данные сверла рекомендуются для обработки труднообрабатываемых материалов.

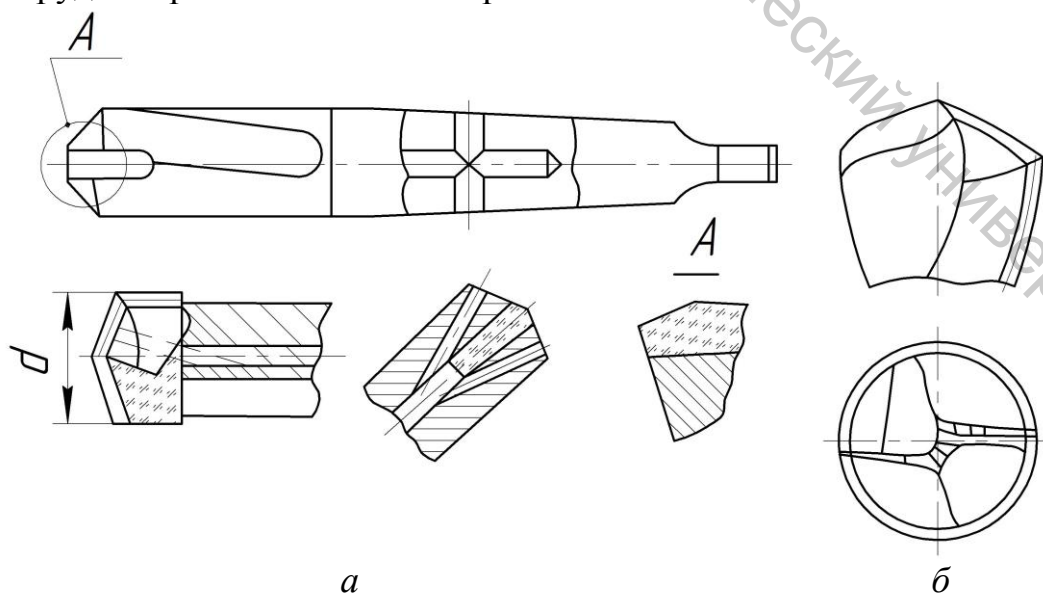


Рисунок 4.6 – Сверла для обработки высокомарганцовистых сталей

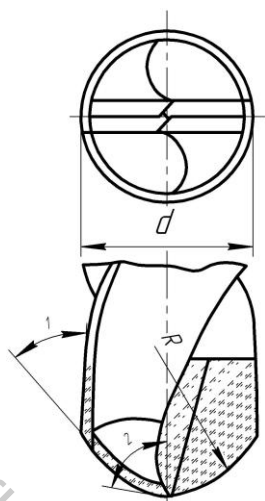


Рисунок 4.7 – Сверло с закругленными режущими кромками

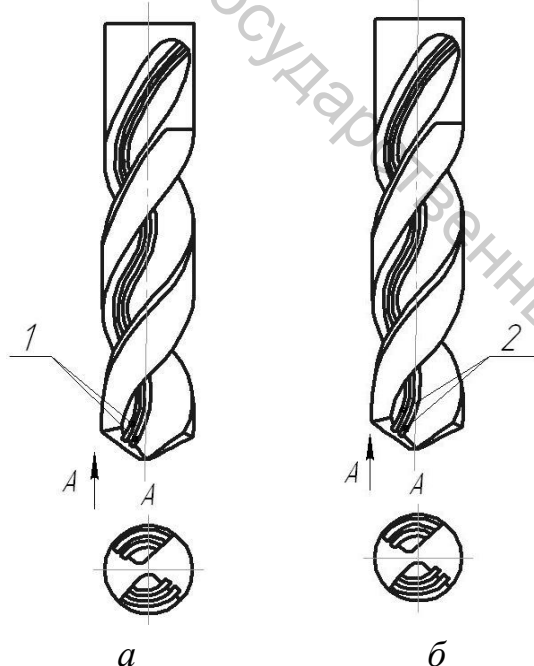


Рисунок 4.8 – Спиральное сверло с наружными канавками для подвода СОЖ

Важным условием повышения стойкости спиральных сверл является снижение интенсивности изнашивания вспомогательных режущих кромок у ленточек, чему способствует наличие закругленных уголков.

На рисунке 4.7 представлена режущая часть спирального сверла конструкции А. С. Черепанова с закругленными режущими кромками, оснащенная пластинкой из твердого сплава. Такая конструкция сверл позволяет более рационально образовывать задние и передние углы на главных режущих кромках. Задние углы сверла в цилиндрических сечениях, соосных с осью сверла, примерно постоянны вдоль режущей кромки и близки к оптимальному, с точки зрения резания, значению. Это даст возможность в некоторой степени выровнять износ вдоль режущих кромок. Передние углы, находящиеся ближе к поперечной режущей кромке, имеют меньшие отрицательные значения, что позволяет уменьшить силы резания. В сверле использована подточка поперечной режущей кромки сверла.

Снижение трения стружки о стенки стружечных канавок улучшает ее отвод и уменьшает тепловыделение в зоне обработки. Для этого может быть применено спиральное сверло с канавками 1 (рисунок 4.8 а) либо выступами 2 (рисунок 4.8 б) на стружечных канавках.

Наряду с уменьшением площади трения стружки о переднюю поверхность сверло такой конструкции позволяет улучшить подвод СОЖ в зону обработки даже при заполнении стружечных канавок стружкой, обеспечить ее дробление.

Подвод СОЖ к зоне резания при сверлении является действенным фактором повышения стойкости инструмента. СОЖ может быть подведена по каналам внутри сверла, расположенным в перьях или в утолщенной сердцевине с выходом их на переднюю или заднюю поверхность инструмента.

Конструкция спирального сверла со стеблем из трубчатой заготовки разработана на Челябинском станкостроительном заводе им. С. Орджоникидзе. Трубчатые спиральные сверла могут изготавливаться цельными из быстрорежу-

щей стали и оснащенными твердосплавными пластинками или коронками (рисунок 4.9). По конструкции они близки к спиральным сверлам с винтовыми канавками для подвода СОЖ.

Для производительного сверления должен быть решен вопрос о надежном удалении стружки. Это особенно важно при сверлении глубоких отверстий. Под глубоким сверлением понимается сверление отверстий на глубину, превышающую диаметр сверла в 5 и более раз. Некоторые сверла для сплошного сверления приведены в таблице 4.3.

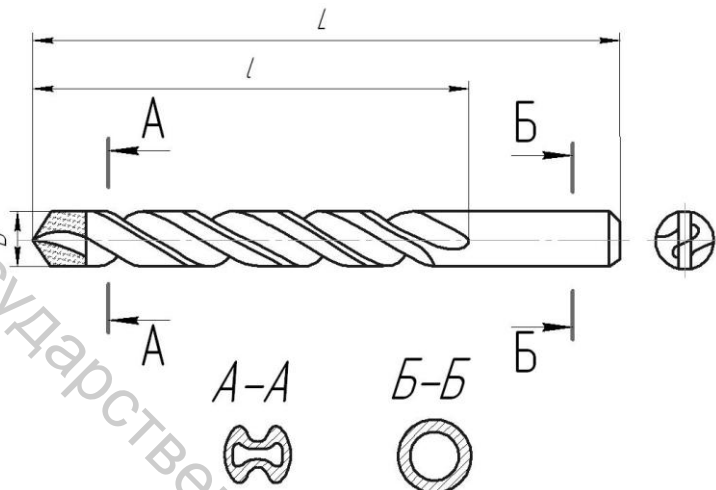


Рисунок 4.9 – Твердосплавное сверло, изготовленное из трубчатой заготовки

Таблица 4.3 – Сверла для глубокого сверления

Назначение, тип и основные размеры	Эскиз
Сверла спиральные конструкции Куйбышевского политехнического института (НПИЛ): $d = 10 - 40$ мм; $k = (0,3 - 0,5)d$; глубина сверления до $10d$	
Сверла спиральные конструкции Ворошиловградского машиностроительного завода: $d = 4 - 12$ мм; $k = (0,25 - 0,30)d$; $\omega = 35^\circ$; глубина сверления $15d$	
Сверла спиральные конструкции Минского СКБ АЛ: $d = 5 - 20$ мм; $k = (0,4 - 0,5)d$; $\omega = 50 - 60^\circ$; глубина сверления до $100d$	

Специальные спиральные сверла (таблица 4.3) для глубокого сверления отличаются увеличенным диаметром сердцевины (до 0,5 диаметра сверла), углом $\omega = 35 - 60^\circ$, специальным профилем стружечных канавок. В конструкции сверл выделяют две части: режущую и транспортирующую. Первая отделяет и деформирует стружку, вторая, имеющая увеличенный угол наклона стружечных канавок, отводит ее.

Для обработки цилиндрических, конических отверстий и торцовых поверхностей применяется инструмент, который называется *зенкером*. Назначение зенкера – увеличить отверстие, полученное сверлением, штамповкой или отливкой, а также исправить направление оси отверстия. По характеру работы зенкер напоминает сверло, но отличается от последнего оформлением режущих кромок. Благодаря увеличенному числу режущих кромок, а также повышенной жесткости зенкер имеет лучшее направление и дает более чистые отверстия, чем сверло. Резание осуществляется кромками, расположенными наклонно или перпендикулярно к оси зенкера. В отличие от сверла зенкер не имеет поперечной кромки, поэтому условия резания на всем протяжении режущих кромок зенкера более равномерные и благоприятные, чем у сверла.

Так же, как и сверло, зенкер имеет хвостовик и рабочую часть, которая делится на режущую и калибрующую. Длину рабочей части и общую длину зенкера выбирают с учетом условий работы. Для глубоких отверстий применяют насадные зенкеры или с укороченным хвостовиком, но насаженные на длинную оправку.

По типу крепления на станке зенкеры делятся на *хвостовые* и *насадные* (рисунок 4.10). Конструктивное оформление хвостового зенкера аналогично сверлу с коническим хвостовиком. В насадных зенкерах имеется посадочное коническое отверстие (с конусностью 1:30) и паз под торцовую шпонку. Наряду с описанными существует ряд специальных конструктивных оформлений хвостовиков зенкеров для установки их в быстросменных патронах.

Диаметр зенкера выбирают из условий его использования. Если зенкер предназначен для предварительной обработки отверстия, его диаметр должен быть меньше номинального диаметра отверстия на величину припуска под последующую обработку. Если зенкер служит для окончательной обработки отверстия, его диаметр принимают с учетом допуска отверстия, величины разбивки и запаса на износ.

Глубина резания при зенкеровании равна половине разности диаметров отверстия до и после обработки. Длина режущей кромки зенкера должна быть больше глубины резания в 2,5 – 3 раза.

При выборе числа канавок зенкера учитывают его назначение. Для черновой обработки выбирают меньшее число канавок, так как это увеличивает пространство для размещения и отвода стружки. Зенкеры для чистовой обработки имеют большее количество канавок, и за счет этого улучшается направление зенкера, повышается точность обработки, снижается шероховатость поверхности.

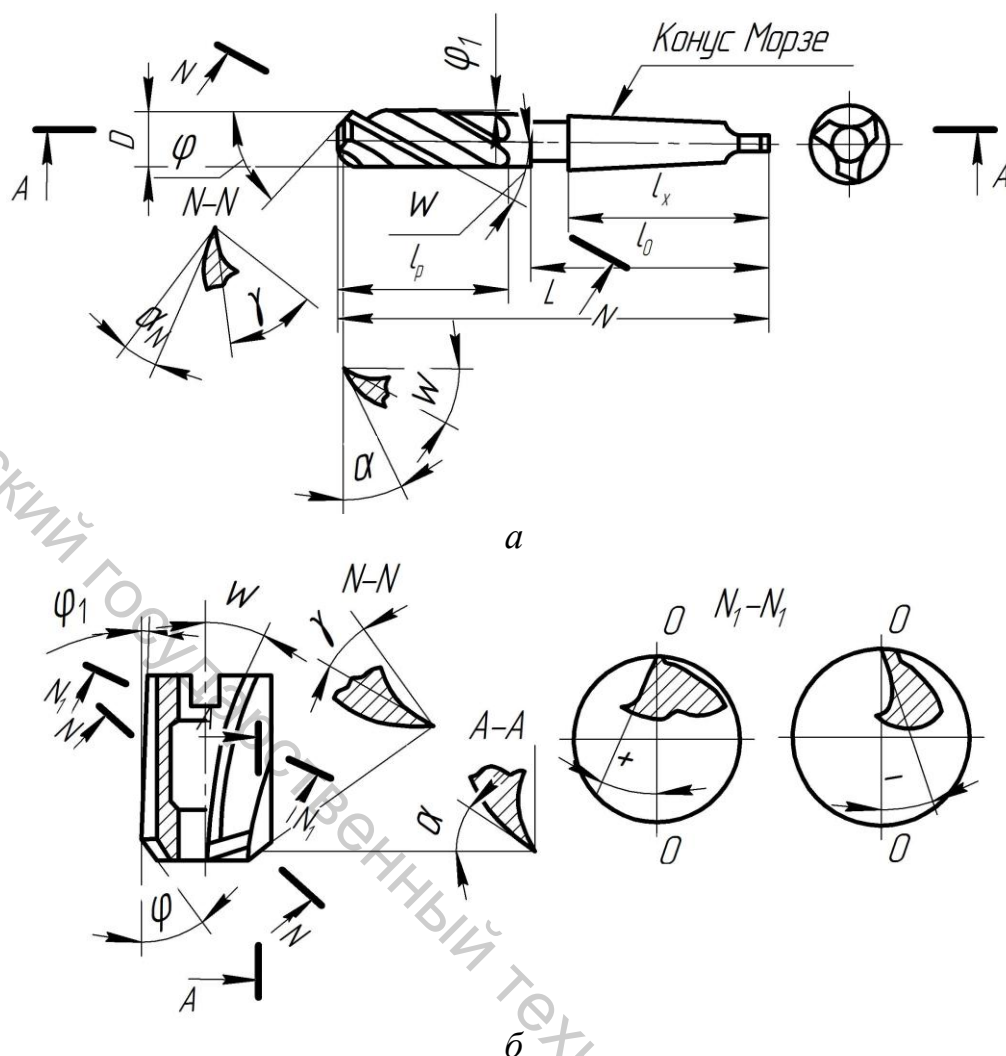


Рисунок 4.10 – Конструктивные и геометрические параметры хвостового (а) и насадного (б) зенкеров

Угол наклона ω винтовой канавки зенкера рекомендуется принимать тем больше, чем меньше твердость обрабатываемого материала и больше диаметр зенкера. Чтобы обеспечить направление в обрабатываемом отверстии, каждое перо зенкера снабжается узкими цилиндрическими ленточками.

Некоторые типы и размеры стандартизованных зенкеров для предварительной и окончательной обработки отверстий приведены в таблице 4.4.

Стандартные зенкеры выпускаются в двух исполнениях: зенкер № 1 – для промежуточной обработки отверстий перед их обработкой черновыми развертками (развертки № 1) и зенкер № 2 – для окончательной обработки отверстий с допуском Н11.

Конструкции зенковок аналогичны рассмотренным конструкциям зенкеров. Их общей особенностью является наличие направляющей цапфы, обеспечивающей соосность обрабатываемой поверхности с отверстием под головку болта или винта. Некоторые типы и размеры зенковок приведены в таблицах 4.5 и 4.6.

Таблица 4.4 – Некоторые типы и размеры зенкоров для предварительной и окончательной обработки отверстий

Назначение, тип и основные размеры	Эскиз
Зенкеры цельные с коническим хвостовиком из быстрорежущей стали, тип 1 (ГОСТ 12489–71): $d = 10 - 40$ мм; $L = 160 - 350$ мм; $l = 80 - 200$ мм; $z = 3$	
Зенкеры цельные насадные из быстрорежущей стали, тип 2 (ГОСТ 12489–71): $D = 32 - 80$ мм; $d = 13 - 32$ мм; $L = 30 - 52$ мм; $z = 4$	
Зенкеры цельные насадные из быстрорежущей стали (ГОСТ 5.653 – 70): $D = 32 - 52$ мм; $d = 13 - 22$ мм; $L = 30 - 42$ мм; $z = 4$	
Зенкеры цельные с коническим хвостовиком, оснащенные пластинами из твердого сплава, тип 1 (ГОСТ 3231–71, ГОСТ 21540–76): $d = 14 - 50$ мм; $L = 180 - 355$ мм; $l = 85 - 210$ мм; $z = 3$	

Для окончательной обработки отверстий применяются *развертки*. Они применяются после предварительной обработки отверстия зенкером, расточным резцом или сверлом и могут быть использованы в качестве чистового или чернового инструмента. В зависимости от технологических требований при помощи разверток можно получить отверстия с широким диапазоном допусков от 10 до 6-го квалитетов точности и шероховатости обработанной поверхности 2,5 – 0,1 мкм.

Основное отличие развертки от сверла и зенкера состоит в том, что развертка только исправляет форму и размеры отверстия, но направление его оси, как правило, не может исправить. Развертки имеют рабочую часть, состоящую из режущей и калибрующей частей, шейки и хвостовика (рисунок 4.11). Конструктивное оформление хвостовой части машинной развертки аналогично зенкерам.

Таблица 4.5 – Некоторые типы и размеры цилиндрических зенковок

Назначение, тип и основные размеры	Эскиз
Тип 1 – с постоянной направляющей цапфой и цилиндрическим хвостовиком: $d=2,3-14$ мм; $d_u = 1,2-8,4$ мм; $d_1 = 3-14$ мм; $L = 40-100$ мм; $l=2,5-7$ мм; $l_1 = 6-20$ мм	
Тип 2 – со сменной направляющей цапфой и коническим хвостовиком: $d = 11-40$ мм; $L = 125-250$ мм; $d_u = 4-10$ мм; конус Морзе № 1-4	
Тип 3 – насадные: $D = 34-63$ мм; $L = 40-50$ мм; $d = 10-22$ мм	
Тип 4 – со сменной направляющей цапфой и хвостовиком под штифтовой замок: $D = 11-63$ мм; $L = 60-110$ мм; $l = 25-50$ мм; $d_u = 4-16$ мм; $D_1 = 10-40$ мм	

Диаметр развертки – важнейший конструктивный элемент. При его выборе необходимо учитывать разбивку, так как отверстие, получаемое после развертки, почти всегда несколько больше самой развертки; запас на износ, по причине того, что развертка изнашивается по диаметру от трения о стенки обрабатываемого отверстия; допуски на изготовление самой развертки. Поскольку размер развертки является основным конструктивным элементом, обеспечивающим точность обработки, режущие кромки, расположенные на диаметре калибрующей части, должны быть острыми и не иметь зазубрин, вмятин и других дефектов, которые могут появиться при транспортировании разверток.

Длина развертки зависит от глубины развертываемого отверстия и метода крепления развертки. Если развертка имеет направляющую часть, в общую длину развертки, кроме рабочей, входит длина направляющей части. Длину рабочей части развертки рекомендуется принимать в пределах 0,8 – 3 от ее диаметра. Чем короче рабочая часть развертки, тем легче она режет, но зато резко ухудшается направление развертки в отверстии и увеличивается шероховатость обработанной поверхности.

Таблица 4.6 – Основные типы и размеры конических зенковок

Назначение, тип и основные размеры	Эскиз
<p>Тип 2 – зенковки центровочные для центровых отверстий 60° без предохранительного конуса: $d = 2 - 6,3$ мм; $D = 5 - 16$ мм; $L = 45 - 71$ мм; $l = 3 - 9,5$ мм</p>	
<p>Тип 3 – зенковки центровочные для центровых отверстий 60° с предохранительным конусом 120°: $d = 0,8 - 6,3$ мм; $D = 5 - 25$ мм; $D_1 = 1,55 - 12,5$ мм; $L = 35,5 - 71$ мм; $l = 0,82 - 6,5$ мм</p>	
<p>Тип 5 – зенковки для центровых отверстий 60° с коническим хвостовиком: $D = 16 - 63$ мм; $L = 110 - 120$ мм; $d_0 = 3 - 12$ мм; $d = 14 - 40$ мм; $l = 30 - 65$ мм; конус Морзе № 1 – 4</p>	

Развертка, как правило, имеет большее число зубьев, чем зенкер (6 – 12). Число зубьев является четным, чтобы облегчить измерение диаметра микрометром, и зависит от диаметра развертки.

Зубья развертки по окружности распределяются неравномерно. Это объясняется тем, что в процессе резания всегда возникают колебания нагрузки на зуб, вызванные неравномерной плотностью обрабатываемого материала, различными включениями в металл. Если развертка имеет постоянный окружной шаг, между зубьями могут появиться периодически повторяющиеся увеличения нагрузки, и возникает огранка отверстия. Избежать этого явления помогает неравномерный окружной шаг зубьев.

Угол режущей части развертки 2φ (рисунок 4.11) определяется ее назначением. От угла режущей части зависит распределение составляющих силы резания. Чем меньше угол φ , тем меньше осевая сила и легче проникновение развертки в обрабатываемое отверстие. Но одновременно стружка становится более тонкой, а при обработке вязких материалов она хуже отделяется. Передний угол зуба развертки принимают близким к 0° . В этом случае процесс резания напоминает процесс скобления, и в результате получается гладкая поверхность. Однако в зависимости от условий обработки применяются развертки с положительными и отрицательными передними углами.

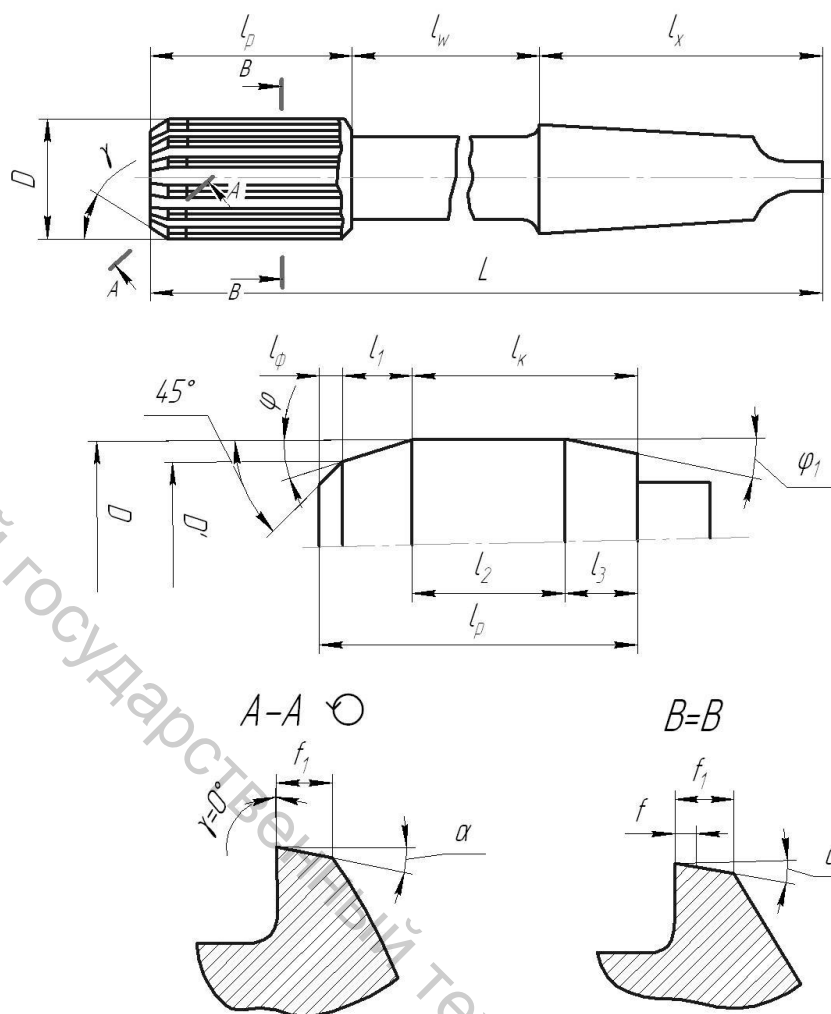


Рисунок 4.11 – Конструктивные элементы хвостовой развертки

Задний угол развертки также принимают небольшим для сохранения прочности режущей кромки. На режущей части зуб развертки затачивается остро (без фаски), на калибрующей части оставляют цилиндрическую ленточку, ширина которой зависит от диаметра развертки. Назначение ленточки у развертки то же, что и у сверла и зенкера, однако наряду с этим она выглаживает обработанную поверхность и снижает ее шероховатость.

Калибрующая часть развертки выполняется с обратной конусностью. Для ручных разверток ее рекомендуется принимать 0,010 – 0,015 мм на 100 мм длины, для машинных разверток с жестким креплением 0,04 – 0,06 мм, для машинных разверток с качающимися патронами 0,06 – 0,08 мм. Изменение величины обратной конусности обусловлено тем, что ручная развертка работает с небольшой скоростью резания и сравнительно мало разбивает отверстие, направляясь строго по обработанному отверстию. При работе машинных разверток разбивание отверстия калибрующей частью, прилегающей к шейке развертки, значительно больше, поэтому обратная конусность у них должна быть больше.

Для получения правильного отверстия применяют качающиеся или плавающие оправки, патроны для крепления в них разверток. Вследствие шарнирного крепления развертка может перемещаться в различных направлениях и самоустанавливаться по подготовленному отверстию.

Основные типы и размеры цилиндрических разверток, выпускаемых централизованно, даны в таблице 4.7.

На распределение усилий при развертывании, а также на точность и качество обработанных отверстий значительное влияние оказывают качество заточки отдельных зубьев и точность взаимного расположения режущих кромок. Так, биение режущих кромок относительно оси не должно превышать значений, приведенных в таблице 4.8.

Техническими условиями устанавливается также биение калибрующей части разверток. Радиальное биение зубьев, измеренное в начале калибрующей части по отношению к оси развертки, не должно превышать значений, указанных в таблице 4.9.

Таблица 4.7 – Основные типы и размеры цилиндрических разверток

Наименование, тип и основные размеры	Эскиз
1	2
Развертки машинные цельные, тип 1 (ГОСТ 1672–80): $D = 3,0 - 9,0$ мм; $d = 3,0 - 9,0$ мм; $L = 60 - 100$ мм; $l = 10,0 - 16,0$ мм; $l_1 = 32 - 50$ мм	
Развертки машинные цельные, тип 2 (ГОСТ 1672–80): $D = 10 - 32$ мм; $L = 140 - 240$ мм; $d = 8 - 23$ мм; $l = 16 - 25$ мм; конус Морзе № 1 – 3; $z = 6$ при $D = 10$ мм; $z = 8$ при $D \leq 28$ мм; $z = 10$ при $D > 30$ мм; для $D = 10 - 30$ мм и $\varphi = 5^\circ$ $l_1 = 4,5$ мм; для $D > 30$ мм и $\varphi = 5^\circ$ $l_1 = 6,5$ мм; для $D > 30$ мм и $\varphi = 15^\circ$ $l_1 = 3,5$ мм; для $D = 10 - 30$ мм и $\varphi = 45^\circ$ $l_1 = 1,0$ мм; для $D > 30$ мм и $\varphi = 45^\circ$ $l_1 = 1,5$ мм	
Развертки машинные цельные насадные, тип 3 (ГОСТ 1672–80): $D = 25 - 50$ мм; $d = 13 - 22$ мм; $L = 30 - 42$ мм; $l = 22 - 30$ мм; $z = 8$ при $D < 30$ мм; $z = 10$ при $30 \text{ мм} \leq D < 35$ мм; $z = 12$ при $D \geq 35$ мм; $\varphi = 5; 15; 45^\circ$; значения l_1 те же, что и в предыдущем случае	
Развертки машинные со вставными ножами из быстрорежущей стали, тип 1 (ГОСТ 883 – 80): 1 – корпус, 2 – нож, 3 – клин $D = 32 - 50$ мм; $L = 292 - 344$ мм; $l = 38 - 45$ мм; $z = 6$; $\varphi = 5; 15; 45^\circ$; l_1 те же, что и в предыдущем случае	

Таблица 4.8 – Допускаемое биение зубьев режущей части разверток, мкм

Диаметр развертки	Квалитет точности			
	6	7 – 8	9 – 10	11
3 – 10	10	12	16	20
10 – 30	12	16	20	25
Свыше 30	16	20	25	32

Таблица 4.9 – Допускаемое биение зубьев калибрующей части разверток, мкм

Диаметр развертки	Квалитет точности			
	6	7 – 8	9 – 10	11
3 – 10	6	8	10	12
10 – 30	8	10	12	16
Свыше 30	10	12	16	20

Конические развертки предназначены для получения отверстия с требуемыми конусностью, точностью и качеством поверхности. В таблице 4.10 приведены основные типы конических разверток, выпускаемых централизованно. Конические развертки под штифты с конусностью 1:50 снимают незначительный припуск, поэтому их выпускают только чистовыми. Развертки под конус 1:30, под конус Морзе и под конус 1:20 снимают повышенные припуски, поэтому они выпускаются комплектами (черновая и чистовая).

Таблица 4.10 – Основные типы и размеры конических разверток

Наименование, тип и основные размеры	Эскиз
Развертки конусностью 1:50 с коническим хвостовиком для обработки отверстий под конические штифты, исполнение 1 (ГОСТ10081 – 71): $D = 6 - 32$ мм; $d_1 = 7 - 30$ мм; $L = 165 - 385$ мм; $l = 85 - 235$ мм; $l_0 = 5$ мм для $D \leq 20$ мм; $l_0 = 10$ мм для $D = 20$ мм; $z = 5$ для $D = 6$ мм; $z = 7$ для $D = 8 - 25$ мм; $z = 9$ для $D = 32$ мм; конус Морзе № 1 – 4	
Развертки конусностью 1:30 с коническим хвостовиком для обработки посадочных отверстий насадных зенкеров и разверток (ГОСТ 10082–71): $D = 13 - 40$ мм; $D_1 = 13,6 - 41,0$ мм; $d = 10,9 - 35,8$ мм; $L = 160 - 300$ мм; $l = 80 - 156$ мм; $l_0 = 62 - 126$ мм; $z = 7 - 11$; конус Морзе № 1 – 4; у черновой развертки направление стружкоразделительных канавок – левое	

Комбинированные инструменты применяются для совмещения операций или переходов при обработке ступенчатых отверстий. Наиболее распространенными одностипными комбинированными инструментами являются ступенчатые сверла, зенкеры и развертки. Комбинированные сверла и зенкеры при малом перепаде диаметров ступеней изготавливаются перешлифовкой различных инструментов (рисунок 4.12 а и 4.13 а). Такие инструменты допускают сравнительно небольшое количество переточек, ограниченное длиной ступени меньшего диаметра. Поэтому используются сверла и зенкеры с чередующимися зубьями (рисунок 4.12 б и 4.13 б), у которых калибрующий участок каждой ступени проходит по всей длине рабочей части. Такие инструменты допускают значительное число переточек.

Для обработки сложных отверстий большого диаметра применяются комбинированные инструменты со вставными зубьями, профиль которых соответствует профилю детали. Иногда используются инструменты с чередующимися зубьями, у которых каждый участок профиля обрабатывается соответствующими зубьями относительно простой формы (рисунок 4.14).

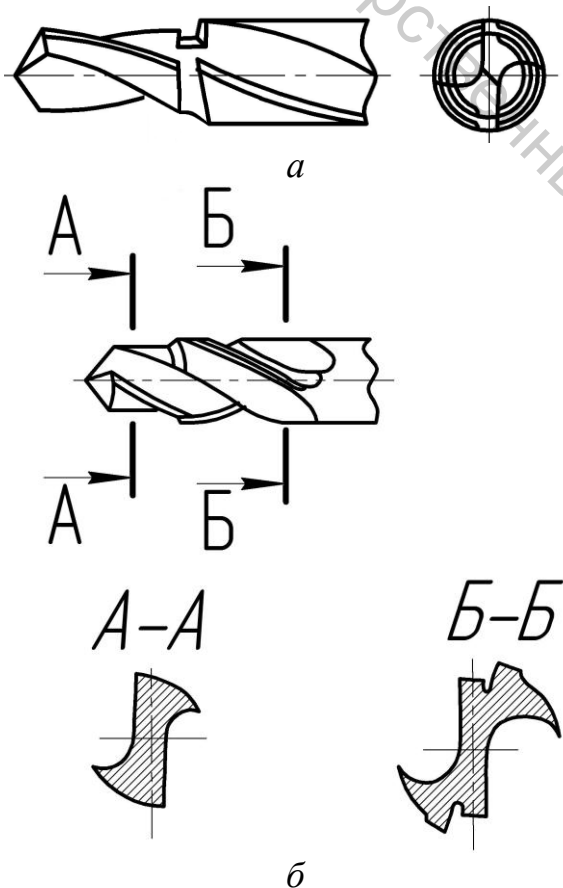


Рисунок 4.12 – Комбинированные сверла

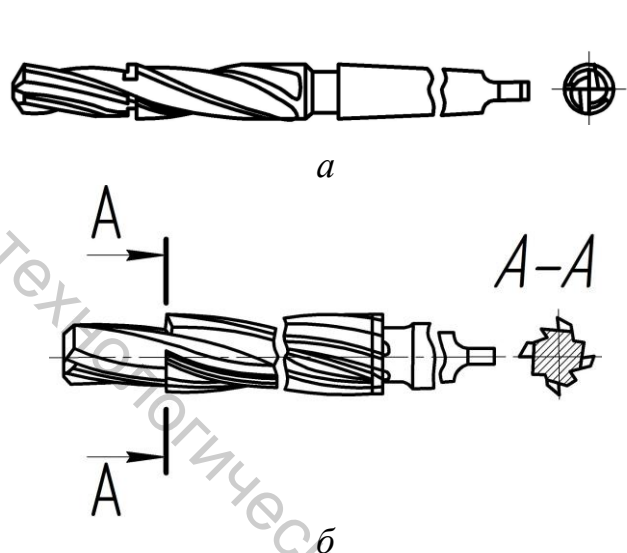


Рисунок 4.13 – Комбинированные зенкеры

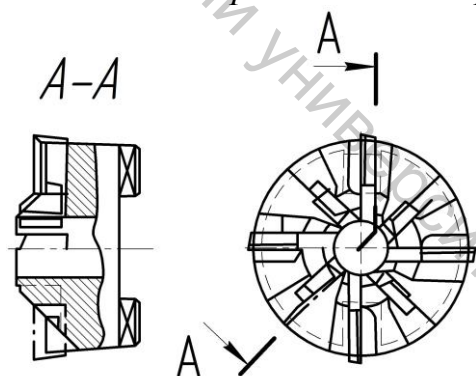


Рисунок 4.14 – Комбинированный зенкер со вставными чередующимися зубьями

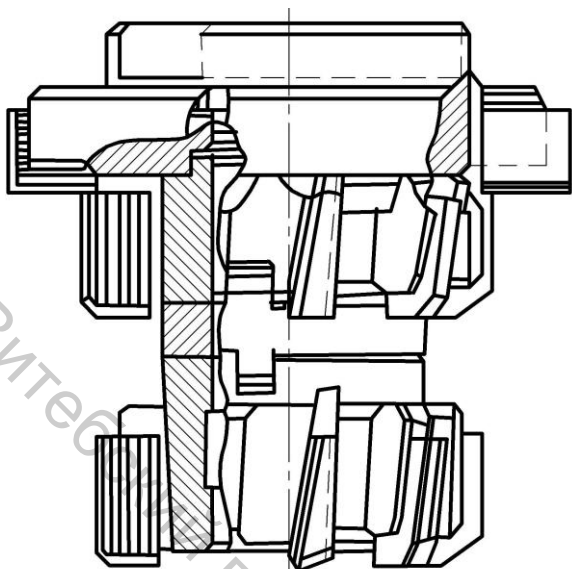


Рисунок 4.15 – Набор зенкеров

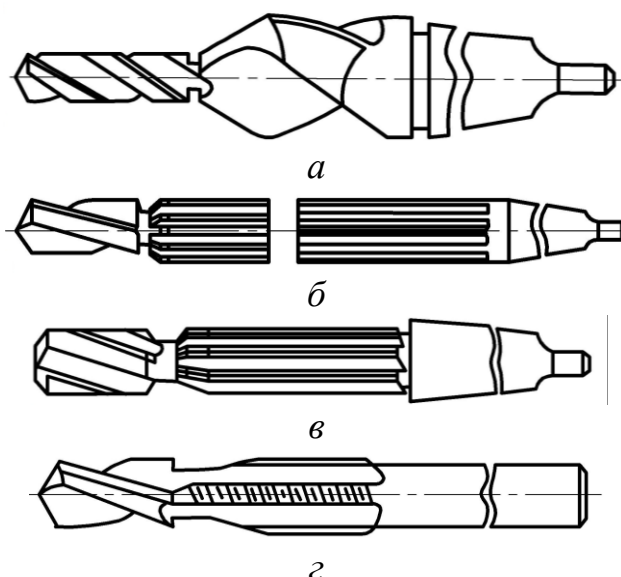


Рисунок 4.16 – Комбинации разнотипных режущих инструментов:
а – сверло-зенковка; б – сверло-развертка; в – зенкер-развертка; г – сверло-метчик

В иных случаях находят применение составные комбинированные инструменты, которые представляют собой наборы простых инструментов, закрепленных на общей оправке (рисунок 4.15).

Комбинированные инструменты могут быть также разнотипными (рисунок 4.16). Высокие результаты обеспечиваются комбинированием различных способов обработки, так как появляется возможность одновременно использовать преимущества, свойственные различным инструментам.

4.3 Выбор вспомогательного инструмента

Отдельную группу приспособлений для крепления в шпинделе станка сверл, зенкеров, разверток составляют оправки, патроны, переходные втулки, цанги, которые называются вспомогательным инструментом. Вспомогательный инструмент должен обеспечивать быстроту установки и надежность крепления инструмента.

Конические посадочные отверстия у шпинделей для установки и закрепления в них режущих инструментов с коническими хвостовиками, а также приспособлений выполняют согласно ГОСТ 2847 – 67, применяя конусы Морзе (рисунок 4.17).

На рисунке 4.18 а показано непосредственное закрепление сверла в коническом отверстии шпинделя с помощью силы трения. Лапка сверла входит в паз шпинделя. В случае, когда режущий инструмент имеет конический хвостовик малых размеров, необходимо пользоваться переходными коническими втулками (рисунок 4.18 б). Втулки центрируются в отверстии шпинделя (или одна в другой) по коническим поверхностям.

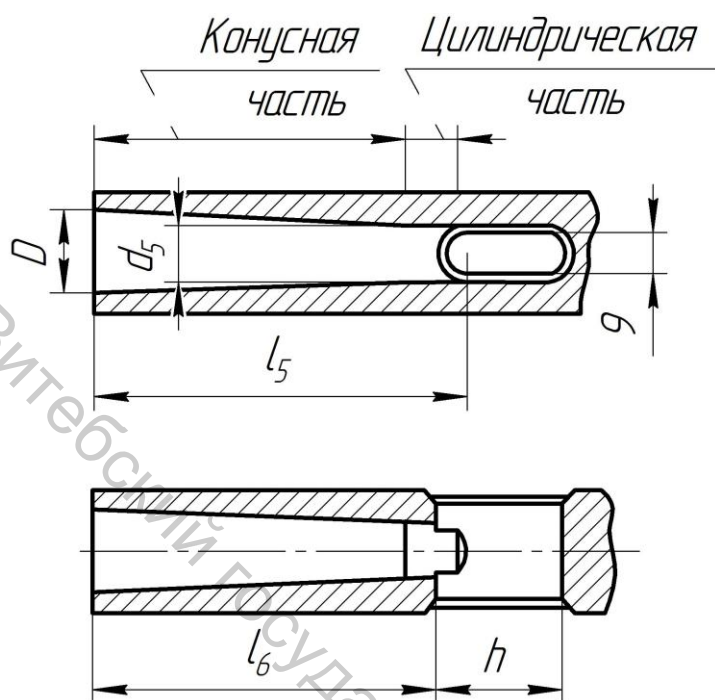


Рисунок 4.17 – Внутренние конусы для крепления инструментов

вставок (рисунок 4.20), а также для закрепления сверл в многшпиндельных головках. При этом упрощается конструкция головок за счет малого вылета сверл и отсутствия дополнительных зажимных устройств.

Разрезные втулки обеспечивают более точную установку (центрирование) инструментов, чем цанговые или кулачковые патроны.

Втулки изготавливают из стали 65Г или У8, закаленной до твердости 56 – 61 HRCэ.

Патроны являются более универсальными приспособлениями, чем втулки. Они дают возможность быстро и надежно закрепить режущий инструмент.

Сверла, зенкеры и развертки с цилиндрическим хвостовиком и лапкой обычно закрепляют, применяя разрезные конусные втулки (рисунок 4.18 в) как непосредственно в шпинделях станков, так и при помощи переходных втулок. Разрезные втулки с переходными оправками (рисунок 4.19) можно использовать взамен специальных удлиненных сверл и зенкеров для обработки отверстий в труднодоступных местах.

Кроме того, втулки описываемой конструкции служат для закрепления различных инструментов в быстросменных патронах с помощью нормальных

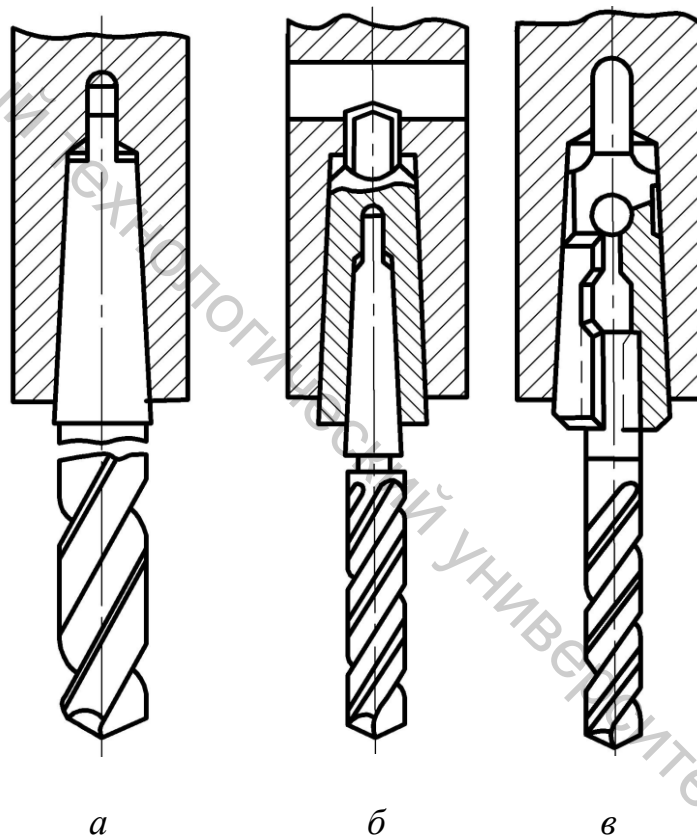


Рисунок 4.18 – Втулки, вставляемые в шпиндель станка

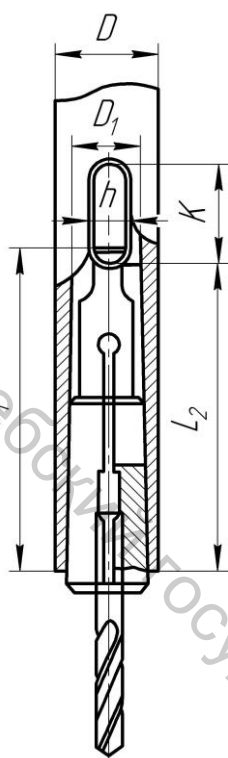


Рисунок 4.19 –
Переходная оправка

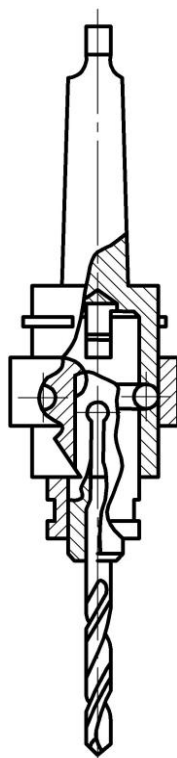
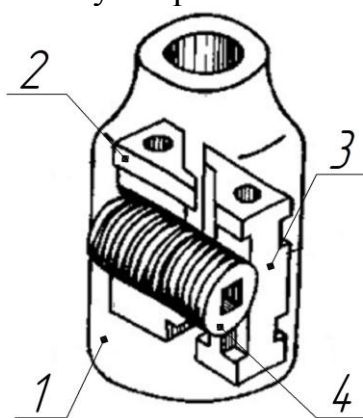


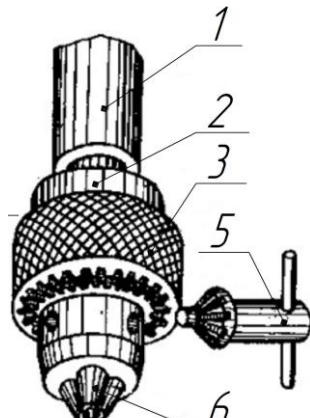
Рисунок 4.20 – Крепление
инструмента в патроне с
помощью нормальной
вставки

Широкое применение получили сверлильные двух- и трехкулачковые патроны, в которых инструмент с цилиндрическим хвостовиком закрепляют при помощи ключа (рисунок 4.21). Призматические кулачки 2 и 3 двухкулачкового патрона, расположенные в корпусе 1, перемещают винтом 4, имеющим правую и левую нарезки и квадратное отверстие под ключ (рисунок 4.21 а). При вращении ключа с помощью винта кулачки сближаются или расходятся, что позволяет закреплять или освобождать режущий инструмент.

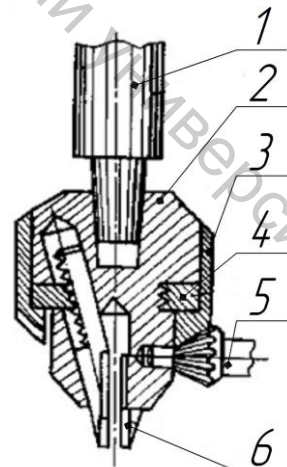
Сверлильный трехкулачковый патрон (рисунок 4.21 б, в) состоит из корпуса 2, втулки 3, кулачков 6 и кольца 4. На верхней части кулачков нарезана резьба, которая соединена с резьбой на кольце 4, запрессованном во втулку 3. Эту втулку при закреплении сверла вначале вращают вручную, а затем ключом 5, на конце которого имеется шестерня, зацепляющаяся с зубьями торца втулки 3. Ключом поворачивают втулку, и, тем самым, кулачки 6 перемещаются, их концы сближаются, центрируют и зажимают инструмент, а при обратном вращении рукоятки 5 происходит освобождение сверла. Для установки в шпиндель стойка у патронов имеет конический хвостовик 1.



а



б



в

Рисунок 4.21 – Сверлильные двух- и трехкулачковые патроны

Сверлильные патроны с ключом имеют ряд недостатков: необходимость применения ключей для закрепления инструмента, быстрый износ резьбы и кулачков, сравнительно малая степень точности центрирования инструмента, ослабление силы закрепления инструмента во время его работы, сложность изготовления.

Сверлильные трехкулачковые бесключевые патроны (рисунок 4.22) предназначены для закрепления сверл и других инструментов с диаметром хвостовика от 2 до 12 мм. Патроны дают возможность закреплять инструмент вручную без ключа, хорошо центрируют инструмент и надежно удерживают его при работе.

Корпус 1 патрона имеет на наружной поверхности накатку. Между корпусом и втулкой 6 установлена обойма 3, в трех пазах ее под углом 120° расположены три кулачка 2. В Т-образные пазы головки винта 5 входят Т-образные головки кулачков. Винт соединен с втулкой 8 левой резьбой. При вращении корпуса 1 по часовой стрелке одновременно вращается обойма 3 с кулачками. Кулачки своими торцами передают вращение на винт 5, вывинчивая его из втулки 5. Благодаря этому происходит смещение кулачков в осевом направлении. Кулачки, перемещаясь по внутренней конической поверхности корпуса, сближаются и производят зажим инструмента. Во время работы винт 5 стремится вывинтиться под воздействием момента силы резания, увеличивает тем самым эту силу, а следовательно, и надежность закрепления инструмента. Для уменьшения силы трения при зажиме или разжиме инструмента между буртиками втулок 8 и 6 размещены шарики 4 (32 шарика диаметром 2,5 мм).

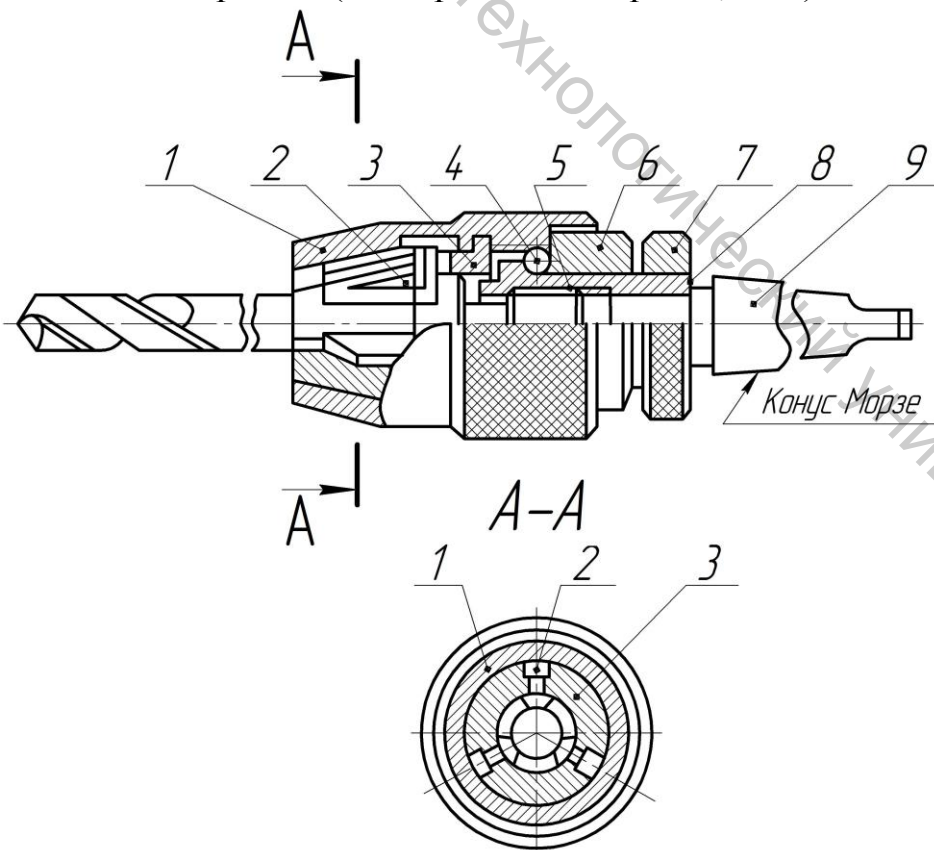


Рисунок 4.22 – Трехкулачковый бесключевой сверлильный патрон

Для смены инструмента корпус 1 вращают против часовой стрелки, при этом винт 5 ввинчивается во втулку 8 и Т-образными пазами головки действует на кулачки 2, освобождая инструмент. Кольцо 7, запрессованное на втулке 8, удерживает патрон при зажиме и разжиме инструмента. Патрон имеет хвостовик 9, который запрессован в отверстие втулки 8.

Цанговые патроны (рисунок 4.23) используют для закрепления сверл малого диаметра с цилиндрическим хвостовиком.

Патрон состоит из корпуса 1 с хвостовиком, цанги 2 и гайки 3. Цанга расположена в отверстии корпуса и конусом сопрягается с внутренним конусом отверстия. На ее резьбовую часть навинчивается зажимная гайка 3. В цанге имеются три разреза, расположенные под углом 120° друг к другу. При завинчивании гайки цанга входит конической частью в коническое отверстие корпуса и сжимается, закрепляя инструмент. При вывинчивании гайки цанга, упруго деформируясь, разжимается и освобождает инструмент. Материал цанги – сталь 65Г или У8А; твердость 59 – 63 HRCэ.

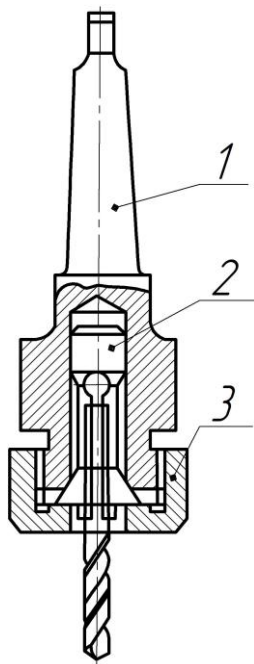


Рисунок 4.23 –
Цанговый
сверлильный патрон

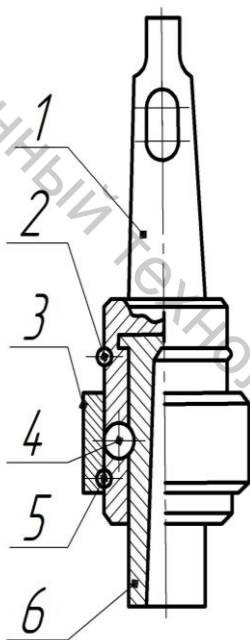


Рисунок 4.24 –
Быстросменный патрон с
ведущими шариками

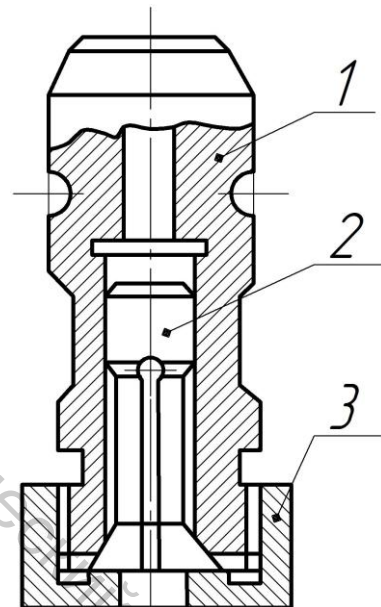


Рисунок 4.25 – Цанговая
вставка

Цанговые патроны надежно и достаточно точно закрепляют инструмент. Однако надо иметь в виду, что отклонение диаметра зажимаемого цилиндрического хвостовика от диаметра отверстия цанги не должно превышать $\pm 0,1$ мм. При несоблюдении этого условия цанговый патрон работает плохо.

При обработке деталей, в которых необходимо последовательно выполнять сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы и другие операции, приходится часто менять режущий инструмент. Для сокращения времени на смену инструмента применяют быстросменные патроны, дающие возможность

быстро заменить инструмент, в ряде случаев без остановки вращения шпинделя. В настоящее время используются быстросменные патроны с ведущими шариками, ведущим штифтом и поводковые.

На рисунке 4.24 приведен быстросменный патрон с ведущими шариками, применяемый для легких работ. Его конструкция проста и допускает смену инструмента без остановки шпинделя станка. Корпус патрона закрепляют хвостовиком 1 в шпинделе станка. В цилиндрическом отверстии корпуса расположена сменная втулка 6 с конусом для инструмента. Вращательное движение от корпуса патрона втулке передают два шарика 4, находящиеся в поперечных гнездах корпуса. Для замены втулки 6 с режущим инструментом приостанавливают вращение обоймы 3, взяв ее за рифленую поверхность, и поднимают обойму вверх до упора в пружинное кольцо 2, заложенное в паз корпуса. Перемещение обоймы 3 вниз ограничено вторым пружинным кольцом 5.

Для крепления инструментов с цилиндрическим хвостовиком диаметром от 3 до 16 мм в быстросменном патроне могут использоваться *цанговые вставки* (рисунок 4.25). Цанговая вставка состоит из втулки 1, цанги 2 и гайки 3. Закрепление инструмента осуществляется так же, как и в цанговом патроне.

Высокая точность обработки отверстий разверткой достигается при постоянной установке детали. Если сверление отверстия и последующее его развертывание выполняется с переустановкой обрабатываемой детали, то при этом оси обрабатываемого отверстия и развертки, как правило, не совпадают. При жестком креплении развертки несовпадение осей отверстия и инструмента приводит к снижению точности обработки и появлению брака. Чтобы избежать этого, для крепления разверток применяют самоустанавливающиеся патроны, которые обеспечивают возможность перемещения инструмента с целью достижения соосности.

Конструктивно различают три типа патронов: 1) *качающиеся*, дающие возможность развертке устанавливаться под некоторым углом к оси шпинделя; 2) *плавающие*, допускающие перемещение развертки в направлении, перпендикулярном к ее оси, и самоустановку в отверстии; 3) *качающиеся* и *плавающие*, позволяющие осуществлять в одинаковой степени угловое смещение развертки и смещение в направлении, перпендикулярном к оси шпинделя станка.

Качающийся патрон для развертки (рисунок 4.26) закрепляют в шпинделе станка с помощью конического хвостовика 1. В отверстии корпуса 4 штифтом 5 с некоторым зазором закреплена качающаяся державка 6 инструмента. Шарик 3 и подпятник 2 образуют осевую опору державки. Развертка, вставленная в такой патрон, имеет возможность самоустанавливаться, поворачиваясь на некоторый угол относительно оси шпинделя, и следовать в направлении оси обрабатываемого отверстия.

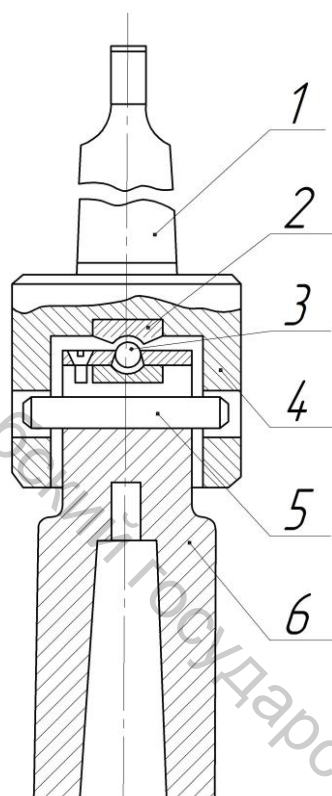


Рисунок 4.26 – Качающийся патрон для разверток

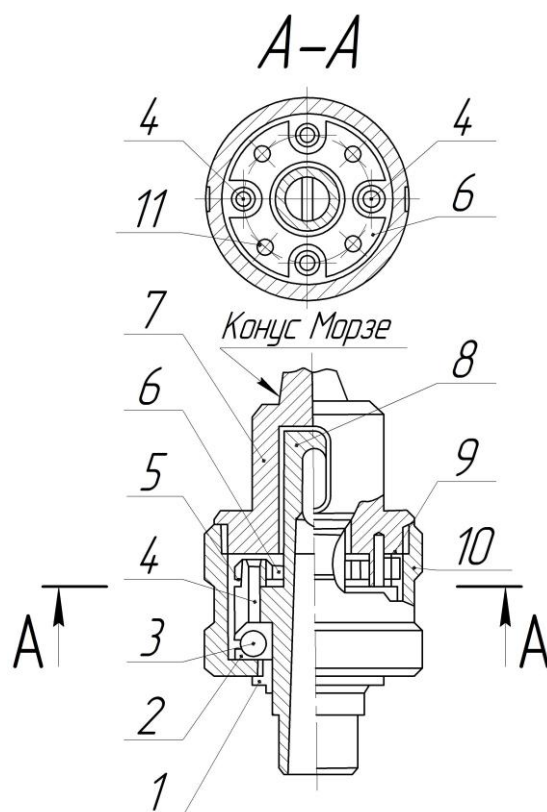


Рисунок 4.27 – Плавающий патрон для разверток

На рисунке 4.27 приведен плавающий патрон, который дает возможность совместить оси инструмента и обрабатываемого отверстия.

Корпус 8 патрона с коническим отверстием под инструмент размещен в выточке хвостовика 7, которым патрон крепится в шпинделе станка. Во фланце корпуса запрессованы два штифта 4, на которых надеты втулки 5. Такие же два штифта 9 запрессованы в двух диаметрально противоположных отверстиях торца хвостовика 7. На штифты 9 надеты втулки. Между фланцами корпуса и торцом хвостовика расположено поводковое кольцо 6, в его четырех гнездах установлены шарики 11, передающие осевую нагрузку через фланец корпуса на торец хвостовика. Поводковое кольцо имеет также четыре паза, в которые входят втулки штифтов 4 и 9. В процессе работы патрона крутящий момент от хвостовика 7 к корпусу 8 передастся через штифты 9, поводковое кольцо 6 и штифты 4.

Поджим фланца корпуса к торцу хвостовика осуществляют гайкой 10. Для уменьшения трения между гайкой и фланцем корпуса установлены шарики 3, расположенные между двумя кольцами 2. Втулка 1 на корпусе предохраняет патрон от загрязнений. Конструкция патрона исключает перекос инструмента и допускает смещение корпуса 8 с инструментом в плоскости, перпендикулярной к оси вращения, до 1,5 мм.

Качающиеся и плавающие патроны (рисунок 4.28) обеспечивают возможность углового и радиального смещения развертки относительно оси хвостовика. Между торцовыми поверхностями хвостовика 1 и корпуса 6 вмонтирован

упорный шарикоподшипник 3, воспринимающий осевую силу резания. Хвостовик передает крутящий момент корпусу поводком 5, заканчивающимся двумя скругленными шестигранными выступами, грани которых, будучи сдвинутыми друг относительно друга на 30° , входят в шестигранные углубления хвостовика и корпуса. Детали патрона скреплены гайкой 4, навинченной на корпус, и пружиной 2. Упорный шарикоподшипник обеспечивает возможность смещения втулки с инструментом перпендикулярно к ее оси, а торцовые поверхности головок поводка – наклон относительно оси. Этим компенсируется несовпадение оси шпинделя станка и оси обрабатываемого отверстия.

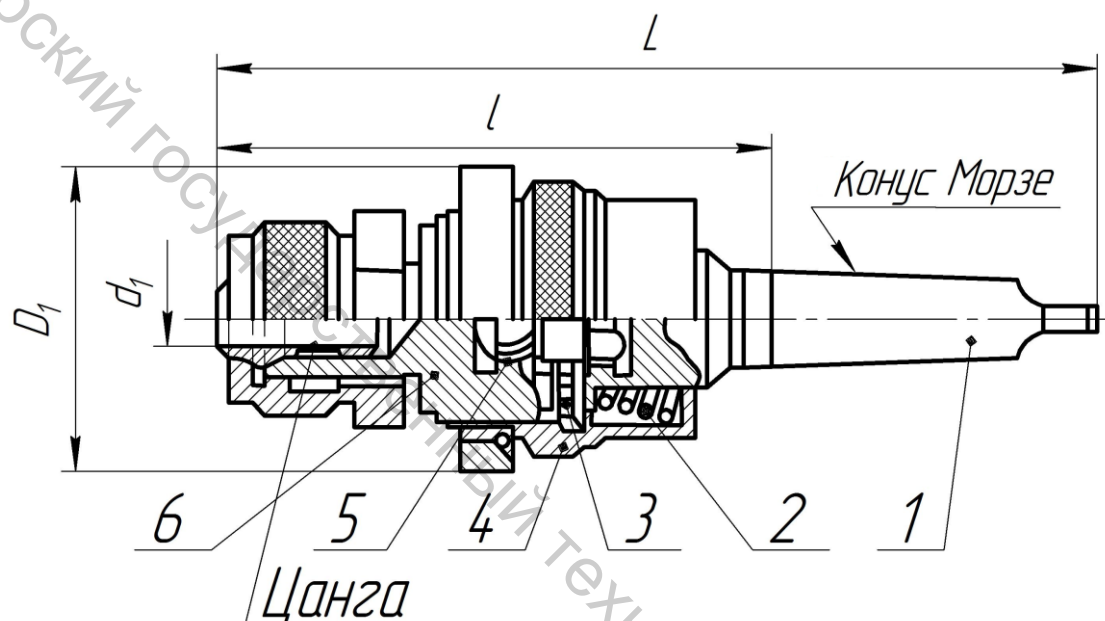


Рисунок 4.28 – Качающийся и плавающий патрон для разверток

Различают два способа нарезания резьбы – самозатягиванием и с принудительной подачей метчика. При самозатягивании нет принудительной подачи, при которой метчик перемещается в направлении подачи под действием сил самозатягивания. Этот способ применяют при работе на небольших станках, у которых при отключении привода подачи шпиндель легко перемещается. Крепление метчика выполняют жестким. На крупных станках при самозатягивании возникают большие силы сопротивления движению, поэтому прибегают к принудительной подаче метчика. При нарезании резьбы с принудительной подачей возникает несовпадение подачи шпинделя и шага нарезаемой резьбы. Поэтому обязательным является применение компенсирующих патронов. Конструкция этих патронов обеспечивает метчику при нарезании резьбы некоторую независимость осевого перемещения.

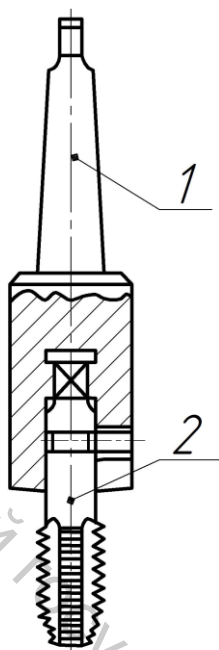


Рисунок 4.29 – Жесткое крепление метчика

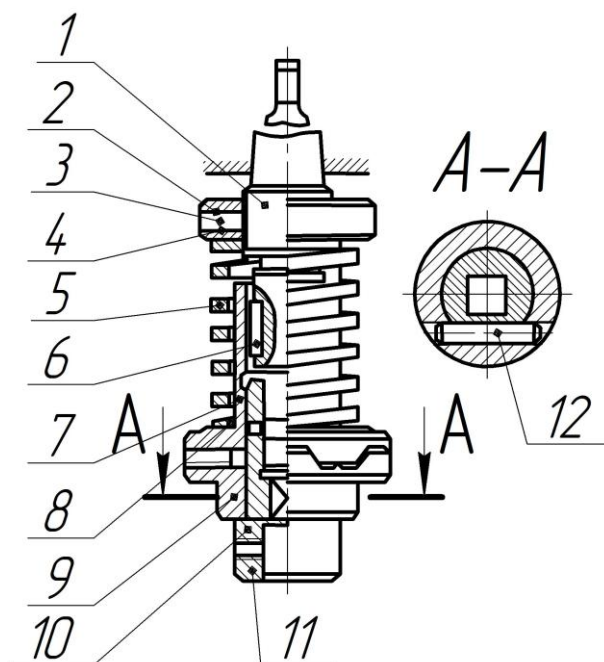


Рисунок 4.30 – Пружинно-кулачковый патрон для закрепления метчиков

При нарезании резьбы в глухих отверстиях или в деталях из труднообрабатываемых материалов возникает реальная опасность перегрузки и поломки инструмента из-за его упора в дно нарезаемого отверстия, затупления, защемления стружкой и т. п. Поэтому применяют предохранительные самовыключающиеся патроны, которые настраивают на допускаемую величину крутящего момента. Эти патроны автоматически выключаются, как только момент сил сопротивления превышает установленный момент. В тех случаях, когда ось метчика трудно совместить с осью отверстия, например при нарезании резьбы в отверстиях крупных деталей на радиально-сверлильных станках, применяют плавающие самоцентрирующие патроны. На тех станках, которые не имеют обратного вращения шпинделя, метчик крепят с помощью предохранительных реверсивных патронов.

Простейший патрон 1 для жесткого стопорения метчика 2 показан на рисунке 4.29. Отверстие в патроне выполняют по диаметру хвостовика метчика. Жесткое крепление метчиков в ряде случаев целесообразно выполнять в быстросменных патронах с переходными втулками.

Пружинно-кулачковый патрон для нарезания резьбы в глухих отверстиях приведен на рисунке 4.30. Как обычно, хвостовиком 1 патрон крепится в шпинделе станка. Внизу хвостовика расположена втулка 10 с гнездом для установки метчика и с винтом 11 для его крепления. В гнездах втулки 10 находятся три шарика 8, которые входят в кольцевую канавку хвостовика и тем самым фиксируют положение втулки в осевом направлении. Штифтом 12 на втулке закреплена нижняя полумуфта 9, кулачки которой входят в зацепление с кулачками верхней полумуфты 7, установленной в средней части хвостовика на шпонке 6, пружина 5 находится под натяжением. Натяжение пружины создают гайкой 2, которую фиксируют винтом 3 через прокладку 4.

4.4 Методы установки и закрепления заготовок

Обрабатываемая заготовка устанавливается и закрепляется непосредственно на столе станка, в универсальном, специализированном (переналаживаемом) или специальном приспособлении. В некоторых случаях заготовку (или приспособление) не нужно закреплять на столе. При этом она удерживается рукой станочника и силами трения от действия осевой силы резания.

Для сверления необходимо совместить ось сверла (или другого инструмента) с осью будущего отверстия. Это можно сделать по разметке или с помощью направляющего устройства (кондукторной втулки). Приспособление с направляющими устройствами называют кондуктором. Применение кондукторных втулок способствует повышению качества получаемых отверстий и производительности труда. Кондукторные втулки бывают *постоянные* (рисунок 4.31 а), *сменные* (рисунок 4.31 б), *быстросменные* (рисунок 4.31 в).

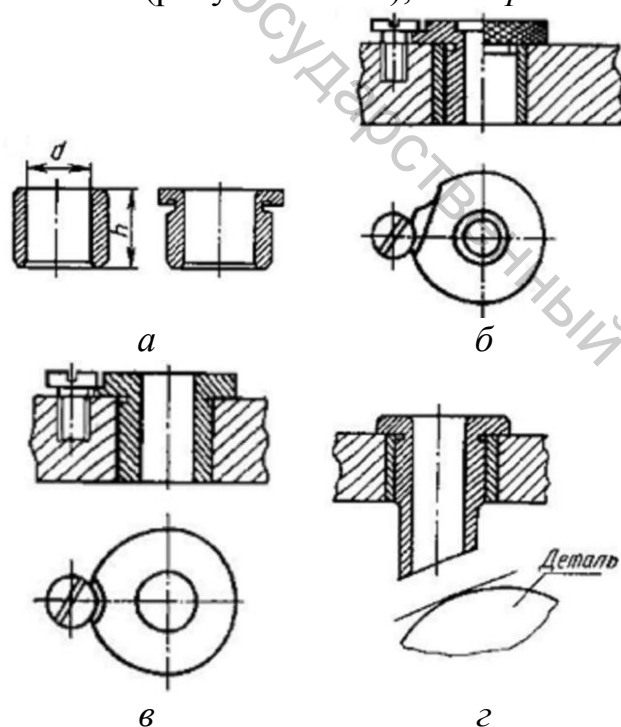


Рисунок 4.31 – Типы кондукторных втулок

d – диаметр отверстия.

В случае, если срок эксплуатации кондуктора превышает период работы втулок, последние делают сменными. При обработке отверстий более чем за один переход применяются быстросменные втулки. Сменная кондукторная втулка устанавливается в приспособлении через промежуточную втулку и предохраняется от поворота с помощью быстродействующего замка. Комплект быстросменных втулок обеспечивает выполнение требуемого количества переходов. Наиболее распространены разновидности стандартизованных втулок, но используются также и специальные втулки, рассчитанные на особые условия работы. На рисунке 4.31 г показана втулка со скошенной нижней торцевой ча-

Постоянные кондукторные втулки без буртика применяются для направления инструмента только конкретного размера или установки сменных втулок. Назначение постоянных кондукторных втулок с буртиком то же, что и постоянных без буртика. Буртик служит опорной поверхностью для втулки, предохраняя ее от провала при соприкосновении с инструментом во время работы. Постоянные втулки запрессовываются в плиту кондуктора и удаляются только в случае, если их необходимо заменить в результате износа или повреждения.

Высота втулки h принимается равной $(1 - 2)d$; при малых диаметрах она может достигать $(4 - 6)d$, где

стью. Она используется для сверления заготовок, имеющих наклонные и сферические поверхности.

Расстояние от нижнего торца кондукторных втулок в приспособлении до обрабатываемой детали принимается равным $0,35 - 1,0$ от диаметра отверстия втулки. Большее расстояние берется при обработке вязких материалов, меньшее – при обработке хрупких.

Скальчатыми кондукторами называют приспособления, в которых стандартизованы корпус, подъемная плита, механизм подъема и замковое устройство. Установочную часть изготавливают в зависимости от формы и размеров обрабатываемой детали. Скальчатые кондукторы – это переналаживаемые приспособления. Переналадку кондукторов производят за счет установки сменных установочных компонентов (наладок) и кондукторной плиты.

Кондукторная плита этих приспособлений обычно укрепляется на двух колонках (скалках) и с помощью подъемного механизма вместе с ними поднимается настолько, чтобы не мешать установке обрабатываемой детали, а затем опускается

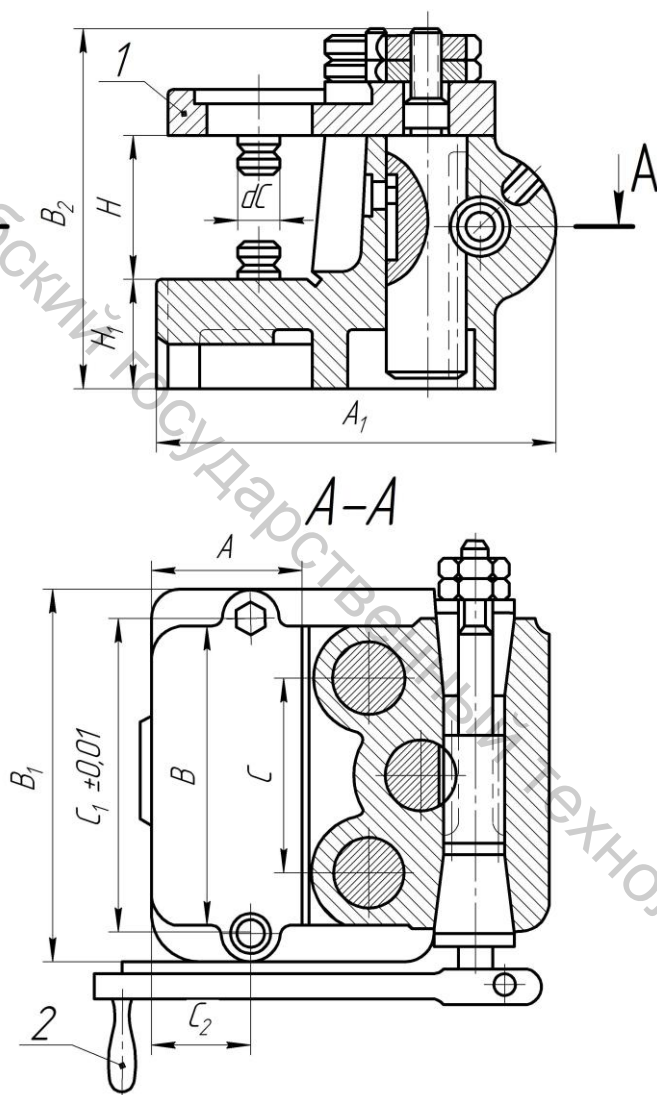


Рисунок 4.32 – Кондуктор скальчатый двухколонный с механическим зажимом

для ее закрепления.

При обработке заготовок на сверлильных станках наиболее широко применяют универсально-наладочные скальчатые кондукторы – консольные (рисунок 4.32) и порталные (рисунок 4.33) с ручным конусным и с пневматическим зажимом.

В таких кондукторах применяют кондукторные плиты с отверстиями под цилиндрические и срезанные установочные пальцы, посредством которых базируются и закрепляются сменные наладки и кондукторные плиты. Сменные установочные наладки базируются и закрепляются на установочной поверхности кондуктора.

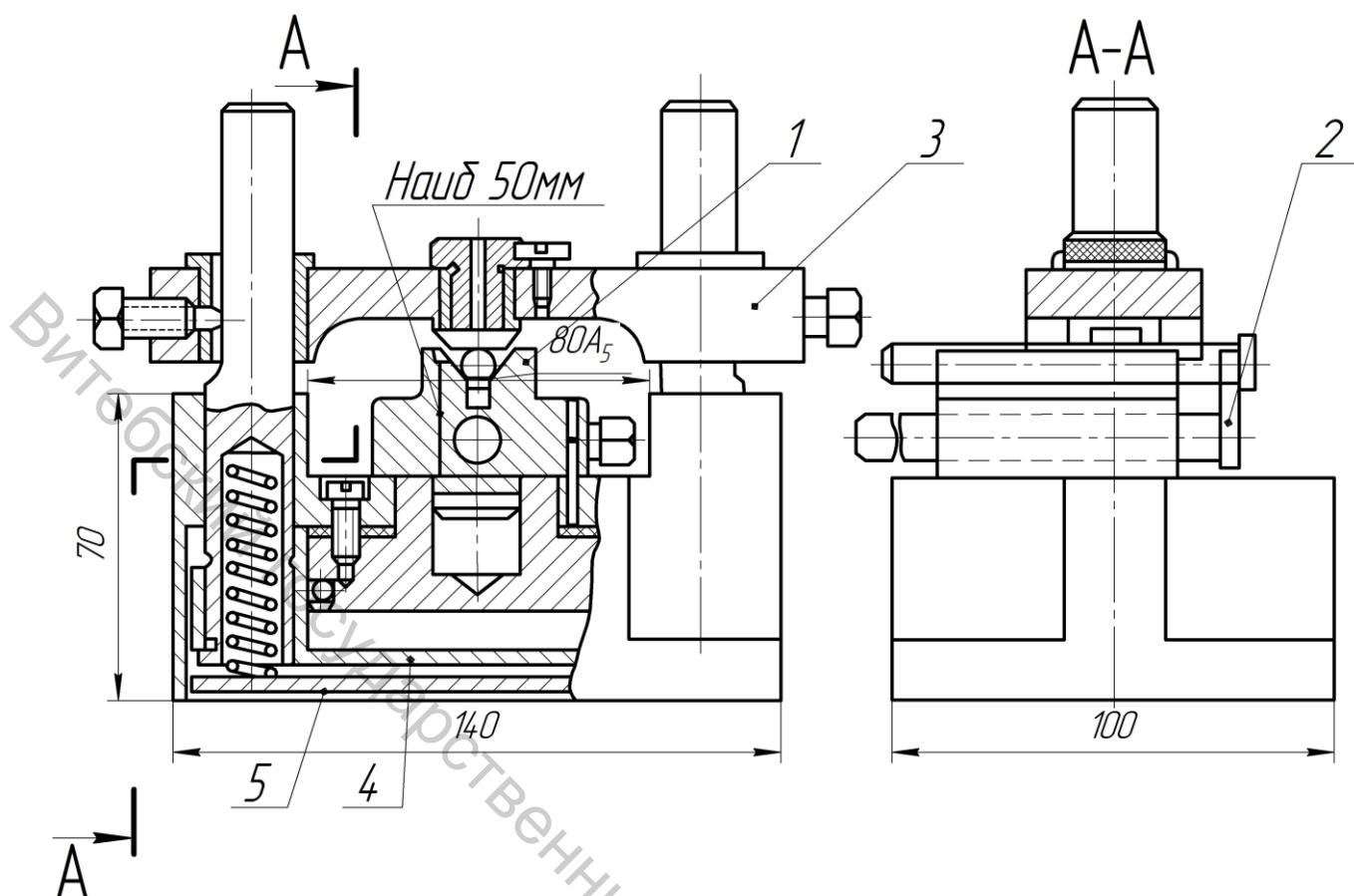


Рисунок 4.33 – Кондуктор с пневматическим зажимом для сверления отверстий в цилиндрических заготовках

Заготовка в кондукторе с пневматическим зажимом для сверления отверстий в цилиндрических заготовках (рисунок 4.33) устанавливается на призме 1. Для настройки на заданное расстояние от установочного торца до центра сверления служит переставной упор 2. Зажим осуществляется опусканием кондукторной плиты 3, связанной через направляющие колонки с подвижным пневмоцилиндром 4. Для возврата плиты в исходное положение служат пружины 5.

В крупносерийном и массовом производстве обработку отверстий производят в специальных приспособлениях. Пример такого приспособления для сверления поперечного отверстия в валике показан на рисунке 4.34. Валик 1 устанавливается на призмы 2 и 4, от поворота ориентируется подпружиненным пальцем 3 и зажимается эксцентриком 7 через рычаг 5. Сверло направляется кондукторной втулкой 8.

4.5 Рекомендации по последовательности и режимам обработки отверстий

Последовательность обработки цилиндрических отверстий и используемый при этом набор инструментов в зависимости от диаметра отверстия d и качества его точности приведена в таблицах 4.11, 4.12 и 4.13.

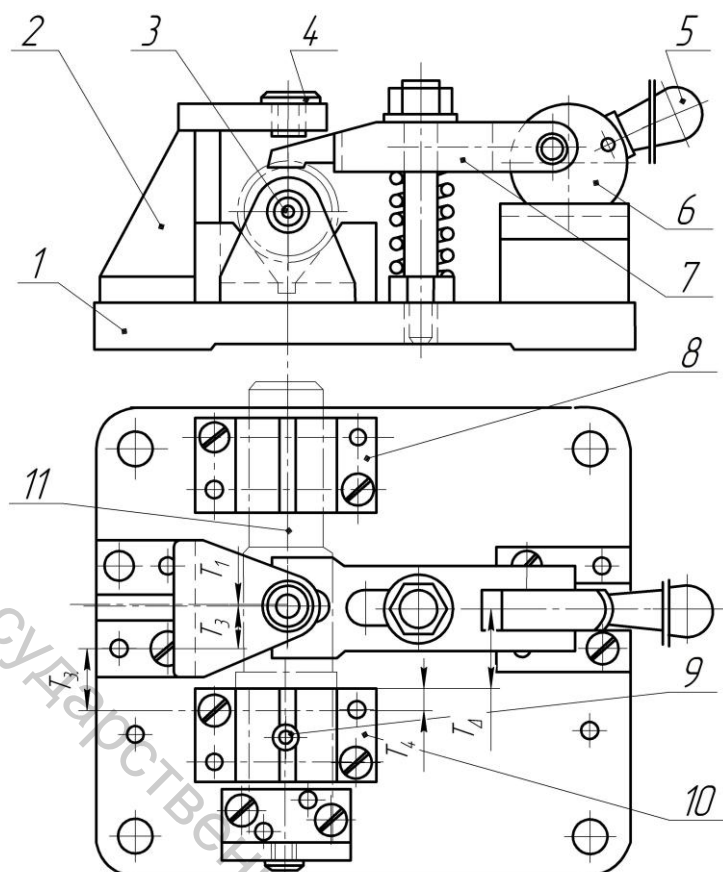


Рисунок 4.34 – Специальное приспособление

Таблица 4.11 – Набор инструмента для обработки цилиндрических отверстий

d	Квалитет точности							
	6 – 7			8 – 9		10 – 11		12 – 13
	Св.	Рзп.	Рз.	Св.	Рз.	Св.	Зн.	Св.
3	2,9	2,97	3Н6-7	2,9	3Н8-9	2,9	3	3
4	3,9	3,96	4 Н6-7	3,9	4Н8-9	3,9	4	4
5	4,8	4,96	5 Н6-7	4,8	5Н8-9	4,8	5	5
6	5,8	5,96	6 Н6-7	5,8	6Н8-9	5,8	6	6
8	7,8	7,95	8Н6-7	7,8	8Н8-9	7,8	8	8
10	9,7	9,95	10Н6-7	9,7	10Н8-9	9,7	10	10

Обозначения: Св. – сверло, Зн. – зенкер, Рзп. – предварительная развертка, Рз. – развертка.

Таблица 4.12 – Набор инструмента для обработки цилиндрических отверстий

d	Квалитет точности									
	6 – 7				8 – 9			10 – 11		>12
	Св.	Зн.	Рзп.	Рз.	Св.	Зн.	Рз.	Св.	Зн.	Св.
12	10,7	11,82	11,94	12Н6	10,7	11,82	12Н8	10,7	12Н10	12
15	13,7	14,82	14,94	15Н6	13,7	14,82	15Н8	13,7	15Н10	15
16	14,25	15,82	15,94	16Н6	14,3	15,82	16Н8	14,25	16Н10	16
20	17,5	19,75	19,93	20Н6	17,5	19,75	20Н8	17,5	20Н10	20
22	19,5	21,75	21,93	22Н6	19,5	21,75	22Н8	19,5	22Н10	22
24	21,5	23,75	23,93	24Н6	21,5	23,75	24Н8	21,5	24Н10	24
25	22,5	24,75	24,93	25Н6	22,5	24,75	25Н8	22,5	25Н10	25
28	25,5	27,75	27,93	28Н6	25,5	27,75	28Н8	25,5	28Н10	28

Обозначения: Св. – сверло, Зн. – зенкер, Рзп. – предварительная развертка
Рз. – развертка.

Таблица 4.13 – Набор инструмента для обработки цилиндрических отверстий

d	Квалитет точности 6 – 7								
	В сплошном материале					В литой или штампованной заготовке			
	СВП.	Св.	Зн.	Рзп.	Рз.	Знп.	Зн.	Рзп.	Рз.
30	20	27,5	29,75	29,93	30 Н6	28	29,75	29,93	30 Н6
32		29	31,71	31,92	32 Н6	30	31,71	31,92	32 Н6
35		32	34,71	34,92	35 Н6	32	34,71	34,92	35 Н6
36		33	35,71	35,92	36 Н6	34	35,71	35,92	36 Н6
40		37	39,71	39,92	40 Н6	38	39,71	39,92	40 Н6
42		39	41,71	41,92	42 Н6	40	41,71	41,92	42 Н6
45		42	44,71	44,92	45 Н6	42	44,71	44,92	45 Н6
48		45	47,71	47,92	48 Н6	46	47,71	47,92	48 Н6
50		46	49,71	49,92	50 Н6	48	49,71	49,92	50 Н6
Обозначения: СВП. – сверло предварительное; Св. – сверло; Зн. – зенкер; Рзп. – предварительная развертка; Рз. – развертка.									

Показатели режима сверления отверстий можно определить из таблиц 4.14 – 4.17. Значения подач при сверлении выбираются в зависимости от диаметра сверла, обрабатываемого материала, длины отверстия, вида сверления (сверление или рассверливание) и группы подач. Всего различают три группы подач: I – при сверлении отверстий 14 – 12 квалитетов точности в жестких деталях; II – при сверлении отверстий 14 – 12 квалитетов точности в деталях средней жесткости; III – при сверлении точных отверстий под последующую обработку разверткой, или при сверлении в деталях малой жесткости и с неустойчивой опорной поверхностью, или при сверлении отверстий оси которых не перпендикулярны к входной плоскости, или при сверлении под нарезание резьбы метчиком.

Таблица 4.14 – Поддачи при сверлении стали сверлами из P6M5, мм/об

d	I	II			III
4	0,08 – 0,10	0,06 – 0,08			0,04 – 0,05
6	0,14 – 0,18	0,11 – 0,13			0,07 – 0,09
8	0,18 – 0,22	0,13 – 0,17			0,09 – 0,11
10	0,22 – 0,28	0,16 – 0,20			0,11 – 0,13
13	0,25 – 0,31	0,19 – 0,23			0,13 – 0,15
16	0,31 – 0,37	0,22 – 0,27			0,15 – 0,19
20	0,35 – 0,43	0,26 – 0,32			0,18 – 0,22
25	0,39 – 0,47	0,29 – 0,35			0,20 – 0,24
30	0,45 – 0,55	0,33 – 0,41			0,22 – 0,28
> 30	0,60 – 0,70	0,45 – 0,55			0,30 – 0,35
Глубина сверления		$3d$	$5d$	$7d$	$10d$
k_s		1,0	0,9	0,8	0,7

Таблица 4.15 – Поддачи при сверлении чугуна сверлами из Р6М5, мм/об

d	I	II			III
4	0,11 – 0,13	0,08 – 0,10			0,05 – 0,07
6	0,18 – 0,22	0,13 – 0,17			0,09 – 0,11
8	0,22 – 0,26	0,16 – 0,20			0,11 – 0,13
10	0,28 – 0,34	0,21 – 0,25			0,13 – 0,17
13	0,31 – 0,39	0,23 – 0,29			0,15 – 0,19
16	0,37 – 0,45	0,27 – 0,33			0,18 – 0,22
20	0,43 – 0,53	0,32 – 0,40			0,22 – 0,26
25	0,47 – 0,57	0,35 – 0,43			0,23 – 0,29
30	0,54 – 0,66	0,40 – 0,50			0,27 – 0,33
> 30	0,70 – 0,80	0,50 – 0,60			0,35 – 0,40
Глубина сверления		$3d$	$5d$	$7d$	$10d$
k_{ς}		1,0	0,9	0,8	0,7

Таблица 4.16 – Скорость резания при сверлении стали сверлами из Р6М5, мм/об

D сверла	Подача S мм / мин								
	0,1	0,13	0,16	0,20	0,27	0,36	0,49	0,66	0,88
До 4,6	32	27,5	24	20,5	17,7	15	13	11	9,5
До 9,6		32	27,5	24	20,5	17,7	15	13	11
До 20			32	27,5	24	20,5	17,7	15	13
До 30				32	27,5	24	20,5	17,7	15
До 60					32	27,5	24	20,5	17,7
Глубина свел.	$3d$			$5d$		$7d$		$10d$	
K_L	1,0			0,9		0,8		0,75	

Таблица 4.17 – Скорость резания чугуна сверлами из Р6М5, мм/об

D сверла	Подача S мм / мин								
	0,12	0,20	0,24	0,30	0,40	0,53	0,70	0,95	1,3
До 3,2	31	28	25	22	20	17,5	15,5	14	12,5
До 8		31	28	25	22	20	17,5	15,5	14
До 20			31	28	25	22	20	17,5	15,5
До 30				33	29,5	26	23	21	18
Глубина свел.	$3d$			$5d$		$7d$		$10d$	
K_L	1,0			0,9		0,8		0,75	

Показатели режима зенкерования и развертывания можно определить из таблиц 4.18 – 4.21. Поддачи при зенкеровании выбираются из таблицы 4.18 в зависимости от материала заготовки и требований к качеству. Группа I применяется для отверстий до 12 квалитета точности или при зенкеровании под последующую обработку зенкером или разверткой. Группа подач II применяется для отверстий с повышенными требованиями к шероховатости, или при зенкеровании отверстий по 8 – 11-му квалитетам точности, или под нарезание резьбы, или при зенкеровании под последующую обработку одной разверткой. В таблице 4.18 приведены поддачи для обработки сквозных отверстий. При зенкеровании (цековании) глухих (полуоткрытых) отверстий рекомендуются поддачи 0,3 – 0,6 мм/об. Скорость резания при зенкеровании в зависимости от поддачи и обрабатываемого материала выбирается из таблиц 4.19 и 4.20.

Показатели режима развертывания определяются из таблиц 4.21 – 4.23. Поддачи при развертывании стали и чугуна определяются из таблицы 4.21. В зависимости от условий и требований применяются три группы подач: I – при предварительном развертывании под последующий проход чистовой разверткой, II – при чистовом развертывании за один проход по 8 – 11-му квалитетам точности или с шероховатостью $Ra > 2,5$ мкм, III – при чистовом проходе после предварительного развертывания отверстий по 7-му квалитету точности или с шероховатостью поверхности $Ra < 2,5$ мкм. В таблице приведены поддачи для обработки сквозных отверстий. При развертывании глухих (полуоткрытых) отверстий рекомендуются поддачи в пределах 0,2 – 0,5 мм/об.

Таблица 4.18 – Поддачи при зенкерованием стали и чугуна инструментом из Р6М5, мм/об

D зенкера	Сталь		Чугун	
	I	II	I	II
15	0,5 – 0,6	0,4 – 0,45	0,7 – 0,9	0,5 – 0,7
20	0,6 – 0,7	0,45 – 0,5	0,9 – 0,11	0,6 – 0,7
25	0,7 – 0,9	0,5 – 0,6	1,0 – 1,2	0,7 – 0,8
30	0,8 – 1,0	0,6 – 0,7	1,1 – 1,3	0,8 – 0,9
35	0,9 – 1,1	0,6 – 0,7	1,2 – 1,5	0,9 – 1,0
40	0,9 – 1,2	0,7 – 0,8	1,4 – 1,7	1,0 – 1,1
50	1,0 – 1,3	0,8 – 0,9	1,6 – 2,0	1,1 – 1,3
60	1,1 – 1,3	0,85 – 0,9	1,8 – 2,2	1,2 – 1,4
80	1,2 – 1,5	0,9 – 1,1	2,0 – 2,4	1,4 – 1,6

Таблица 4.19 – Скорость резания при зенкерованием стали инструментом из Р6М5, м/мин

D мм	a мм	Поддача S мм / мин							
		0,3	0,42	0,56	0,75	1,0	1,3	1,8	2,4
15-35	0,5-1,0	29,5	25,5	22	19	16,4	14,1	12,2	10,5
	1,1-2,0	26	22,5	19,3	16,7	14,4	12,4	10,7	9,3
	>2	23,5	20	17,3	15	12,9	11,1	9,6	8,3
36-80	0,5-1,0	27	23	19,9	17,2	14,8	12,8	11	9,5
	1,1-2,0	23,5	20,5	17,5	15,1	13	11,2	9,7	7,2
	>2	21	18	15,6	13,4	11,6	10	8,6	6,4

Таблица 4.20 – Скорость резания при зенкерованием чугуна инструментом из Р6М5, м/мин

D мм	a мм	Поддача S мм / мин							
		0,3	0,42	0,56	0,75	1,0	1,3	1,8	2,4
15-35	0,5-1,0	31	27,5	24,5	22	19,5	17,3	15,4	13,7
	1,1-2,0	29	26	23	20,5	18,2	16,2	14,4	12,8
36-80	1,0-2,0	28	25	22	19,7	17,5	15,5	13,8	12,3
	2,1-3,0	27	24	21	18,8	16,7	14,8	13,2	11,7
Поверхность		Без корки				С литейной коркой			
K_V		1,0				0,8			

Таблица 4.21 – Подачи при развертывании стали и чугуна инструментом из Р6М5, мм/об

<i>D</i> развертки	Сталь			Чугун		
	I	II	III	I	II	III
До 10	0,8	0,7	0,5	1,7	1,4	1,0
До 15	0,9	0,8	0,6	1,9	1,5	1,2
До 20	1,0	0,8	0,7	2,0	1,7	1,4
До 25	1,1	0,9	0,8	2,2	1,9	1,5
До 30	1,2	1,0	0,8	2,4	1,9	1,5
До 35	1,3	1,0	0,9	2,6	2,0	1,5
До 40	1,4	1,2	1,0	2,7	2,0	1,7
До 50	1,5	1,4	1,2	3,1	2,3	1,9
До 60	1,7	1,5	1,4	3,4	2,6	2,2
До 80	2,0	1,7	1,5	3,8	2,7	2,6

Таблица 4.22 – Скорость резания при предварительном развертывании стали инструментом из Р6М5, м/мин

<i>D</i> разв.	Подача <i>S</i> мм/об до									
	0,5	0,63	0,80	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0
< 20	14,3	13,0	10,6	9,2	7,9	6,8	5,9	5,1	4,4	3,8
> 20	13,0	10,6	9,2	7,9	6,8	5,9	5,1	4,4	3,8	3,3

Таблица 4.23 – Скорость резания при чистовом развертывании стали инструментом из Р6М5, м/мин

<i>Ra</i> , мкм	Скорость резания, м/мин
0,63 – 1,25	2 – 3
1,25 – 2,5	4 – 5

Таблица 4.24 – Скорость резания при развертывании чугуна (7 – 9-ый квалитет точности и *Ra*=0,63 – 1,25 мкм) инструментом из Р6М5, м/мин

<i>D</i> разв.	Подача <i>S</i> , мм/об до								
	0,62	0,79	1,0	1,3	1,6	2,0	2,6	3,3	4,1
< 20	10,4	9,3	8,2	7,3	6,5	5,8	5,1	4,6	4,1
> 20	9,3	8,2	7,3	6,5	5,8	5,1	4,6	4,1	3,6

Таблица 4.25 – Подачи при развертывании конических отверстий в деталях из стали и чугуна инструментом из Р6М5, мм/об

Материал	Обработка	Диаметр предварительно просверленного отверстия, до					
		10	15	20	25	30	40
Сталь	Предв.	0,1	0,15	0,20	0,30	0,40	0,55
	Чист.	0,08	0,11	0,13	0,15	0,18	0,22
Чугун серый	Предв.	0,15	0,20	0,22	0,30	0,35	0,40
	Чист.	0,10	0,15	0,18	0,22	0,25	0,30

Таблица 4.26 – Скорости резания при развертывании конических отверстий инструментом из Р6М5, мм/об

Обр. материал	Характер обработки	Скорость, м/мин
Сталь	Предварительная	6,0
	Чистовая	4,0
Серый чугун	Предварительная	7,0
	Чистовая	5,0
Твердость HB	143 – 229	170 – 255
Поправочный коэф.	1,0	0,89
		197 – 269
		0,79

4.6 Контроль размеров и взаимного расположения отверстий

Контроль размеров отверстий в производственных условиях в зависимости от требуемой точности можно осуществлять с помощью штангенциркулей, калибров, микрометрических и индикаторных нутромеров. Штангенциркули (цена деления нониуса 0,1 – 0,05) целесообразно использовать при измерении размеров после сверления и зенкерования.

Калибры для проверки диаметра цилиндрического отверстия после зенкерования и развертывания показаны на рисунке 4.35. Проходной калибр должен свободно входить в отверстие под действием силы тяжести, а непроходной – не

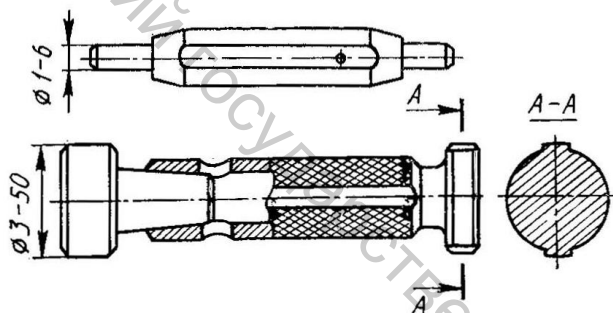


Рисунок 4.35 – Пробки для контроля

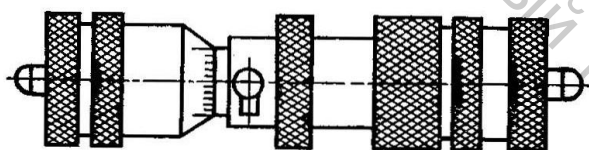


Рисунок 4.36 – Микрометрический нутромер

плект этого нутромера входят сменные удлинители, увеличивающие пределы измерения.

Индикаторные нутромеры (рисунок 4.37) выпускаются для контроля размеров от 3 до 1000 мм. Точность измерения в зависимости от используемого индикатора может быть 0,001, 0,002 или 0,01 мм. Индикаторные нутромеры требуют предварительной настройки по аттестованному кольцу. Для определения отклонения диаметра нутромер покачивают в плоскости осевого сечения отверстия: наибольшее показание индикатора соответствует отклонению.

Индикаторным нутромером можно проверить конусообразность и отклонение от цилиндричности. Для этого изме-

должен входить в отверстие более чем на длину, равную сумме размеров фасок калибра и отверстия.

Микрометрические нутромеры (рисунок 4.36) используются при измерении отверстий с диаметром, большим 50 мм. Точность измерения 0,01 мм. В ком-

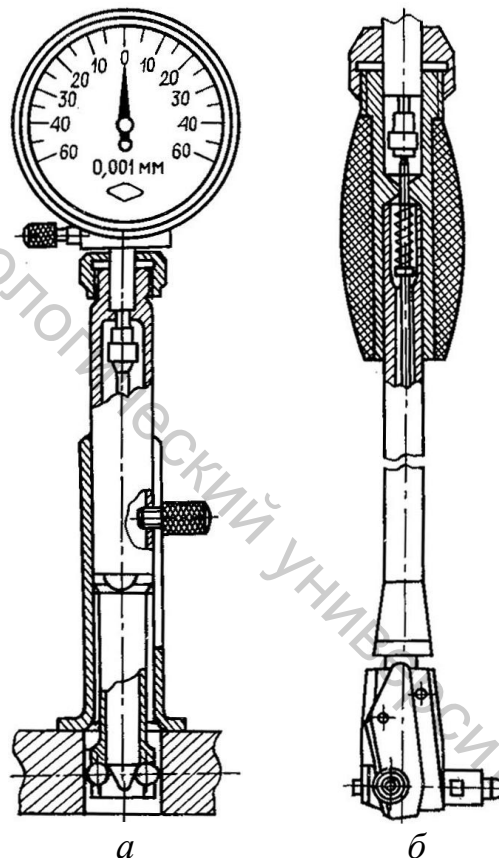


Рисунок 4.37 – Индикаторные нутромеры для измерения отверстий малого (а) и среднего (б) диаметров

рения ведут в нескольких сечениях вдоль и соответственно поперек оси отверстия.

Расстояние между осями параллельных отверстий можно измерить штангенциркулем или калибром (рисунок 4.38). Применяются также калибры для контроля соосности (рисунок 4.39).

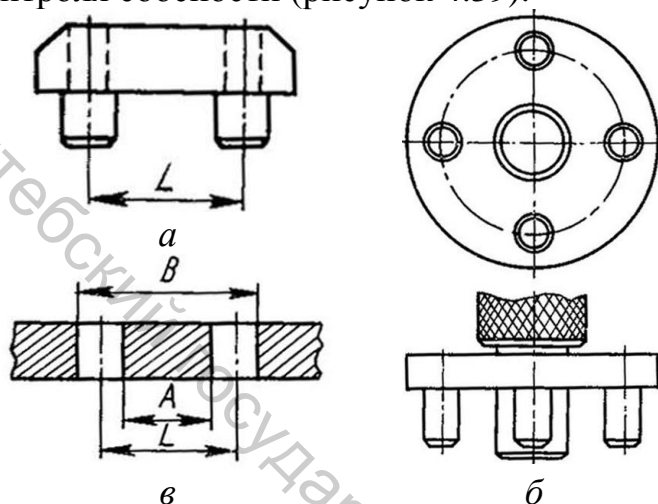


Рисунок 4.38 – Калибры для контроля расстояний между осями отверстий

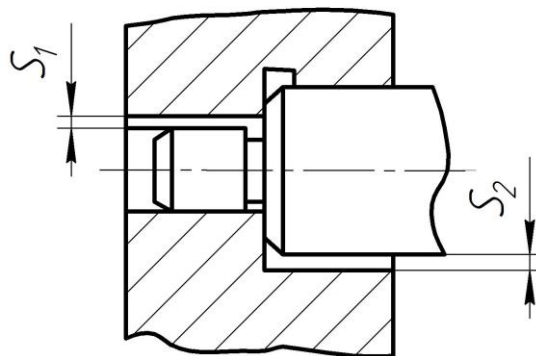


Рисунок 4.39 – Калибр для контроля соосности

4.7 Вопросы для самоконтроля

1. Для чего предназначены сверлильные станки?
2. В чем отличие радиально-сверлильных станков от вертикально-сверлильных?
3. Назовите главные компоненты технологической системы вертикально-сверлильного станка.
4. Какие компоненты технологической системы вертикально-сверлильного станка совершают главное движение?
5. Какие компоненты технологической системы вертикально-сверлильного станка совершают движение подачи?
6. Как осуществляется перемещение стола вертикально-сверлильного станка?
7. Назовите главные компоненты технологической системы радиально-сверлильного станка.
8. Какие компоненты технологической системы радиально-сверлильного станка совершают главное движение?
9. Какие компоненты технологической системы радиально-сверлильного станка совершают движение подачи?
10. Из каких конструктивных элементов состоит сверло?
11. Какими способами достигается повышение производительности и точности обработки отверстий сверлением?
12. Для чего применяются сверла повышенной жесткости?
13. За счет чего повышается жесткость сверл, разработанных К.Н. Кирил-

ловым?

14. Чем отличаются от обычных сверл четырехленточные сверла?
15. Чем отличаются от обычных сверл сверла для обработки отверстий в высокомарганцовистых сталях?
16. Какие преимущества имеют сверла конструкции А. С. Черепанова (с закругленными режущими кромками, оснащенные пластинками из твердого сплава) в отличие от обычных сверл?
17. Для чего используют спиральные сверла с канавками и выступами на стружечной канавке?
18. Какие преимущества имеют сверла с канавками и выступами на стружечной канавке по сравнению с обычными сверлами?
19. Что такое «глубокое сверление»?
20. Чем отличаются специальные спиральные сверла для глубокого сверления от обычных сверл?
21. Каково назначение зенкера?
22. Какие поверхности обрабатываются зенкерами?
23. Чем отличается зенкер от сверла?
24. Какие зенкеры применяют для обработки глубоких отверстий?
25. Как делятся зенкеры по типу крепления на станке?
26. Как выбирается диаметр зенкера для предварительной и окончательной обработки?
27. Что учитывают при выборе числа канавок зенкера?
28. В зависимости от чего рекомендуется определять угол наклона ω винтовой канавки зенкера?
29. Для чего служат узкие цилиндрические ленточки на перьях зенкера?
30. Для чего используют зенковки?
31. Чем зенковка отличается от зенкера?
32. Для чего применяются развертки?
33. Назовите основное отличие развертки от сверла и зенкера.
34. Из каких частей состоит развертка?
35. Какие факторы учитываются при выборе диаметра развертки?
36. От чего зависит длина развертки?
37. Как влияет длина рабочей части развертки на направление развертки в отверстиях и шероховатость обработанной поверхности?
38. Как и почему распределяются зубья развертки по окружности?
39. На что и как влияет угол в плане режущей части развертки?
40. Почему величина обратной конусности у ручной и машинной разверток неодинакова?
41. В каких пределах находится допускаемое биение зубьев режущей и калибрующей частей разверток при диаметре развертки 3 – 30 мм и IT = 6?
42. Для чего предназначены конические развертки?
43. Для чего применяют комбинированные инструменты при обработке на сверлильных станках?
44. Назовите типы вспомогательных инструментов, применяемых при об-

работке на сверлильных станках.

45. Для чего при обработке на сверлильных станках используют переходные конические втулки?

46. Для чего при обработке на сверлильных станках используют разрезные конусные втулки?

47. Для чего при обработке на сверлильных станках используются разрезные втулки с переходными оправками?

48. Для чего используются сверлильные двух- и трехкулачковые патроны?

49. Каким образом происходит закрепление инструмента в двух- и трехкулачковых патронах с ключом?

50. Какие недостатки имеют сверлильные патроны с ключом?

51. Каким образом происходит закрепление инструмента в трехкулачковые бесключевые патроны?

52. Для чего используются цанговые патроны?

53. Каким должно быть отклонение диаметра зажимаемого цилиндрического хвостовика от диаметра отверстия цангового патрона для его хорошей работы?

54. Для чего при обработке на сверлильных станках используются быстро-сменные патроны?

55. Для чего при обработке на сверлильных станках применяют самоустанавливающиеся патроны?

56. Какие типы самоустанавливающихся патронов вы знаете?

57. Для чего при обработке на сверлильных станках применяют предохранительные самовыключающиеся патроны?

58. В каких случаях применяют нарезание резьбы самозатягиванием, а в каких – с принудительной подачей метчика?

59. Как устанавливается и закрепляется обрабатываемая заготовка при обработке на сверлильных станках?

60. Как при обработке на сверлильных станках происходит совмещение оси сверла (или другого инструмента) с осью будущего отверстия?

61. Какие типы кондукторных втулок вы знаете?

62. Для чего при обработке на сверлильных станках применяют постоянные кондукторные втулки без буртика?

63. В каких случаях при обработке на сверлильных станках используют сменные кондукторные втулки?

64. Дайте определение понятию «скальчатый кондуктор».

65. Какие типы скальчатых кондукторов нашли наибольшее применение при обработке на сверлильных станках?

66. Назовите последовательность обработки цилиндрического отверстия $d = 10$ мм IT = 7 и используемый при этом набор инструментов.

67. Назовите последовательность обработки цилиндрического отверстия $d = 5$ мм IT = 10 и используемый при этом набор инструментов.

68. Назовите последовательность обработки цилиндрического отверстия $d = 24$ мм IT = 6 и используемый при этом набор инструментов.

69. Назовите последовательность обработки цилиндрического отверстия $d = 15$ мм IT = 9 и используемый при этом набор инструментов.
70. Назовите последовательность обработки цилиндрического отверстия $d = 45$ мм IT = 7 и используемый при этом набор инструментов.
71. От чего зависит подача при сверлении?
72. От чего зависит скорость резания при сверлении?
73. От чего зависит подача при зенкеровании?
74. От чего зависит скорость резания при зенкеровании?
75. От чего зависит подача при развертывании?
76. От чего зависит скорость резания при развертывании?
77. С помощью каких мерительных инструментов осуществляется контроль размеров отверстий при обработке на сверлильных станках?
78. Для чего используют индикаторные нутромеры?

5 ОБРАБОТКА НА РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ (работа № 5)

5.1 Основные компоненты станков

5.1.1 Горизонтально-расточной станок

Общий вид горизонтально-расточного станка с неподвижной стойкой модели 262Г представлен на рисунке 5.1. На рисунке 5.2 представлены основные узлы расточного станка модели 2620.

Станина имеет коробчатую форму с внутренними ребрами жесткости. Направляющие станины в зоне шпиндельной бабки 2 закрыты кожухами, прикрепленными к нижним саням стола 4. В правой нижней части станины смонтирован привод подачи станка. Передняя стойка имеет специальное исполнение с целью повышения ее жесткости и виброустойчивости за счет рационального расположения ребер жесткости и формы их поперечного сечения. По вертикальным направляющим передней стойки 1 перемещается вверх и вниз шпиндельная бабка 2, для уравнивания которой имеется противовес. Он расположен с задней стороны стойки и связан со шпиндельной бабкой тросом, пропущенным через блоки, закрепленные на стойке. Передняя стойка закреплена на правом уширенном конце станины. На рисунке 5.2 показаны также задняя стойка 6, дублирующий пульт управления 5, электрошкаф 3 и электромашинный агрегат 7.

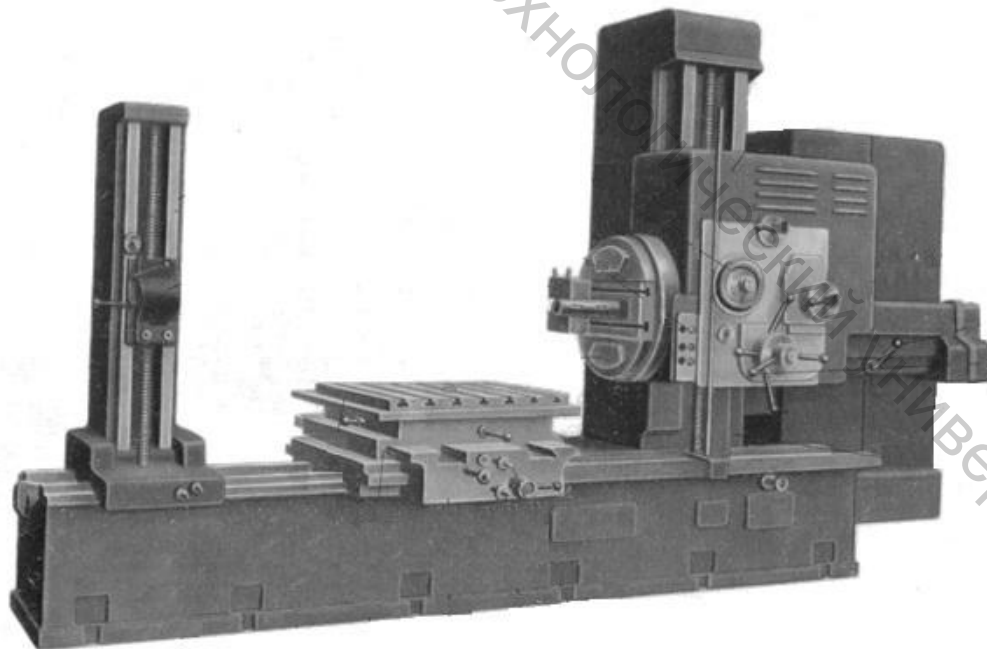


Рисунок 5.1 – Общий вид горизонтально-расточного станка мод. 262Г

Вес станка – 12000 кг. Габарит: длина 5070 мм, ширина 2250 мм, высота 2755 мм. Диаметр расточки шпинделем – 240 мм; наибольшая длина расточки шпинделем – 600 мм; диаметр торцевой и наружной обточки суппортом планшайбы – 450 мм; наибольшая длина расточки и обточки суппортом планшайбы 400 мм; наибольший диаметр сверла (по конусу шпинделя) – 65 мм; наибольший допускаемый вес изделия – 2000 кг.

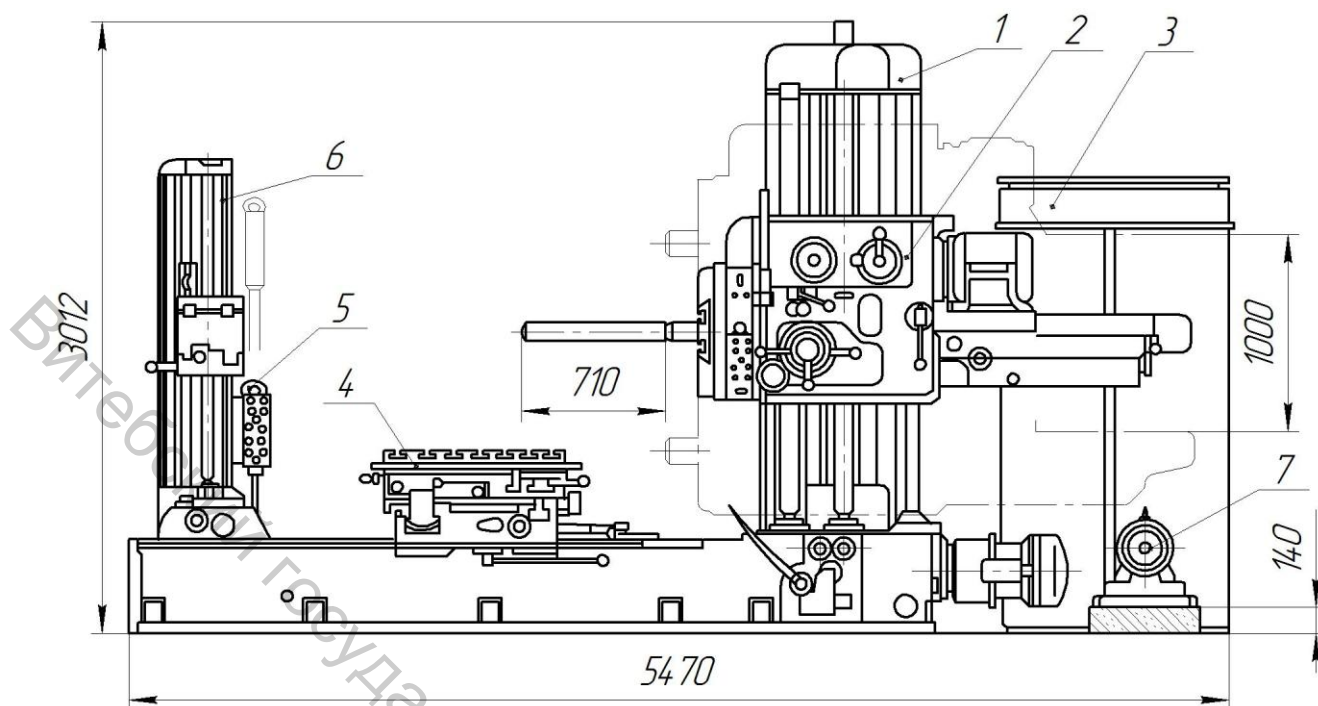


Рисунок 5.2 – Основные узлы станка модели 2620

Шпиндельная бабка представляет собой жесткую чугунную коробку-корпус, внутри и снаружи которой смонтированы отдельные, связанные между собой подузлы и механизмы: главный электродвигатель станка (снаружи) – шпиндельное устройство (внутри); планшайба с радиальным суппортом; коробка скоростей; механизм привода и распределения перемещений расточного шпинделя и радиального суппорта (внутри); хвостовая часть; механизмы управления станком; насос для смазки привода главного движения, плунжерный масляный насос для смазки направляющих и др.

На рисунке 5.3 показана планшайба с радиальным суппортом станка 262Г.

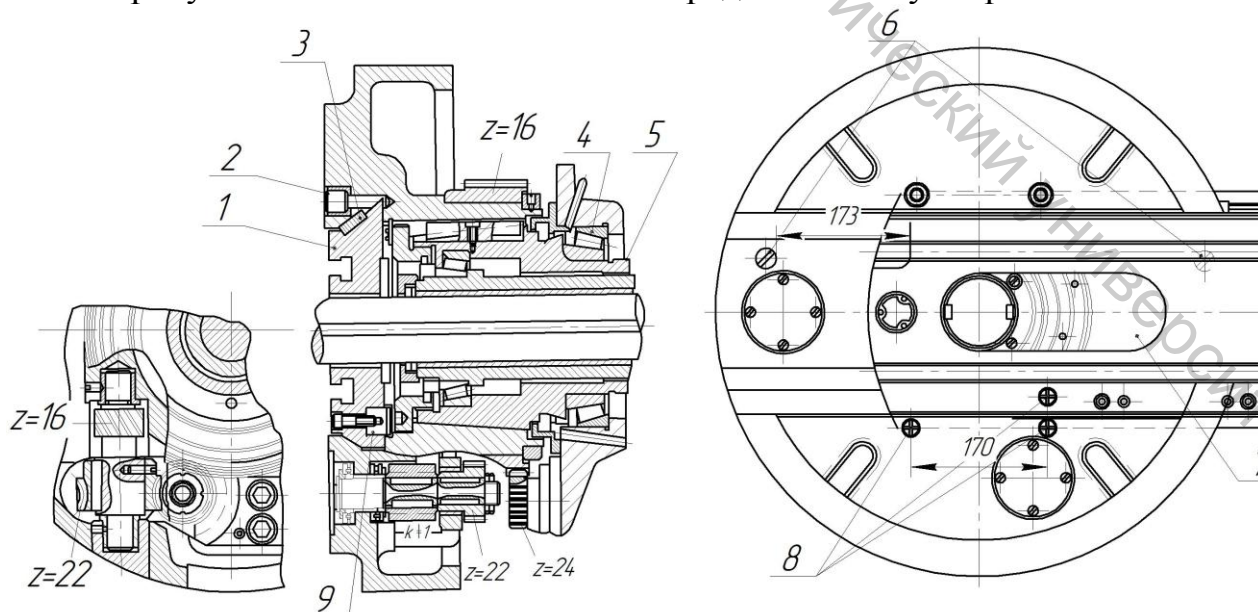


Рисунок 5.3 – Планшайба с радиальным суппортом станка 262Г

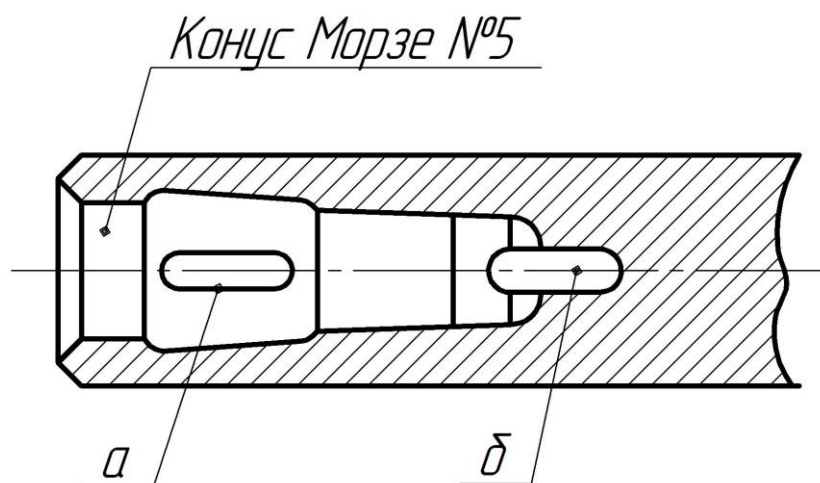


Рисунок 5.4 – Головная часть расточного Шпинделя

Полый шпиндель планшайбы большого диаметра смонтирован на прецизионных конических роликоподшипниках 4, размещенных в отверстиях передней и внутренней (промежуточной) стенок бабки. По направляющим планшайбы, имеющим форму ласточкина хвоста, может перемещаться радиальный суппорт 1. Для выборки зазора между направляющими планшайбы суппорта помещен регулируемый (с помощью винтов) клин 3.

Для зажима радиального суппорта имеются два специальных плунжерных (нажимных) винта 2 на торце планшайбы. Перемещение суппорта по направляющим ограничено двумя упорными винтами 6 во избежание соприкосновения стенок окна 7 радиального суппорта с расточным шпинделем, при совмещенной работе последних. Максимальное перемещение суппорта по планшайбе составляет 170 мм и отмечается указателями 8.

Подача радиального суппорта включается и выключается независимо от подачи расточного шпинделя с помощью планетарной передачи, расположенной в механизме распределения подач шпиндельной бабки.

Зубчатый венец $z = 116$, сидящий свободно на ступице планшайбы, связан с планетарной передачей посредством шестерни $z = 24$. Он сообщает движение суппорту через шестерню $z = 22$, червячную передачу $k = 1$, $z = 22$ и косозубую шестерню $z = 16$, находящуюся в зацеплении с рейкой 9, привинченной к суппорту.

Суппорт имеет два Т-образных паза для крепления инструмента.

Конец расточного шпинделя представлен на рисунке 5.4.

Управление станком осуществляется с помощью рукояток и кнопок. Расположение и назначение органов управления горизонтально-расточного станка приведены на рисунке 5.5 и в таблице 5.1.

Значения частоты вращения шпинделя и планшайбы n представлены в таблице 5.2, а подачи в таблице 5.3.

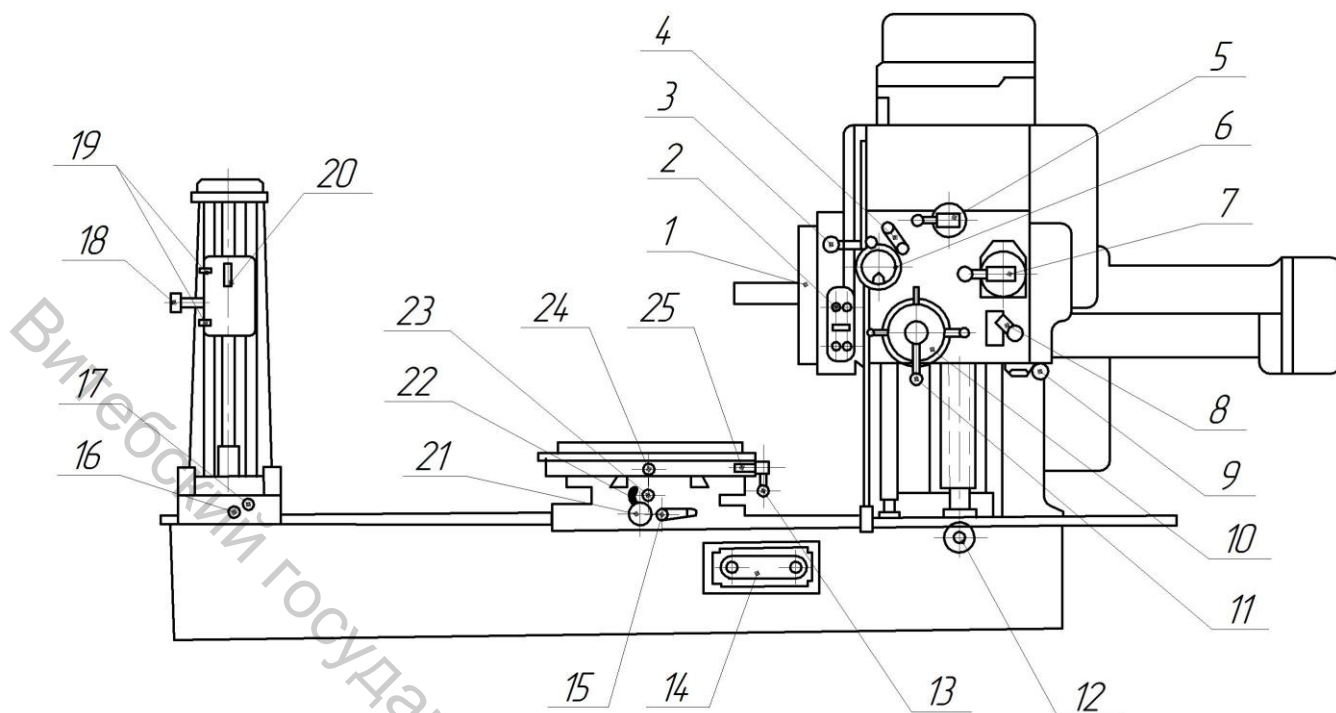


Рисунок 5.5 – Органы управления горизонтально-расточного станка мод. 262Г

5.1.2 Вертикально-расточной станок

Станки этого типа исполняются одностоечными и двухстоечными (портальными).

Они предназначены для сверления и растачивания точных отверстий с весьма точным взаимным расположением осей, а также для разметки и применяются в инструментальных цехах и цехах приспособлений для изготовления кондукторов, приспособлений, штампов, пресс-форм и т. п., а также в производственных механических цехах для обработки деталей высокой точности.

Таблица 5.1 – Спецификация органов управления

№	Назначение органа
1	2
1	Зажим суппорта планшайбы
2	Пуск, остановка и поворачивание шпинделя и планшайбы
3	Включение подачи или установочного перемещения
4	Включение планшайбы
5	Изменение подач
6	Точное ручное перемещение шпинделя, суппорта планшайбы шпиндельной бабки и стола
7	Изменение скоростей
8	Зажим шпинделя
9	Зажим шпиндельной бабки
10	Ручное перемещение суппорта планшайбы и включение подачи суппорта планшайбы

Окончание таблицы 5.1.

1	2
11	Ручное перемещение шпинделя и включение подачи шпинделя
12	Ручное перемещение шпиндельной бабки
13	Упор для поворота стола
14	Электрическая цепь управления и освещения
15	Подача шпиндельной бабки и стола
16	Ручное перемещение задней бабки
17	Зажим задней стойки
18	Корректировка положения ползуна задней стойки
19	Зажим ползуна задней стойки
20	Зажим крышки люнета
21	Ручное перемещение стола вдоль станины
22	Зажим нижних саней стола
23	Ручное перемещение стола поперек станины
24	Зажим верхних саней стола
25	Зажим поворотного стола

К характерным особенностям этих станков относятся повышенная жесткость, особая тщательность обработки и сборки узлов и наличие специальных устройств, предназначенных для точной установки и точного отсчета перемещений. Требуемая точность координатных перемещений обеспечивается устройствами, компенсирующими неточность шага ходовых винтов, или оптическими приборами.

Таблица 5.2 – Частоты вращения шпинделя (ш) и планшайбы (п) станка 262Г

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ш	20	25	32	40	50	64	80	100	125	160	200	250	315	400	500
п	10	13	16	20	25	32	40	50	64	80	100	125	160	200	—
N	16	17	18												
ш	630	800	1000												
п	—	—	—												

Таблица 5.3 – Поддачи станка мод. 262Г

№ ступеней	Положение рукояток, ремня или сменных зубчатых колес	Поддачи на один оборот шпинделя, мм				Поддачи на один оборот планшайбы, мм			
		Шпинделя	Стола или шпиндельной стойки		Шпиндельной бабки	Суппорта планшайбы	Стола или шпиндельной стойки		Шпиндельной бабки
			прод.	попер.			прод.	попер.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Рукоятка переключения подач	0,05	0,025	0,025	0,025	0,025	0,05	0,05	0,05
2		0,07	0,035	0,035	0,035	0,035	0,07	0,07	0,07
3		0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1

Окончание таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4		0,13	0,07	0,07	0,07	0,07	0,13	0,13	0,13
5		0,19	0,09	0,09	0,09	0,09	0,19	0,19	0,19
6		0,27	0,13	0,13	0,13	0,13	0,27	0,27	0,27
7		0,37	0,19	0,19	0,19	0,19	0,37	0,37	0,37
8		0,52	0,26	0,26	0,26	0,26	0,52	0,52	0,52
9		0,74	0,37	0,37	0,37	0,37	0,74	0,74	0,74
10		1,03	0,52	0,52	0,52	0,52	1,03	1,03	1,03
11		1,43	0,72	0,72	0,72	0,72	1,43	1,43	1,43
12		2,05	1,03	1,03	1,03	1,03	2,05	2,05	2,05
13		2,9	1,42	1,42	1,42	1,42	2,9	2,9	2,9
14		4	2	2	2	2	4	4	4
15		5,7	2,9	2,9	2,9	2,9	5,7	5,7	5,7
16		8	4	4	4	4	8	8	8
17		11,1	5,6	5,6	5,6	5,6	11,1	11,1	11,1
18		16	8	8	8	8	16	16	16
Наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи в кг			шпинделя	стола			шп. бабки		
				поперечная		продольная			
			1300	1300	900	1300			

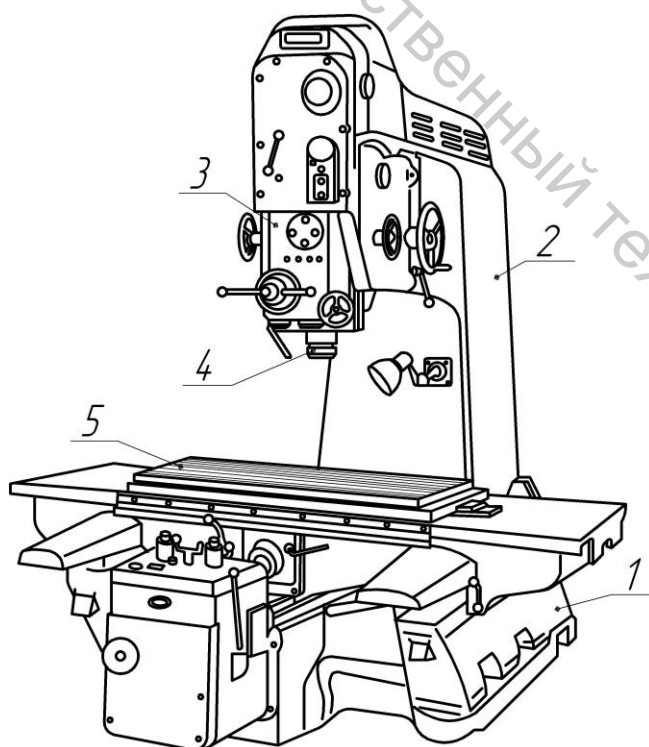


Рисунок 5.6 – Одностоечный координатно-расточной станок

Координатно-расточные станки устанавливаются в изолированных помещениях, в которых поддерживается постоянная температура (20°). Они обслуживаются рабочими высокой квалификации.

Одностоечный координатно-расточной станок модели 2450 (рисунок 5.6) имеет рабочую площадь стола 1000 x 600 мм. Станина 1 служит основанием для стойки 2, несущей шпиндельную бабку 3, и для салазок со столом 5. Шпиндель 4 получает главное вращательное движение и вертикальное перемещение подачи. Стол 5 можно перемещать в продольном и поперечном направлении.

Отсчет перемещений осуществляется с помощью двух оптических систем с точностью 0,001 мм.

5.2 Методы установки и закрепления заготовок

5.2.1 Универсальные крепежные детали и установочные приспособления

Различают три основных метода установки деталей на расточных станках:

- 1) деталь ставится непосредственно на поверхность стола или плиты;
- 2) деталь ставится на подкладки, бруски, угольники и призмы;
- 3) деталь устанавливается в специальные приспособления.

Единичные обрабатываемые детали, как правило, устанавливаются непосредственно на стол или плиту станка или на универсальные приспособления.

Время на установку, выверку и закрепление обрабатываемых деталей обычно составляет значительную часть времени, затрачиваемого на выполнение всей операции. Сокращение его обеспечивается применением различных приспособлений.

Для закрепления деталей на столе или плите станка обычно применяются прихваты (крепежные комплекты). Они состоят из шпильки 2, шайбы 3, гайки 4, сухаря 1, планки-прихвата 5 или 6 и подставки 7 (рисунок 5.7). Шпильки сменные; их делают разными по длине, что позволяет закреплять различные по высоте детали. Сухари 1 вставляются в Т-образные пазы столов или плит станков. Гайки изготавливаются закаленными с целью удлинения срока их службы.

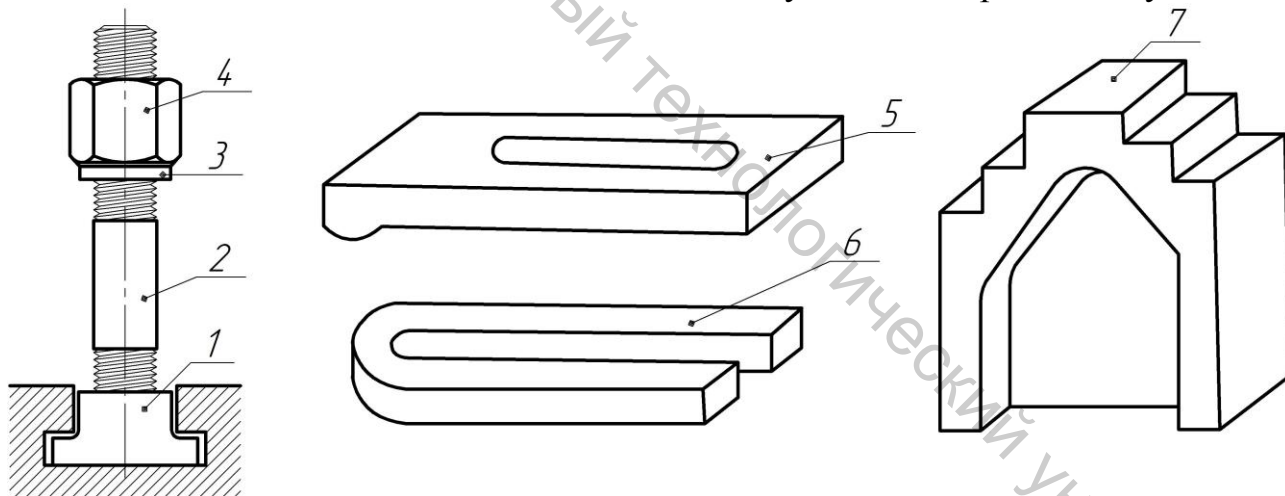


Рисунок 5.7 – Крепежный комплект для закрепления обрабатываемых деталей

Схема закрепления детали с помощью прихвата показана на рисунке 5.8 а. При закреплении необходимо, чтобы высота подставки была несколько больше высоты той части детали, на которую наложена планка-прихват и чтобы расстояние l_1 было меньше или равно l_2 , что позволяет обеспечить более надежное закрепление.

Использование подставок для крепления деталей различной высоты достигается приданием им ступенчатой формы. Обычно они изготавливаются трех типоразмеров: у первого наименьшая высота ступени 30 мм, наибольшая 70 мм; у

второго наименьшая высота 80 мм, наибольшая 120 мм; у третьего соответственно 130 и 170 мм.

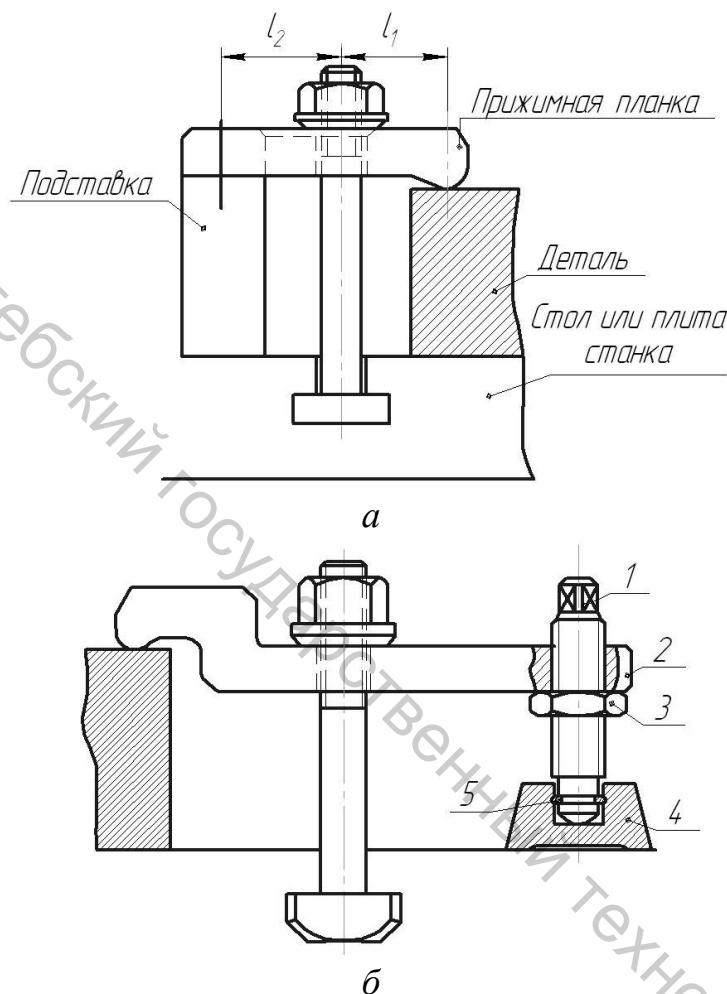


Рисунок 5.8 – Схема закрепления с помощью крепежных комплектов: а – с нерегулируемой подставкой; б – с регулируемой опорой

Наряду со ступенчатыми подставками, которые не всегда удобно применять, используют прихваты с регулируемой винтовой опорой (рисунок 5.8 б). Изменение высоты опоры производится путем заворачивания (или отвинчивания) винта 1 в резьбовое отверстие планки-прихвата 2; контргайка 3 законtringует винт в резьбовом отверстии. Самоустанавливающаяся пята 4 соединена с винтом пружинным кольцом 5.

Не рекомендуется применять крепежные комплекты с винтовой регулируемой опорой в тех случаях, когда для закрепления детали необходимо приложить значительные усилия.

5.2.2 Установка заготовки на стол или плиту станка

Процесс обработки на расточном станке состоит из установки детали, собственно обработки и снятия обработанной детали со станка.

Под установкой следует понимать совокупность приемов, состоящих из подготовки к установке, собственно установки детали, выверки и закрепления.

Эти работы выполняются в определенном порядке:

- 1) определяется местоположение детали на поверхности стола или плиты;
- 2) устанавливаются универсальные установочные приспособления (если таковые требуются);
- 3) предварительно закрепляются и выверяются универсальные установочные приспособления;
- 4) окончательно закрепляются установочные приспособления;
- 5) устанавливается деталь на стол или плиту (или приспособление) и предварительно закрепляется;

6) выверяется правильность положения обрабатываемой детали относительно станка;

7) окончательно закрепляется деталь.

Выполнение установки должно производиться с соблюдением следующих общих правил.

1. Размещение заготовки должно быть таким, чтобы обрабатываемые отверстия и поверхности были доступны для работы инструментом, связанным со шпинделем или суппортом планшайбы. Это проверяется перемещениями шпиндельной бабки в крайние верхнее и нижнее положения, стола (колонны) – в крайние левое и правое положения.

Несоблюдение этого правила может привести к тому, что обработка какого-либо отверстия или поверхности окажется невозможной.

2. Опорные поверхности должны быть такими, чтобы обеспечить устойчивое положение заготовки. Для этого необходимо, чтобы центр тяжести детали находился возможно ближе к середине опорной поверхности, если она одна, и возможно ближе к общему центру поверхностей, если деталей несколько.

3. Минимальное расстояние от торцевой поверхности детали, обращенной к шпиндельной бабке, до торца планшайбы (или конца шпинделя) должно быть не больше того, которое необходимо для установки или смены инструмента и производства измерения.

4. Точки приложения усилий закрепления должны быть размещены так, чтобы направление вектора развиваемой силы не выходило за пределы поверхностей опор. На рисунке 5.9 показаны примеры правильных и неправильных положений опор.

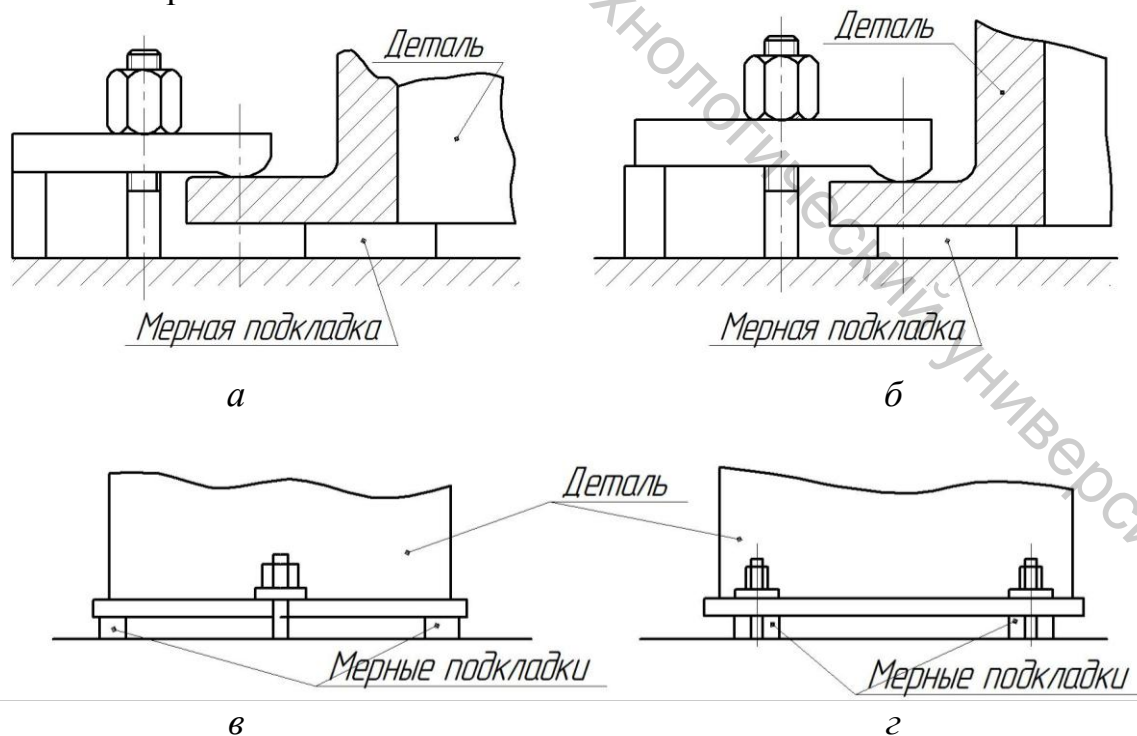


Рисунок 5.9 – Положение опор относительно прихватов, закрепляющих деталь: а, в – неправильное, б, г – правильное

Как упоминалось, базовые опорные поверхности могут быть необработанными, обработанными предварительно (неточно) и точно обработанными.

Установка заготовок с необработанными опорными поверхностями нежелательна, так как при использовании таких поверхностей не обеспечивается жесткое и прочное закрепление. Выверка деталей с необработанными базами затруднена.

При установке на необработанные поверхности не допускается непосредственно ставить деталь на поверхность стола, плиты или на поверхности точных универсальных приспособлений; обязательно применение промежуточных подкладок, клиновых домкратов и т. п.

Заготовки с обработанными опорными базовыми поверхностями можно устанавливать на поверхности стола или на пластинчатые опоры приспособлений.

Заготовки с точно обработанными плоскими основаниями, у которых оси растачиваемых отверстий параллельны основанию, а обрабатываемые поверхности перпендикулярны ему, устанавливаются непосредственно на поверхность стола станка (рисунок 5.10 а). Однако самая тщательная и точная обработка плоской поверхности основания не может гарантировать плотный ее контакт с поверхностью стола.

Для того чтобы имелась возможность проверить плотность прилегания между поверхностью стола и заготовки, прокладываются, например, полоски тонкой бумаги (толщиной 0,005–0,05 мм) в тех местах, где намечено закреплять деталь. Проверка плотности прилегания производится вытягиванием полосок бумаги из-под детали.

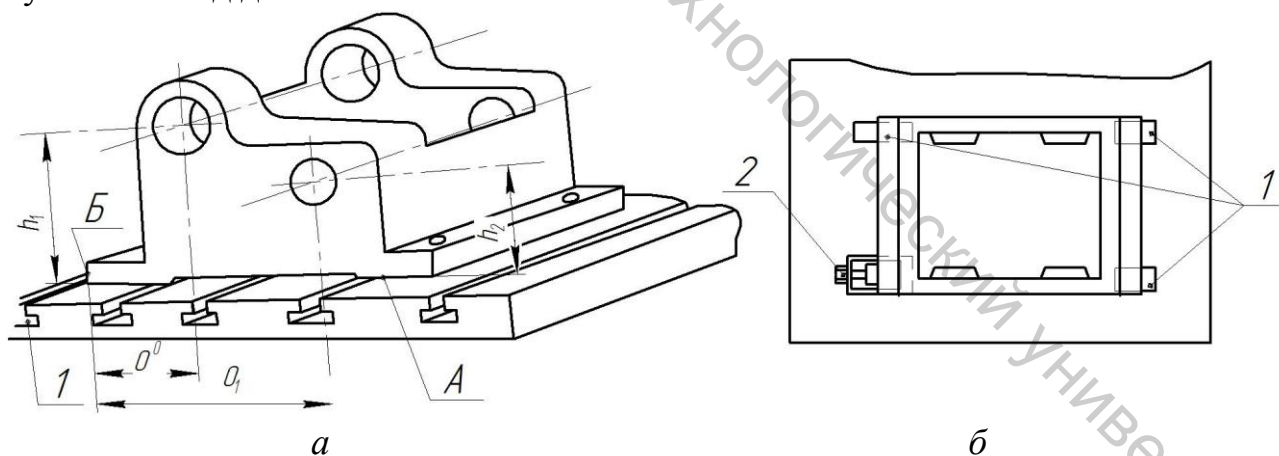


Рисунок 5.10 – Установка детали с плоским основанием на стол станка:

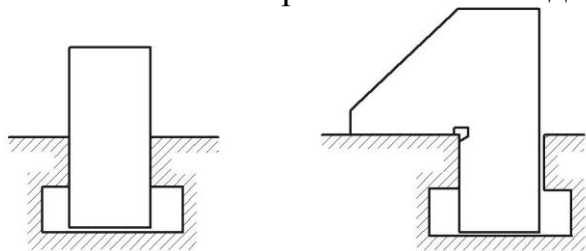
а – деталь с точным плоским основанием; А – основание детали;

Б – вспомогательная базовая поверхность; б – схема размещения подкладок и клинового домкрата при установке детали с неточным плоским основанием:

1 – подкладки; 2 – клиновой домкрат

Плотность прилегания опорной поверхности и зазор могут быть также проверены и измерены щупом. Набор щупов № 1 состоит из восьми пластин; самая тонкая пластина имеет толщину 0,03 мм, остальные разнятся по толщине на 0,01 мм.

Заготовки с плоскими, но неточно обработанными основаниями следует устанавливать на мерные плоские подкладки.



Подкладки ставятся под три угла (рисунок 5.10 б) опорной поверхности детали, чем обеспечивается в соответствии с правилом трех точек контакт ее с каждой из подкладок. Под четвертый угол вводится клиновой домкрат, положение которого регулируется по высоте.

Заготовки с необработанными основаниями обычно устанавливают на регулируемые по высоте клиновые или винтовые домкраты. Клиновые домкраты как наиболее жесткие обеспечивают возможность более прочного закрепления детали.

У многих деталей обрабатываемые отверстия должны быть параллельны не только основаниям, но и боковым базовым опорным поверхностям. Когда последние обработаны и находятся у основания

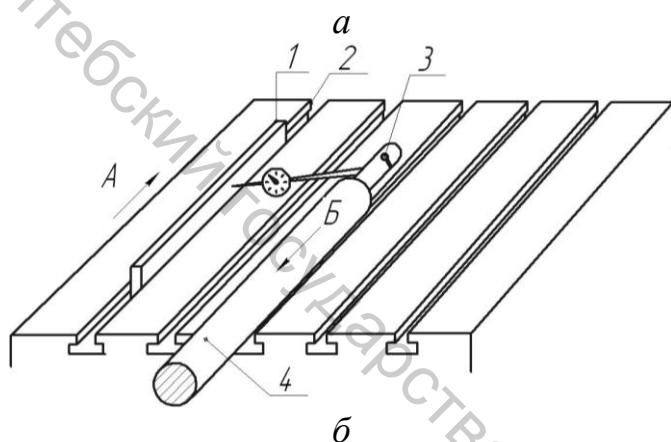


Рисунок 5.11 – Установка пазовых брусков (а) и схема выверки положения пазовых брусков на параллельность шпинделю станка (б); направление перемещений при выверке: стол по стрелке А; шпиндель по стрелке Б

детали, как, например, поверхность Б у детали, изображенной на рисунке 5.10 а, то в целях упрощения и ускорения установки применяются пазовые бруски 1 или планки; их устанавливают в паз стола (рисунок 5.11 а) и выверяют с помощью индикатора 2 (рисунок 5.11 б). Индикатор закреплен в оправке 3, установленной в конусное отверстие шпинделя 4. Мерительный штифт индикатора вводится в контакт с поверхностью бруска-планки. Шпинделю или столу станка сообщаются продольные перемещения, причем замечаются отклонения стрелки индикатора в крайних положениях. Неточность положения планки устраняется поворотом стола. После выверки обрабатываемую деталь устанавливают на стол станка и поджимают винтовыми прижимами до получения контакта с бруском-планкой.

Имеются детали, у которых плоские опорные поверхности основания находятся не на одной высоте или расположены так, что ниже их имеются необработанные поверхности или обработанные, но не базовые поверхности. Такие детали устанавливают на брусках (рисунок 5.12), причем последние устанавливают и выверяют независимо от детали и прочно закрепляют. Когда деталь необходимо установить по боковой базовой поверхности, один из брусков может выполнять роль пазового бруска-планки. К его вертикальной плоской поверхности деталь прижимается боковой базовой поверхностью.

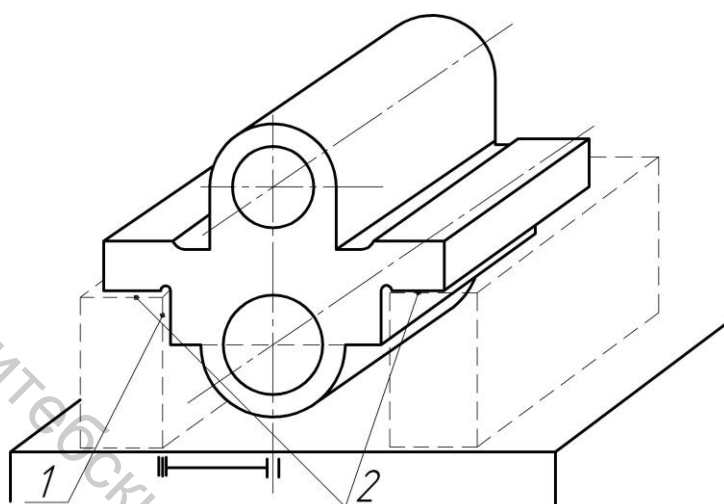


Рисунок 5.12 – Схема установки детали с разделенными базовыми опорными поверхностями: 1 – базовая боковая опорная поверхность; 2 – базовые установочные опорные поверхности

При разности высот поверхностей основания обычно на один из брусков дополнительно ставят необходимое число мерных плоских подкладок.

Плотность прилегания опорных поверхностей к поверхностям брусков проверяется так же, как и при установке обрабатываемых деталей непосредственно на поверхность стола.

Детали, у которых надо обработать взаимно-перпендикулярные отверстия и поверхности с двух, трех и

четырёх сторон (причем эти отверстия параллельны основанию, а поверхности перпендикулярны ему) должны устанавливаться с таким расчетом, чтобы обеспечивалась возможность выполнить их обработку с одной установки. Этим обеспечиваются сокращение объема работ и повышение точности, так как при каждой новой установке вносятся некоторые, неизбежные погрешности. Рассматриваемые детали устанавливают на поворотных столах (рисунок 5.13) таким образом, чтобы каждое обрабатываемое отверстие и поверхность отстояли от торца планшайбы станка примерно на равном и возможно минимальном расстоянии.

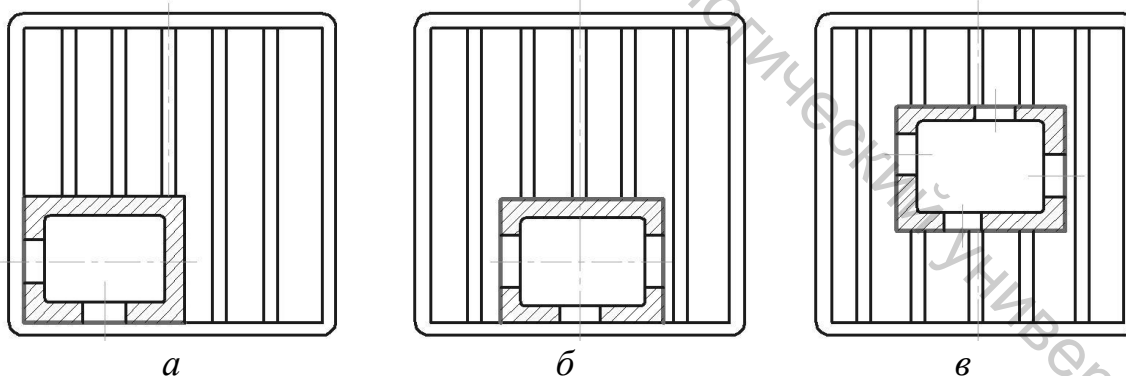


Рисунок 5.13 – Схема расположения детали при обработке: а – с двух сторон; б – с трех сторон; в – с четырех сторон

Многие детали для обеспечения правильной обработки необходимо установить так, чтобы их основания занимали не параллельное, а перпендикулярное положение относительно поверхности стола.

Для этих целей применяются угольники (рисунок 5.14), к вертикальным поверхностям которых прижимают обрабатываемые детали основаниями. На угольники устанавливают детали, у которых требуется:

- а) расточить отверстия, оси которых перпендикулярны основанию;

б) обработать поверхности, параллельные основанию;

в) расточить отверстия или обработать поверхности, расположенные под некоторым углом к основанию.

До закрепления обрабатываемых заготовок производят установку и выверку угольника, который размещают на столе так, чтобы обеспечивались доступность обработки с двух, трех и четырех сторон и хороший обзор в процессе обработки.

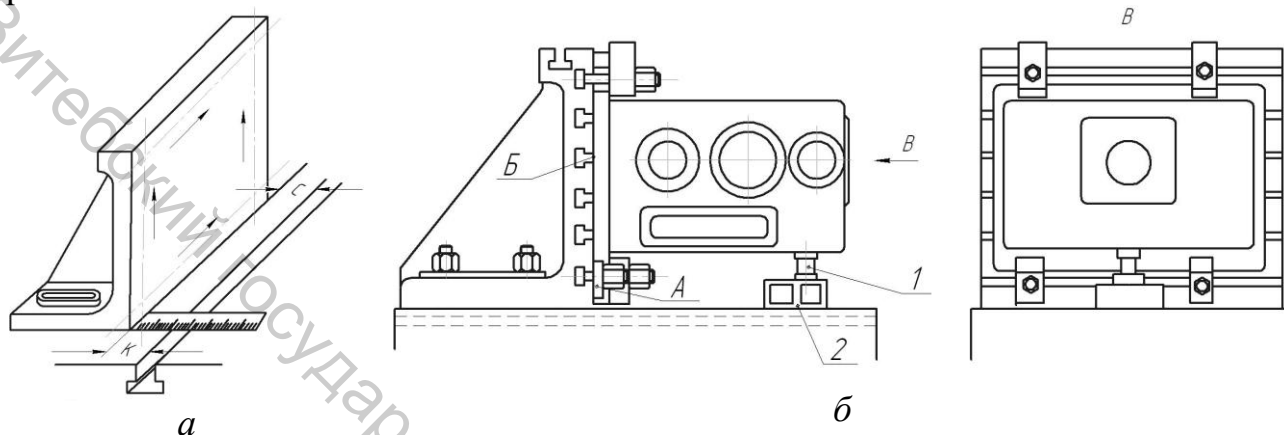


Рисунок 5.14 – Схема выверки угольника (а) и установка корпуса на угольнике (б)

Предварительная установка угольника производится параллельно одному из пазов стола станка (рисунок 5.14 а). Для этого от кромки паза до вертикальной поверхности угольника откладываются равные расстояния c и k .

Дополнительная выверка положения осуществляется при помощи индикатора, мерительный штифт которого обходит путь, указанный стрелками. После выверки производят окончательное закрепление угольника.

На рисунке 5.14 б показан пример установки корпусной детали на угольнике. Если деталь относительно высока, то под действием силы тяжести она может несколько провисать, а при обработке отжиматься и вибрировать под воздействием составляющих силы резания.

Следует заметить, что при установке заготовки на угольник жесткость системы понижается.

Это устраняется подведением под деталь дополнительных одной или двух опор. В качестве таких опор 1 применяют винтовые или клиновые домкраты. Если высота домкратов недостаточна, их устанавливают на плоскую подкладку или брусок 2.

Заготовки, у которых опорные базовые поверхности имеют цилиндрические формы, устанавливают на призмы. Короткие детали устанавливают на одну призму, длинные – на две (рисунок 5.15 а). Выверка призм производится по контрольному валику произвольного диаметра. Если у заготовки растачиваемые отверстия должны быть параллельны осям базовых опорных поверхностей, то цилиндрическая поверхность контрольного валика должна быть параллельна шпинделю в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Выверка делается по схеме, изображенной на рисунке 5.15 б.

Если растачиваемые отверстия должны быть перпендикулярны осям опорных поверхностей заготовки, цилиндрическая поверхность контрольного валика должна быть перпендикулярна шпинделю. Эта выверка выполняется по схеме (рисунок 5.15 в).

Со шпинделем связывается приспособление, называемое перекидкой (см. рисунок 5.15 б).

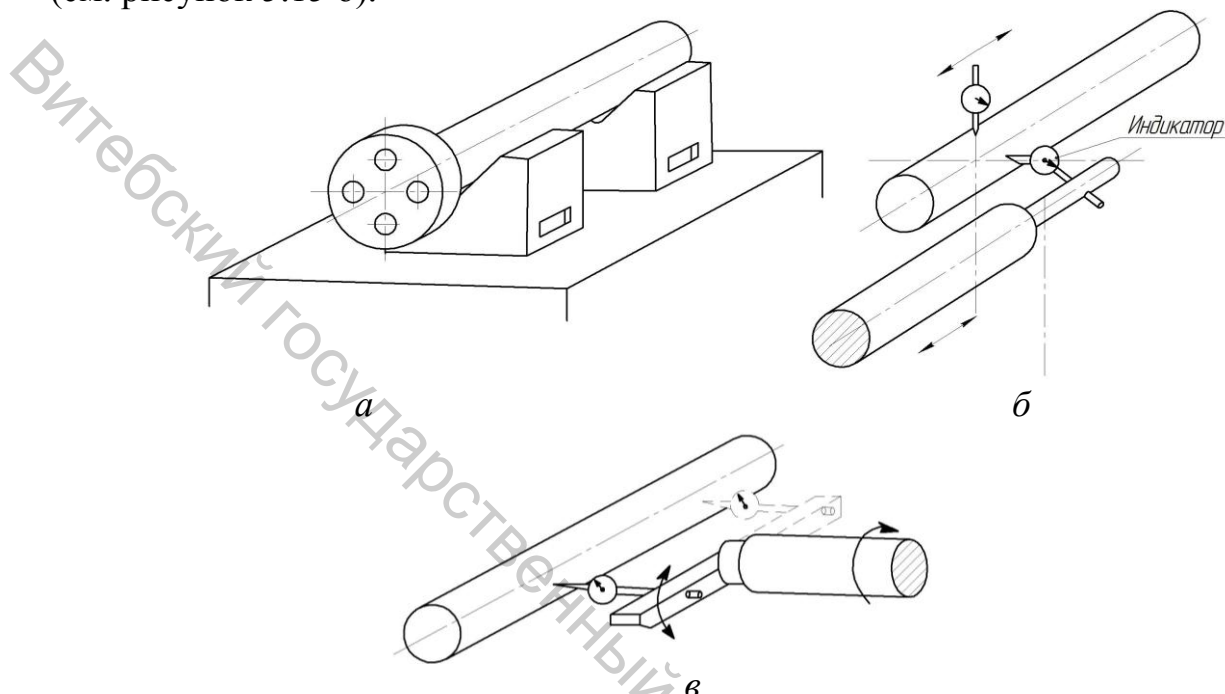


Рисунок 5.15 – Установка и выверка деталей на призмах

Мерительный штифт индикатора вводится в контакт с цилиндрической поверхностью контрольного валика. Путем покачивания шпинделя (стрелка рисунок 5.15 в) замечается наибольшее показание стрелки индикатора. Затем шпиндель поворачивается на 180° , и в этом положении вновь производится покачивание и опять замечается наибольшее отклонение стрелки. Показания сравниваются. При одинаковых показаниях контрольный валик занимает положение, перпендикулярное оси шпинделя.

Когда опорные поверхности заготовки расположены на общей оси и их диаметры неодинаковы, между опорной поверхностью с меньшим диаметром и призмой прокладываются мерные плоские прокладки. Толщина их равна полуразности диаметров опорных поверхностей.

Когда опорные поверхности имеют равные диаметры, но расположены на разных, параллельных друг другу осях (эксцентричное расположение), толщина прокладок между одной из опорных поверхностей и призмой должна быть вычислена по формуле

$$x = a * \sin 45^\circ,$$

где a – величина смещения осей опорных поверхностей.

Если круглые опорные поверхности не только эксцентричны, но и диаметры их неодинаковы, толщина прокладок вычисляется по формулам:

а) в случае, когда полуразность диаметров меньше величины $a * \sin 45^\circ$

$$x = \frac{d}{2} + a * \sin 45^\circ - \frac{D}{2} \text{ мм}$$

б) в случае, когда полуразность диаметров больше $a * \sin 45^\circ$

$$x = \frac{D}{2} - \frac{d}{2} + a * \sin 45^\circ \text{ мм}$$

Установка детали на призмы должна сопровождаться обязательной проверкой щупом контакта опорных поверхностей с поверхностями каждой призмы.

Крупные тяжелые детали при обработке на расточном станке-колонке обычно устанавливают не непосредственно на стендовую плиту, а на подставки.

5.2.3 Выверка заготовки относительно станка

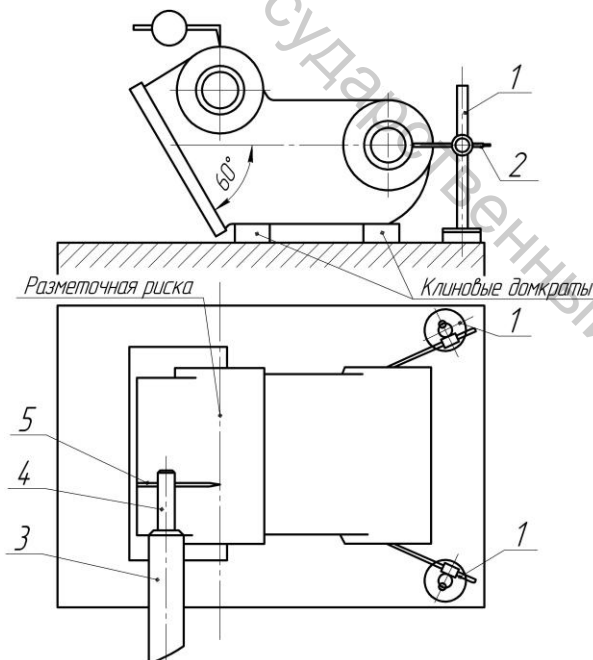


Рисунок 5.16 – Проверка положения детали относительно станка по разметочным рискам

Положение детали на станке определяется положением ее технологических базовых поверхностей или разметочных рисок.

Выверкой называется комплекс проверок и поправок положения детали.

При выверке необходимо соблюдать следующие правила:

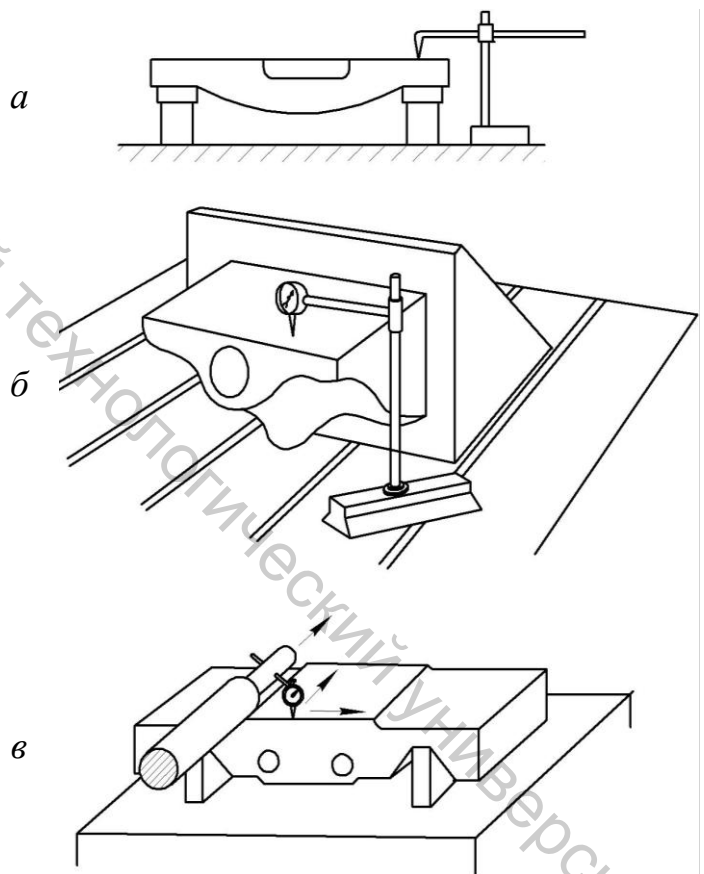


Рисунок 5.17 – Выверка положения детали по горизонтальным базовым поверхностям

1) если растачивание будет производиться при подаче шпинделя, то и проверка должна вестись относительно перемещения шпинделя в этом направлении;

2) если растачивание будет производиться при подаче стола, то и проверка должна вестись относительно перемещения стола в том же направлении.

Проверка положения заготовки в горизонтальной плоскости. Когда устанавливаемая деталь не имеет обработанных поверхностей, параллельных плоскости стола (рисунок 5.16), она выверяется по разметочным рискам. Выверка в горизонтальной плоскости по разметочным рискам производится относительно плоскости стола с помощью рейсмуса 1 с закрепленной в нем чертилкой 2.

Рейсмус перемещается по плоскости стола на другую сторону заготовки, и производится сличение совмещения острия чертилки с риской.

Точность выверки по рискам составляет 0,3 – 0,4 мм.

Заготовки, устанавливаемые на стол необработанными поверхностями, но имеющие обработанные базовые поверхности, расположенные в горизонтальной плоскости, должны быть выверены по этим обработанным поверхностям.

Выверка может быть выполнена тремя способами: с помощью рейсмуса от плоскости стола (рисунок 5.17 а); с помощью индикатора (рисунок 5.17 б); с помощью индикатора, закрепленного на оправке, вставленной в шпиндель (рисунок 5.17 в).

При выверке с помощью рейсмуса с чертилкой можно на выверяемую поверхность положить полоску тонкой бумаги и легко защемить ее между чертилкой и деталью. Перемещая рейсмус вдоль и поперек выверяемой поверхности, сличают одинаковость защемления бумаги.

Выверка индикатором проще и надежнее; точность такой выверки составляет 0,03–0,04 мм.

Проверка положения заготовки в вертикальной плоскости. Когда выверяемая заготовка не имеет обработанных базовых поверхностей в вертикальной плоскости, ее положение проверяется по разметочным рискам.

В шпиндель 3 (рисунок 5.16) вставляется оправка 4 и в ней закрепляется изогнутая чертилка 5. Острие чертилки совмещается с риской при перемещении шпинделя или стола в направлении подачи.

Выверка заготовки по боковым базовым обработанным поверхностям в вертикальной плоскости, если требуется расточить отверстие так, чтобы оно было параллельно боковой базовой поверхности С (рисунок 5.18 а, б), и обработать поверхность, может производиться тремя способами:

а) чертилкой – на параллельность перемещения шпинделя вдоль его оси или стола в направлении, параллельном оси шпинделя (рисунок 5.18 а);

б) индикатором, закрепленным для такой же проверки (рисунок 5.18 б);

в) с помощью плоскопараллельных измерительных плиток – на параллельность относительно цилиндрической поверхности шпинделя.

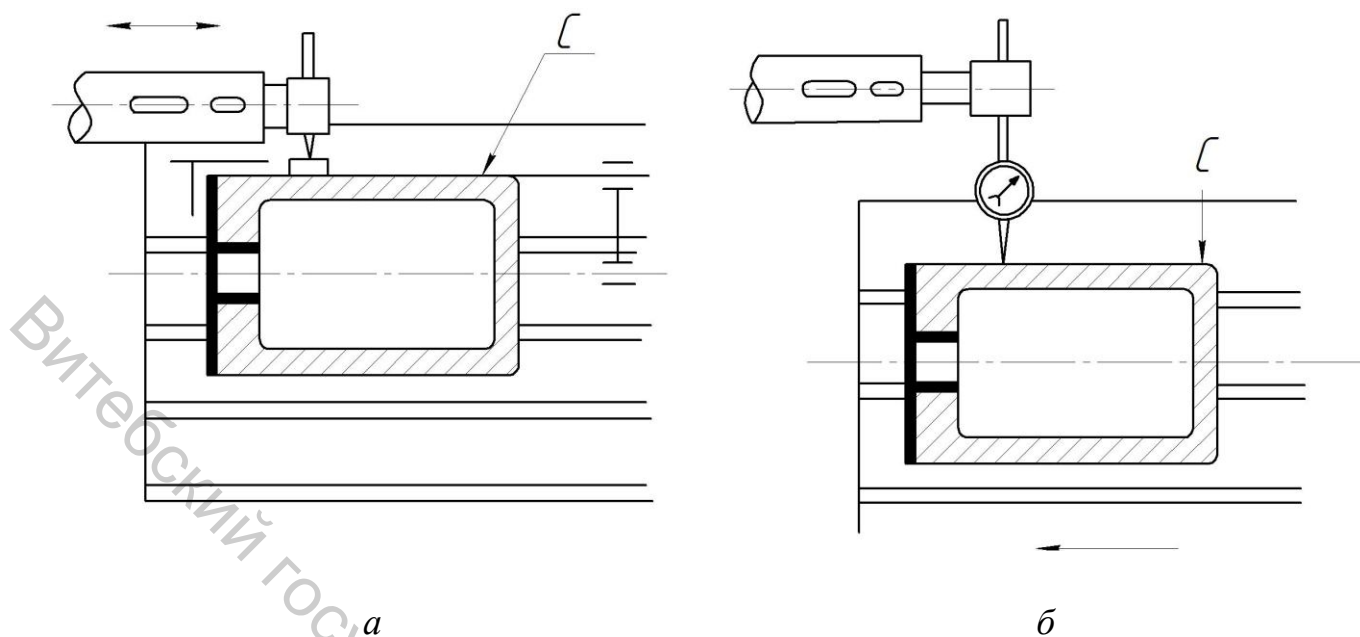


Рисунок 5.18 – Схемы выверки заготовки по боковым вертикальным базовым поверхностям

При проверке с помощью плоскопараллельных плиток шпиндель выдвигается так, чтобы он находился на небольшом (10 – 20 мм) расстоянии от боковой базовой поверхности; при таком положении шпинделя производят измерение набором плоскопараллельных плиток в двух крайних участках (плитки вводятся между шпинделем и базовой поверхностью).

Точность этого способа проверки находится в пределах 0,05–0,10 мм.

Проверка положения торцовых поверхностей заготовки. Имеются заготовки, у которых растачиваемые отверстия должны быть точно перпендикулярны ранее обработанным торцовым поверхностям. Пример такой детали показан на рисунке 5.19 а. При растачивании отверстия подачей шпинделя выверка может быть выполнена с помощью несложного приспособления, называемого «перекидкой» (рисунок 5.19 б).

Перекидка состоит из корпуса оправки с конусным хвостовиком 2, стержня 3, винта 1 для закрепления стержня 3, колодки 4 для закрепления индикатора 5.

В процессе проверки замечается показание стрелки индикатора при касании с плоскостью А, когда стержень 3 расположен горизонтально в положении (рисунок 5.19 а), затем шпиндель поворачивают на 180° и показание в положении II сравнивают с показанием в положении I. Если показания одинаковы, то поверхность перпендикулярна шпинделю в горизонтальной плоскости. После этого перекидку ставят так, чтобы стержень 3 занял вертикальное положение, и затем осуществляется аналогичная проверка в вертикальной плоскости.

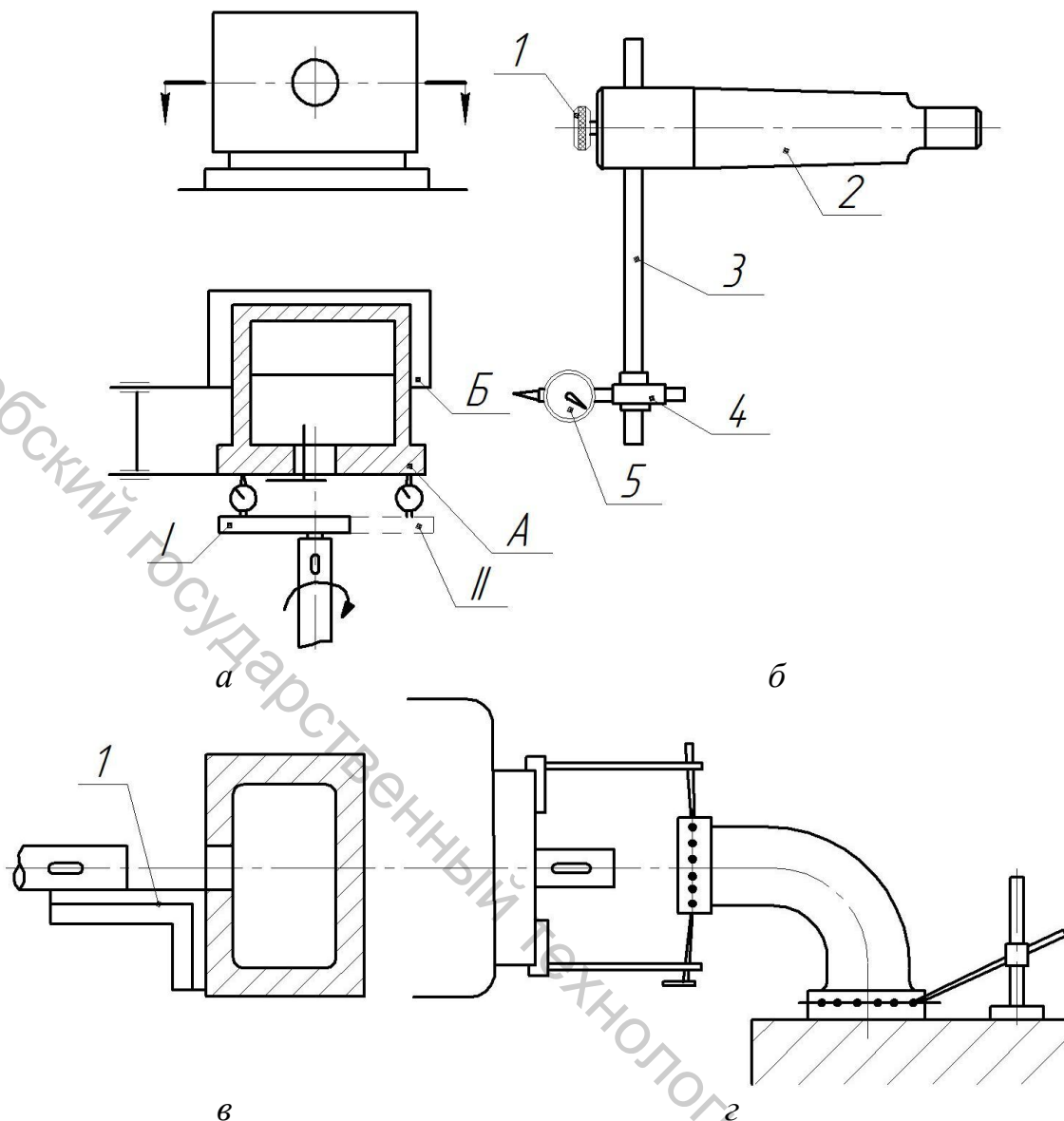


Рисунок 5.19 – Схемы выверки заготовки по торцовым поверхностям

Менее точной проверкой перпендикулярности торцовой поверхности шпинделю в горизонтальном и вертикальном направлениях является проверка с помощью контрольного угольника 1 (рисунок 5.19 в). К цилиндрической образующей поверхности шпинделя прикладывается угольник так, чтобы он занимал горизонтальное положение.

Точность проверки угольником в пределах 0,05 мм.

Если торцовая поверхность А (рисунок 5.19 а) должна быть обработана путем фрезерования на расточном станке, причем так, чтобы она была точно параллельна базовой поверхности Б, выверка положения детали производится от базовой поверхности на параллельность последней перемещению стола в поперечном направлении. С этой целью индикатор, закрепленный на оправке в шпинделе, вводится в контакт с поверхностью Б, а столу сообщается поперечное перемещение.

При фрезеровании торцовых и боковых поверхностей выверка заготовок по базовым поверхностям должна производиться на их параллельность попе-

речным перемещениям стола и вертикальным перемещениям шпиндельной бабки.

На рисунке 5.19 г показана схема выверки с помощью рейсмуса по разметочной риске в случае подрезания круглой торцовой поверхности резцом.

Проверка установки заготовки по ранее расточенному отверстию. Эта проверка принадлежит к числу точных и выполняется особенно тщательно. Предположим, что ось обрабатываемого отверстия II заготовки (рисунок 5.20 а) должна быть строго параллельна оси отверстия I, обработанного на другом станке или за другую установку. В этом случае необходимо установить деталь на станке, проверяя ее не по плоскостям основания и боковым плоскостям, которые могут быть на детали, а непосредственно по оси I. Задача решается двумя последовательными приемами:

- 1) ось I проверяется на параллельность оси шпинделя;
- 2) ось I совмещается с осью шпинделя.

Первый из этих приемов осуществляется следующим образом.

В отверстие оси I вставляют контрольный валик с диаметром, равным номинальному диаметру отверстия, с посадкой скользящей или ходовой. Индикатор закрепляют в концевой оправке на шпинделе (положение А). Прежде всего, необходимо убедиться в том (или добиться того), что ось контрольного валика была горизонтальна. С этой целью мерительный штифт индикатора подводят к поверхности контрольного валика в точке а; перемещая стол с деталью в поперечном направлении (по стрелке f), определяют наибольшее отклонение индикатора (что соответствует наивысшей точке валика). Затем продольным перемещением саней стола (а не шпинделя) штифт индикатора устанавливают против точки b и вновь находят (поперечным смещением стола) наибольшее отклонение. Если индикатор показывает одинаковые отклонения в точках а и b, ось отверстия I горизонтальна. Если показания индикатора различны, то для исправлений положения оси I ставят бумажные подкладки под передний или задний край детали.

Шпиндель с индикатором приводится по отношению к валику в положение В. Проверка ведется по боковой образующей *cd* валика путем продольного перемещения саней стола. Разворотом детали на столе или поворотом стола добиваются необходимой точности положения детали.

Параллельность оси шпинделя отверстию, в которое может пройти оправка с индикатором, можно проверять без валика, непосредственно по стенке отверстия. Порядок проверки в этом случае несколько иной. Сначала после установки шпинделя и индикатора примерно в горизонтальной плоскости делают приближенную проверку (рисунок 5.20 б) параллельности оси шпинделя и образующей а. Затем положение детали проверяют по наивысшей образующей b. После этого проверяют положение детали по образующей а и «разворотом» стола исправляют неточность ее положения.

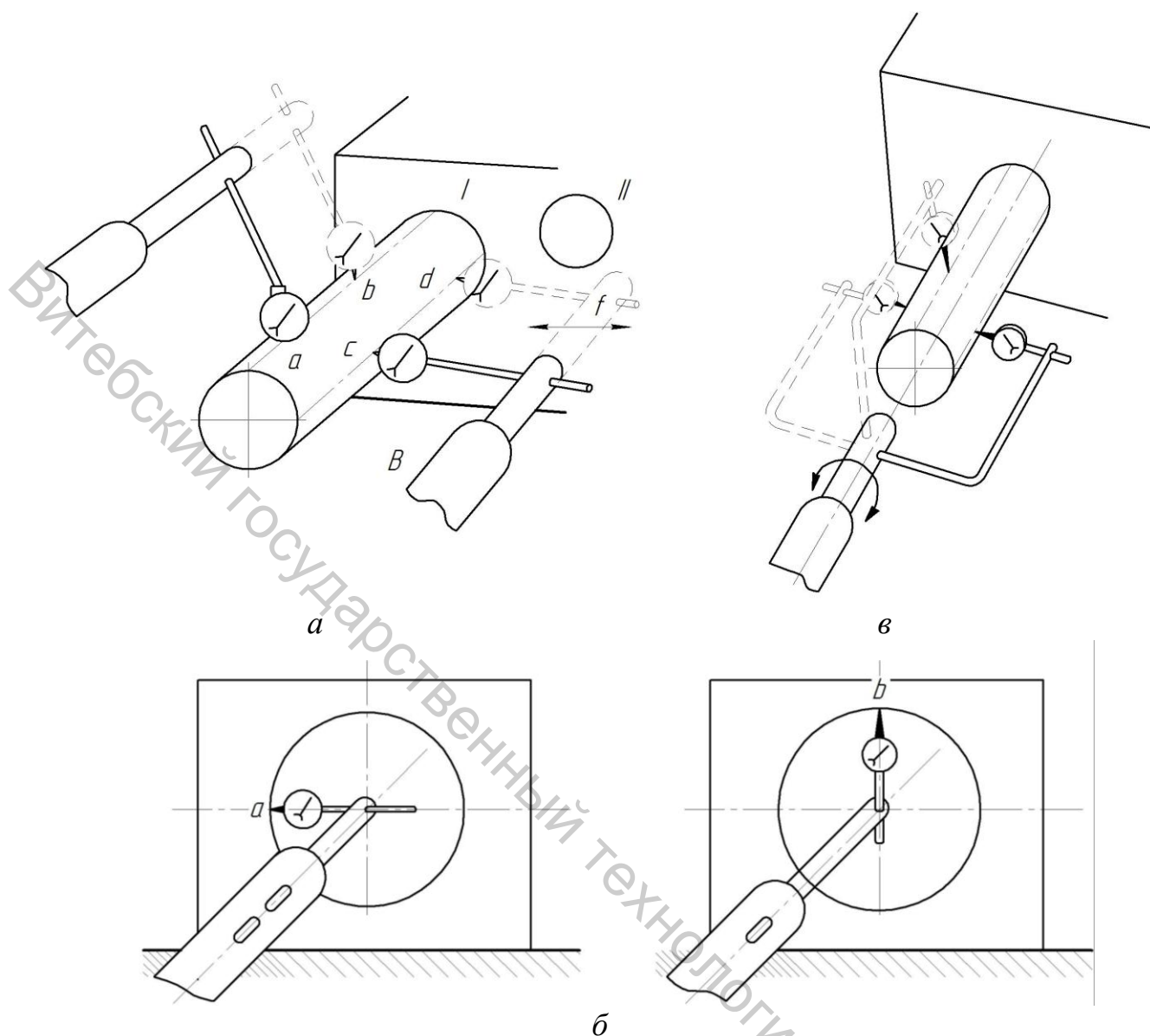


Рисунок 5.20 – Схема выверки заготовок по расточенным отверстиям

Все продольные перемещения должны осуществляться ходом стола.

Для совмещения оси шпинделя с осью отверстия I шпиндель с закрепленным на нем индикатором необходимо проворачивать очень медленно (на наименьшей скорости), наблюдая за показаниями индикатора.

Проверка установки детали по заранее выверенным упорам. Чтобы сократить время на проверку установки каждой детали, входящей в состав партии деталей, рекомендуется выверить и закрепить на столе станка угольник, брусок или призму (в зависимости от конфигурации детали). При установке первой заготовки положение, занимаемое ею при прижатии к угольнику (бруску, призме), проверяется относительно шпинделя. Каждая последующая заготовка устанавливается по выверенному упору без проверки. На рисунке 5.21 показаны примеры такой установки.

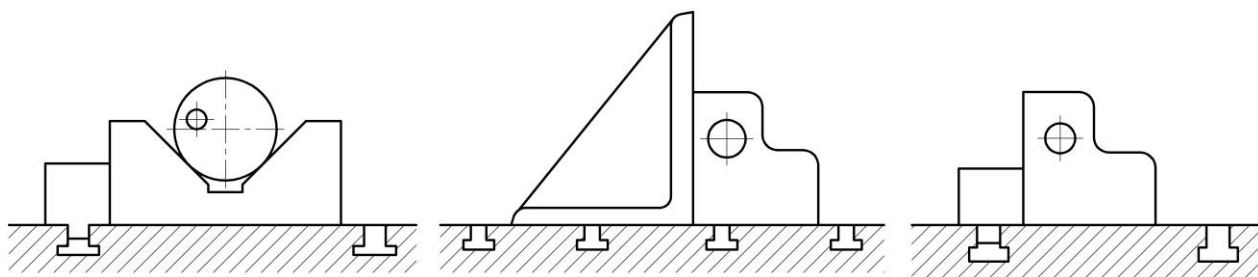


Рисунок 5.21 – Установка детали по предварительно выверенным упорам

5.3 Методы обработки типовых функциональных модулей

5.3.1 Функциональные модули и основные переходы их обработки

Детали, обрабатываемые на расточных станках, имеют разнообразные формы, различны по размерам и весу и изготавливаются из разных материалов. Среди них особую группу составляют корпусные детали. К ним относятся: корпуса редукторов, блоки цилиндров различных двигателей, корпуса коробок скоростей и подач металлорежущих станков, корпуса насосов, турбин, электродвигателей и т. д.

Различные компоненты корпусных деталей имеют различное служебное назначение, т. е. выполняют различные функции. Функциональным модулем называют несколько элементарных типовых поверхностей, которые вместе выполняют хотя бы одну функцию. На рисунках 5.22 и 5.23 приведены основные формы функциональных модулей корпусных деталей, которые обрабатываются на горизонтально- и координатно-расточных станках. Они выполняют в основном функции вспомогательных сборочных баз, коммуникаций, крепежных и технологических поверхностей.

Вспомогательные сборочные базы служат главным образом для ориентации деталей, которые при сборке будут присоединяться к корпусной. К их показателям качества обычно предъявляются высокие требования (6-й – 9-й качества точности и $Ra = 0,4 - 1,6$ мкм). Коммуникации – это отверстия или канавки, по которым подается смазка или внутри которых проходят, не касаясь стенок, другие детали, принадлежащие данной сборочной единице. К их показателям качества предъявляются невысокие требования (12-й – 14-й качества точности и $Ra = 6,3 - 12,5$ мкм).

Крепежные поверхности корпусных деталей – это резьбовые отверстия и полукоткрытые отверстия для размещения головок винтов или болтов. Технологические поверхности служат для облегчения сборки (фаски) соединений и для выхода инструмента (канавки) при обработке полукоткрытых поверхностей. Эти функциональные модули выполняются по 14-у качеству точности, а резьба по 8-й степени точности.

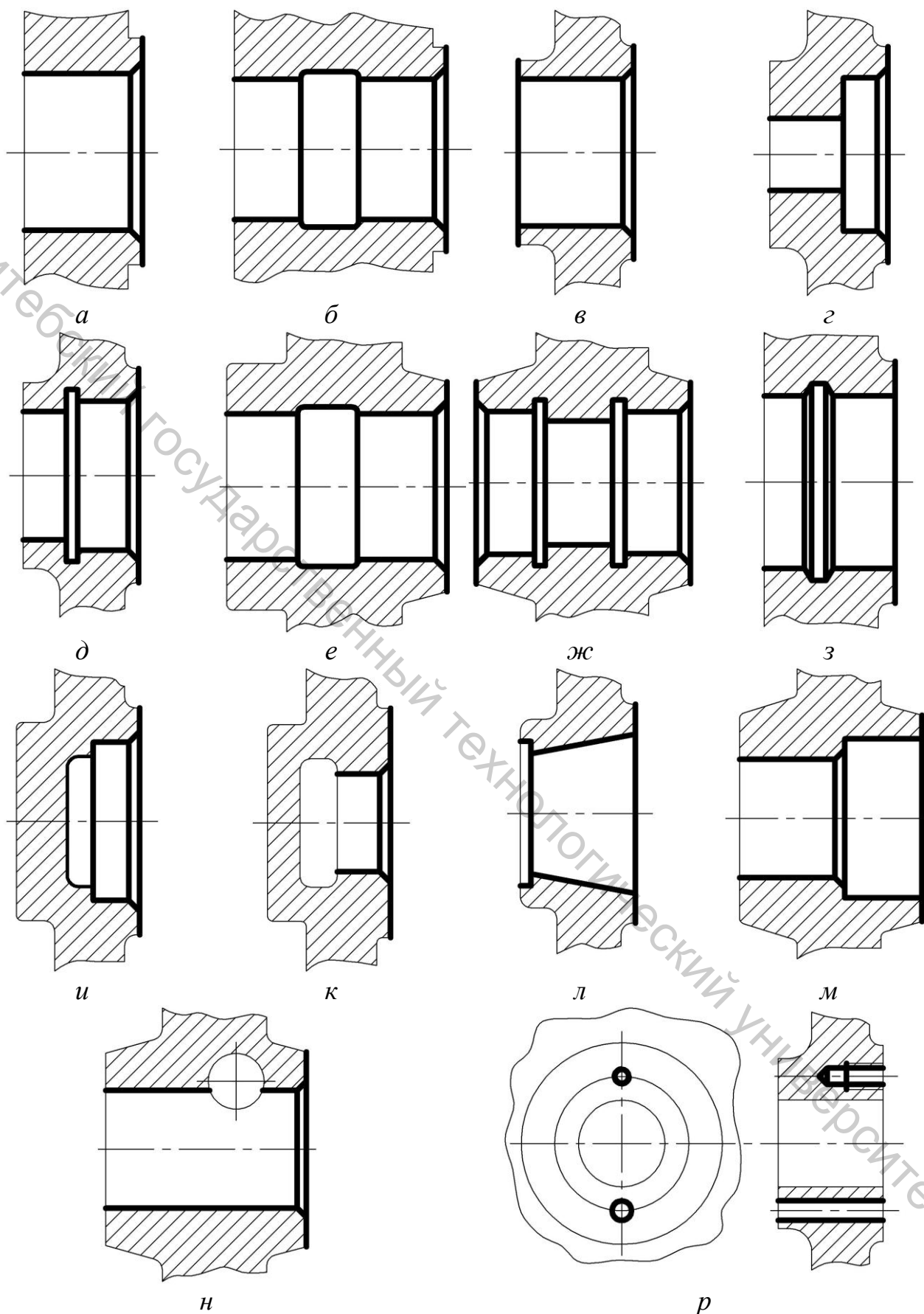


Рисунок 5.22 – Функциональные модули, обрабатываемые на расточных станках

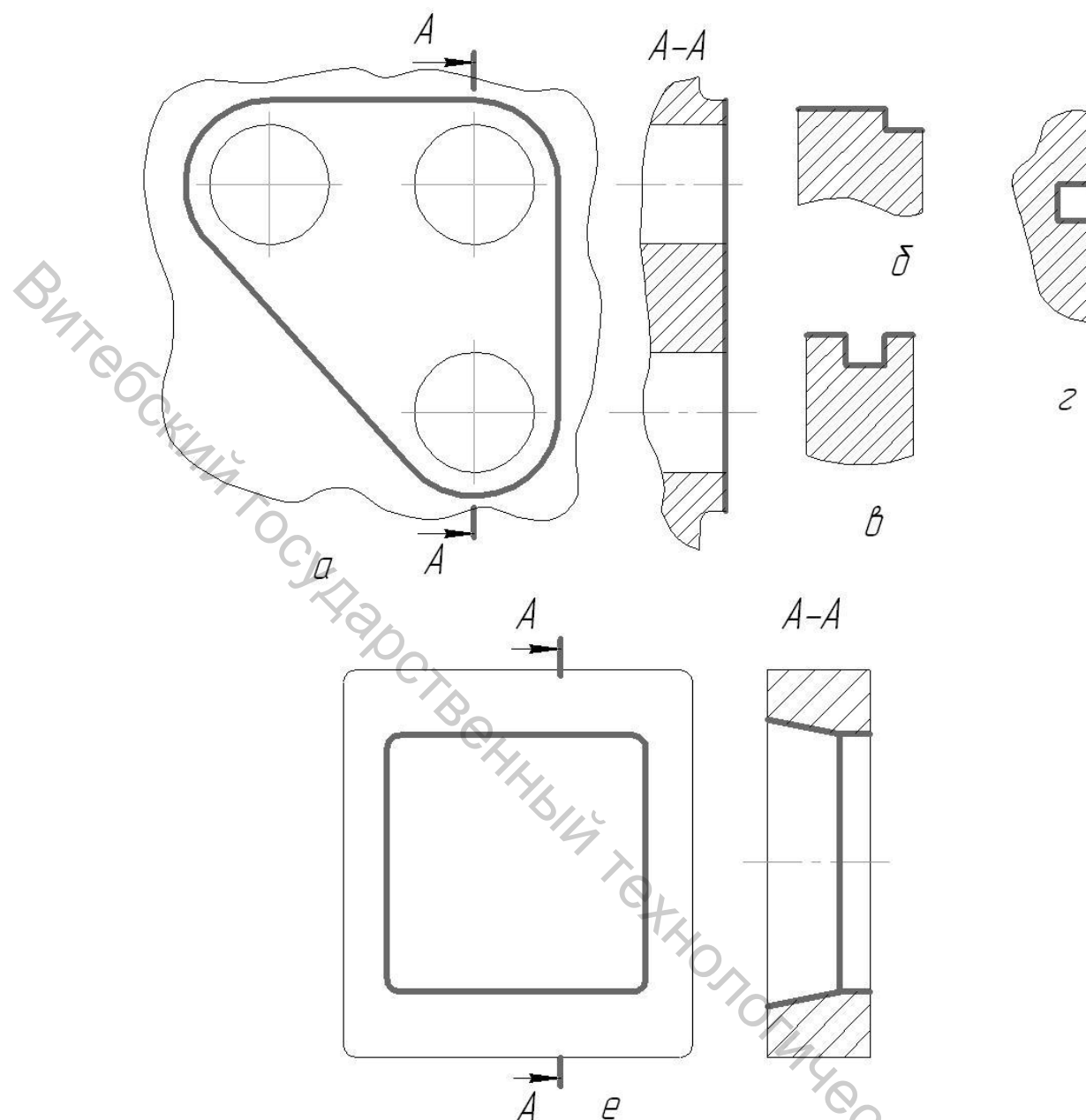


Рисунок 5.23 – Функциональные модули, обрабатываемые на расточных станках

При обработке компонентов функциональных модулей корпусных и подобных им деталей на горизонтально- и координатно-расточных станках выполняются следующие переходы.

1. Сверление и рассверливание отверстий сверлами различных конструкций.

2. Зенкерование и развертывание предварительно просверленных, рассверленных или расточенных отверстий.

3. Зенкерование торцовых поверхностей отверстий зенковками цилиндрической или конической формы.

4. Черновое (предварительное, грубое) и чистовое (окончательное) растачивание черных, необработанных, или предварительно обработанных отверстий при помощи резцов или резцовых головок.

5. Обтачивание черновое и чистовое цилиндрических наружных поверхностей резцами.

6. Нарезание резьбы в отверстиях метчиками.

7. Протачивание торцовых поверхностей резцами, закрепленными в кулисе планшайбы, «летучем» суппорте или оправке, которой обеспечивается радиальное направление подачи.

8. Растачивание в отверстиях кольцевых канавок резцами.

9. Растачивание конических отверстий резцами при помощи вспомогательных приспособлений.

10. Фрезерование плоскостей, уступов и канавок с применением в качестве режущего инструмента концевых, торцовых, цилиндрических, конических и других фрез.

Каждый из перечисленных выше переходов может быть совмещен с другими в одной операции. Обработывая, например, какую-либо деталь в определенной последовательности, можно выполнить при: одной установке сверление и растачивание отверстий, зенкерование торцовых поверхностей, фрезерование плоских поверхностей и т. д.

Наличие у большинства горизонтально-расточных станков поворотных столов, на которых устанавливаются обрабатываемые детали, обеспечивает возможность осуществлять с одной установки обработку их с четырех сторон.

5.3.2 Сверление

При изготовлении заготовок литьем в песчаные формы отверстия в них проливаются, если: диаметр отверстия больше 20-ти мм в массовом производстве, в серийном – больше 30-и мм, в единичном – больше 50-ти мм. Длина L отверстия при этом не должна превышать 60-и мм. Если длина отверстия больше, то его минимальный диаметр D определяется из неравенства

$$D = D_0 + 0,3 \cdot (L - 60) \text{ мм},$$

где D_0 в зависимости от типа производства равно соответственно 20, 30 или 50.

Если диаметры отверстий меньше, указанных выше, то они в заготовке не проливаются и сначала сверлятся «по целому». При этом не рекомендуется по целому сверлить отверстие диаметром больше 25-ти мм. Отверстие диаметром D , большим 25-ти мм и меньшим 50-ти, сначала сверлится сверлом, диаметр которого $d = D/2$. Если диаметр отверстия больше 50-ти и меньше 80-ти мм, то сначала оно сверлится сверлом, диаметр которого $d = 25$ мм, а затем рассверливается.

Сверлением и рассверливанием можно получить цилиндрические отверстия 12 – 14-го качества точности с показателем шероховатости $Ra = 6,3 - 12,5$ мкм. Для этих переходов применяются спиральные сверла из быстрорежущей стали или оснащенные пластинками из твердого сплава. В случае необходимости применяются комбинированные сверла. Сверла с коническим хвостовиком устанавливаются в коническом отверстии шпинделя (рисунок 5.4) либо непо-

средственно, либо через переходную втулку. Сверла с цилиндрическим хвостовиком устанавливаются при помощи патронов (см. глава 4).

5.3.3 Растачивание отверстий

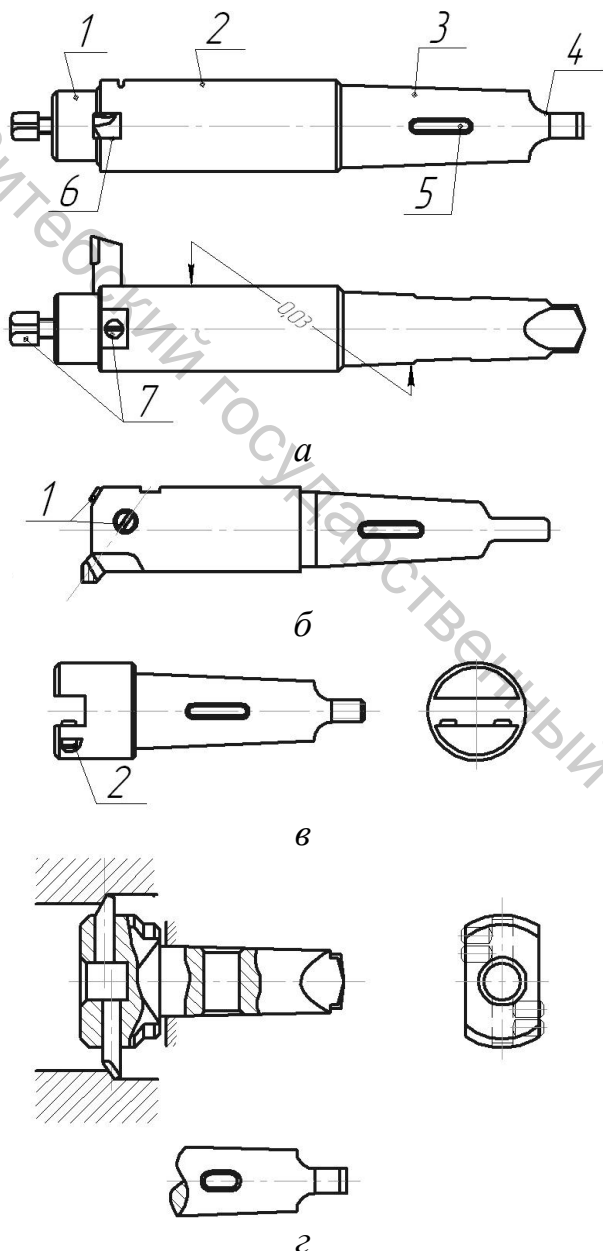


Рисунок 5.24 – Концевые расточные оправки

Растачивание обычно выполняется в несколько переходов: предварительное, чистовое и отделочное. При предварительном растачивании достигается 13-й – 14-й квалитет точности, при чистовом – 9-й – 10-й, а при отделочном – 7-й – 8-й квалитет точности. Инструментом при растачивании служат расточные державочные и пластинчатые резцы. Они устанавливаются и закрепляются в концевых расточных оправках (рисунок 5.24) перпендикулярно (рисунок 5.24 а) или наклонно (рисунок 5.24 б) к ее оси. Проходные резцы имеют угол в плане ϕ , равный 60 или 75°. Их установка показана на рисунке 5.25 а-г. Они позволяют обрабатывать открытые и полуоткрытые отверстия с перпендикулярным торцом в том числе.

Державочные прорезные – канавочные резцы (рисунок 5.25 д) применяются для растачивания канавок и коротких выемок внутри отверстия. Державочные двусторонние проходные резцы (рисунок 5.25 е) с углом в плане ϕ , равным 60°, применяются при растачивании закрытых отверстий.

Пластинчатые резцы (рисунок 5.26) делятся на два основных вида: однолезвийные (рисунок 5.26 а и б) и двухлезвийные (рисунок 5.26 в и г). Двухлезвийные пластинчатые резцы работают сразу двумя режущими кромками и поэтому производительнее однолезвийных. Двухлезвийные пластинчатые резцы с заплечиками самоцентрируются с их помощью на оправке. Их обычно делают мерными для получения расточенного отверстия определенного диаметра. Однолезвийные пластинчатые резцы необходимо настраивать на нужный размер. Чтобы облегчить настройку и повысить ее точность, применяют так называемые аншлажные пластинчатые резцы (рисунок 5.27 а), где винт 2 позволяет

плавно перемещать резец. Аналогично обеспечивается точная настройка державочного резца с помощью винта 4 (рисунок 5.27 б). Отрегулированный резец 2 закрепляется винтом 3.

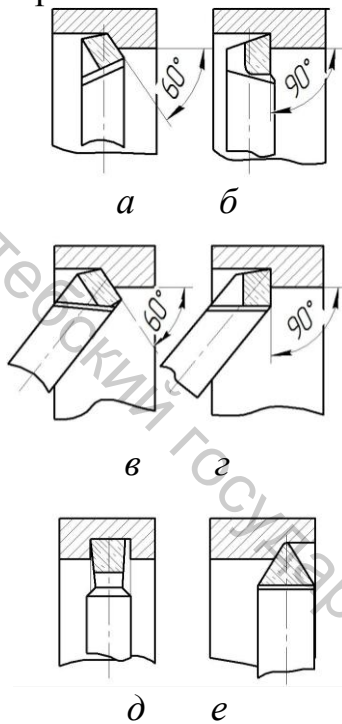


Рисунок 5.25 – Формы расточных резцов

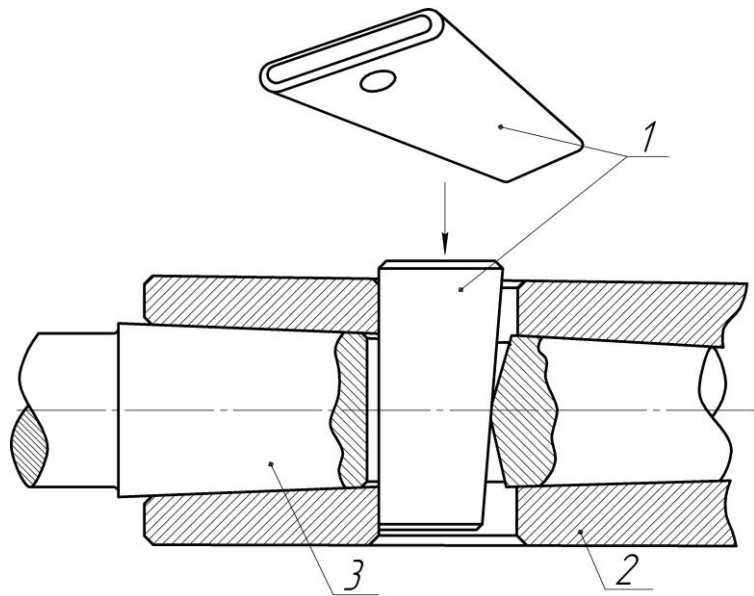


Рисунок 5.28 – Схема затягивания оправки в коническое отверстие шпинделя станка

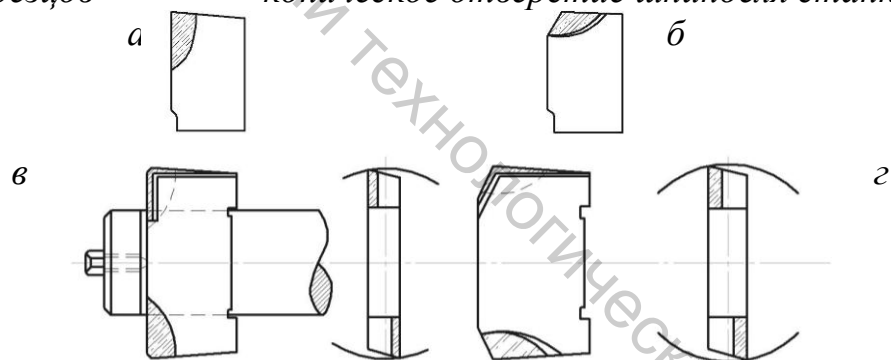


Рисунок 5.26 – Пластинчатые расточные резцы

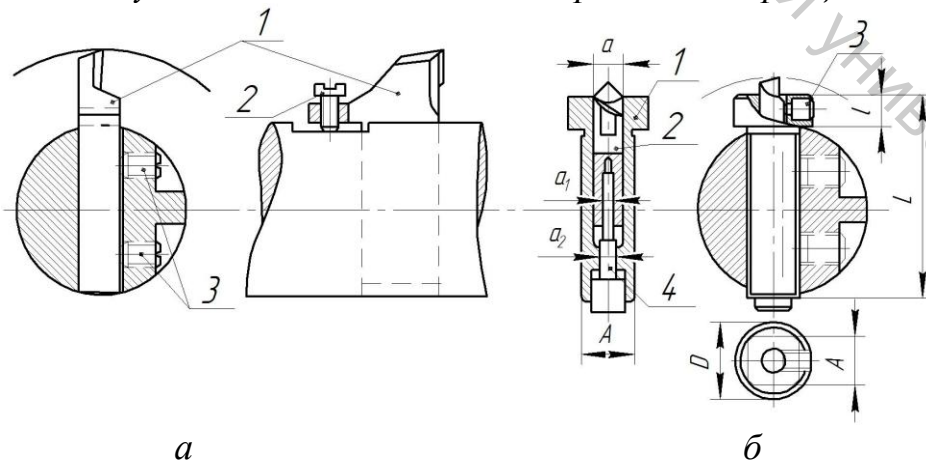


Рисунок 5.27 – Анилажный резец (а) и однорезцовый блок с микрометрической регулировкой (б)

Для точной настройки на заданный диаметр растачиваемого отверстия (особенно на координатно-расточных станках) применяют расточные патроны (рисунок 5.29). Радиальное перемещение резцедержателя 1 по направляющим корпуса осуществляется вращением микрометрического винта 5, который несет на себе втулку с делениями для отсчета перемещения. Радиальное перемещение резцедержателя, равное 25-ти мм, позволяет нормальными расточными резцами растачивать отверстия диаметром до 60 мм. Для растачивания отверстий диаметром больше 60-ти мм на резцедержатель надевают специальные расточные головки (рисунок 5.29 в) и закрепляют их винтом; резец при этом устанавливают в хоботе расточной головки.

Оправки с резцами можно закреплять также на радиальном суппорте планшайбы (рисунок 5.30) при помощи выносных втулок (рисунок 5.30 а). С помощью радиального суппорта можно растачивать короткие отверстия большого диаметра (рисунок 5.31) и конические отверстия за счет сочетания продольной и радиальной подач. Однако нестандартные конусности не всегда можно получить указанным методом, так как у станка может не оказаться необходимого сочетания подач. В таких случаях применяют специальные расточные головки для растачивания конических отверстий (рисунок 5.32).

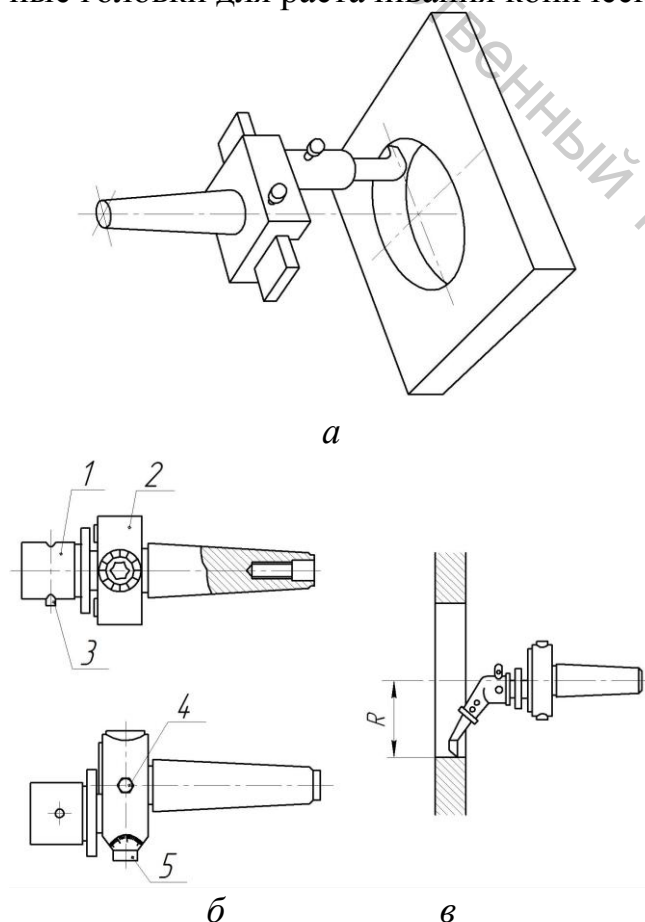


Рисунок 5.29 – Расточные патроны

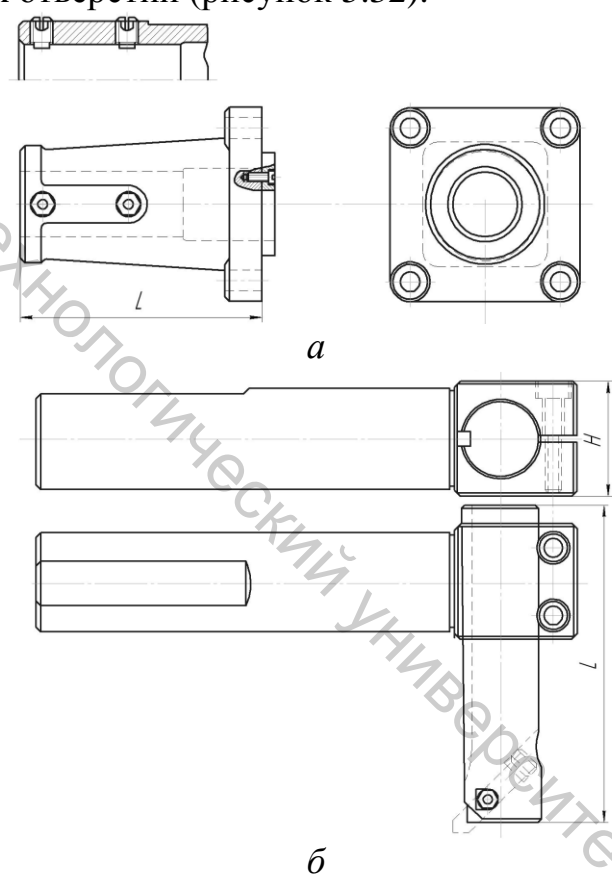


Рисунок 5.30 – Вспомогательные инструменты для работы с радиальными суппортами: а – втулки выносные; б – оправки к ним

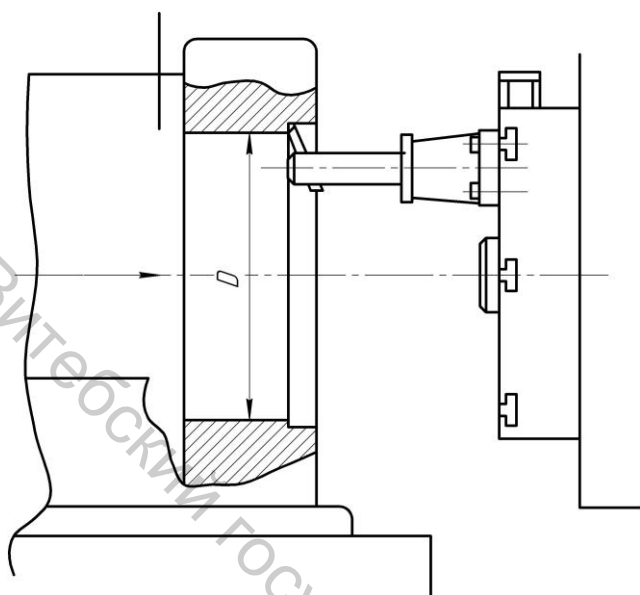
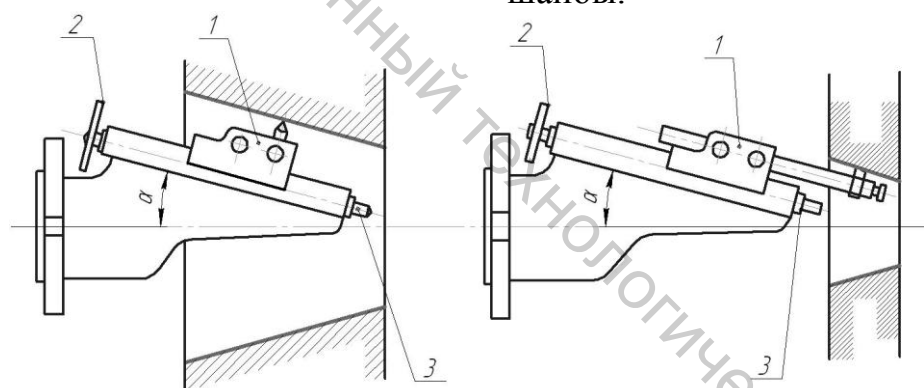
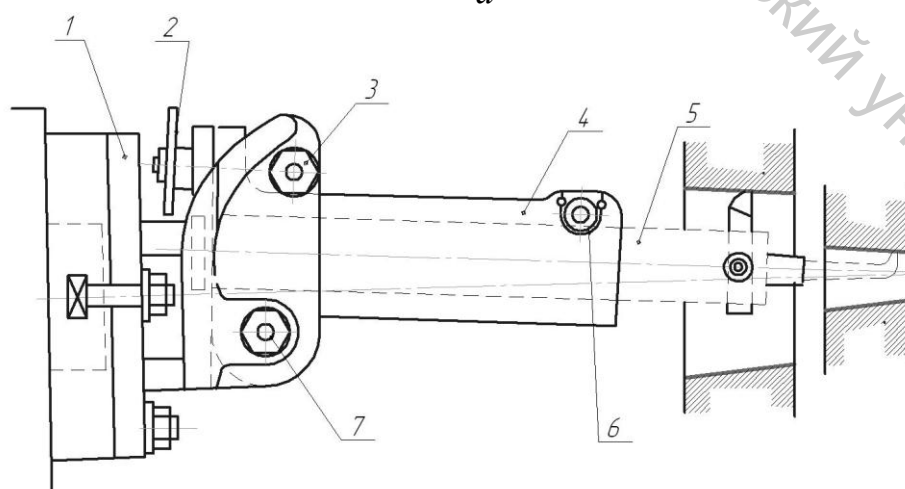


Рисунок 5.31 – Схема консольного растачивания коротких отверстий большого диаметра с помощью радиального суппорта планшайбы

Головки с постоянным углом конуса показаны на рисунке 5.32 а. Их закрепляют на радиальном суппорте планшайбы. В резцедержателе 1 закрепляют резец (или оправку с резцом) и в процессе обработки перемещают по наклонным направляющим при помощи винта 3. На конце винта насажена звездочка 2, которая при вращении головки наталкивается на пальцы-упоры и таким образом поворачивает винт 3, сообщая резцу продольную подачу. Расточная головка, позволяющая производить консольную обработку конусных отверстий с различными углами, показана на рисунке 5.32 б. Установку на необходимый диаметр осуществляют перемещением радиального суппорта планшайбы.



а



б

Рисунок 5.32 – Специальные расточные головки для растачивания конических отверстий: а – с постоянным углом; б – регулируемая по углу конуса

5.3.4 Зенкерование, развертывание и нарезание резьбы в отверстиях

Зенкерование применяется для: 1) повышения качества просверленного отверстия, 2) обработки цилиндрических отверстий, предварительно полученных в заготовке, 3) формирования отверстий под головки болтов, 4) обработки конусных отверстий и получения фасок. Для этого применяются цельные и насадные зенкеры (см. глава 4). Устанавливаются эти инструменты так же, как сверла. Зенкерованием можно получить отверстия 9-го – 10-го качества точности. Развертывание применяется для окончательной обработки отверстий сразу после сверления (диаметры отверстий 6 – 12), после зенкерования или растачивания (при больших диаметрах). При этом получают 6-й – 8-й класс точности и показатель шероховатости $Ra = 0,4 - 1,6$ мкм. Конструкции разверток показаны в главе 4 и рисунке 5.33.

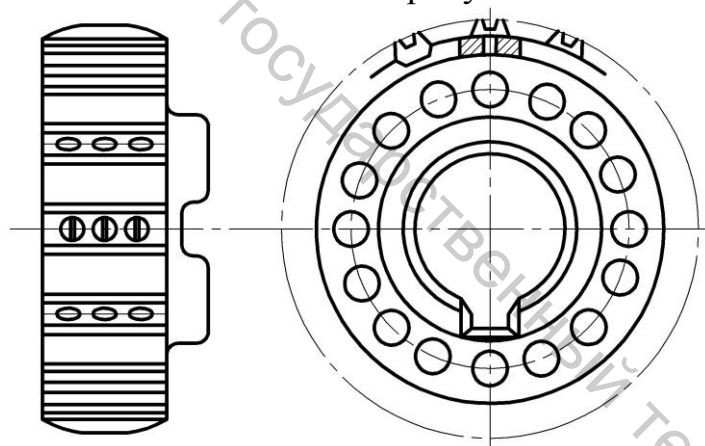


Рисунок 5.33 – Конструкция разверток больших диаметров

При жестком креплении развертки, подобном креплению сверла, отклонение ее оси не должно превышать 0,01 – 0,02 мм. В противном случае диаметр обработанного отверстия будет больше диаметра калибрующей части развертки и может выйти за пределы допуска. Требования к допустимому биению зубьев режущей и калибрующей частей развертки указаны в главе 4.

Чтобы упростить ориентацию оси шпинделя по отношению к оси предварительно обработанного отверстия и предотвратить разбивку развернутого отверстия, применяют крепление развертки в самоустанавливающемся патроне (глава 4).

Кроме стандартных (нормализованных) разверток в практике машиностроения применяются насадные развертки больших диаметров для развертывания отверстий диаметром от 80 до 200 мм. Эти развертки снабжены вставными ножами из быстрорежущей стали или с твердосплавными пластинами (рисунок 5.33). С целью уменьшения массы этих разверток в их корпусе выполняются сквозные отверстия, концентричные центральному (посадочному) отверстию. Развертки больших диаметров закрепляют на жестких концевых оправках или борштангах. Работа с самоустанавливающимися оправками в этих случаях недопустима, так как приводит к искажению формы отверстия и искривлению его оси.

Для окончательной отделки отверстий диаметром, большим 80-ти мм, лучше применять пластинчатые – плавающие развертки (рисунок 5.34), которые устанавливаются в концевых оправках, конструкция которых показана на рисунке 5.35. Развертка состоит из корпуса 1, в котором закреплены два ножа 2. Ножи могут выдвигаться из корпуса для перехода от одного диаметра отвер-

ствия к другому путем перемещения их клиньями 4 при завинчивании винтов 3. Для удержания пластинчатой развертки в оправке на боковой стороне корпуса 1 сделан паз А. Развертка удерживается винтом 1 (см. рисунок 5.35).

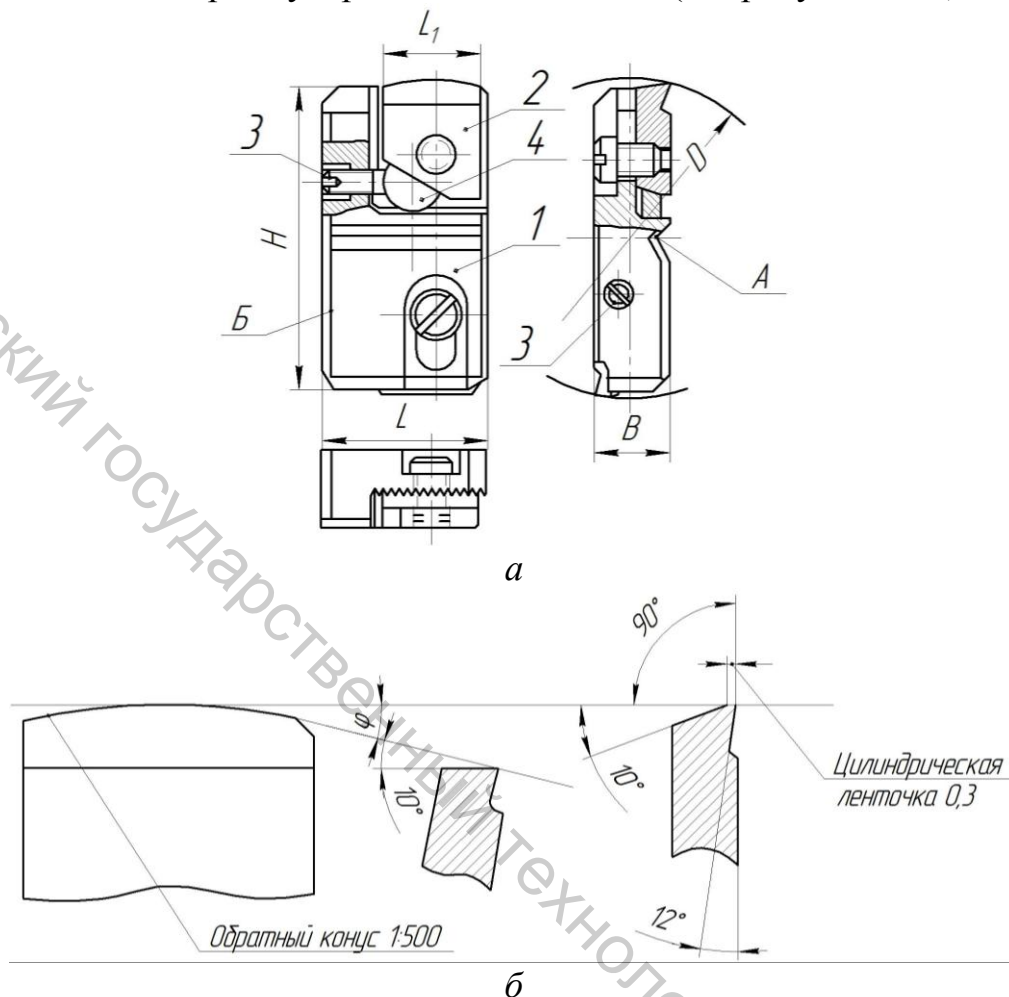


Рисунок 5.34 – Пластинчатая плавающая, регулируемая развертка (а) и геометрия развертки (б)

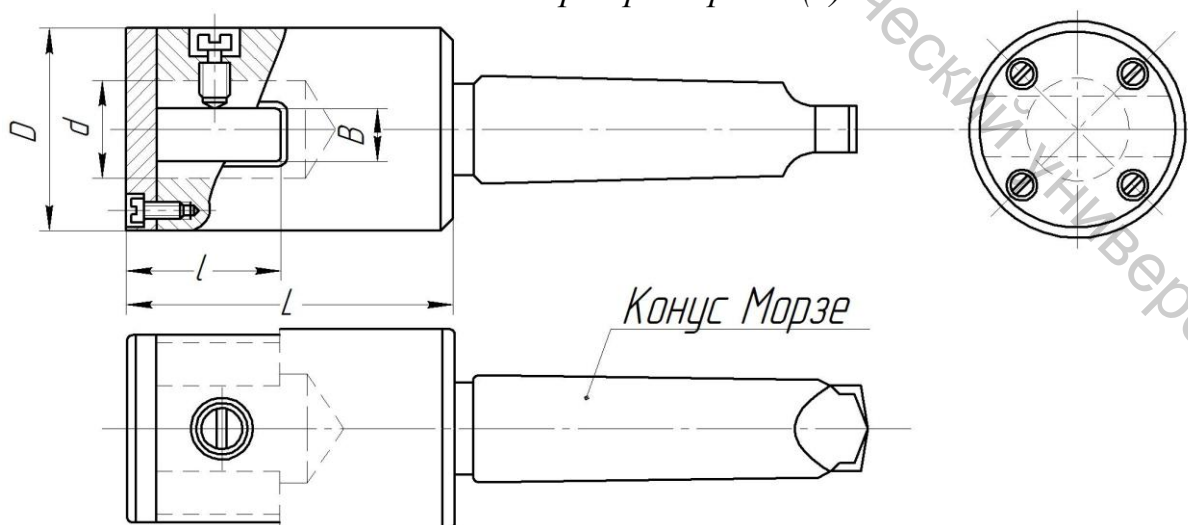


Рисунок 5.35 – Концевая оправка для пластинчатых плавающих разверток

Развертывание плавающими развертками будет качественно только в том случае, если ось оправки совмещена с осью отверстия с точностью, большей,

чем возможное «плавание» пластины. При обработке отверстия плавающей пластинчатой разверткой необходимо плотно ввести ее в отверстие заборной частью. Затем шпинделю сообщают обратное вращение без подачи для того, чтобы пластина самоустановилась. После чего меняют вращение шпинделя на рабочее и включают подачу. Плавающие развертки можно применять только тогда, когда оправки и борштанги обладают достаточной жесткостью, т. е. когда длина оправки не более шести диаметров отверстия, а длина борштанг между опорами не больше 29-ти диаметров отверстия.

При развертывании для получения высокого качества обработанной поверхности необходимо оставить соответствующий припуск (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Припуски на обработку отверстий развертыванием (в мм на сторону)

Диаметры в мм		После сверления		После зенкерования или растачивания		Под чистовую развертку после черновой	
свыше	до	максим.	миним.	максим.	миним.	максим.	миним.
6	10	0,25	0,15			0,08	0,05
10	18	0,30	0,18	0,20	0,08	0,09	0,06
18	30	0,40	0,22	0,30	0,16	0,10	0,06
30	50			0,40	0,23	0,12	0,07
50	80			0,50	0,30	0,14	0,08
80	120			0,50	0,30	0,17	0,10

Если припуск превышает максимальное допустимое значение, то развертка быстро затупляется, не режет, а мнет металл, в результате чего диаметр развернутого отверстия отличается от диаметра развертки и качество поверхности получается плохим. При недостаточном припуске могут остаться следы предшествующей обработки.

В мелкосерийном производстве развертывание точных отверстий обычно заменяют тонким растачиванием.

Конические отверстия диаметром менее 80-ти мм в зависимости от конусности обрабатывают за несколько переходов. Отверстия с конусностью K от 1:50 до 1:30 после сверления окончательно обрабатываются коническими развертками (рисунок 5.36). Отверстия с конусностью 1:20 после сверления развертывают последовательно двумя коническими развертками (черновой и чистовой). Отверстия с конусностью от 1:16 до 1:8 сверлят, зенкеруют коническим зенкером и затем развертывают одной или двумя развертками.

Предварительная (черновая) развертка показана на рисунке 5.36 а. Режущая часть развертки имеет длину l значительно большую, чем длина l_0 обрабатываемого ею отверстия. На всей ее длине, по винтовой линии с шагом S , расположены ступени возрастающих диаметров. Срезание стружки осуществляется торцовыми режущими кромками k . В качестве промежуточных или предварительных конических разверток применяют так называемые лопаточные развертки (рисунок 5.36 б). Они имеют только два режущих лезвия, образующих конус. Чистовая коническая развертка приведена на рисунке 5.36 в.

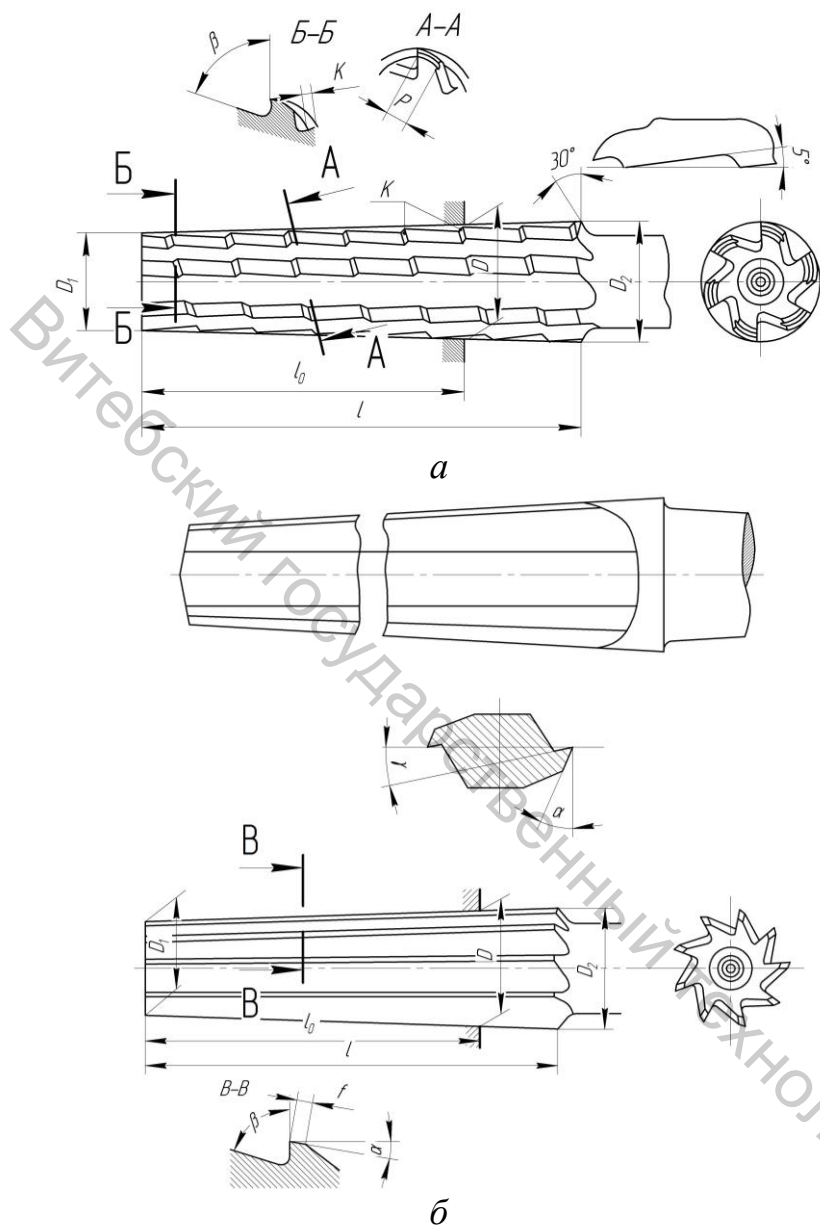


Рисунок 5.36 – Типы конических разверток:
а – черновая; б – лопаточная; в – чистовая

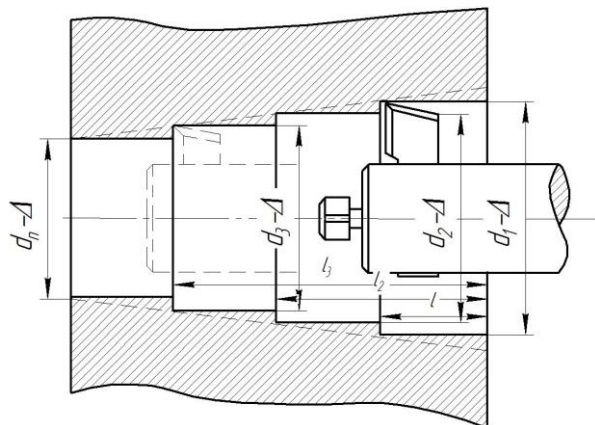


Рисунок 5.37 – Схема предварительного ступенчатого растачивания конического отверстия

При обработке конических отверстий диаметром больше 60-ти мм вместо зенкования или развертывания черновой разверткой применяют предварительное ступенчатое сверление или растачивание (рисунок 5.37).

Торцы относительно небольших бобышек обрабатываются резцом с углом в плане 90° или цековками. Бобышки при наличии центрального отверстия цекуют цековками, подрезными пластинами или зенкерами с торцевой заточкой. В конце рабочего хода необходимо «выхаживание» на нескольких оборотах без подачи. Схемы цекования показаны на рисунке 5.38. Нарезание резьбы в отверстиях осуществляется метчиками, которые крепятся в патронах (рисунок 5.39). На рисунке 5.39 а показан патрон для жесткого закрепления метчика в разрезной гильзе 4 путем затягивания гайки 5.

Для предотвращения провертывания метчика относительно патрона его квадрат вставляется в прорезь вкладыша 3. Шип корпуса 6 входит в отверстие хвостовика 1 и удерживается штифтом 7, входящим в кольцевую канавку. Корпус свободно вращается в хвостовике 1, пока не упрутся друг в друга кулачки 2.

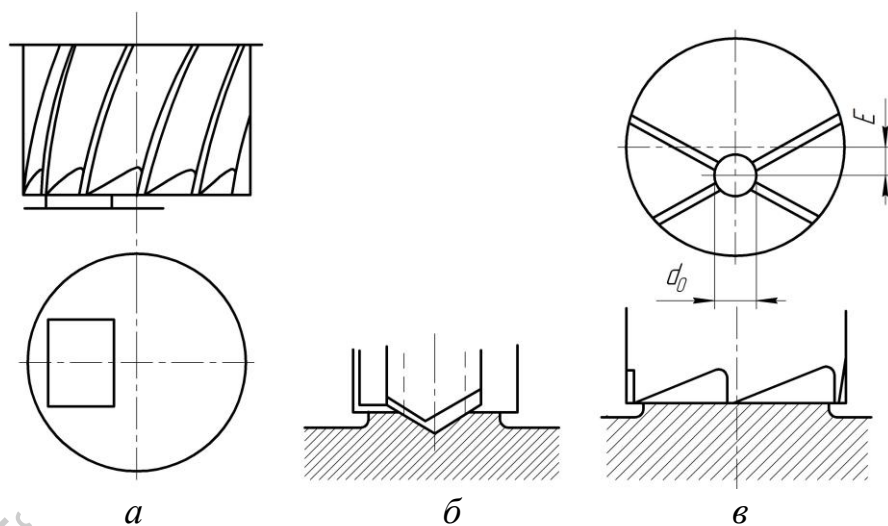


Рисунок 5.38 – Схемы цекования: а – бобышки (платика) периферией цековки; б – торца с одновременным центрованием; в – бобышки цековкой с эксцентрическим отверстием

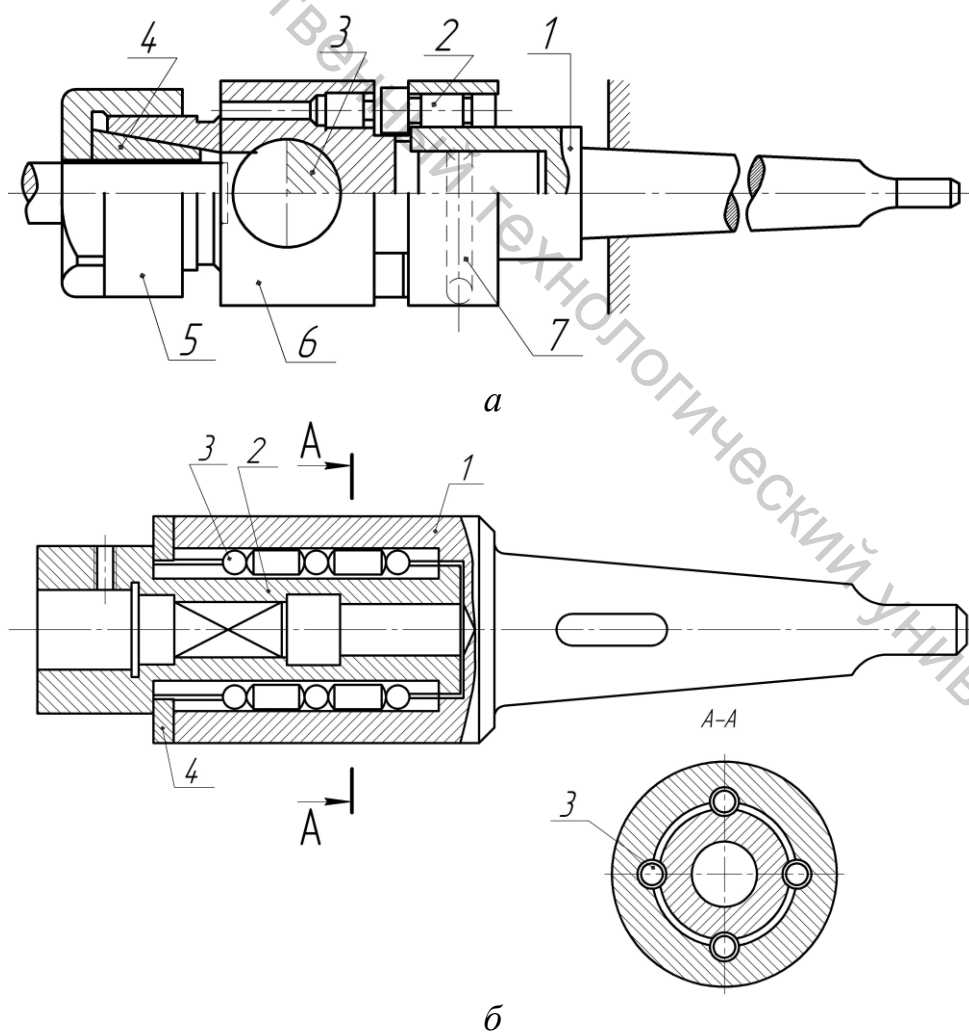


Рисунок 5.39 – Патрон для жесткого крепления метчика

Однако использование такого крепления метчика требует большого навыка в управлении станком при нарезании резьбы, если не удастся настроиться на подачу, равную шагу резьбы. На рисунке 5.39 б показан патрон с выдвижной втулкой, лишенный указанного недостатка. Шарики 3 позволяют втулке 2 свободно перемещаться независимо от шпинделя, но передают ей крутящий момент.

Если резьба нарезается в полуоткрытых отверстиях, то метчик устанавливается в предохранительном патроне (глава 4). Ось метчика необходимо точно совместить с осью отверстия, в котором нарезается резьба, в противном случае резьбу «разбивает» (увеличивается внутренний и средний диаметры). Чтобы устранить указанный недостаток, метчик закрепляют в плавающем патроне или резьбу нарезают сразу после сверления отверстия, заменив сверло на метчик, не сдвигая ось шпинделя.

Схема комплексной обработки соосных отверстий в сплошном материале без сквозного выхода инструмента на обратную сторону детали показана на рисунке 5.40. После окончательной обработки первого отверстия в него вставляется опорная втулка 2, а инструменты закрепляются на удлинителе. Таким образом, увеличивается радиальная жесткость системы. Аналогично поступают после обработки второго отверстия.

5.3.5 Фрезерование

На расточных станках фрезеруют плоскости, уступы и иногда призматические направляющие. Для этого используется тот же инструмент, что и на фрезерных станках (глава 3). Однако установка и закрепление фрез на расточных станках производится не так, как на фрезерных, в связи с другой формой конусного отверстия в шпинделе.

5.4 Размерная настройка

При размерной настройке для растачивания отверстия решаются две задачи: 1) установка формообразующего элемента резца на заданное расстояние от оси вращения оправки (шпинделя), 2) вывод оси шпинделя в заданную координату.

Контроль установки резца на размер в оправке осуществляется при помощи жестких или регулируемых калибров и индикаторных приборов. Жесткими калибрами являются калибры полукольца (рисунок 5.41 а) и плоские калибры с призмами (рисунок 5.41 б). Каждый калибр-полукольцо 1 служит для проверки установки резца только на определенный диаметр D при определенном диаметре оправки или борштанги. Плоский калибр 1 с призмой выполнен так, что с его помощью можно проверить настройку резца для предварительного и для окончательного растачивания.

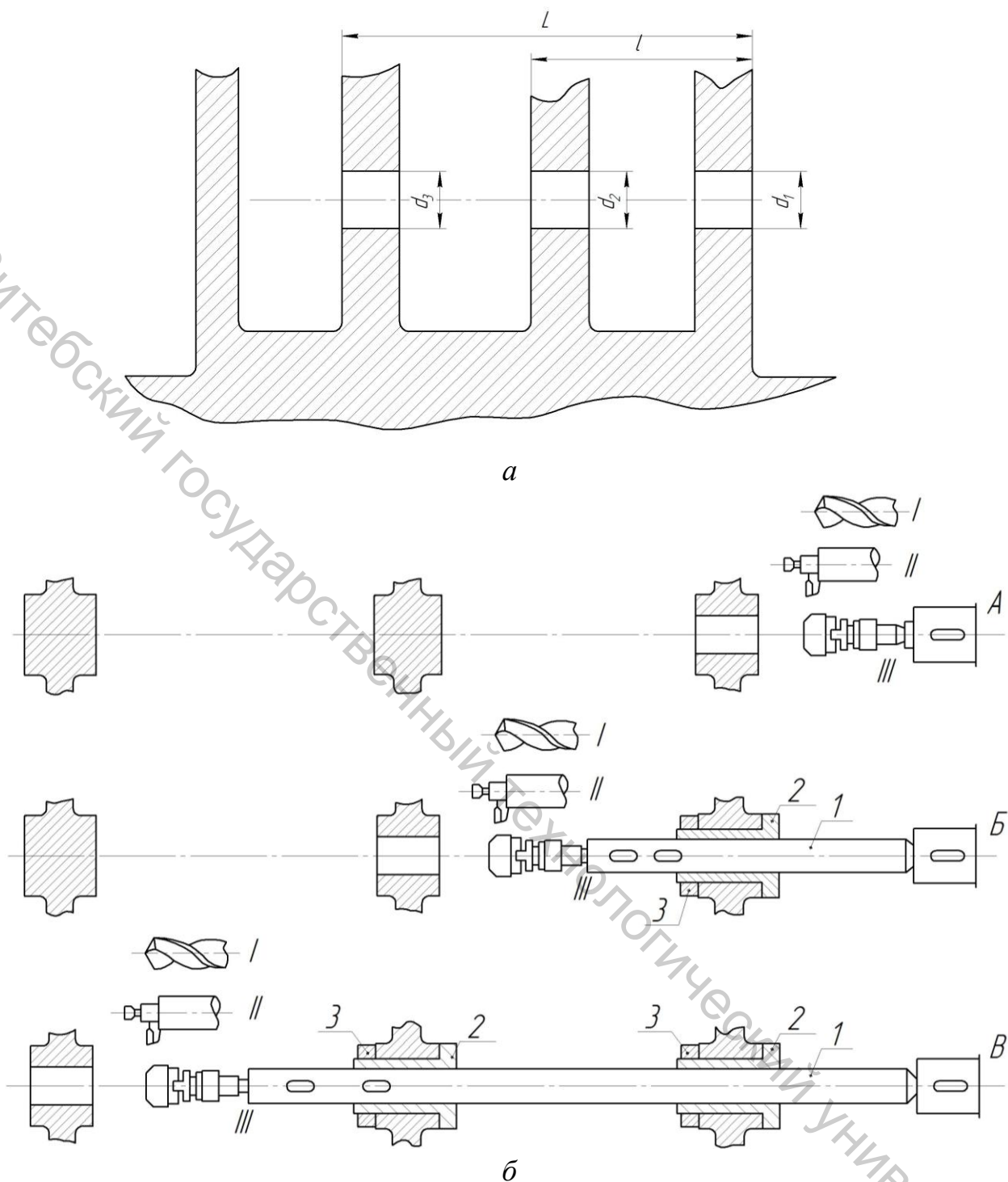


Рисунок 5.40 – Схема обработки соосных отверстий в сплошном материале, без сквозного выхода инструмента по другую сторону детали; цифрами I, II, III указан порядок переходов

Жесткие калибры применяются в массовом и крупносерийном производстве. Размеры калибров уточняются опытным путем, так как необходимо учесть влияние упругой деформации оправки или борштанги на размер расточенного отверстия. Для уменьшения износа жесткие калибры закаливаются. При настройке по жесткому калибру обеспечивается точность расточенного отверстия в пределах 9-го – 10-го квалитетов точности.

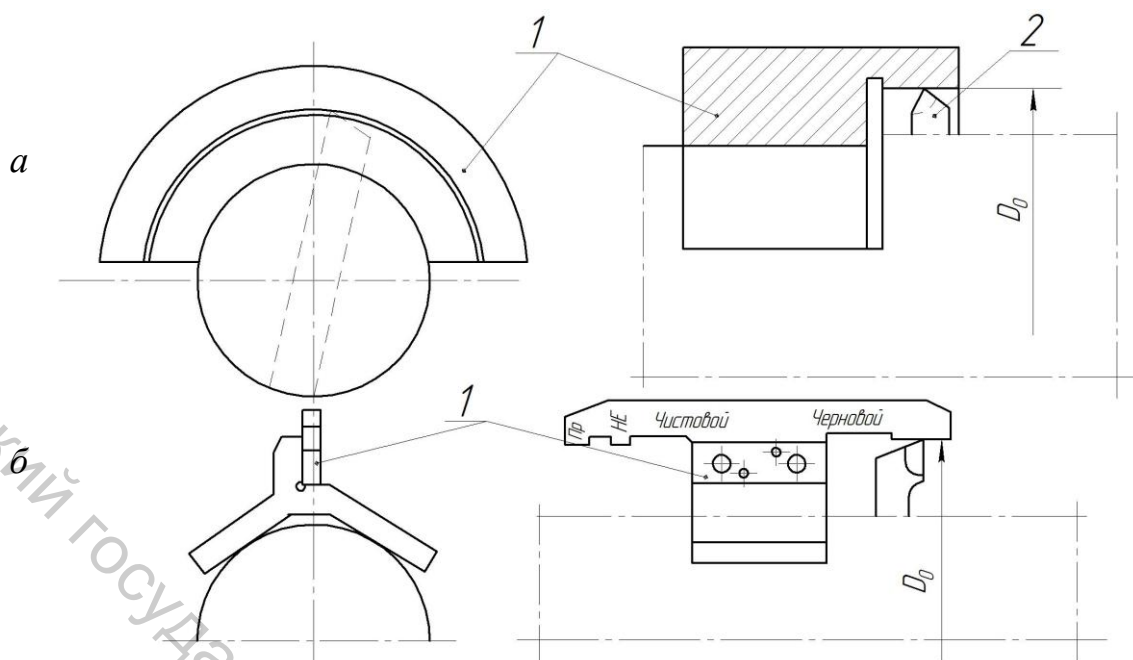


Рисунок 5.41 – Жесткие калибры для установки резцов

Регулируемые калибры-штангенциркули со шкалой (рисунок 5.42) применяются при настройке резца для предварительного или получистового растачивания. Показанный калибр-штангенциркуль позволяет проводить отсчет размеров с точностью до 0,05 мм и применяется для настройки на растачивание отверстий диаметром 25 – 70 мм. Шкала на этом калибре показывает радиус настройки.

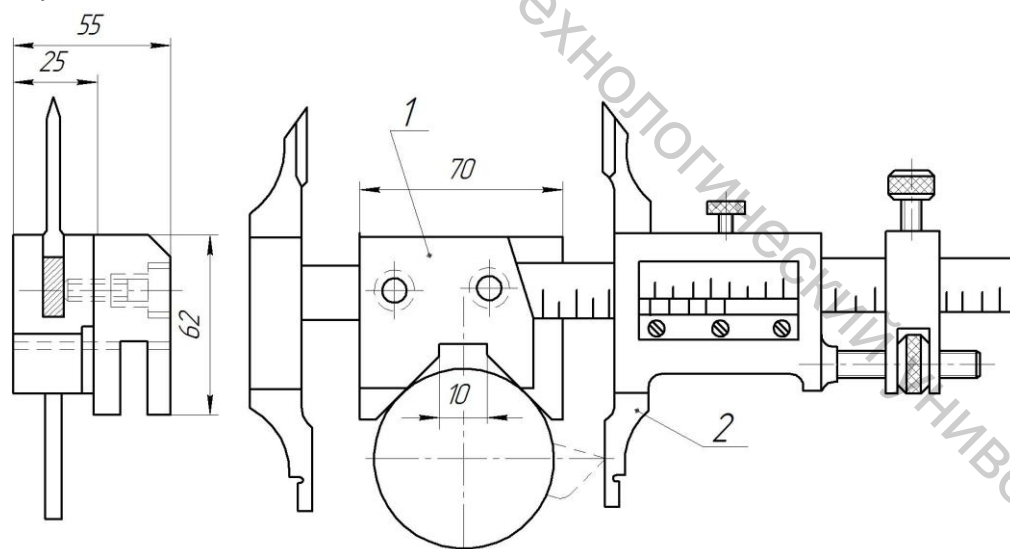


Рисунок 5.42 – Штангенциркуль со шкалой для установки резцов

К достоинствам регулируемого калибра относится: 1) возможность непосредственного отсчета радиуса настройки, 2) возможность настройки при различных диаметрах оправок и борштанг, 3) относительно малые затраты времени на настройку.

Регулируемые индикаторные приборы (рисунок 5.43) применяются для точной установки вершины резца, что позволяет растачивать отверстия с 7-м –

8-м качеством точности. При настройке и контроле прибор базируется на оправке при помощи призмы, расположенной в нижней части корпуса 1. При помощи концевых мер, ползушки 2 и микрометрического винта 3 ножка 7 индикатора 6 устанавливается на заданном расстоянии от оси оправки. При этом стрелка индикатора устанавливается на 0. Таким образом, прибор готов к контролю.

Так как упругие деформации оправки неизвестны, то окончательную настройку осуществляют методом пробных расточек. Предварительно расточенное отверстие измеряют, и по результатам замера производится коррекция настройки. При помощи индикаторного прибора и метода пробных расточек можно добиться настройки с точностью 0,01-й мм, если резец устанавливается так, как показано на рисунке 5.27. Метод пробных расточек применяется для размерной настройки резца, который закрепляется в салазках планшайбы (см. выше).

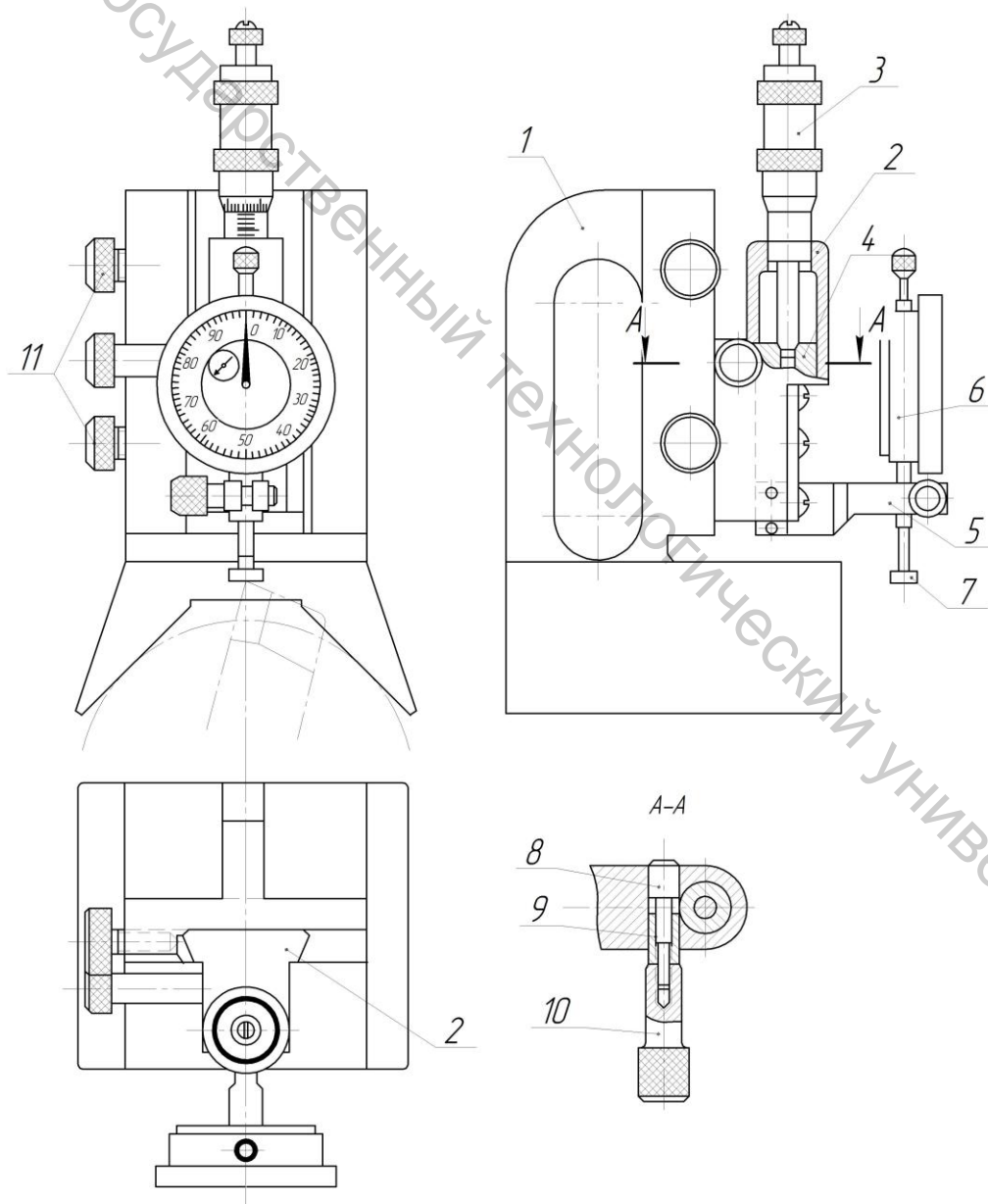


Рисунок 5.43 – Регулируемый индикаторный прибор для установки резцов

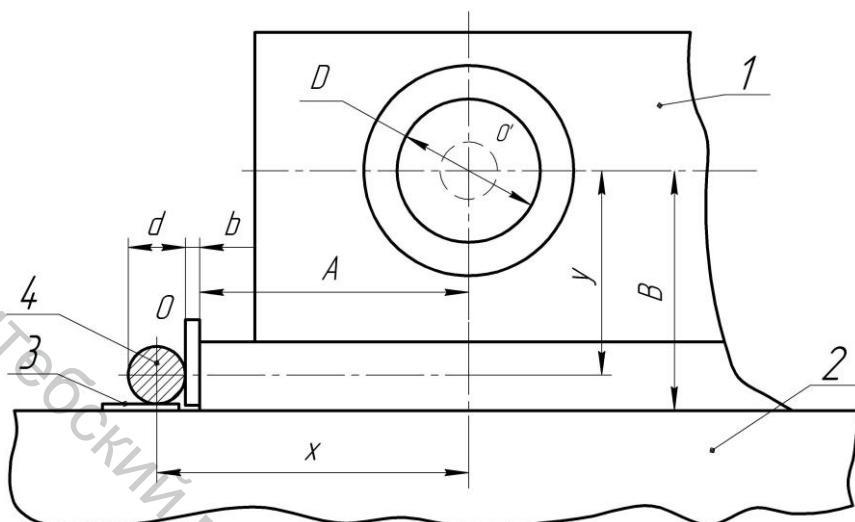


Рисунок 5.44 – Схема настройки на размеры A и B от технологических баз с помощью шкал и лимбов приводов перемещений горизонтально-расточного станка для растачивания отверстия

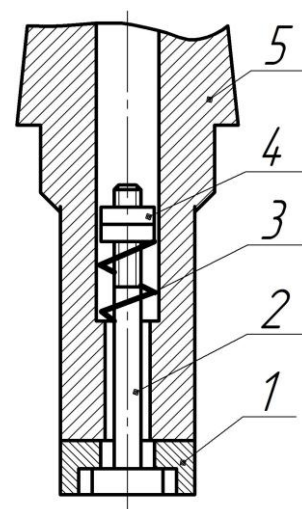


Рисунок 5.45 – Оправка с подвижным мерным кольцом

Вывод оси шпинделя в координату, заданную от технологических баз, осуществляется следующим способом (рисунок 5.44). Заготовка 1 предварительно базируется и закрепляется на столе 2 станка. С помощью щупа 3 толщиной b калиброванная оправка 4 диаметром d , установленная в шпинделе, фиксируется в начальной позиции. Затем с помощью механизмов ручного перемещения стола и шпиндельной бабки осуществляется перемещение на расстояния x и y для вывода оси шпинделя в точку с заданными координатами A и B , где

$$x = A + d/2 + b;$$

$$y = B - d/2 - b.$$

Отсчет перемещения производится по встроенным в станок измерительным линейкам с нониусами (для точности, соответствующей 12-у – 14-у качествам) или с помощью концевых мер и индикаторов (для точности, соответствующей 8-у – 9-у качествам).

Если есть возможность, вместо калиброванной оправки и щупа применяют мерный валик с подвижным мерным кольцом (рисунок 5.45), что сокращает время настройки. Когда вращающийся мерный валик приближается к технологической базе, то мерное кольцо смещается к оси вращения, что сразу становится заметным визуально по исчезновению ореола от смещенного кольца.

Если в обрабатываемой детали требуется обеспечить высокую точность расстояния между осями двух обрабатываемых параллельных отверстий (при этом точность их расположения относительно основных сборочных баз невелика), применяют метод пробных расточек (рисунок 5.46). При этом первое из отверстий растачивается окончательно. Размерная настройка на положение его оси осуществляется от технологических баз (см. рисунок 5.44) или по разметочным рискам.

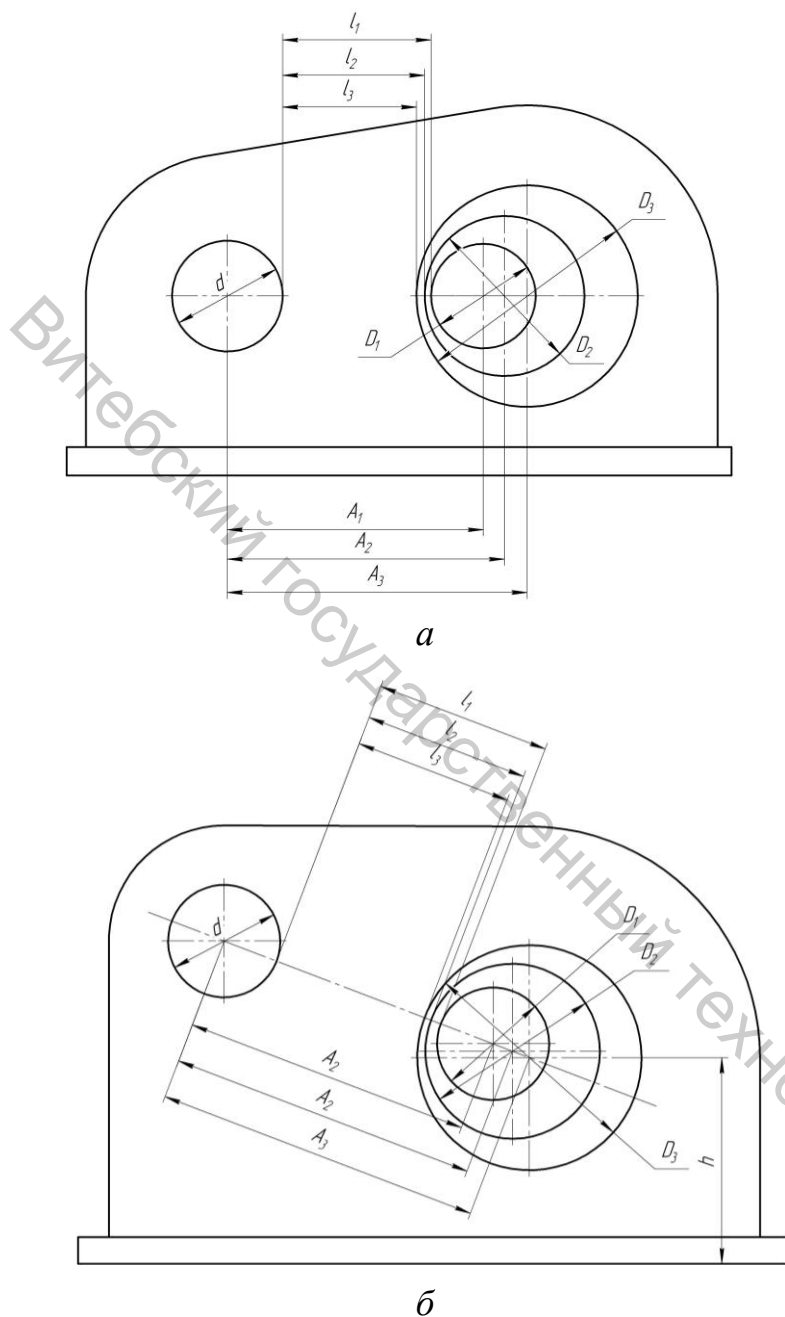


Рисунок 5.46 – Схемы обработки отверстий на заданном расстоянии между осями методом пробного растачивания

мм больше диаметров отверстий в обрабатываемой детали (рисунок 5.47). Допустимые отклонения расстояний между осями отверстий в шаблоне обычно составляют не более одной трети от соответствующих допусков у детали. Для того, чтобы отверстия шаблона правильно расположить относительно технологических баз детали, к нему прикрепляют установочные сухари 1 и 2. Для координации инструмента при помощи шаблона в шпиндель станка устанавливают индикаторный центроискатель (рисунок 5.48). Он представляет собой прибор, состоящий из корпуса 8, соединенного с направляющей планкой 2, по которой он может перемещаться. Планка 2 закреплена в конусном хвостовике 3. В корпусе на регулируемых полуосях 4 может поворачиваться равноплечий рычаг

Предварительная настройка на расположение оси шпинделя для растачивания второго отверстия осуществляется по шкалам и лимбам перемещения стола и шпиндельной бабки. Второе отверстие сначала растачивается на диаметр, меньший заданного, и на небольшую глубину. Путем измерения l_1 и D_1 определяется фактическое расстояние между осями (A_1). Путем корректирующего перемещения стола (или стола и шпиндельной бабки) уточняют размерную настройку. Выполнив еще одну пробную расточку и замерив полученное расстояние A_2 , определяют необходимость следующей пробной расточки. Затем второе отверстие растачивается окончательно.

Если в корпусе необходимо расточить несколько (больше двух) параллельных отверстий, то применяют координацию оси шпинделя по шаблонам. Шаблон изготавливается из листовой стали толщиной 6 – 10 мм; в нем выполнены точные отверстия, диаметры которых на 5 – 10

5, на одном конце которого помещена измерительная кнопка. Рычаг 5 пружиной 7 поворачивается до упора 6. В конец этого плеча рычага упирается штифт индикатора 1.

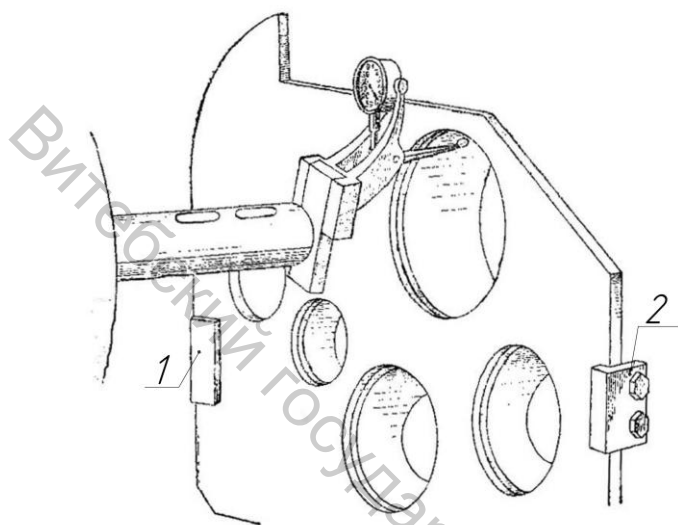


Рисунок 5.47 – Координация шпинделя по шаблону с помощью индикаторного центроискателя

Предварительно шпиндель глазомерно или с помощью конического центроискателя (рисунок 5.49) ориентируется относительно отверстия шаблона. Затем в это отверстие вводится кнопка индикаторного центроискателя. Поворачивая шпиндель, наблюдают за отклонениями стрелки индикатора. Перемещением стола и шпиндельной бабки достигается такое взаимное расположение осей шпинделя и отверстия шаблона, при котором отклонение стрелки индикатора не превышает допустимого значения.

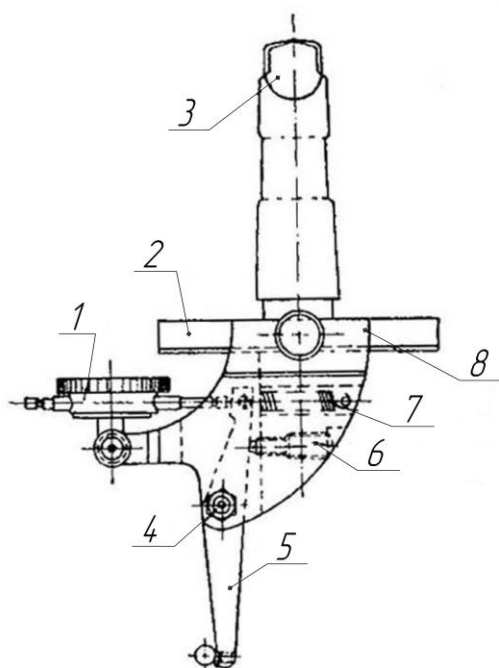


Рисунок 5.48 – Индикаторный центроискатель

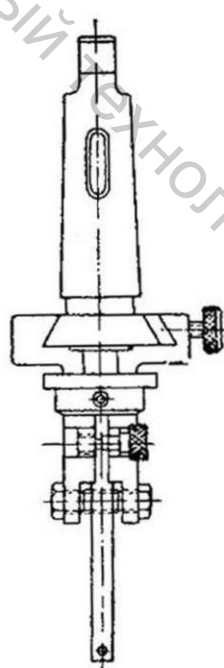


Рисунок 5.49 – Центр для установки оси шпинделя по отверстию шаблона:
1 – центр; 2 – штифт; 3 – пружина; 4 – корпус (оправка)

5.5 Методы контроля точности обработки

После обработки на расточных станках проверяют: 1) диаметры расточенных отверстий, 2) расстояния между осями расточенных отверстий и от них до технологических баз, 3) параллельность осей отверстий между собой и относительно технологических баз, 4) перпендикулярность торца отверстия к его оси, 5) перпендикулярность осей отверстий и их пересечение, 6) соосность отверстий.

Размеры отверстий в зависимости от их точности проверяются штангенциркулем, калибром-пробкой или индикаторным нутромером (глава 4). Если допуск на расстояние между отверстиями соответствует 14...13-у качеству точности, то расстояние A между осями отверстий проверяется штангенциркулем (рисунок 5.50). $A = l + (d_1 + d_2) / 2$.

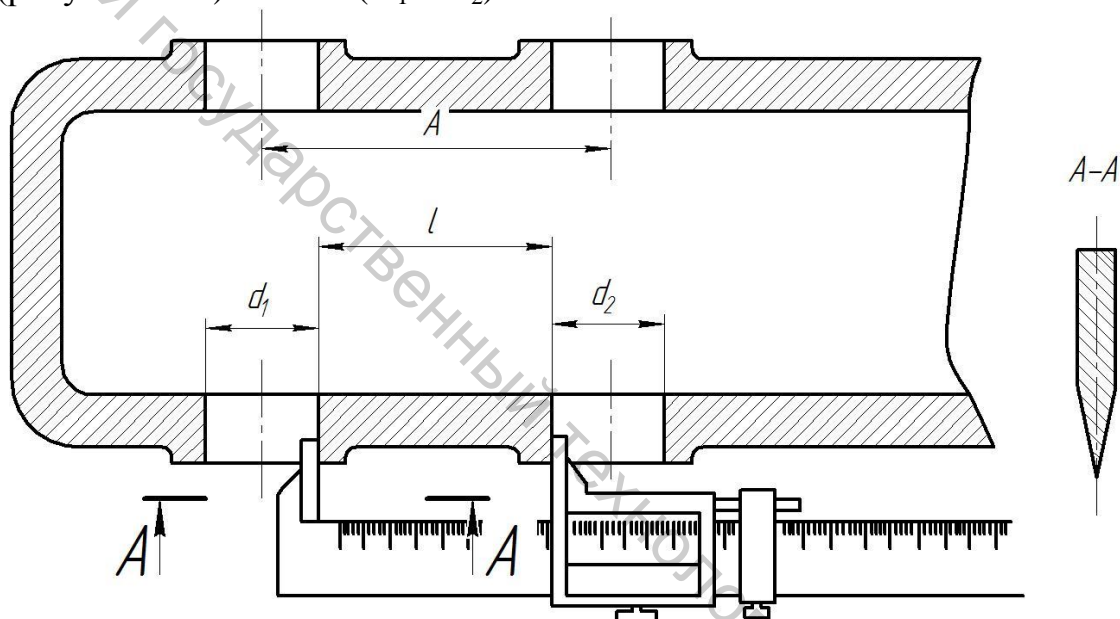


Рисунок 5.50 – Схема измерения расстояния между осями двух параллельных отверстий штангенциркулем

Если точность расстояния между осями более точная, то оно проверяется с



а



б

Рисунок 5.51 – Типы контрольных валиков: а – диаметром до 40 мм включительно; б – диаметром больше 40 мм

помощью контрольных валиков (рисунок 5.51), которые вставляются либо непосредственно в обработанные отверстия, либо через контрольные втулки (рисунок 5.52). Расстояние между осями контрольных валиков проверяется при помощи микрометрических или индикаторных приборов (рисунок 5.53). Жесткий штихмас (рисунок 5.53 а), настроенный на определенный (номинальный) размер, осуществляет отсчет от-

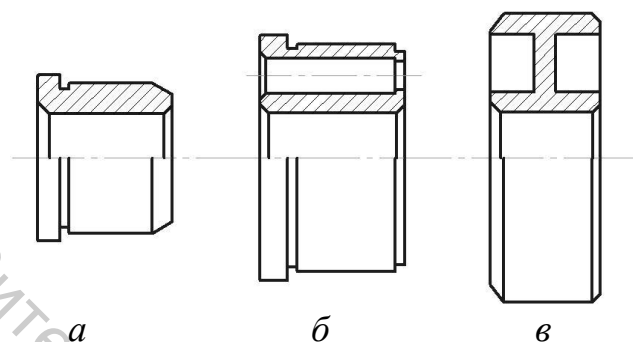


Рисунок 5.52 – Типы контрольных втулок

клонения при помощи микрометрического (как в микрометре) винта, а индикаторный – при помощи индикатора 6 (рисунок 5.53 б).

Устройство для настройки штихмаса показано на рисунке 5.54. Требуемое расстояние между пальцами 1 и 5 с надетыми на них втулками 2 устанавливается с помощью набора концевых мер путем перемещения каретки 4. Ведя штихмас между втулками 2, устанавливают

нониус микрометрического винта (или стрелку индикатора) на ноль.

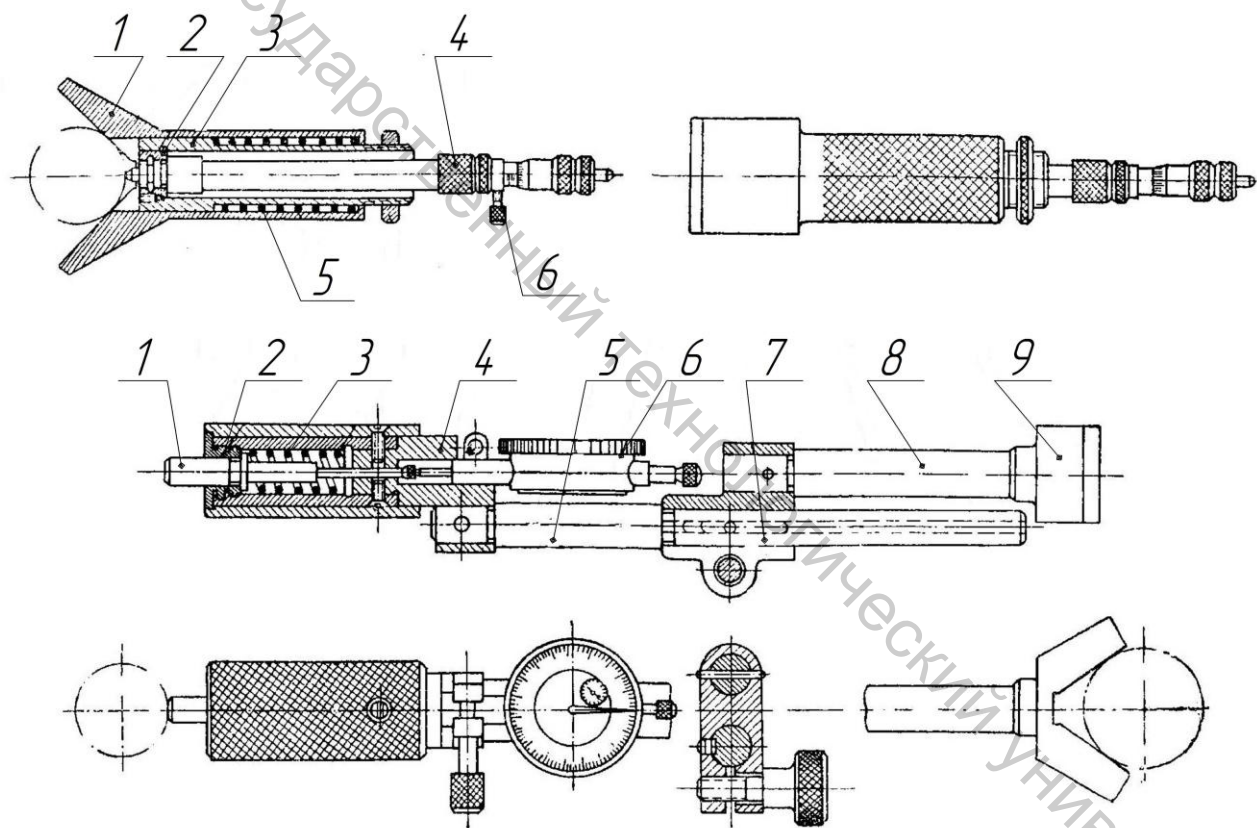


Рисунок 5.53 – Микрометрический и индикаторный приборы для проверки расстояния между осями

Измерение расстояний от осей отверстий до плоских баз в вертикальном направлении показано на рисунке 5.55. Непосредственное измерение осуществляется набором концевых мер (рисунок 5.55 б). Набранный концевыми мерами размер B должен быть равен $B = A - d / 2$, где A – измеряемое расстояние, d – диаметр контрольного валика. Погрешность такого измерения составляет 0,03...0,06 мм.

Такое измерение производится также при помощи обычного штангенрейсмуса (если точность невелика) или штангенрейсмуса, снабженного индикатором (рисунок 5.55 а,в). Мерительный штифт индикатора устанавливается на требуемый размер $A + d/2$ при помощи набора концевых мер.

В тех случаях, когда базовые плоскости детали малы и, следовательно, непригодны для ее установки на плите, применяют метод контроля с помощью контрольной линейки и валика (рисунок 5.55 г). Расстояние H обычно измеряют с помощью набора концевых мер.

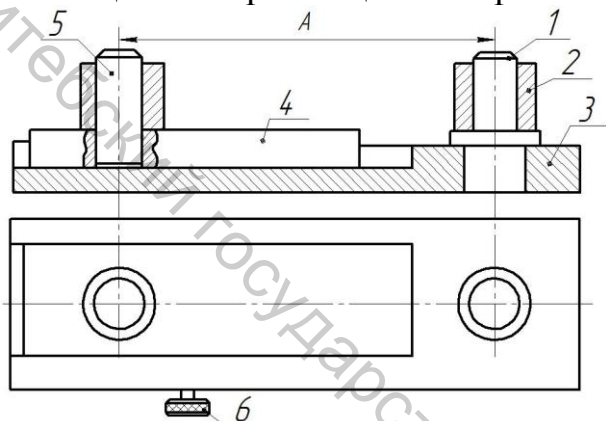


Рисунок 5.54 – Устройство для установки на размер индикаторного прибора для измерения расстояния

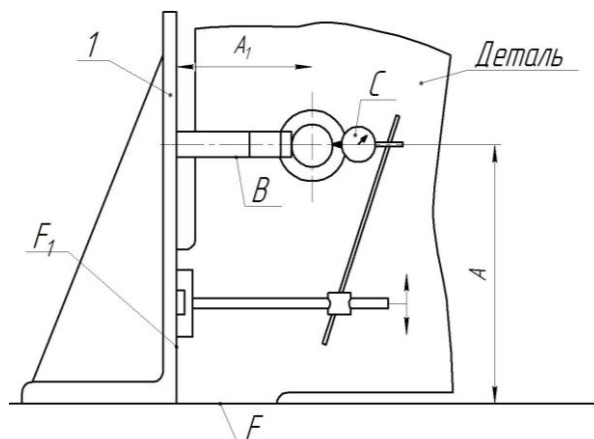


Рисунок 5.56 – Схема проверки расстояния и параллельности осей отверстий относительно боковой базовой поверхности

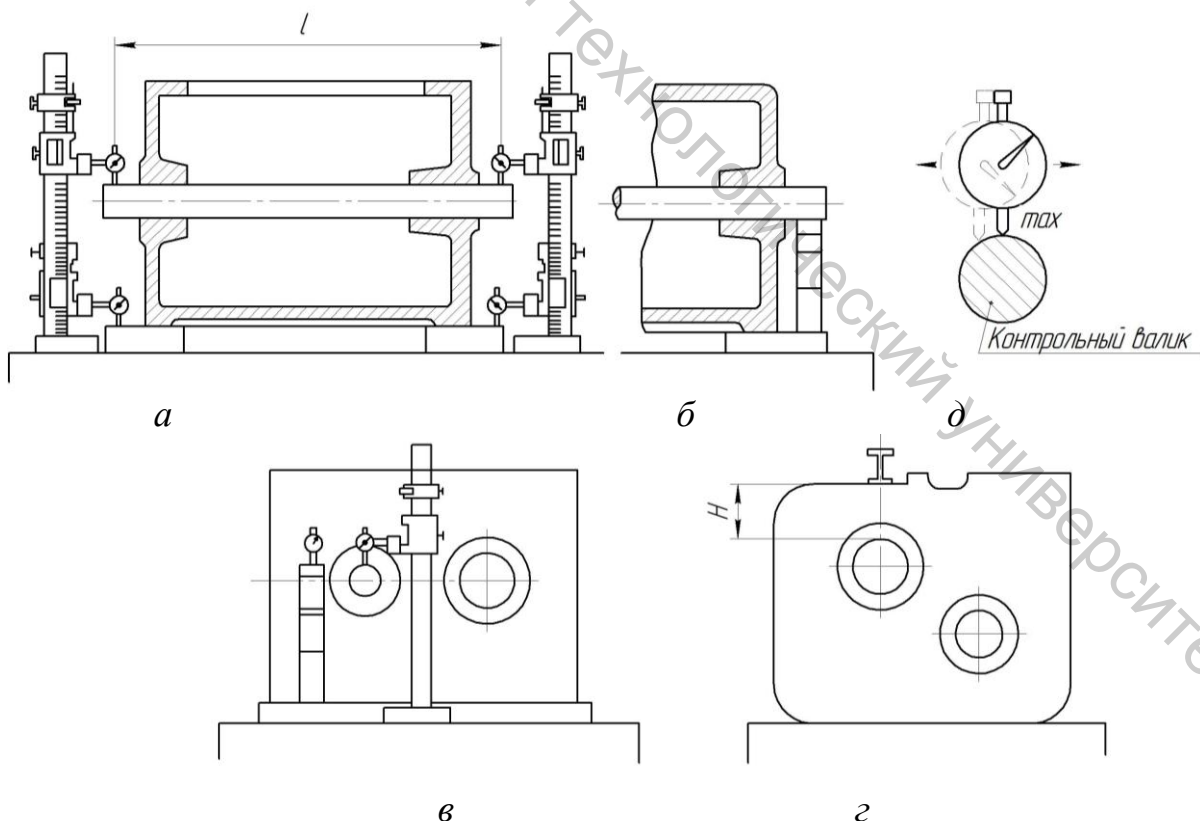


Рисунок 5.55 – Схема контроля расположения осей отверстий относительно плоских поверхностей

При проверке расстояния от оси отверстия до вертикальной плоскости или ее параллельности к ней применяется угольник 1 (рисунок 5.56), который прижимается к базовой плоскости F_1 . Размер и параллельность проверяются набором концевых мер или при помощи стойки с индикатором, настроенными на соответствующие размеры.

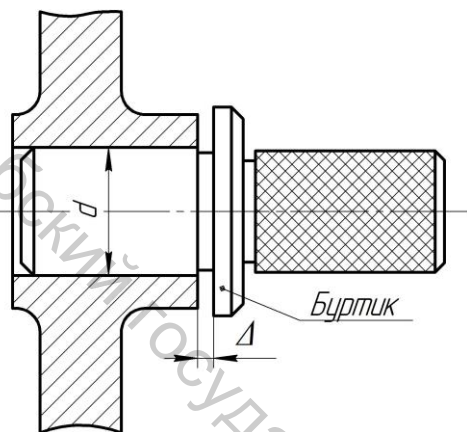


Рисунок 5.57 – Контрольный валик для проверки плоскостности и перпендикулярности торцевой поверхности к оси отверстия

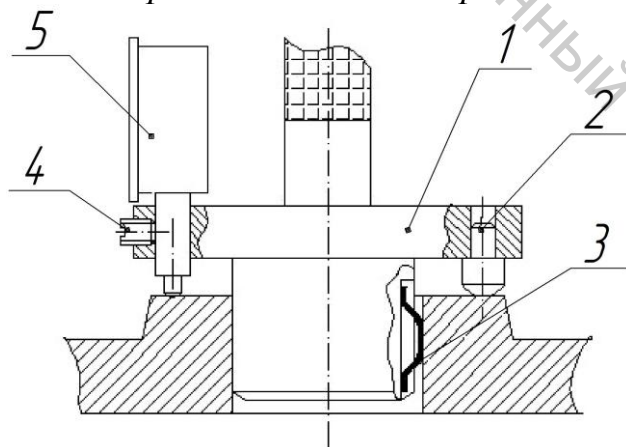


Рисунок 5.58 – Индикаторный прибор для контроля перпендикулярности торца отверстия к его оси:

1 – корпус; 2 – опора; 3 – плоская пружина, «выбирающая» зазор; 4 – винт; 5 – индикатор

Перпендикулярность торца отверстия к его оси проверяется контрольным валиком (рисунок 5.57). Торцев валика строго перпендикулярен его оси. Для проверки этот торец смазывается тонким (0,003...0,004 мм) слоем шпательной краски. Контрольный валик вставляется в отверстие, прижимается к его торцу и поворачивается на 60...90°. При наличии неперпендикулярности краска будет перенесена только на часть торца. Можно приближенно оценить уровень неперпендикулярности при помощи щупа, измеряя зазор Δ . Более точно можно измерить неперпендикулярность при помощи индикаторного прибора (рисунок 5.58). В этом случае неперпендикулярность равна половине размаха отклонений стрелки индикатора.

Проверка перпендикулярности пересекающихся осей отверстий осуществляется при помощи контрольных валиков, на один из которых одевается либо башмак 1 с измерительными площадками (рисунок 5.59 а), либо хомутик с индикатором часового типа (рисунок 5.59 б). Замеряя щупом щель h на одной из сторон башмака, можно определить неперпендикулярность на длине l .

При проверке с помощью индикатора (рисунок 5.59 б) сначала штифт индикатора доводится с некоторым натягом до контакта с поверхностью контрольного валика. Закрепляют кольцо 2 и выставляют стрелку индикатора на ноль. Затем поворачивают валик с индикатором на 180° и измеряют отклонение от перпендикулярности, слегка прижимая кольцо 2 к торцу.

Проверка перпендикулярности осей скрещивающихся отверстий осуществляется при помощи крестовины 4 (рисунок 5.59 в) с двумя мерительными площадками a и b , расположенными в одной плоскости, перпендикулярной к оси

ее отверстия. Крестовину одевают на контрольный валик 5 и доводят до касания с контрольным валиком 3. Отклонение от перпендикулярности проверяется по величине щели, измеряемой щупом.

Пересечение осей перпендикулярных отверстий проверяется при помощи контрольных валиков, изображенных на рисунке 5.60. Отверстия пересекаются с отклонениями в пределах допуска, если контрольный калибр (рисунок 5.60 б), введенный в отверстие контрольного валика (рисунок 5.60 а), при повороте вокруг своей оси не застревает.

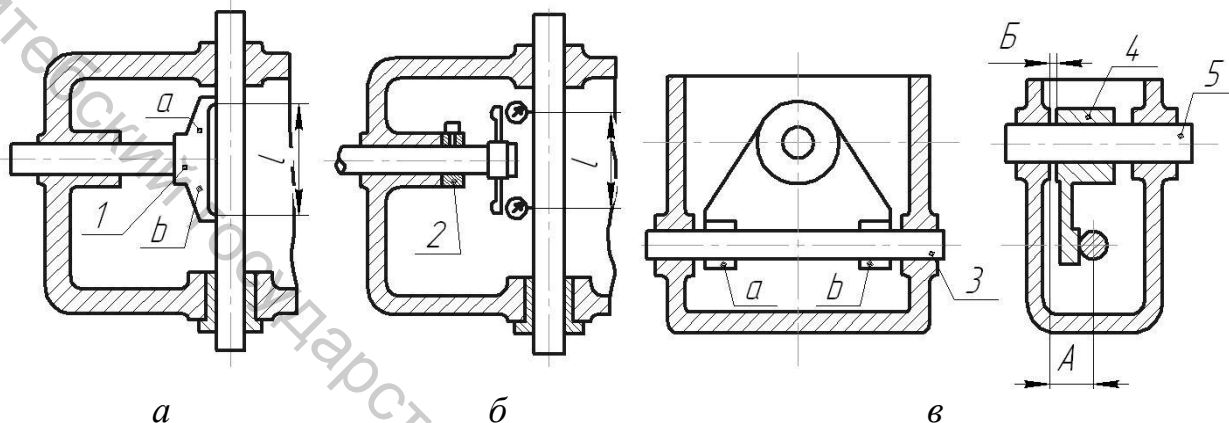


Рисунок 5.59 – Схемы проверки отклонений осей отверстий от перпендикулярности

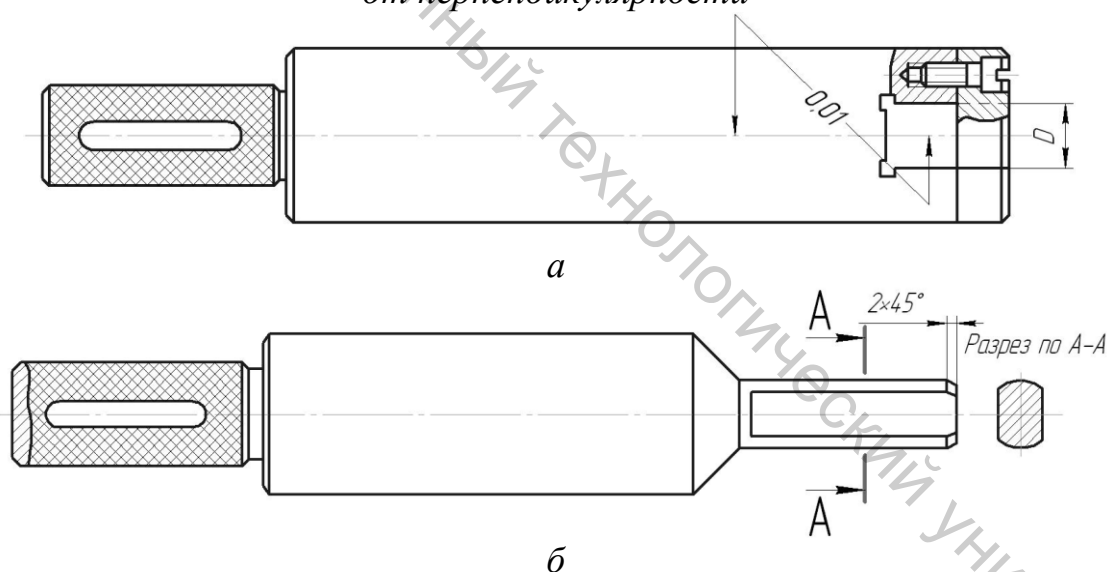


Рисунок 5.60 – Контрольные валики для проверки на пересечение осей отверстий

Схема проверки соосности двух отверстий с помощью контрольного валика и контрольных втулок показана на рисунке 5.61. При этом фактическую несоосность невозможно оценить. Точность измерения зависит от жесткости контрольного валика и расстояния L между отверстиями. Обычно при $L \leq 200$ мм и $d \geq 30$ мм можно обнаружить несоосность не менее 0,15 мм.

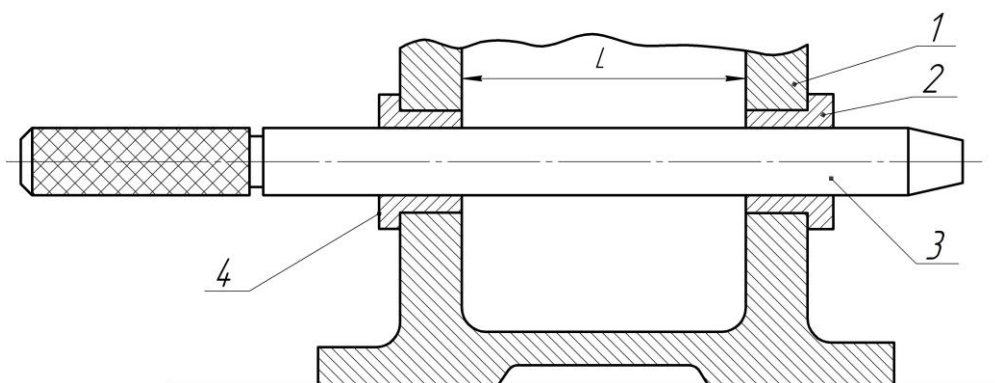


Рисунок 5.61 – Проверка соосности при помощи контрольных втулок и валика

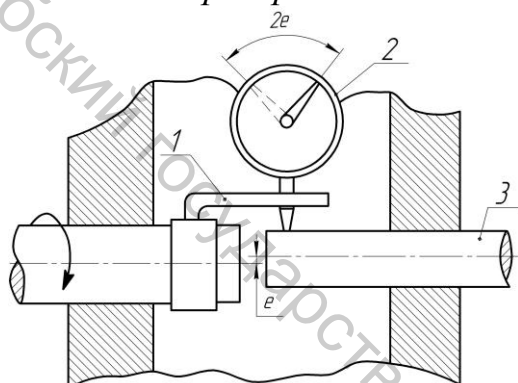


Рисунок 5.62 – Схема проверки соосности с помощью индикатора

Более точный метод проверки приведен на рисунке 5.62. В этом случае значение несоосности оценивается индикатором, закрепленным на одном из контрольных валиков и обкатываемом вокруг другого. При повороте валика с индикатором на 360° несоосность равна половине размаха стрелки индикатора.

5.6 Назначение показателей режима резания

Таблицы для выбора подач и скоростей резания при сверлении, зенкерования и развертывании приведены в главе 4.

Подачи и скорости резания при растачивании выбираются по таблицам 5.5-5.10.

Таблица 5.5 – Подачи при растачивании

Радиус при вершине резца в мм	Ra								
	6,3-12,5			3,2-6,3			1,6-3,2		
	Пределы скорости резания V в м/мин								
	30-50	50-100	св.100	30-50	50-100	св.100	30-50	50-100	св.100
	Подача в мм/об								
0,5	0,21-0,31	0,31-0,40	0,35-0,40	0,12-0,16	0,16-0,25	0,25-0,28	0,08	0,08-0,13	0,13-0,15
1,0	0,31-0,40	0,40-0,45	0,40-0,45	0,15-0,22	0,22-0,35	0,28-0,31	0,10-0,11	0,11-0,17	0,17-0,21
2,0	0,40-0,50	0,50	0,50	0,21-0,31	0,31-0,40	0,35-0,40	0,11-0,15	0,15-0,22	0,22-0,27

Таблица 5.6 – Поддачи и скорости резания при грубой обработке без корки серого чугуна $HB = 160 - 180$ без охлаждения резцами из твердого сплава ВК8

Подача в мм/об	Глубина резания в мм				
	3	5	8	12	16
	Скорость резания в мм/мин				
0,15	94	88	83	79	75
0,20	88	83	78	74	71
0,25	85	79	74	71	68
0,30	81	76	72	68	65
0,40	77	72	62	59	56
0,50	70	63	58	53	50
0,60	65	59	53	50	47

Таблица 5.7 – Поддачи и скорости резания при полустойковой обработке серого чугуна $HB = 160 - 180$ без охлаждения резцами из твердого сплава ВК8

Подача в мм/об	Глубина резания в мм			
	1,0	1,5	2,0	2,5
	Скорость резания в м/мин			
0,10	117	112	107	104
0,15	108	104	99	97
0,20	102	98	93	91
0,25	97,5	93	89	87
0,30	94,0	90	86	84
0,40	89,0	85	82	79

Примечания: 1) в зависимости от диаметра и длины оправки или расточной скалки значения скорости резания следует умножить на поправочные коэффициенты, указанные в приводимой выше таблице; 2) в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала, характера заготовки и других условий работы значение скорости резания нужно умножить на коэффициенты, указанные в таблицах 5.8 – 5.10.

Таблица 5.8 – Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от размера оправки при работе резцами, оснащенными твердым сплавом

	Вылет оправки в мм до					
	150	200	300	400	500	600
	Поправочные коэффициенты на скорость резания					
30	0,45	0,40	0,35	–	–	–
40	0,55	0,45	0,40	0,35	–	–
50	0,60	0,50	0,45	0,40	0,35	–
60	0,65	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
70	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
80	0,75	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
90	0,85	0,75	0,65	0,60	0,55	0,50
100	1,0	0,85	0,75	0,70	0,60	0,55

Таблица 5.9 – Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	Механические свойства		Поправочные коэффициенты на скорость резания
	предел прочности при растяжении σ_s в кг/мм ²	твёрдость по Бринеллю <i>HB</i>	
Углеродистые стали	30 – 40	—	1,90
	40 – 50	—	1,70
	50 – 60	—	1,31
	60 – 70	—	1,00
Чугун серый	—	140 – 160	1,50
	—	160 – 180	1,25
	—	180 – 200	1,00

Таблица 5.10 – Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от характера заготовки и состояния ее поверхности

Обработка без корки (сталь, стальное литье, чугун)	Обработка по чистой корке (сталь, стальное литье, чугун)	Обработка по загрязненной корке с литейными включениями или после автогенной резки (стальное литье, чугун)
Поправочные коэффициенты на скорость резания		
1,0	0,80	0,55

5.7 Вопросы для самоконтроля

1. Назовите главные компоненты технологической системы горизонтально-расточного станка мод. 262Г.
2. Для чего предназначены горизонтально-расточные станки?
3. Назовите главные компоненты шпиндельной бабки горизонтально-расточного станка.
4. Для чего предназначена планшайба горизонтально-расточного станка?
5. Как и с помощью чего осуществляется включение и выключение подачи радиального суппорта горизонтально-расточного станка мод. 262Г?
6. Для чего предназначены Т-образные пазы на суппорте горизонтально-расточного станка мод. 262Г?
7. Где располагается рукоятка ручного перемещения суппорта планшайбы горизонтально-расточного станка мод. 262Г?
8. Где располагается рукоятка ручного перемещения шпинделя горизонтально-расточного станка мод. 262Г?
9. Каких исполнений бывают вертикально-расточные станки?
10. Для чего предназначены вертикально-расточные станки?
11. С помощью чего в вертикально-расточных станках обеспечивается требуемая точность координатных перемещений?

12. Назовите диапазон подач шпиндельной бабки на один оборот шпинделя горизонтально-расточного станка мод. 262Г.

13. Назовите диапазон подач стола на один оборот планшайбы горизонтально-расточного станка мод. 262Г.

14. Назовите главные компоненты технологической системы одностоечного координатно-расточного станка мод. 2450.

15. Для чего координатно-расточные станки следует располагать в изолированных помещениях с постоянной температурой?

16. Какие основные методы установки деталей на расточных станках вы знаете?

17. Назовите состав крепежного комплекта для закрепления детали на столе расточного станка.

18. Какие технические решения используют в крепежных комплектах для крепления деталей различной высоты на столе расточного станка?

19. Что понимается под установкой заготовки на стол расточного станка или на плиту?

20. Назовите порядок установки заготовки на стол расточного станка.

21. Назовите общие правила, которые должны соблюдаться при установке заготовок при обработке на расточных станках.

22. Как проверить плотность прилегания между поверхностью стола и заготовки?

23. Назовите особенности установки заготовок при обработке на расточных станках по необработанным, предварительно (неточно) обработанным и точно обработанным базовым опорным поверхностям.

24. Для чего при установке заготовок на расточных станках применяют пазовые бруски или планки?

25. Как осуществляется выверка положения пазовых брусков при их установке на столе расточного станка?

26. Для чего при установке заготовок на расточных станках применяют угольники?

27. Как осуществляется выверка положения угольника при его установке на столе расточного станка?

28. Как повышают жесткость системы при установке заготовки на угольник?

29. Как осуществляется выверка положения призм при их установке на столе расточного станка, если у заготовки растачиваемые отверстия должны быть параллельны осям базовых опорных поверхностей?

30. Как осуществляется выверка положения призм при их установке на столе расточного станка, если растачиваемые отверстия должны быть перпендикулярны осям опорных поверхностей заготовки?

31. Как установить заготовку на расточном станке, если ее цилиндрические опорные поверхности расположены на общей оси и их диаметры неодинаковы?

32. Как установить заготовку на расточном станке, если ее цилиндрические опорные поверхности расположены на разных параллельных друг другу осях (эксцентричное расположение) и их диаметры одинаковы?

33. Определите понятие выверки.
34. Как и с какой точностью производят установку заготовки, не имеющей обработанных поверхностей, параллельных плоскости стола?
35. Как и с какой точностью производят выверку заготовок, устанавливаемых на стол необработанными поверхностями, но имеющих обработанные базовые поверхности, расположенные в горизонтальной плоскости?
36. Как и с какой точностью производят выверку заготовки, не имеющей обработанных базовых поверхностей в вертикальной плоскости?
37. Как и с какой точностью производится выверка заготовок по боковым базовым обработанным поверхностям в вертикальной плоскости, если требуется расточить отверстие так, чтобы оно было параллельно боковой базовой поверхности?
38. Как и с какой точностью может производиться проверка перпендикулярности оси растачиваемого отверстия относительно ранее обработанной торцовой поверхности заготовки?
39. Как производится выверка заготовок при фрезеровании на расточных станках торцовых и боковых поверхностей?
40. Как и с какой точностью осуществляется проверка установки заготовки по ранее расточенному отверстию?
41. Как производится проверка установки заготовки по заранее выверенным упорам?
42. Какие функциональные модули корпусных деталей вы знаете?
43. Какие переходы выполняются при обработке компонентов функциональных модулей корпусных и подобных им деталей на горизонтально- и координатно-расточных станках?
44. Назовите проливаемые диаметры отверстий при изготовлении заготовок литьем в песчаные формы в зависимости от типа производства и длины отверстия.
45. Как сверлением получить отверстия диаметрами больше 25-и мм и меньше 50?
46. Назовите основные типы, назначение и характеристики державочных расточных резцов.
47. Назовите основные типы, назначение и характеристики пластинчатых расточных резцов.
48. Опишите назначение и принцип действия расточных патронов.
49. Как и какие поверхности можно обработать с помощью радиального суппорта планшайбы расточного станка?
50. Какие типы разверток для обработки отверстий диаметром 80 до 200 мм Вы знаете?
51. Опишите особенности начала обработки отверстия плавающей пластинчатой разверткой.
52. Назовите переходы обработки конических отверстий в зависимости от конусности и диаметра.
53. С помощью чего на расточных станках нарезается резьба в отверстиях?

54. Какие задачи решаются при размерной настройке для растачивания отверстия?

55. Как и с какой точностью осуществляется контроль установки расточного резца на размер в оправке?

56. Назовите достоинства и недостатки регулируемых калибров.

57. Для чего при растачивании применяют мерный валик с подвижным мерным кольцом?

58. В чем суть метода пробных расточек при обработке двух параллельных отверстий?

59. Что из себя представляет и для чего используется индикаторный центрист?

60. Какие размеры и относительные повороты проверяют после обработки на расточных станках?

61. Какие методы измерения расстояния между осями двух параллельных отверстий Вы знаете?

62. Опишите схему измерения расстояния между осями двух параллельных отверстий штангенциркулем.

63. Опишите схему измерения расстояния между осями двух параллельных отверстий с помощью контрольных валиков.

64. Какие методы измерения расстояния между осью отверстия и плоскостью в вертикальном направлении Вы знаете?

65. Какие методы контроля перпендикулярности торца отверстия к его оси Вы знаете?

66. Какие методы контроля перпендикулярности пересекающихся и скрещивающихся осей отверстий Вы знаете?

67. Какие методы контроля соосности осей двух отверстий Вы знаете?

68. От чего зависят подачи при растачивании отверстий?

69. Как зависит подача при растачивании от шероховатости поверхности при одинаковых скоростях резания?

70. Как зависит подача при растачивании от скорости резания?

71. Как зависит подача при растачивании от радиуса при вершине резца?

6 ОБРАБОТКА НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ (работа № 6)

6.1 Виды шлифования

Шлифованием обрабатывают поверхности всех классов. Некоторые виды шлифования показаны на рисунке 6.1. Обычно шлифование применяется для повышения точности размеров и формы поверхностей, формообразование которых было на предыдущих этапах обработки осуществлено другими методами: точением, фрезерованием и т. д. Чаще всего шлифуемые заготовки, после предварительной обработки подвергались закалке или химико-термической обработке. В зависимости от требований к точности шлифование называют: предварительным, чистовым или тонким.

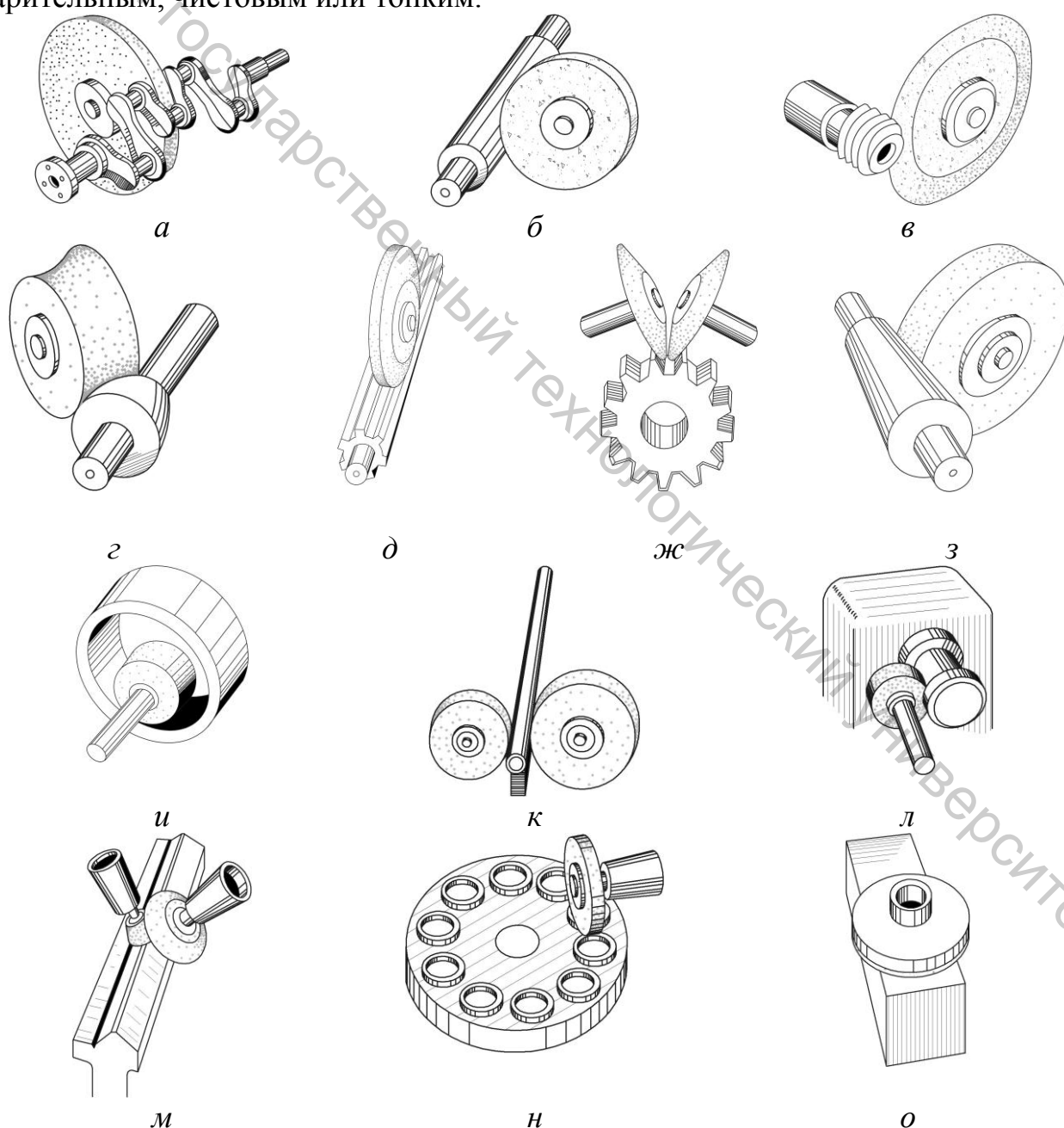


Рисунок 6.1 — Некоторые виды шлифования

В последнее время шлифование все чаще используется для формообразования, то есть для снятия значительных слоев материала с заготовки (тогда оно называется силовым) или для получения в сплошном материале канавок различной формы (тогда оно называется глубинным). Шлифование производится шлифовальными кругами, состоящими из абразивных зерен, которые жестко сцементированы в пористое тело при помощи связки.

Для обработки наружных поверхностей вращения применяются различные методы круглого шлифования (рисунок 6.1 *а, б, г, з, л*) на круглошлифовальных станках. Заготовка при этом устанавливается в центрах, на оправке или в патроне. Для обработки внутренних поверхностей вращения применяются различные методы внутреннего шлифования (рисунок 6.1 *и*). В зависимости от массы, габаритов и формы при внутреннем шлифовании заготовка либо вращается вокруг оси шлифуемого отверстия, либо устанавливается на столе и имеет только продольную подачу. В последнем случае шлифование называют планетарным.

Разновидностью круглого шлифования, характеризуемой высокой производительностью, является круглое бесцентровое шлифование (рисунок 6.1 *к*). Особенностью данного метода является способ ориентации заготовки. В данном случае заготовка ориентируется в зоне шлифования той же поверхностью, которая шлифуется. При бесцентровом шлифовании заготовка шлифуемой поверхностью опирается на опорный нож и ведущий круг, который чаще всего тоже является абразивным, но с характеристиками, отличными от шлифовального. Ведущий круг бывает также алюминиевым, стальным или чугунным. Кроме цилиндрических поверхностей, врезным бесцентровым шлифованием обрабатывают также ступенчатые, конические и фасонные поверхности.

Фасонное врезное круглое шлифование в последнее время (в условиях массового производства) все больше заменяется шлифованием на жестких опорах, при котором исключается влияние биения шпинделя заготовки и деформаций при ее креплении на точность формы и взаимного расположения шлифованной поверхности. Кроме того, данный метод существенно упрощает автоматизацию загрузки заготовок по сравнению с ее креплением в патроне.

Относительно неширокие плоскости и пазы обрабатываются плоским шлифованием на плоскошлифовальных станках с прямоугольным столом периферией или торцом круга (рисунок 6.1 *м, н, о*). Чтобы уменьшить тепловое напряжение в зоне шлифования торцом круга, ось последнего наклоняют в плоскости, параллельной продольной подаче. При предварительном шлифовании допускается превышение задней кромки круга над передней до 2 мм, а при чистовом не более 0,05 мм.

Для шлифования открытых плоскостей в массовом производстве применяются плоскошлифовальные станки с круговой (вместо продольной) подачей (рисунок 6.1 *п*). Если ширина шлифования больше ширины шлифовального круга, то обработка ведется с круговой и поперечной подачами. Плоскошлифовальные станки с круглым вращающимся столом более производительны, потому что при их использовании есть возможность в 2-3 раза, по сравнению со

станками с прямоугольным столом повысить скорость продольной подачи. Это преимущество особенно проявляется при шлифовании закаленных деталей.

Шлифование шлицевых поверхностей проводится на шлицешлифовальном станке либо одним профилированным кругом за один переход (рисунок 6.1 д), либо за несколько переходов, когда боковые стороны и дно шлицев шлифуются отдельно. В первом случае обеспечивается относительная простота наладки, высокая точность взаимного расположения шлицев и высокая стойкость круга. Однако различные условия шлифования дна и боковых сторон шлицев ограничивает производительность процесса шлифования.



Шлифование точных резьбовых поверхностей осуществляется на резьбошлифовальных станках шлифовальным кругом, профилированным согласно форме впадины между витками резьбы (рисунок 6.1 е). Если шаг резьбы меньше двух миллиметров, то она предварительно не прорезается и шлифование проводится «по целому».

Шлифование зубчатых поверхностей обеспечивает их высокую точность по всем показателям. Оно осуществляется методом копирования образующей, когда профиль шлифовального круга соответствует форме и размерам впадины между зубьями, или методом огибания, когда форма инструмента соответствует зубу рейки, а в процессе шлифования имитируется движение в процессе зацепления. Пример шлифования методом огибания двумя шлифовальными кругами показан на рисунке 6.1 ж.

6.2 Характеристики шлифовальных кругов

Инструментом для шлифования являются *шлифовальные круги* различной формы (таблица 6.1).

Таблица 6.1 — Некоторые формы шлифовальных кругов

Форма шлифовального круга	Наименование шлифовального круга	Условное обозначение	Форма шлифовального круга	Наименование шлифовального круга	Условное обозначение
1	2	3	4	5	6
	Плоский прямого профиля	ПП		Плоский с выточкой	ПВ
	Плоский с двусторонним профилем	ГП		Чашка цилиндрическая	ЧЦ
	Плоский с односторонним профилем	ИП		Чашка коническая	ЧК

Окончание таблицы 6.1

1	2	3	4	5	6
	Плоский с конической выточкой	ПВК		Тарелка	Т

Кроме формы характеристику шлифовальных кругов определяют показатели, оценивающие состав, свойства, размеры и уравновешенность инструмента. Шлифовальные круги изготавливаются из абразивных зерен, сцементированных связкой.

Абразивные зерна шлифовальных кругов чаще всего изготавливаются из *электрокорунда*. В зависимости от содержания примесей и технологии производства электрокорунд делится на следующие виды: *нормальный* (12А...16А), *белый* (22А...25А), *хромистый* (32А...34А), *титанистый* (37А) и *монокорунд* (43А...45А). Электрокорунд нормальный и белый применяется для обработки конструкционных (углеродистых и легированных) сталей. Для шлифования этих сталей на интенсивных режимах лучше применять хромистый электрокорунд. Для обработки инструментальных, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей применяется монокорунд.

Для обработки чугуна, цветных металлов и сплавов, титановых сплавов обычно применяют абразивные зерна из *карбида кремния черного* (53С...55С) и *зеленого* (63С...64С).

В последнее время для шлифования труднообрабатываемых закаленных сталей, титановых сплавов и инструментальных сталей применяются шлифовальные круги с абразивными зернами из *кубического нитрида бора* (*эльбор*, *кубонит*). Для обработки твердых металлокерамических сплавов начали широко применять круги с абразивными зернами из *природных* и *искусственных алмазов*. Синтетические алмазные зерна выпускаются четырех марок, которые отличаются между собой в основном прочностью: АСО — обычной прочности, АСП — повышенной, АСВ — высокой и АСК — кристаллической прочности. А зерна эльбора выпускаются двух марок: ЛП — повышенной и ЛО — обычной прочности.

Самой распространенной *связкой* является *керамическая*. Она огнеупорна, водостойка, обладает химической стойкостью, жесткостью и относительно высокой прочностью при испытании на разрыв. Инструменты на керамической связке имеют высокую пористость, относительно хорошо отводят тепло, сохраняют профиль рабочей кромки, но чувствительны к ударам и изгибающим нагрузкам. Наиболее часто для инструментов из нормального и белого электрокорунда применяются плавящиеся связки на основе борного стекла марки К4 и К5. Для кругов из карбида кремния используют связки марок К3 и К10. В последнее время для скоростных кругов (скорость шлифования более 80 м/с) начинают применять связку марки К43 на основе литийсодержащего борного стекла с добавкой фтористых соединений.

Бакелитовая связка (марок Б1...Б3) применяется для шлифовальных кругов, работающих со значительной (переменной) нагрузкой при удалении больших слоев металла. Основой этой связки является бакелит в виде порошка или жидкости. Кроме того, в связку добавляются наполнители – обычно неабразивные материалы, которые: активируют процесс шлифования за счет химического воздействия на обрабатываемый материал, уменьшают нагрев шлифуемой детали за счет повышения теплопроводности связки, повышают прочность связи абразивных зерен и связки. В качестве наполнителей применяются также вещества, повышающие пористость либо в процессе изготовления (путем растворения или возгонки), либо в процессе шлифования (хрупкие, легко выкрашивающиеся материалы).

Бакелитовая связка обладает высокой прочностью и упругостью. Эти свойства, однако, существенно снижаются под действием щелочесодержащих охлаждающих жидкостей. Она не выдерживает высоких температур (выше 250° С).

Для чистового фасонного шлифования, прорезания пазов и отрезания применяются круги на *вулканитовой связке* (марки В1 – В3). Наполнители, также как и в инструментах на бакелитовой связке, вводятся в вулканитовую связку для повышения прочности и эксплуатационных свойств шлифовальных кругов. При оптимальном количестве наполнителя (10 – 20 %) прочность связки возрастает в 10...15 раз.

Для эльборовых и алмазных кругов применяются *органические, керамические и металлические* связки. Для органических связок связующим веществом служат фенолоформальдегидные смолы и комбинации на их основе. Наполнителями в этих связках служат минеральные вещества: карбид бора (Б1), белый электрокорунд (Б3), карбид кремния (Б4), а также железный порошок (Б2). Из керамических наиболее часто применяются связки К1 и К5. Круги на этих связках применяются для обработки твердосплавных пластинок одновременно со стальной державкой инструмента.

Из широкой номенклатуры металлических связок чаще всего используются связки марок М1, М5, МИ и МК. Основой для большинства металлических связок является медь и ее сплавы с оловом, алюминием, никелем и другими металлами. В качестве наполнителя в металлических связках МИ и МК служит соответственно карбид кремния зеленый и электрокорунд. Металлические связки более прочно удерживают алмазные и эльборовые зерна, чем органические. Наилучшими режущими свойствами обладают круги на связке М5, а также на новых связках МО13, М5-4, МС6 и др.

Характеристиками строения круга является *зернистость* и *структура*. *Номер зернистости* характеризует размерный параметр абразивных зерен (в сотых долях миллиметра для шлифзерна и шлифпорошка, и в мкм – для микропорошка). Для размерного шлифования чаще всего применяются шлифовальные круги с номерами зернистости 40...16 (0,40...0,16 мм).

Технология дробления и отсева абразивного материала не может обеспечить однородность размерных характеристик абразивных зерен в круге с данным номером зернистости. В любом абразивном инструменте содержатся зерна

основной, крупной, мелкой и предельных фракций. В зависимости от содержания основной фракции (размерная характеристика которой соответствует номеру зернистости) выделяют четыре индекса марки шлифовального материала: В – содержание основной фракции 55 – 60 %, П – 45 – 55 %, Н – 40 – 45 %, Д – 39 – 41 %. Шлифовальные круги с повышенным содержанием основной фракции обладают лучшими эксплуатационными характеристиками. Однако для профильного шлифования и там, где требуется высокая стойкость кромки круга, лучше себя показали шлифовальные круги, изготовленные из смеси зерен двух номеров зернистости 40 и 25.

Структура шлифовального круга характеризует соотношение объемов, которые занимают в нем абразивные зерна, связка и поры. В любом абразивном инструменте на керамической или бакелитовой связке имеет место соотношение

$$v_z + v_c + v_n = 100 \text{ \%},$$

где v_z – относительный объем зерна, v_c – связки и v_n – пор. Содержание пор в абразивных инструментах на вулканитовой и металлических связках очень мало.

Регулируемая пористость необходима шлифовальному кругу, так как чем больше относительный объем пор и чем крупнее сами поры, тем эффективнее идет процесс шлифования (особенно труднообрабатываемых материалов). В то же время инструмент с высоким содержанием пор менее прочен и больше изнашивается, чем инструмент более плотный, монолитный. Следует различать пористые круги с естественными порами и круги, поры которых получены благодаря применению выгорающих наполнителей. Последние называются высокопористыми (рисунок 6.2, в) и могут иметь $v_n = 75 \text{ \%}$.

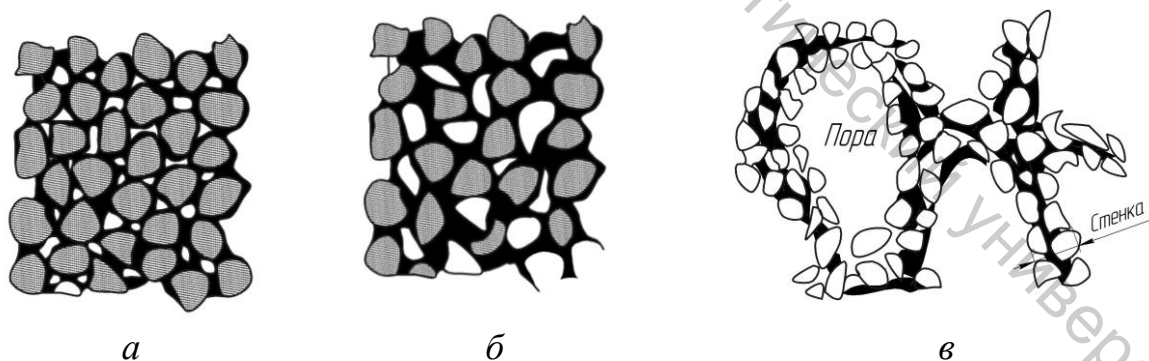


Рисунок 6.2 — Структура шлифовального круга: а — закрытая, б — открытая, в — высокопористая

Номер структуры связывается с относительным объемом зерен (v_z). Структуре № 1 соответствует $v_z = 60 \text{ \%}$. С повышением номера структуры на единицу v_z уменьшается на 2 %. И так до структуры № 12, где $v_z = 38 \text{ \%}$. Чаще всего круги на керамической связке изготавливают с номерами структур от 4 до 9, причем по мере уменьшения размера зерен номер структуры повышается. Для чистовой обработки необходимы круги с меньшим номером структуры,

чем для предварительной. Для профильного шлифования также следует выбирать круги с меньшим номером структуры.

Структура алмазных и эльборовых шлифовальных кругов характеризуется концентрацией абразивного материала. 100 % концентрацией алмазных зерен считают содержание 4,39 карата в одном кубическом сантиметре алмазного слоя. За 100 % концентрацию алмаза или эльбора принимают такое содержание абразивного зерна, которое составляет примерно 25 % объема рабочего слоя инструмента, независимо от типа связки. Шлифовальные круги выпускают с концентрацией от 25 до 150 %. По специальным заказам можно изготовить круги с концентрацией 175 и 200 %.

Твердость шлифовального круга характеризует прочность, с которой связка удерживает абразивные зерна, выходящие на рабочую поверхность круга и подвергающиеся ударным нагрузкам в процессе шлифования. Для абразивных инструментов установлена условная шкала твердости, приведенная в таблице 6.2. Цифры 1, 2 и 3 справа от буквенного обозначения характеризуют твердость в порядке ее возрастания. Измерение и оценка твердости состоит в том, что заданным стандартным способом механического воздействия производят разрушение небольшого участка поверхности контролируемого инструмента. Количественной оценкой твердости является размер разрушения, то есть глубина лунки или отпечатка, полученного при испытании. Контроль твердости абразивных инструментов с номером зернистости больше 16-ти осуществляется на пескоструйном приборе, на котором локальное разрушение производится струей стандартной порции кварцевого песка, выбрасываемого из рабочей камеры прибора сжатым воздухом под давлением 0,15 МПа. Для определения твердости инструмента на керамической или бакелитовой связке зернистостью N 12 и менее используется прибор Роквелла, на котором под действием стандартной нагрузки в круг вдавливается шарик диаметром 5 или 10 мм. Прибор ТКН (твердомер конусный с нагревом) используется для определения твердости абразивных кругов на вулканитовой связке.

Таблица 6.2 — Твердость шлифовальных кругов

Название характеристики шлифовального круга	Условное обозначение характеристики	Степени твердости шлифовальных кругов со связками	
		керамической или бакелитовой	вулканитовой
Мягкий	М	M1, M2, M3	—
Среднемягкий	СМ	CM1, CM2	—
Средний	С	C1, C2	С
Среднетвердый	СТ	CT1, CT2, CT3	СТ
Твердый	Т	T1, T2	Т
Весьма твердый	ВТ	BT1, BT2	—

Для оценки твердости абразивного инструмента без его разрушения применяют акустические методы контроля, при которых определяют скорость распространения звука в среде инструмента. Твердость оценивается значением звукового индекса, равным 0,01 скорости звука. Шкала звуковых индексов от 19 до 75 охватывает весь диапазон твердостей, указанный в таблице 6.2.

Твердость является самой существенной характеристикой абразивного инструмента, часто предопределяющей эффективность процесса шлифования. Большое значение также имеет равномерность твердости круга в отдельных его частях. При неравномерной твердости круга его изнашивание тоже неравномерно, что приводит к появлению погрешности формы рабочей поверхности круга, которая переносится на шлифованную поверхность. Наиболее часто используются круги средней твердости. При выборе степени твердости для конкретных условий шлифования необходимо руководствоваться следующими рекомендациями: 1) при шлифовании периферией круга следует использовать более твердые круги, чем при шлифовании торцом; 2) при внутреннем и плоском шлифовании следует применять более мягкие круги, чем при круглом наружном шлифовании; 3) при профильном шлифовании, резьбошлифовании, шлифовании прерывистых поверхностей и заготовок малых диаметров, точном шлифовании цилиндрических поверхностей, ограниченных галтелями и жестким допуском на радиус, следует использовать более твердые круги; 4) при шлифовании с применением СОЖ следует применять более твердые круги, чем при шлифовании без СОЖ; 5) при замене керамической связи бакелитовой, электрокорунда нормального – белым или белого монокорундом, при уменьшении номера зернистости следует повысить твердость на одну-две степени; 6) для устранения опасности термического повреждения шлифованной поверхности следует применять более мягкие круги.

Шлифовальные круги изготавливают трех классов точности – АА, А и Б. Для кругов класса точности АА используют шлифовальный материал с индексами зернистости В и П, для класса точности А – только В, П и Н, а для класса Б можно использовать шлифовальный материал с любым содержанием основной фракции. Кроме того размеры посадочного отверстия, наружной поверхности и высоты круга у класса АА выполняются точнее, чем у класса А, а у последнего точнее, чем у класса Б.

Шлифовальные круги различают также по классам уравнированности. Установлено четыре класса неуравновешенности, обозначаемых цифрами 1, 2, 3 и 4. Классу 1 соответствует минимальная, а классу 4 – максимальная неуравновешенность. Допускаемая неуравновешенность для всех классов увеличивается при увеличении массы круга. Для уменьшения неуравновешенности, что имеет большое значение при чистовом и тонком шлифовании, а также при высоких (50...80 м/с) скоростях шлифования, проводят периодическую балансировку круга (вне станка и на станке). Некоторые методы балансировки освещены далее.

6.3 Правка шлифовальных кругов

При шлифовании вследствие изнашивания изменяется микро- и макрогеометрия рабочей поверхности шлифовального круга, а, следовательно, и его эксплуатационные свойства. Для их восстановления шлифовальный круг периодически подвергается правке. Особенно велика роль правки при врезном шлифовании, когда погрешности профиля круга копируются обработанной поверхностью.

стью. От правильного выбора средств и режимов правки зависят не только точность и шероховатость, но и производительность обработки, расход шлифовальных кругов и экономическая эффективность процесса шлифования. Широко применяемые шлифовальные круги на керамической связке твердостью СМ2...СТ2 в основном расходуются не в процессе шлифования, где их износ очень мал, а в процессе правки. На правку расходуется от 45 до 80 % полезного объема абразивных кругов, а затраты времени на правку могут достигать до 30 % от времени обработки.

Метод и режим правки выбирают в зависимости от требований к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Правку абразивных кругов можно осуществить обтачиванием алмазным инструментом, обкатыванием металлическими, твердосплавными или абразивными дисками, шлифованием кругами из карбида кремния или алмазными роликами (брусками), накатыванием стальными профильными роликами.

Правку обтачиванием (рисунок 6.3) выполняют по схеме токарной обработки. Этот наиболее точный метод применяют для автоматической и профильной правки, а также при шлифовании по 5-му и 6-му квалитетам допуска ($Ra = 0,16...0,63$). Правящим инструментом являются: крупные алмазные зерна, зачеканенные в оправки; алмазные резцы; либо алмазно-металлические карандаши. Наибольшее распространение имеют алмазно-металлические карандаши, в которых в определенном порядке размещены кристаллы алмазов, прочно соединенные металлической связкой с державкой.

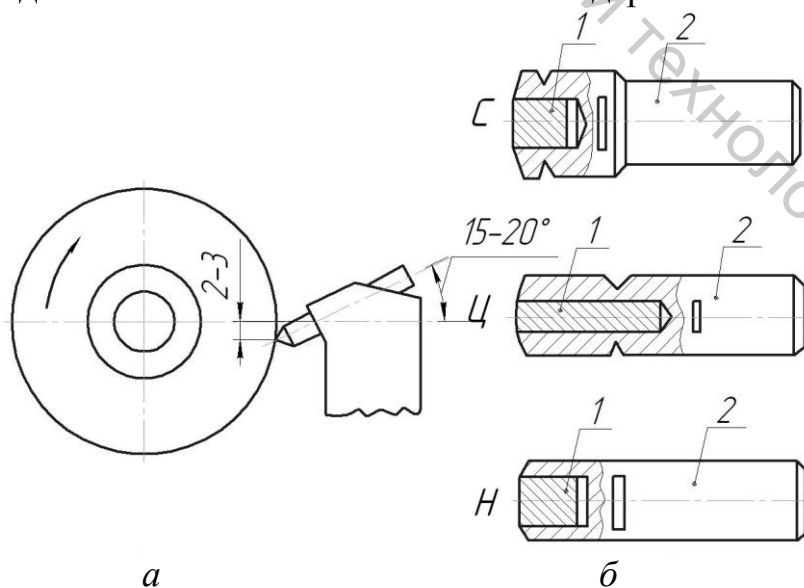


Рисунок 6.3 — Схема правки обтачиванием:

а — установка алмазно-металлического карандаша на станке; б — виды алмазно-металлических карандашей:

1 — алмазоносная вставка, 2 — оправка

державки.

В процессе правки алмазно-металлические карандаши изнашиваются (на рабочих поверхностях алмазных зерен образуются площадки). Поэтому каран-

В зависимости от расположения алмазных кристаллов различают четыре типа алмазно-металлических карандашей: Ц — с алмазами, расположенными цепочкой; С — с алмазами, расположенными по 3 — 5 штук слоями, которые могут перекрываться или не перекрываться; Н — с неориентированным расположением алмазов. Каждый тип карандашей подразделяют на марки, отличающиеся массой и количеством кристаллов алмаза, а также размерами державки.

даши обычно устанавливают так, чтобы их ось была наклонена под углом в сторону вращения шлифовального круга. Это позволяет, периодически поворачивая карандаш вокруг оси на $40...60^\circ$, вводить в работу незатупившиеся грани алмаза (восстанавливать задний угол). Такая установка карандашей снижает износ алмаза, предохраняет его от перегрузки и исключает вибрации при правке. Для карандашей типа Ц угол $= 10...15^\circ$, а для типов С и Н $= 2...5^\circ$.

Алмазы с естественными гранями, закрепленные в оправе, имеют намного большую износостойкость по сравнению с алмазно-металлическими карандашами, так как их устанавливают в оправе так, чтобы плоскости сколов кристаллов не совпадали с направлением сил, действующих на алмаз при правке. Для закрепления алмазов в оправе применяют металлический зажим, пайку или чеканку.

Правка методом обкатывания (рисунок 6.4 б) представляет собой процесс дробления и скалывания абразивных зерен и связки на рабочей поверхности круга правящим инструментом, прижатым к вращающемуся шлифовальному кругу с определенной силой и вращающимся в результате действия сил трения. Чаще всего в качестве правящего инструмента при правке обкатыванием применяется монолитный твердосплавный ролик, ось которого скрещивается с осью шлифовального круга под углом $5...10^\circ$. Такое расположение оси ролика несколько увеличивает производительность правки, но при этом повышается износ правящего инструмента.

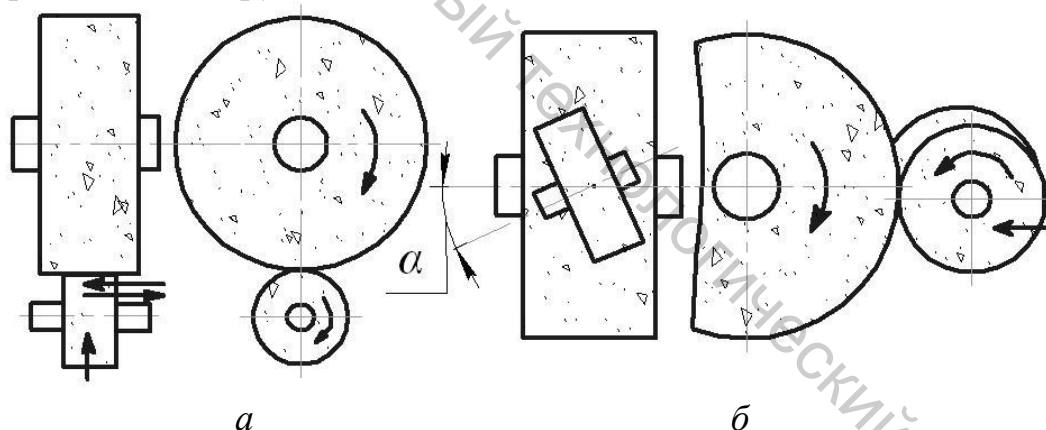


Рисунок 6.4 — Схемы методов правки шлифовальных кругов:
а — метод шлифования; б — метод обкатки

Правку кругов методом обкатывания чаще всего применяют как предварительную, когда необходимо снять относительно большой слой абразива. Можно применять этот метод правки для кругов, используемых при предварительном или получистовом шлифовании с $Ra > 1,25$ мкм.

Правка методом шлифования (рисунок 6.4 а) представляет собой процесс срезания и дробления абразивных зерен рабочей поверхности шлифовального круга вращающимся правящим инструментом, который получает движение от отдельного привода. В отличие от метода обкатывания, в данном случае на рабочей поверхности шлифовального круга действуют не только радиальные, но и значительные тангенциальные силы. В качестве правящего инструмента чаще всего применяют ролик с алмазоносным слоем, который соединен с корпусом

специальной твердосплавной связкой. В условиях массового производства применяют алмазные ролики, позволяющие методом врезания править сразу несколько рабочих поверхностей круга, что сокращает затраты времени на правку.

Метод непрерывной врезной правки таким роликом в сочетании с воздействием на рабочую поверхность круга струи СОЖ под высоким давлением в 20...30 раз повышает режущие свойства шлифовального круга по сравнению с обычными методами периодической правки. На плоскошлифовальных станках вместо алмазного ролика с отдельным приводом можно для фасонной правки круга применять алмазный фасонный брусок, который устанавливается на столе станка соосно обрабатываемой заготовке. Правка методом шлифования обеспечивает точность профиля шлифуемой детали до 0,01...0,02 мм и значения параметра шероховатости $Ra = 0,32...0,63$ мкм. Достижимая точность профиля зависит от точности изготовления алмазных роликов и их биения.

Правка методом накатывания рабочей поверхности круга представляет собой процесс дробления абразивных зерен и связки при относительно медленном вращении металлического правящего ролика (рисунок 6.5) и прижатого к нему с определенной радиальной силой шлифовального круга. Данный метод применяется исключительно для правки профильных шлифовальных кругов. Профилирование ведут при скорости накатывания 1...1,5 м/сек и поперечной подаче 0,05...0,1 мм/мин. Правящий ролик имеет профиль шлифуемой детали. Износ ролика вследствие незначительного проскальзывания при правке сравнительно невелик, поэтому одним и тем же роликом можно править многократно. В зависимости от конструктивных особенностей станка принудительное вращение при накатке сообщают либо шлифовальному кругу, либо ролику.

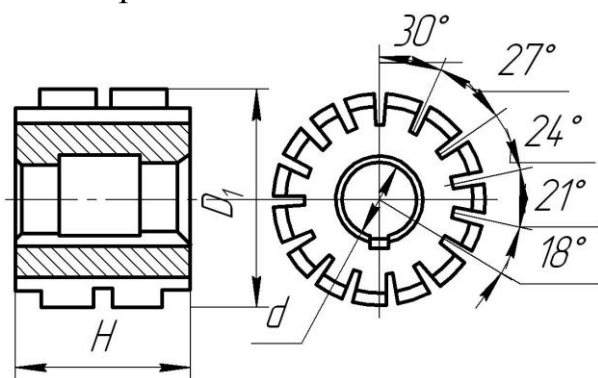


Рисунок 6.5 — Ролик для накатывания

Круги, заправленные методом накатывания, обладают достаточно высокими режущими свойствами и обеспечивают шлифование с $Ra 1,25$ мкм. Наличие канавок с неравномерным шагом на ролике интенсифицирует процесс профилирования круга. Для изготовления роликов применяют термически улучшенные стали марок 45 и 40Х или закаленные инструментальные стали (У8А, ХГ, Р6М5). Хотя закаленные до высокой твердости (HRC 60 – 64) ролики более изнosoустойчивы, но стоят дороже и для их изготовления требуются оптико-шлифовальные станки.

Режимы правки приведены в таблицах 6.3 – 6.5, где продольная подача алмаза s_{np} м/мин, а поперечная — s_{nn} мм/дв. ход. Показатели режима правки зависят от требований к шероховатости и метода правки. Число рабочих проходов зависит от снимаемого слоя и колеблется в пределах от 3 до 8. Кроме этого осуществляется несколько проходов (2 – 4) без поперечной подачи (выхаживающих).

Таблица 6.3 — Показатели режима правки кругов обтачиванием

Способ шлифования	Параметр шероховатости Ra , мкм	Правка			
		алмазом		а.-м. карандашом	
		s_{np}	s_{nn}	s_{np}	s_{nn}
Круглое наружное	0,32...1,25	0,3	0,02	0,4	0,03
Внутреннее	0,32...1,25	1	0,02	1,5	0,03
Плоское	0,08...0,32	0,2	0,01	0,3	0,02

Таблица 6.4 — Показатели режима правки обкатыванием

Правящий инструмент	Показатели режима правки			
	s_{np}	s_{nn} (мм/ход) для зернистости шлифовального круга		
		40	25	16
Круг с материалом зерен 63С	1	0,03	0,025	0,015
Диск твердосплавный	0,5...1	0,025	0,015	0,015
Диск стальной	1...1,5	0,045	0,015	0,015

Таблица 6.5 — Показатели режима правки шлифованием

Правящий инструмент	Вид шлифования	Показатели режима правки			
		v , м/с	s_{np}	s_{nn}	
				мм/ход	мм/мин
Алмазный ролик	Окончательное	10	0,3 – 1	0,02	0,3...0,5
Круг с материалом зерен 63С	Предварительное	0,5 – 1	1 – 1,5	0,05	–
	Окончательное	0,5 – 1	0,5 – 1	0,03	–

Алмазные и эльборовые круги с прямолинейной образующей рабочей поверхностью правят одним из двух методов – шлифованием или обкаткой. Метод шлифования более эффективен для кругов на бакелитовой связке. Высокие режущие свойства круга, который подвергается правке шлифованием, достигаются, когда правящий абразивный круг имеет скорость 20...30 м/с, а подвергаемый правке вращается навстречу со скоростью в 2 раза меньшей. Для правки алмазных и эльборовых кругов сложного профиля на металлической связке наиболее рационально применять методы электроэрозионного или электрохимического профилирования.

6.4 Технологические характеристики процесса шлифования

Процесс шлифования является сложной системой, состоящей из взаимосвязанных подпроцессов: 1) удаления материала; 2) упругого деформирования технологической системы; 3) относительного перемещения элементов технологической системы; 4) теплообмена; 5) изнашивания шлифовального круга; 6) макро- и микроформообразования. На следующей ступени классификации каждый из указанных подпроцессов можно в свою очередь разделить на компоненты — более простые процессы. Для эффективного управления процессом шлифования необходимы математические модели, отражающие наиболее важные

связи между показателями его компонентов. Каждая модель отражает сложную систему в определенном диапазоне условий и требований, включая только те параметры и отношения, которые необходимы для решения инженерной технологической задачи.

Отношения и взаимосвязи между параметрами подпроцессов устанавливаются либо чисто эмпирически, либо выявляются логически, но с привлечением данных эксперимента. Они описываются с помощью уравнений, неравенств, а также с помощью графов, блок-схем, графиков, программ для ЭВМ и т. д.

Одной из основных является модель производительности удаления материала или, в соответствии с ГОСТ 21445-84 — модель режущей способности шлифовального круга. Экспериментально установлено, что режущая способность шлифовального круга (т. е. объемная производительность шлифования Q) определяется радиальной силой P_y , с которой рабочая поверхность круга прижимается к шлифуемой поверхности заготовки.

В общем случае зависимость между Q и P_y с достаточной для практических целей точностью можно описать следующим выражением:

$$Q = K_p \cdot P_y \cdot (1 + \lambda \cdot P_y), \quad (6.1)$$

где K_p — коэффициент режущей способности; λ — коэффициент нелинейности.

Во многих случаях можно ограничиться линейной моделью режущей способности, т. е. положить $\lambda = 0$. Тогда

$$Q = K_p \cdot P_y. \quad (6.2)$$

Чем «острее» шлифовальный круг, т. е. чем выше значение K_p , тем выше объемная производительность процесса шлифования при тех же значениях радиальной силы P_y . Значение K_p зависит от характеристик шлифовального круга, способа и режима правки, скорости шлифовального круга и т. д. С увеличением размеров абразивных зерен и твердости шлифовального круга значение K_p снижается, а с увеличением скорости шлифования для большинства сталей увеличивается. Однако для некоторых марок стали оно незначительно. Кроме того, имеют место случаи, когда увеличение скорости шлифования V ведет к снижению коэффициента режущей способности. Например, при шлифовании стали ШХ15.

В зависимости от сочетания твердости шлифовального круга и показателей режима шлифования и правки возможны следующие режимы работы круга: шлифование с затуплением круга; шлифование с полным или частичным самозатачиванием круга; шлифование с восстановлением режущей способности. Главным параметром, определяющим режим работы круга, является критическая радиальная сила в зоне шлифования P_{yk} . Критическая радиальная сила увеличивается при увеличении твердости шлифовального круга и скорости шлифования. Если фактическая радиальная сила больше критической, то круг работает с полным самозатачиванием, а если меньше — то в режиме с частич-

ным самозатачиванием или с затуплением (по мере уменьшения P_y). Следовательно, при увеличении производительности удаления материала заготовки Q круг, работавший в режиме затупления, переходит в режим частичного, а затем полного самозатачивания.

Зависимость K_p от времени работы круга с постоянной радиальной силой P_y отражается следующей моделью:

$$K_p = (K_{pn} - K_{pc}) \cdot \exp(-M \cdot t) + K_{pc}, \quad (6.3)$$

где K_{pn} — начальное (после правки) значение коэффициента режущей способности; K_{pc} — стабильное (зависящее от радиальной силы) значение K_p ;

$$M = (\ln 2) / t_{0,5} = 0,6931 / t_{0,5}, \quad (6.4)$$

где $t_{0,5}$ — время работы шлифовального круга, в течение которого текущее значение коэффициента режущей способности станет равным $K_p = (K_{pn} + K_{pc}) / 2$.

Анализ результатов экспериментов позволяет утверждать, что $t_{0,5}$ практически не зависит от значения радиальной силы P_y . А зависимость K_{pc} от P_y можно отразить следующей моделью:

$$K_{pc} = K_{pcm} \cdot [1 - \exp(-0,6391 \cdot P_y^2 / P_{y1}^2)], \quad (6.5)$$

где K_{pcm} — максимальное для данных характеристик шлифовального круга и шлифуемого материала значения K_{pc} ; P_{y1} — значение радиальной силы, при котором $K_{pc} = K_{pcm} / 2$.

Значение K_{pn} зависит от характеристики круга, свойств материала заготовки и скорости подачи алмаза при правке. Эта зависимость отражается следующей моделью

$$K_{pn} = K_{pcm} \cdot S^2 / (a + b \cdot S^2), \quad (6.6)$$

где S — скорость продольной подачи при правке, м/мин; a и b — экспериментальные параметры модели.

Модель 3 (с учётом моделей 4 и 5) удобнее для использования и анализа представлять в безразмерной форме.

$$\kappa_p = \exp(G \cdot \tau) + \kappa_{pcm} \cdot [1 - \exp(G \cdot \tau)] \cdot [1 - \exp(G \cdot p^2)]; \quad (6.7)$$

где $\kappa_p = K_p / K_{pn}$; $\kappa_{pcm} = K_{pcm} / K_{pn}$; $\tau = t / t_{0,5}$; $p = P_y / P_{y1}$; $G = -\ln 2$.

Таблица 6.6 — Значения K_{pcm} мм³/(с Н)

Обрабатываемый материал	Шлифовальные круги	Круглое шлифование	Плоское шлифование	Внутреннее шлифование
1	2	3	4	5
Углеродистые стали	Электрокорундовые, на керамической связке, твердостью CM1 и CM2	0,5	1,1	1,2

Окончание таблицы 6.6

1	2	3	4	5
Легированные стали	Те же	0,31	0,82	0,95
Чугун	Круги из карбида кремния	–	0,6	0,75
Быстрорежущие стали	Те же	0,1	0,21	–
	Эльборовые на бакелитовой связке	0,08	0,18	–
	Алмазные на бакелитовой связке	0,02	0,03	–

Для случая шлифования с постоянной производительностью ($S = \text{Const}$)

$$\kappa_p = \exp(G \cdot \tau) + \kappa_{p\text{см}} \cdot [1 - \exp(G \cdot \tau)] \cdot [1 - \exp(G \cdot p_n^2 / \kappa_p^2)] . \quad (6.8)$$

Так как κ_p входит в правую и левую части модели 8, его значение можно определить только численно, например, методом итераций или методом прямого поиска с переменным шагом.

Влияние значения на характер зависимости k_p от времени показано на рисунке 6.6. При шлифовании в режиме затупления или частичного самозатачивания влиянием размерного износа шлифовального круга на производительность удаления материала заготовки Q обычно пренебрегают, так как размерный износ круга очень мал, по сравнению с толщиной снимаемого слоя (припуском). Однако при внутреннем шлифовании в режиме полного самозатачивания этого делать нельзя, так как размерный износ круга имеет тот же порядок, что и сьем металла с заготовки.

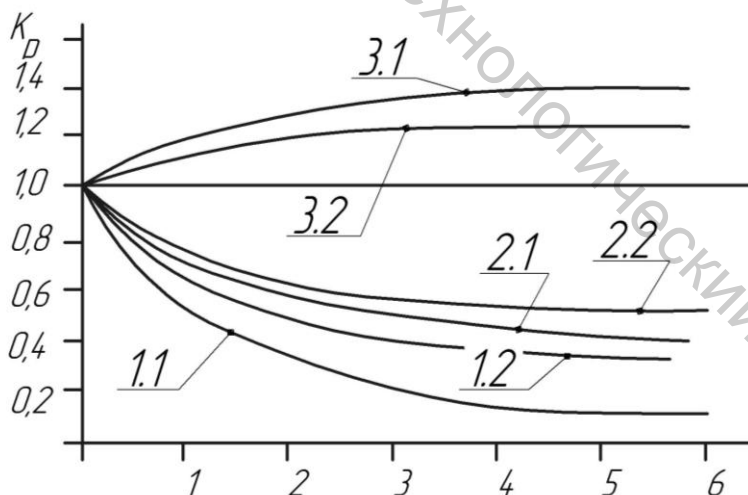


Рисунок 6.6 — Изменение относительного коэффициента режущей способности при шлифовании с постоянной радиальной силой (1.1; 2.1; 3.1) и с постоянной подачей (1.2; 2.2; 3.2): (1.1 и 1.2) — режим затупления, (2.1 и 2.2) — режим частичного самозатачивания, (3.1 и 3.2) — режим восстановления

Важной для управления процессом шлифования является модель микроформообразования, связывающая параметр шероховатости с радиальной силой шлифования, приходящейся на единицу ширины зоны контакта круга с дета-

лю. Эксперименты показали, что увеличение радиальной силы увеличивает показатель шероховатости Ra , а увеличение скорости шлифования существенно его снижает. Значительное влияние на шероховатость шлифованной поверхности оказывает скорость продольной подачи при правке круга, которая обуславливает не только начальное значение Ra сразу после правки, но и характер изменения шероховатости от времени работы круга (рисунок 6.7). После правки в начале шлифования происходит «приработка» круга. Затем наступает второй период, характеризующийся стационарной работой с монотонным увеличением показателя шероховатости.

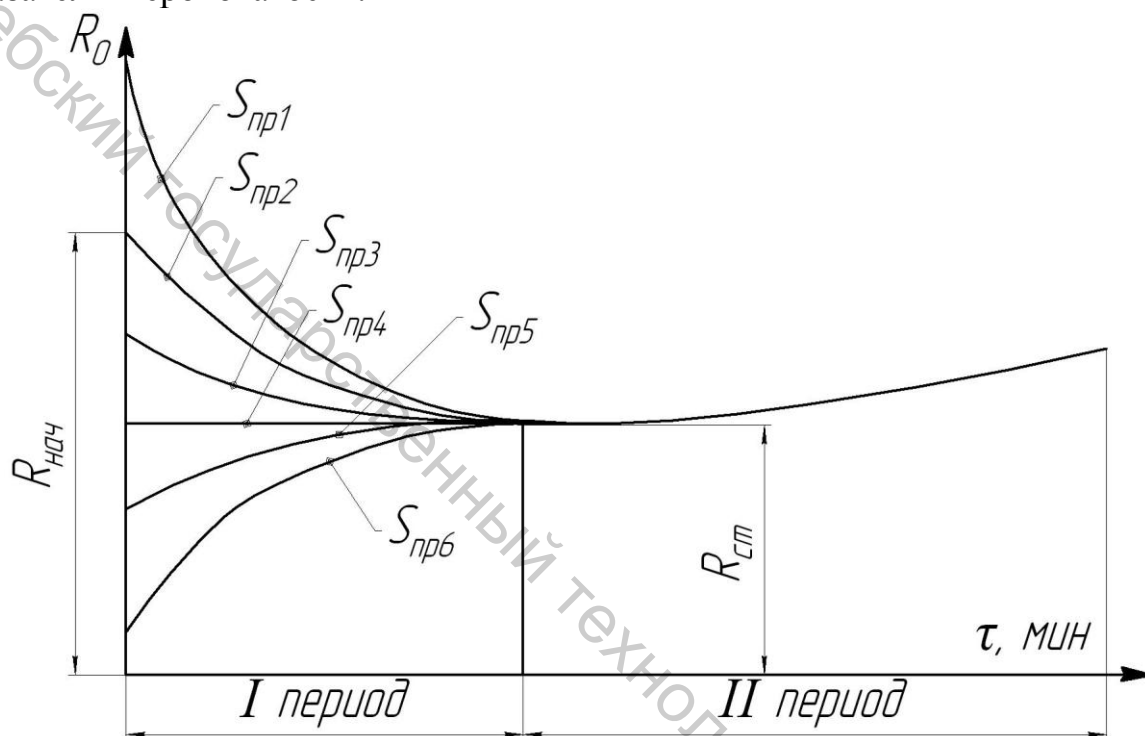


Рисунок 6.7 — Зависимость параметра шероховатости Ra от времени t работы круга после правки при его разных продольных подачах ($S_{прод1} > S_{прод2} > \dots > S_{прод5}$)

Экспериментально доказано, что существует такое значение скорости продольной подачи при правке, которое обеспечивает приблизительное равенство начального и стабильного параметра шероховатости.

С достаточной для практических целей точностью экспериментальные зависимости Ra от показателей условий шлифования можно отразить моделью типа

$$Ra = (Ra_{нач} - Ra_{ст}) \cdot \exp(-C_1 \cdot t) + Ra_{ст} \cdot \exp(C_2 \cdot t), \quad (6.8)$$

где $Ra_{нач}$ — начальная шероховатость, которая зависит в основном от показателей режима и способа правки, а также от отношения радиальной силы P_y к ширине шлифования B ; $Ra_{ст}$ «стабильная» шероховатость, которая зависит в основном от отношения радиальной силы P_y к ширине шлифования B ; C_1 — параметр, характеризующий длительность периода «приработки», который обусловлен значениями показателей режима шлифования; C_2 — параметр, ха-

рактизирующий интенсивность увеличения показателя шероховатости, который зависит от твердости шлифовального круга и отношения радиальной силы P_y к ширине шлифования B ; t — время шлифования после правки шлифовального круга.

Экспериментальная модель для оценки Ra_{cm} имеет вид:

$$Ra_{cm} = Ra_o + K_r \cdot P_y / B, \quad (6.9)$$

где Ra_o и K_r — параметры модели.

Если круг работает в режиме полного самозатачивания, то шероховатость шлифованной поверхности существенно зависит от показателей характеристики круга: зернистости, твердости и структуры. В таких условиях шероховатость возрастает с увеличением номера зернистости (в степени 0,5...0,7), с уменьшением твердости и процентного содержания зерен в объеме круга (в степени 0,5... 1).

6.5 Охлаждение при шлифовании

Для отвода из зоны резания выделяющегося тепла, уменьшения трения и удаления отходов шлифования применяют охлаждение различными смазочно-охлаждающими жидкостями (СОЖ). По составу и свойствам СОЖ, применяемые при шлифовании, делят на эмульсии и масла.

Эмульсией называют жидкость, в которой во взвешенном состоянии находятся микроскопические частицы другой жидкости. Основой шлифовальной эмульсии является вода с добавлением небольшого количества специальных присадок, например, обеспечивающих смазочный эффект.

Охлаждающая жидкость, смывая абразивно-металлическую пыль, способствует улучшению качества шлифуемой поверхности и улучшению атмосферы цеха. Охлаждающие жидкости не должны содержать ядовитые примеси, вызывающие кожные заболевания у рабочих, не должны разъедать металл и краску станка. Чем больше поверхность соприкосновения детали со шлифовальным кругом и чем тверже материал обрабатываемой детали, тем большее количество охлаждающей жидкости необходимо подавать в зону шлифования. Охлаждающую жидкость следует равномерно подавать на всю высоту шлифовального круга, в противном случае на поверхности детали появляются царапины. Количество подаваемой жидкости зависит от высоты шлифовального круга: на каждые 10 мм высоты круга расходуют примерно 5 – 8 л жидкости.

На рисунке 6.8 показаны схемы основных способов подачи СОЖ: 1) свободнопадающей струей, поливом (рисунок 6.8 а); 2) через поры шлифовального круга (рисунок 6.8 б); 3) через торцовые каналы круга (рисунок 6.8 в); 4) струйно-напорным внезонным (рисунок 6.8 г); 5) с наложением на струю ультразвуковых колебаний (рисунок 6.8 д); 6) контактным (рисунок 6.8 е); 7) гидроаэродинамическим (рисунок 6.8 ж); 8) в растворе СОЖ (рисунок 6.8 з).

Подача СОЖ свободно падающей струей (поливом) (рисунок 6.8 а) наиболее широко применяется на универсальных круглошлифовальных станках. СОЖ

подают к зоне шлифования центробежным электронасосом через сопло, имеющее щелевое или круглое выходное отверстие. При этом способе происходит главным образом охлаждение шлифуемой детали, поэтому полив используется только при операциях шлифования деталей на универсальных станках в единичном и мелкосерийном производстве из тех материалов, которые отличаются хорошей шлифуемостью, например, закаленных углеродистых сталей. Одним из средств регулирования струи охлаждающей жидкости и уменьшения, разбрызгивания является заслонка-отклонитель струи (рисунок 6.9 а).

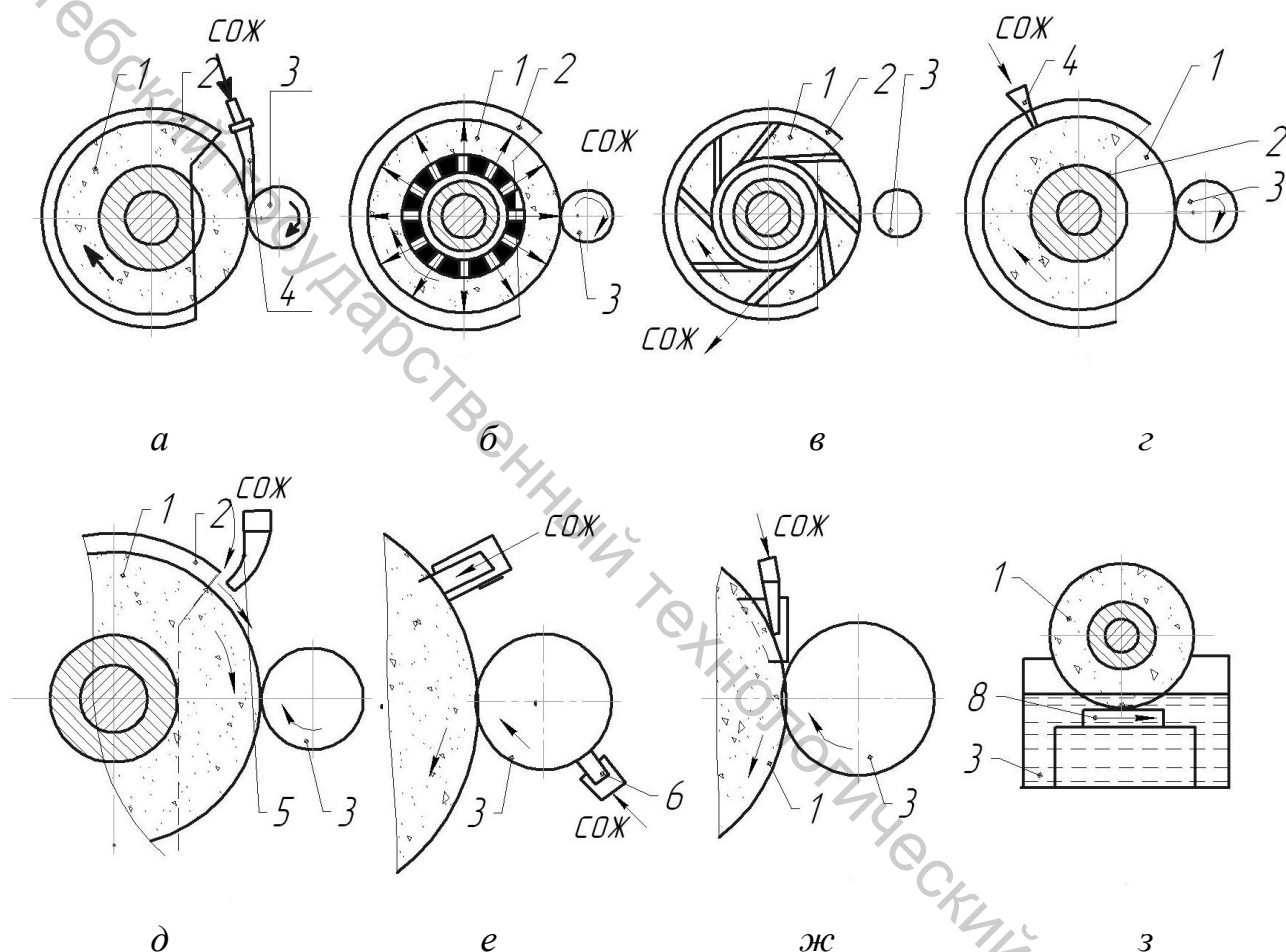


Рисунок 6.8 — Схемы основных способов подачи СОЖ при шлифовании:

- 1 — шлифовальный круг; 2 — кожух; 3 — шлифуемая деталь; 4 — сопло;
5 — вибрирующий волновод; 6 — пористый элемент; 7 — насадок;
8 — резервуар

При подаче СОЖ через поры шлифовального круга жидкость, обладающую хорошими смазочными свойствами, подают к осевому отверстию шлифовального круга. Под действием центробежных сил она протекает через поры на периферию (рисунок 6.9 б). При таком охлаждении уменьшается температура детали не только в результате лучшего подвода жидкости, но и вследствие меньшего трения шлифовального круга о поверхность шлифования, что, безусловно, уменьшает опасность появления прижогов и шлифовочных трещин на шлифуемой поверхности.

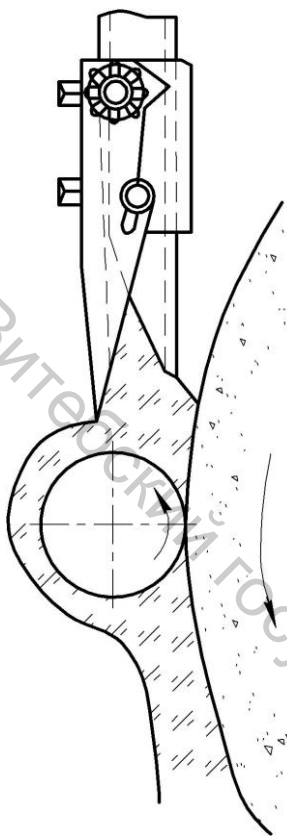


Рисунок 6.9 —
Устройство для
подвода
охлаждающей
жидкости

Один из недостатков этого способа состоит в том, что он не применим для шлифовальных кругов на вулканистой и бакелитовых связках, так как они не имеют сквозных пор. Кроме того, требуется тщательная очистка СОЖ. В противном случае поры быстро забиваются грязью. Подавать СОЖ следует только при вращающемся круге, а начинать шлифование через 2 – 5 мин после подачи СОЖ, для равномерного заполнения круга жидкостью. Прекращать подачу СОЖ в шлифовальный круг необходимо за несколько минут до выключения станка.

Подача СОЖ по торцовым капталам (рисунок 6.8 в) применяется редко, так как абразивная промышленность не выпускает необходимых абразивных кругов с наклонными каналами на торцах.

При подаче СОЖ струйно-напорным внезонным способом (рисунок 6.8 г) СОЖ подают под давлением на рабочую поверхность шлифовального круга вне зоны шлифования через одно или несколько сопел. Струи СОЖ с определенной силой действуют на рабочую поверхность круга, очищая поры и абразивные зерна от частиц металла и отходов шлифования.

При подводе СОЖ контактным способом (рисунок 6.8 е) одновременно с поливом зоны шлифования свободно падающей струей СОЖ обладающей хорошими охлаждающими свойствами, на обрабатываемую поверхность вне зоны шлифования непрерывно наносится тончайший слой активной смазки путем поджима к шлифуемой поверхности мягкого пористого материала, пропитанного смазкой.

Для подачи СОЖ гидроаэродинамическим способом (рисунок 6.8 ж) используют воздушные потоки, которые создаются шлифовальным кругом. Разогнанная этими потоками СОЖ направляется в узкую часть насадка, где давление повышается настолько, что СОЖ вдавливаются в поверхностный слой шлифовального круга. Оттуда поток СОЖ выбрасывается в зону контакта круга со шлифуемой деталью.

Шлифование в среде СОЖ (рисунок 6.8 з) применяют главным образом при ленточном и плоском шлифовании.

Загрязненность охлаждающей жидкости металлическими и абразивными отходами очень часто является одной из причин низкого качества отшлифованной поверхности. Необходимо тщательно очищать охлаждающую жидкость. Высокая степень очистки достигается путем длительного отстаивания в отстойниках, фильтрации и магнитной сепарации.

Охлаждающую жидкость для шлифования выбирают в зависимости от материала шлифуемой детали. Приведем некоторые ориентировочные рекоменда-

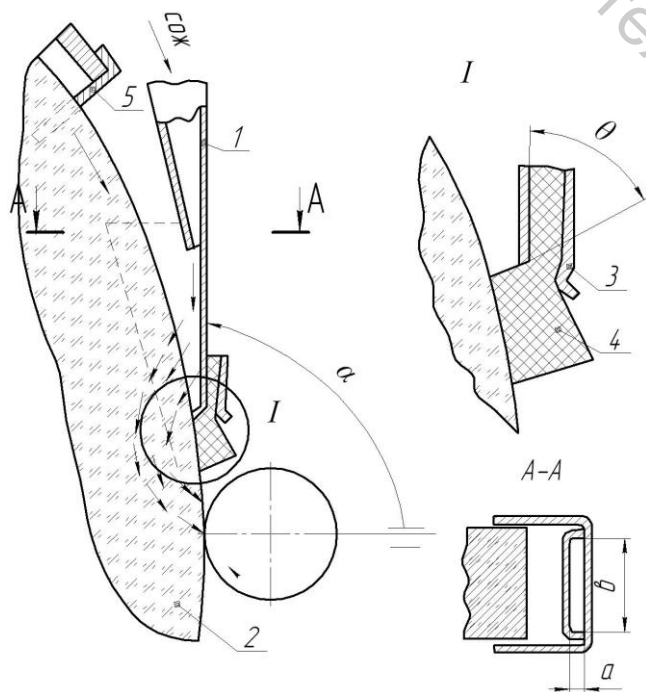
ции по выбору охлаждающей жидкости: а) для чугунных отливок и ковкого чугуна применяют 1%-ный содовый раствор или 1,5%-ную эмульсию из эмульсола; б) для меди, конструкционной и легированной инструментальной стали – 1 %-ный содовый раствор, 1,5 %-ную эмульсию из эмульсола или 0,5 %-ный содовый раствор, содержащий 0,5 % мыла; в) для латуни и бронзы – 1 %-ный содовый раствор, 1,5 %-ную эмульсию из эмульсола или легкое минеральное масло; г) для алюминия, дюралюминия – 1 %-ный содовый раствор, легкое минеральное масло или эмульсию, содержащую 15 % эмульсола, 5 % сульфопрезола, 5 % скипидара и 75 % воды.

В последнее время появились смазочно-охлаждающие жидкости, которые по своим свойствам превосходят существующие товарные образцы. К их числу относятся углеводородные жидкости (масла) МР-1 и ОСМ-3, а также эмульсии Укринол-1, Аквол-2 и др.

Схема одного из устройств для подачи СОЖ гидроэлектродинамическим способом показана на рисунке 6.10.

Удлиненное клиновидное сопло (насадок) в нижней части выполнено П-образной формы и охватывает по торцам шлифовальный круг 2. К нижней части сопла 1 плоской пружиной 3 прикреплена пористая эластичная заслонка 4, свободный конец которой слегка прижимается к поверхности не вращающегося шлифовального круга. Плоская пружина 3 позволяет производить быструю смену пористой эластичной заслонки, срок службы которой 100 – 200 ч работы станка. Для предотвращения разбрызгивания СОЖ, выносимой из-под

кожуха шлифовальным кругом, на кожухе устанавливают отражатель 5.



Угол расположения сопла α относительно линии центров шлифовального круга и обрабатываемой детали должен находиться в пределах $75 - 95^\circ$. Ширину сопла B на выходе определяют в зависимости от высоты шлифовального круга и окружной скорости воздушного потока. При шлифовании со скоростями 30 – 35 м/с рекомендуется выполнять размер B на 4 – 5 мм меньше высоты круга. Размер b выходного сечения сопла определяют в зависимости от требуемого расхода и давления СОЖ; он не

Рисунок 6.10 — Устройство для подачи СОЖ гидроаэродинамическим способом

должен быть больше 1 – 1,5 мм. Наиболее благоприятные условия очистки и пропитки (смачивания) рабочей поверхности шлифовального круга СОЖ создаются при угле атаки струи (потока) СОЖ, равном 60° .

6.6 Круглое наружное шлифование

Круглое наружное шлифование осуществляется на круглошлифовальных станках.

Круглошлифовальные станки характеризуются наибольшими диаметром и длиной шлифуемой заготовки. Круглошлифовальные горизонтальные центровые станки общего назначения, в том числе с ЧПУ, с поворотными и неповоротными шлифовальной и передней бабками, предназначены для продольного и врезного шлифования.

Круглошлифовальный центровой полуавтомат 3М151 показан на рисунке 6.11.

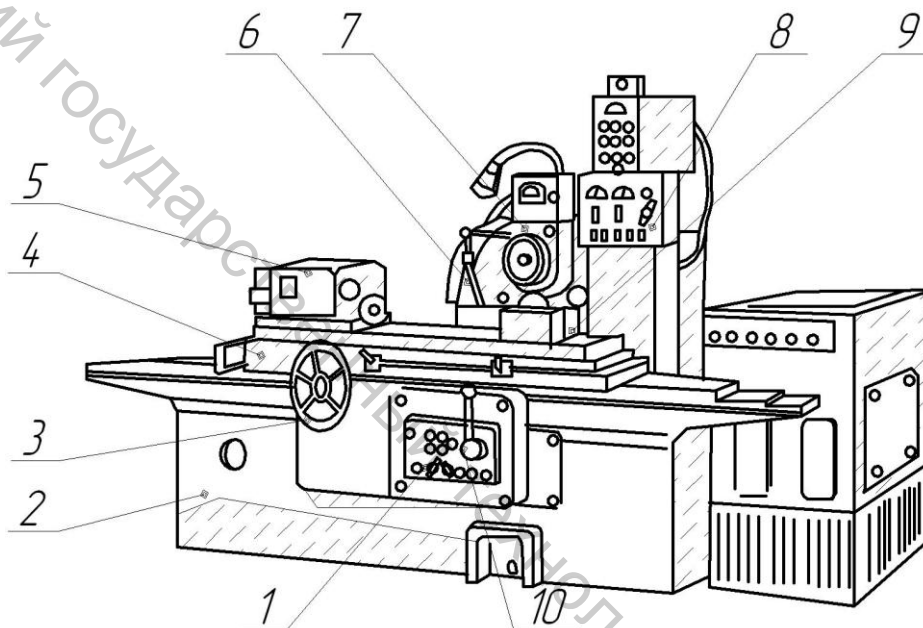


Рисунок 6.11 — Круглошлифовальный станок 3М 151:

1 — панель гидравлического управления станком; 2 — станина; 3 — маховичок ручного перемещения стола; 4 — стол; 5 — передняя бабка;

6 — шлифовальная бабка; 7 — механизм поперечной подачи; 8 — панель управления пуском насоса, шлифовального круга, вращением заготовки и регулированием подачи работой сигнальных ламп; 9 — задняя бабка;

10 — рукоятка быстрого подвода-отвода шлифовальной бабки, пуска гидравлического перемещения стола из зоны шлифования в зону правки и отвода стола

Краткая техническая характеристика станка 3М151:

Заготовка:

наибольший диаметр	200 мм
наибольшая длина.....	700 мм

Высота центров над столом.....	125 мм
--------------------------------	--------

Шлифовальный круг:

наибольший диаметр	600 мм
наибольшая высота.....	80 мм

По направляющим станины 2 с помощью гидравлического привода перемещают стол в продольном направлении. Верхняя часть стола поворотная. Точность поворота стола контролируют индикаторным приспособлением. Шлифуемую заготовку устанавливают в неподвижных центрах передней (5) и задней (9) бабок и приводят во вращение поводком, укрепленным на планшайбе передней бабки станка. Кроме этого гидропривод осуществляет поперечные перемещения шлифовальной бабки, которые используют для быстрого ее подвода и отвода, предварительной и чистовой подач; отвод пиноли задней бабки при отведенной шлифовальной бабке.

Станок снабжен балансировочным механизмом, укрепленным на фланце шлифовального круга. Балансировку осуществляют во время его вращения. Очистку СОЖ от металлической стружки и абразивной пыли проводят магнитным сепаратором.

На круглошлифовальных станках заготовки валов устанавливают на неподвижных центрах передней и задней бабок (рисунок 6.12). Упорные центры имеют конический хвостовик, который легко входит в коническое отверстие передней и задней бабок и также легко вынимается из них. Рабочий конец центра шлифуют на конус с углом при вершине 60° . Размеры применяемых упорных центров стандартизированы, и их различают по номерам.

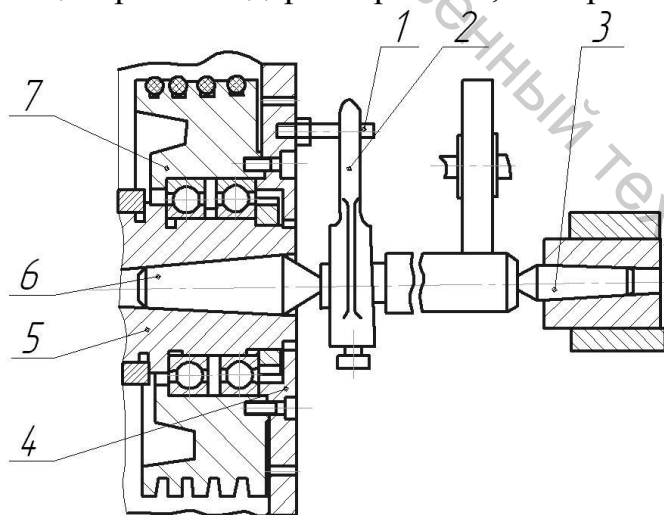


Рисунок 6.12 — Схема установки заготовки в центрах: 1 — поводковый палец; 2 — хомутик; 3 — задний упорный центр; 4 — поводковый диск; 5 — шпиндель передней бабки станка; 6 — передний упорный центр; 7 — шкив

Для установки заготовки вала между упорными центрами на ее торцах делают центровые отверстия. На рисунке 6.13 показаны три вида центровых отверстий. Точность центрирования заготовки влияет на точность обработки заготовки. Применение центровых отверстий с выпуклой образующей снижает погрешности установки и повышает точность обработки.

В шлифовальных станках упорный центр задней бабки опирается на пружину, силу нажатия которой можно регулировать. При таком устройстве на заготовку со

стороны центра действует постоянная сила, что уменьшает вибрации заготовки. При шлифовании заготовка нагревается и несколько удлиняется, перемещая задний центр вдоль его оси.

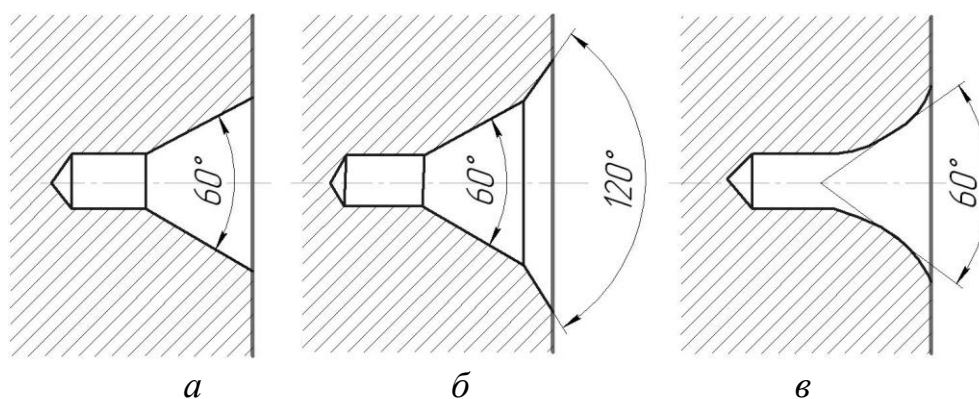


Рисунок 6.13 — Виды центровых отверстий: а — без предохранительного конуса; б — с предохранительным конусом; в — с дугообразной образующей

При шлифовании в центрах центр передней бабки не вращается и шлифуемая деталь получает вращение от поводковой планшайбы через хомут, закрепляемый на конце детали.

Центра изготавливаются цельными или с твердосплавным наконечником. При шлифовании деталей диаметром 3 – 4 мм применяют обратные центра. В этом случае концы шлифуемых деталей выполняются в виде конусов с углом при вершине 60° .

Для свободного выхода шлифовального круга с детали, диаметр которой меньше диаметра центра, одна сторона центра, обращенная к кругу, срезается. На рисунках 6.14 – 6.16 показаны различные схемы круглого наружного врезного шлифования цилиндрических поверхностей в центрах. При шлифовании полуоткрытых наружных цилиндрических поверхностей, особенно когда необходимо обеспечить перпендикулярность ограничивающего торца, применяется совместное шлифование цилиндра и торца (см. рисунки 6.15 и 6.16). Наиболее эффективной является схема, показанная на рисунке 6.16. В этом случае при правке меньше расходует шлифовальный круг.

Если длина шлифуемой поверхности больше ширины шлифовального круга, то применяется шлифование с продольной подачей, схема которого показана на рисунке 6.17. Для повышения производительности в таких случаях можно применять комбинированное шлифование, при котором основная часть припуска удаляется врезным шлифованием с последовательным смещением шлифовального круга вдоль оси детали. А малая часть припуска (за два-три прохода) удаляется шлифованием с продольной подачей.

Фасонные поверхности вращения чаще всего шлифуются врезным шлифованием с помощью профилированного шлифовального круга, как это показано на рисунке 6.18. Способы шлифования наружных конических поверхностей показаны на рисунке 6.19. Для шлифования длинных поверхностей с относительно небольшой конусностью (до 20°) на заданный угол поворачивается поворотная часть стола (см. рисунок 6.19 а). Для шлифования коротких конусов поворачивается передняя бабка (см. рисунок 6.19 б).

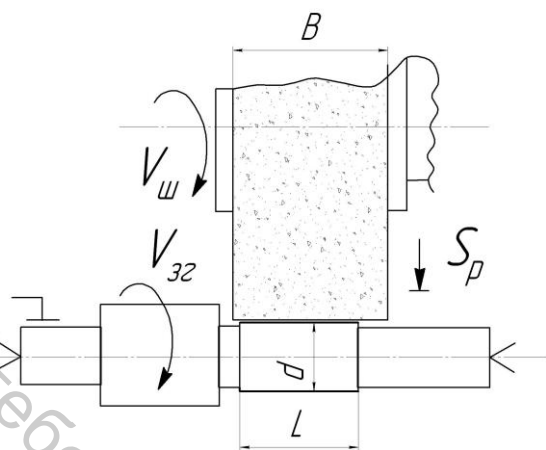


Рисунок 6.14 — Схема круглого наружного врезного шлифования

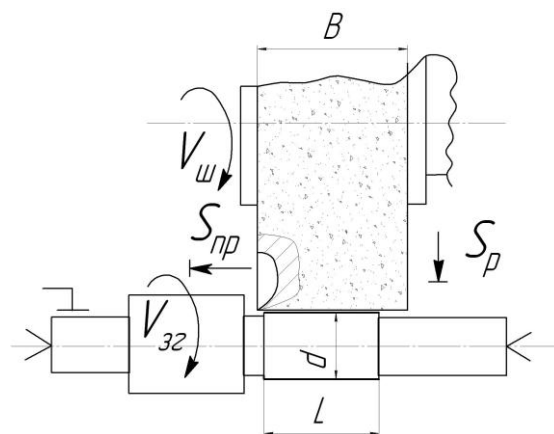


Рисунок 6.15 — Схема круглого врезного шлифования с подшлифовкой торца

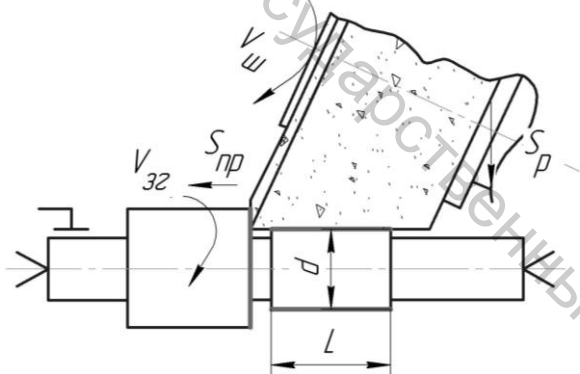


Рисунок 6.16 — Схема круглого врезного шлифования с подшлифовкой торца

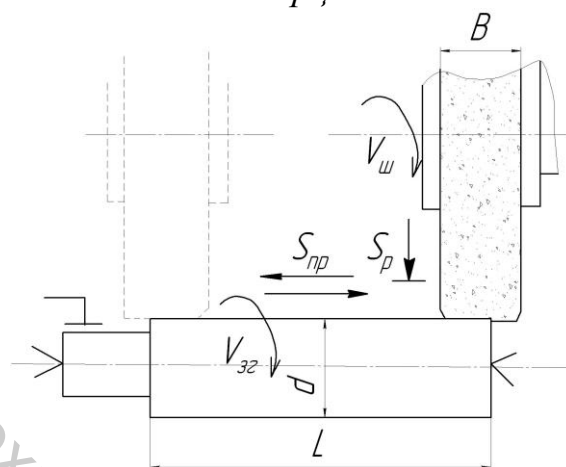


Рисунок 6.17 — Схема круглого шлифования с продольной подачей

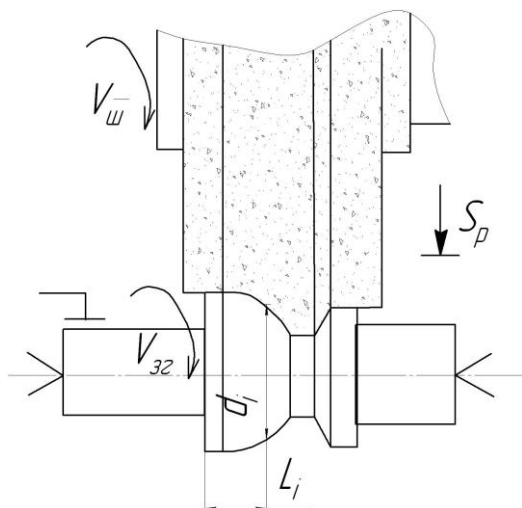


Рисунок 6.18 — Схема круглого врезного шлифования фасонной поверхности

Вращение заготовке передается хомутиком (см. рисунок 6.12). Наиболее часто применяемый вид хомутика показан на рисунке 6.20. Недостаток таких хомутиков состоит в том, что при невысокой твердости шлифуемой детали зажимный винт оставляет на ней вмятину. Универсальный хомутик (рисунок 6.21) не имеет такого недостатка.

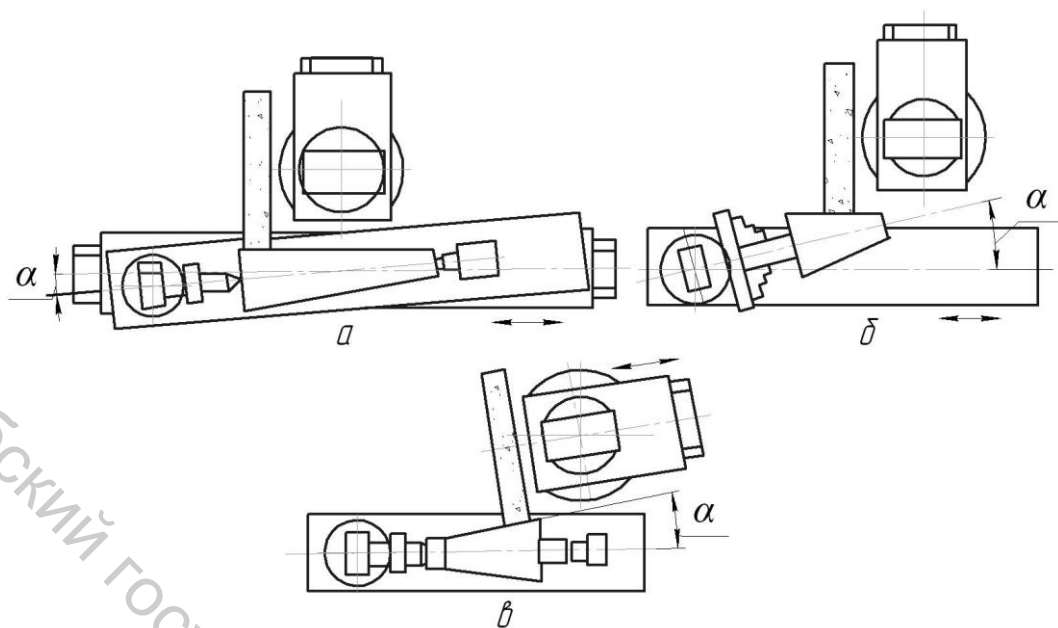


Рисунок 6.19 — Способы шлифования наружных конических поверхностей

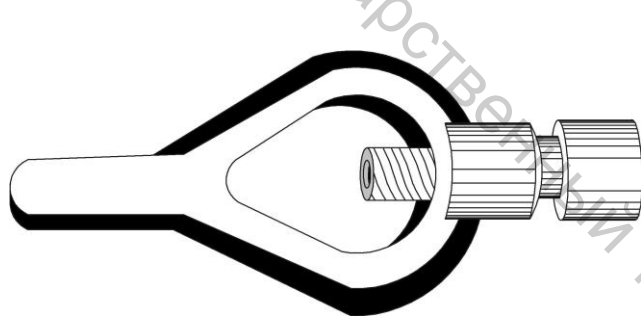


Рисунок 6.20 — Хомутик

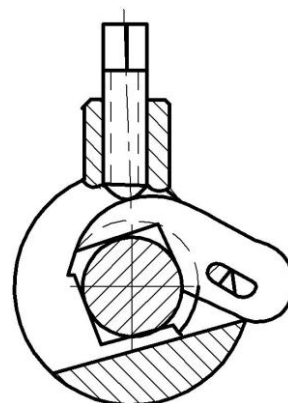
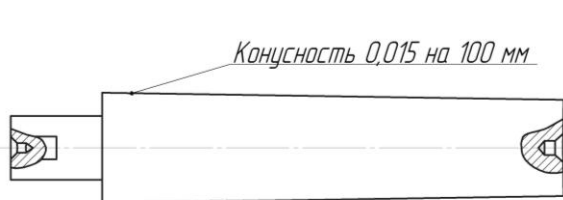


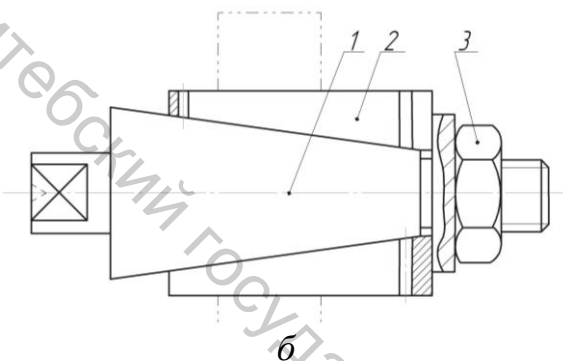
Рисунок 6.21 — Универсальный хомутик

Детали с точным отверстием и небольшой высоты шлифуют на длинных центровых оправках с небольшой конусностью (рисунок 22 а). Диаметр оправки с заходного конца на 0,01 мм меньше номинального диаметра отверстия шлифуемой детали, диаметр другого конца оправки превышает диаметр отверстия детали на 0,015 мм. Конусность оправки должна быть не больше 0,015 мм на 100 мм длины. Разжимные оправки (рисунок 22 б) используют для шлифования деталей с более широким допуском по внутреннему диаметру.

Шлифуемая деталь устанавливается на разжимной втулке 2, имеющей 3–6 осевых разрезов с каждого торца. При закручивании гайки 3 внутренняя конусная поверхность втулки перемещается по наружному конусу оправки, вследствие чего происходит зажим обрабатываемой детали.



а



б

Рисунок 6.22 — Оправки для установки деталей типа «втулки»

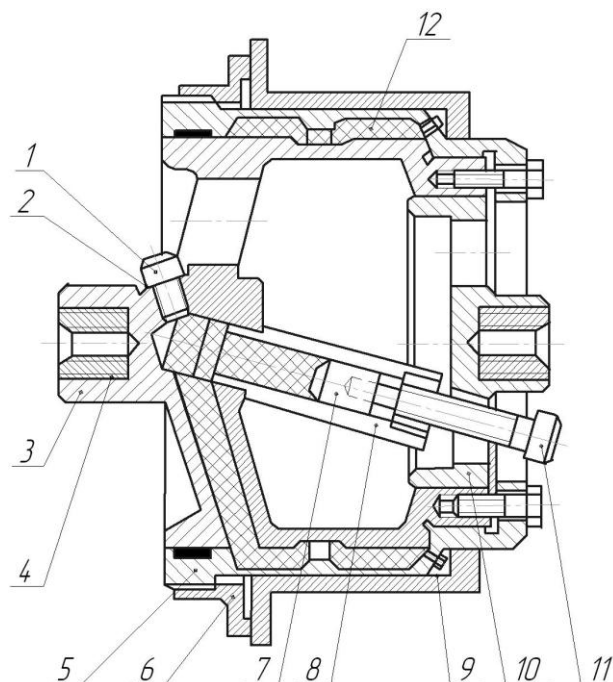


Рисунок 6.23 — Оправка с гидропластовым зажимом для наружного шлифования

На рисунке 6.23 показана оправка для заготовок с посадочным (базовым) диаметром свыше 40 мм. Центрирование и закрепление заготовки осуществляется за счет упругой деформации тонкостенной втулки 5. Толщина стенок втулки 5 в ее рабочей части составляет 1,5 – 2 мм. Пространство между корпусом и втулкой заполняют гидропластом 12. Усилие зажима обеспечивается плунжером 7 и винтом 11. В оправках этого типа имеется отверстие для выхода воздуха, которое перекрывается прокладкой 2 и винтом 1.

На этом же принципе спроектированы оправки для заготовок с базовым диаметром, меньшим 40 мм.

Если у шлифуемой заготовки нет посадочного отверстия, которое можно использовать в качестве технологической базы, то ее устанавливают в трехкулачковом или мембранном патроне. Патрон крепится вместо поводкового диска 4 (см. рисунок 6.12).

Длинные и тонкие заготовки под действием сил резания при шлифовании прогибаются. Чтобы устранить прогиб, применяют особые подставки, называемые люнетами. Число устанавливаемых при круглом шлифовании люнетов определяют соотношением между диаметром и длиной заготовки. Чем они тоньше и длиннее, тем больше люнетов необходимо установить.

На рисунке 6.24 показан люнет, корпус которого устанавливают на столе 1 станка. Заготовку 5 поддерживают двумя башмаками 6 и 4. Башмак 4 подводят к заготовке винтом 3, а башмак 6 устанавливают винтом 2 и двуплечим рычагом. Башмаки изготавливают из дерева или цветного металла, чтобы не повредить шлифуемую поверхность.

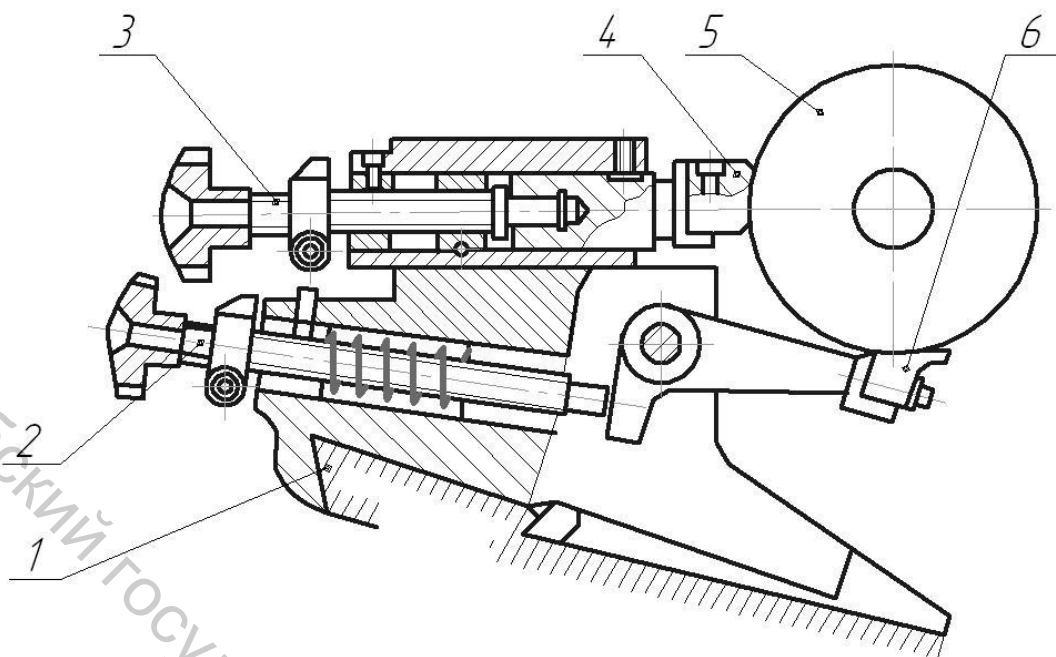


Рисунок 6.24 — Люнет круглошлифовального станка

6.7 Круглое внутреннее шлифование

Универсальный внутришлифовальный станок 3К228В высокой точности предназначен для шлифования цилиндрических и конических, глухих и сквозных отверстий. Станок имеет торцешлифовальное приспособление, расположенное на бабке шлифуемой детали, которое дает возможность шлифовать с одной установки детали ее наружный торец, цилиндрическое или коническое отверстие. Станок применяют на машиностроительных заводах в мелкосерийном и серийном производстве, а также в инструментальных и ремонтных цехах завода (рисунок 6.25).

По направляющим качения станины 1 может возвратно-поступательно перемещаться стол 12, несущий шлифовальную бабку 10, с помощью гидравлического цилиндра, а также вручную от маховичка 2. По верхним направляющим качения стола 12 шлифовальную бабку 10 можно перемещать вручную от маховичка 13 или от специальных упоров, расположенных на столе станка. На верхней плоскости станины 1 установлен мост 4 с бабкой 5 шлифуемой детали. Салазки, несущие бабку шлифуемой детали по направляющим скольжения моста, можно перемещать вручную. На корпусе бабки шлифуемой детали установлено торцешлифовальное приспособление 8. Перемещение этого приспособления вручную осуществляют маховичком 6, а небольшую подачу — его маховичком 7. Слева от станка расположен бак 3 для охлаждающей жидкости с электронасосом и магнитным сепаратором, сзади — насосная станция, электрошкаф 11 с электроаппаратурой и пультом управления 9.

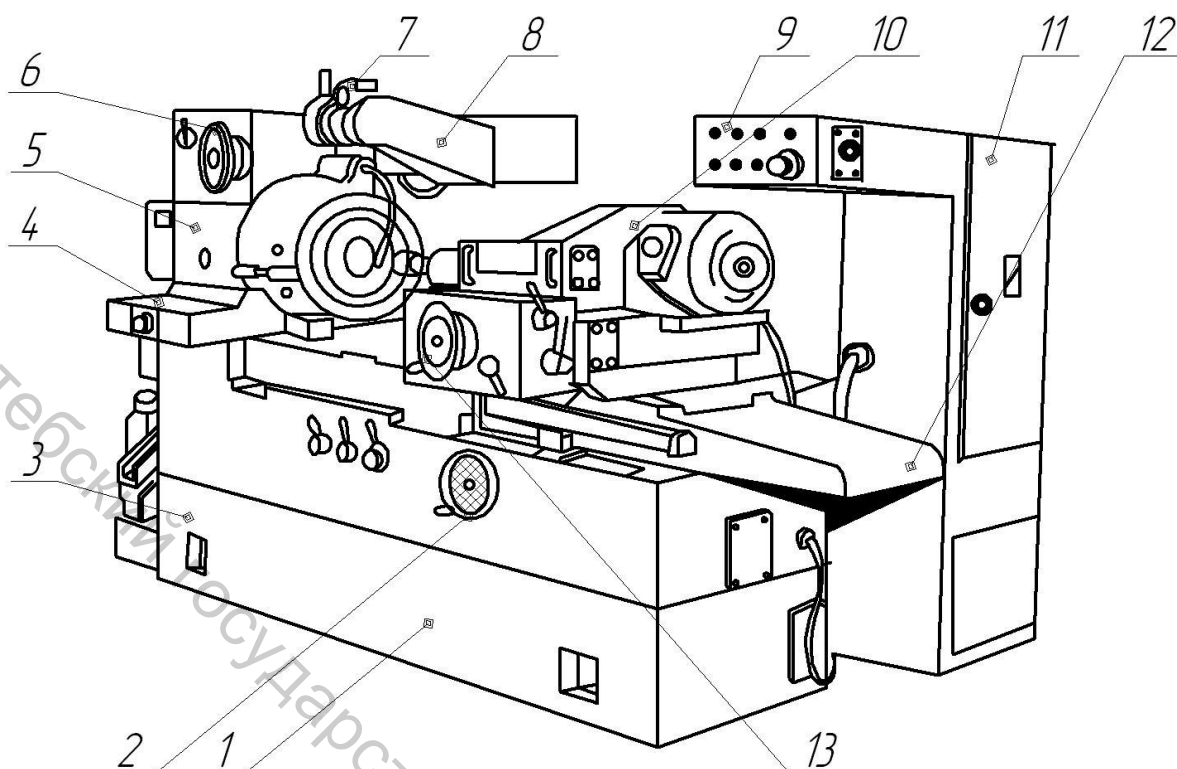


Рисунок 6.25 — Универсальный внутришлифовальный станок 3K228B

Краткая техническая характеристика станка:

Диаметры шлифуемых отверстий, мм	50 – 200
Наибольшая длина шлифования (длина устанавливаемой детали) при наибольшем диаметре отверстия, мм	200
Наибольший диаметр, мм:	
устанавливаемой детали	560
детали, устанавливаемой в кожухе	400

Шлифование деталей осуществляют с помощью следующих движений: вращения шлифовального круга и детали, поперечной подачи шлифовальной бабки, продольной подачи шлифовального круга. При работе с торцовым приспособлением необходимы следующие движения: вращение шлифовального круга и детали и подача круга вдоль его оси. Схемы внутреннего шлифования цилиндрических отверстий показаны на рисунках 6.26 – 6.29.

Привод шлифовального круга осуществляют от электродвигателя (мощностью 5,5 кВт, с частотой вращения 2900 об/мин) через плоскоремennую передачу. Шлифовальная бабка снабжена четырьмя сменными шкивами, что обеспечивает следующие частоты вращения: 2900, 4500, 6000 и 9000 об/мин.

Привод шлифовального круга торцешлифовального приспособления осуществляют от электродвигателя (мощностью 2,2 кВт, с частотой вращения — 2860 об/мин). Частота вращения торцешлифовального шпинделя составляет 2680 или 4000 об/мин.

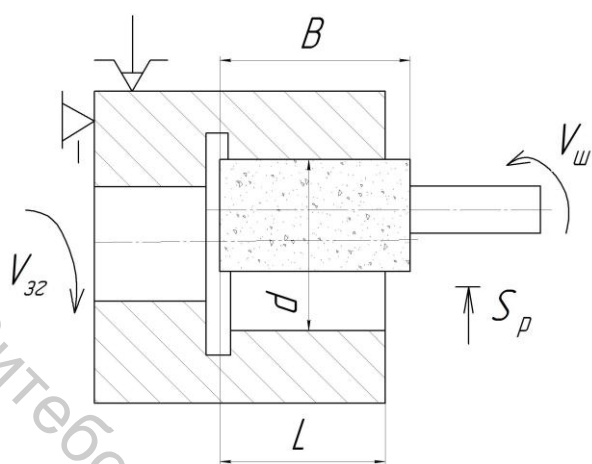


Рисунок 6.26 — Схема внутреннего врезного шлифования

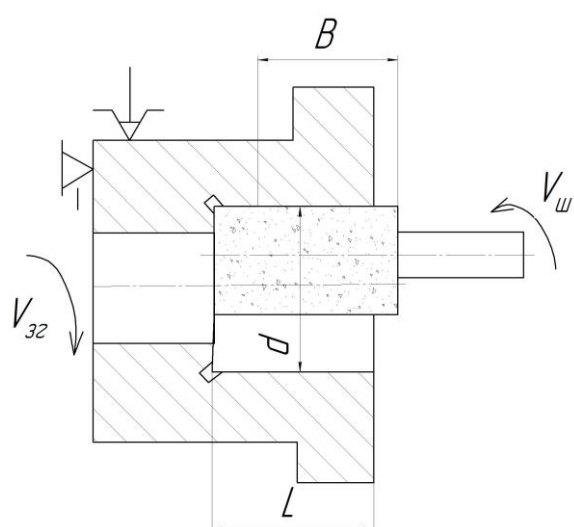


Рисунок 6.27 — Схема внутреннего врезного шлифования с подшлифовкой внутреннего торца

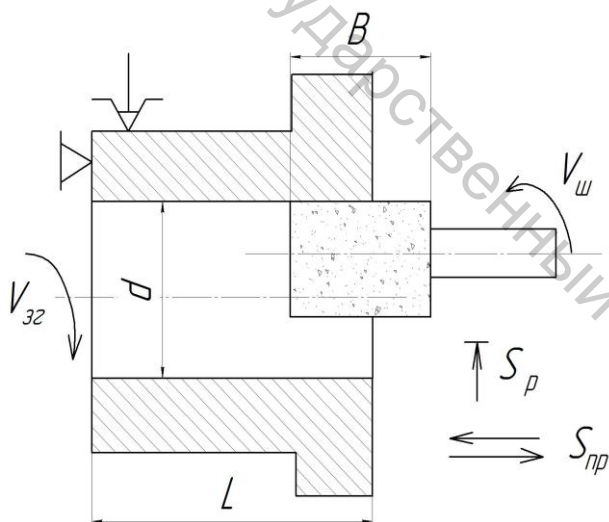


Рисунок 6.28 — Схема внутреннего продольного шлифования

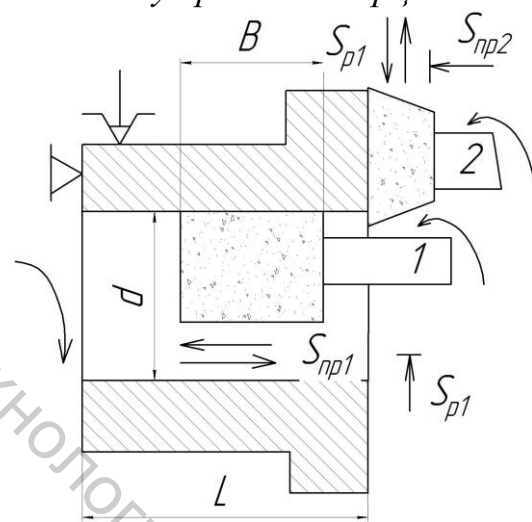


Рисунок 6.29 — Схема внутреннего продольного шлифования с подшлифовкой наружного торца

Шлифуемая деталь вращается от бесступенчато регулируемого электродвигателя через клиноременную передачу. Частоту ее вращения можно изменять в пределах от 100 до 600 об/мин.

Ручную поперечную подачу шлифовальной бабки можно осуществлять в пределах от 0,002 до 0,012 мм за одно качание специальной рукоятки.

На универсальных внутришлифовальных станках основным приспособлением является стандартный *самоцентрирующий трехкулачковый патрон*, устанавливаемый на переднем конце шпинделя бабки изделия через переходную планшайбу. В нем можно быстро закреплять самые разнообразные детали типа тел вращения с разными значениями наружного диаметра. Однако точность центрирования такого патрона сравнительно невысока. Биение кулачков вызывает отклонение от концентричности прошлифованного отверстия с наружным диаметром детали, которое может достигать нескольких сотых долей милли-

метра. Кроме того, кулачки деформируют нежесткие детали при их закреплении.

Другим стандартным приспособлением, входящим в комплект принадлежностей универсальных станков, является *четырекулачковый патрон* с независимым перемещением кулачков. Этот патрон более универсален, так как позволяет закрепить детали различной конфигурации, а не только тела вращения. Но установка деталей в нем отнимает много времени из-за обязательной выверки по индикатору оси обрабатываемого отверстия. При этом каждый из четырех кулачков приходится передвигать отдельно.

Для закрепления деталей цилиндрической формы применяют *цанговые патроны*, обеспечивающие более высокую точность центрирования, чем кулачковые.

Детали, не имеющие удобной поверхности для закрепления описанными выше устройствами, шлифуют в единичном и мелкосерийном производстве на планшайбе. Они базируются торцом по лицевой плоскости планшайбы, снабженной пазами. В пазы вставляют прихваты, прижимающие детали к планшайбе. В этом случае обязательна выверка по индикатору оси каждого обрабатываемого отверстия. В таком приспособлении можно обрабатывать многоосные, а также неуравновешенные детали. Для их уравнивания на планшайбе устанавливают противовесы. Шлифование деталей на планшайбе позволяет достигать большей в сравнении с патронами перпендикулярности оси обрабатываемого отверстия базовому торцу детали.

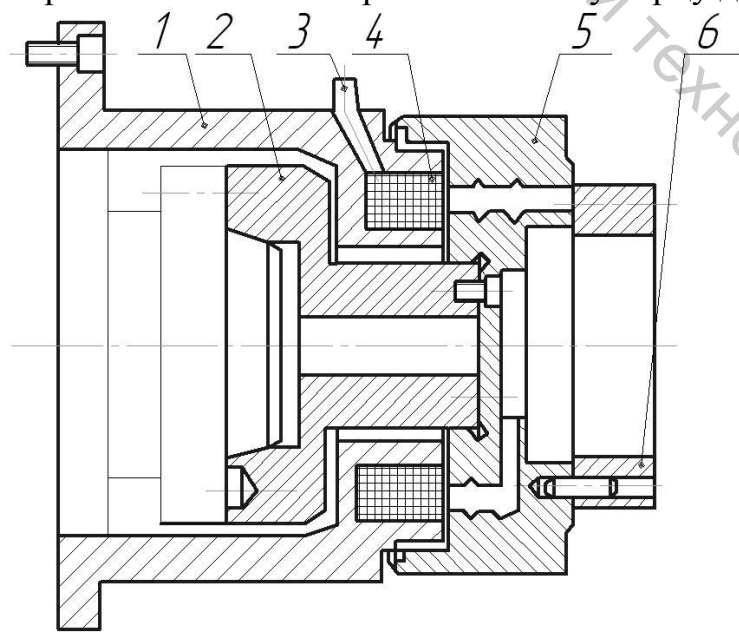


Рисунок 6.30 — Магнитный патрон

Сократить до минимума вспомогательное время на установку и закрепление заготовки позволяют магнитные патроны. Их применяют в основном при шлифовании отверстий в кольцах. Одна из конструкций магнитного патрона показана на рисунке 6.30. Неподвижный корпус 1 крепят к передней стенке бабки изделия станка.

В кольцевой проточке корпуса размещена электрическая катушка 4, к которой ток поступает по проводу 3.

Зазоры между корпусом и катушкой залиты эпоксидной смолой. На переднем конце шпинделя станка закрепляют переходник 2, несущий сменную планшайбу 5. Магнитный поток, создаваемый катушкой, преодолевает воздушный зазор между корпусом и планшайбой и, проходя по ее полюсам, замыкается на изделии 6. Положение детали на плоскости планшайбы задают штифтами или упорами. Каждая сменная планшайба пригодна лишь для определенного диапа-

зона диаметров обрабатываемых деталей. Базовый торец детали должен перекрывать полюса магнитопровода. При установке новой планшайбы ее рабочую плоскость шлифуют в собранном виде для уменьшения торцового биения. Таким приемом можно снизить торцовое биение до 0,004 мм и менее, что соответственно будет уменьшать отклонение от перпендикулярности оси обрабатываемого отверстия к базовому торцу детали, установленной на планшайбе.

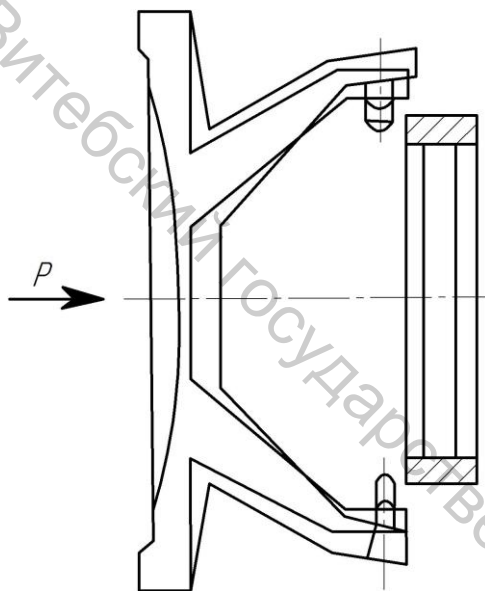


Рисунок 6.31 — Схема мембранного патрона

В серийном производстве широко применяют мембранные патроны, которые обеспечивают высокую точность обработки детали. Принцип их действия основан на применении упругих свойств мембраны, изготовленной из пружинной стали. На рисунке 6.31 показана схема действия мембраны. Вследствие приложения в осевом направлении силы P происходит деформация мембраны и зажимные кулачки (их может быть 8 – 16) раздвигаются. Когда сила перестает действовать, мембрана выпрямляется и кулачки центрируют и закрепляют заготовку. По торцу заготовка ориентируется упорами (на схеме не показаны). Для повышения точности установки кулачки и упоры шлифуют на месте под определенный диаметр, за который будет закрепляться шлифуемая деталь.

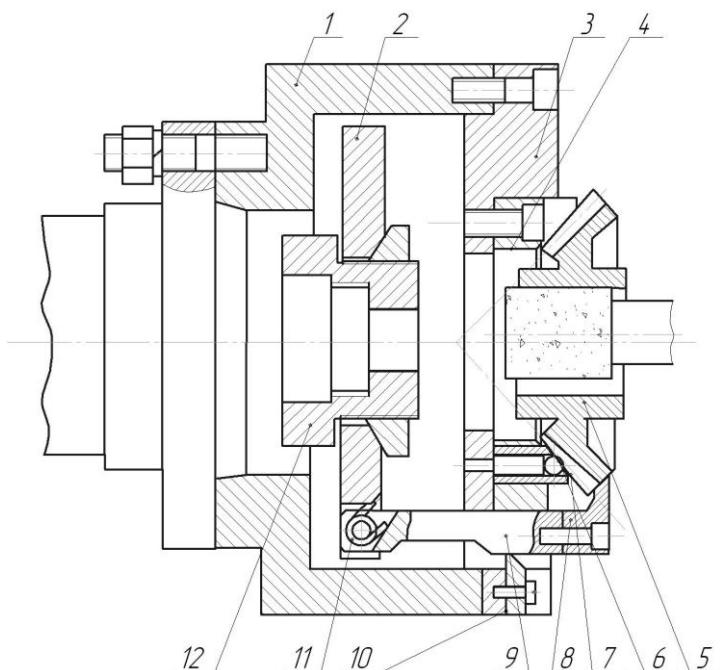


Рисунок 6.32 — Рычажный патрон для крепления конической шестерни

Для установки конических зубчатых колес применяют рычажные патроны (рисунок 6.32). Патрон состоит из корпуса с фланцем 3. Обрабатываемое колесо 5 базируется впадинами на три шарика 6, положение которых вдоль оси патрона определяют опоры 7, запрессованные во фланец. Шарикоподшипники должны находиться на равных расстояниях от оси патрона, что обеспечивает точность сепаратора 4, в гнезда которого они помещены. К шарикам обрабатываемую деталь прижимает рычажный механизм, состоящий из крестовины 2 и трех рычагов с захватами 8. Закрепление

происходит, когда шток механизма гидрозажима, соединенный с крестовиной через втулку 12, движется влево. При обратном движении скошенные участки рычагов зайдут за упоры 10, пружины 11 разведут рычаги 9 и деталь будет раскреплена. Точность патрона достигается шлифованием «по месту» гнезда для сепаратора и плоскостей опор 7.

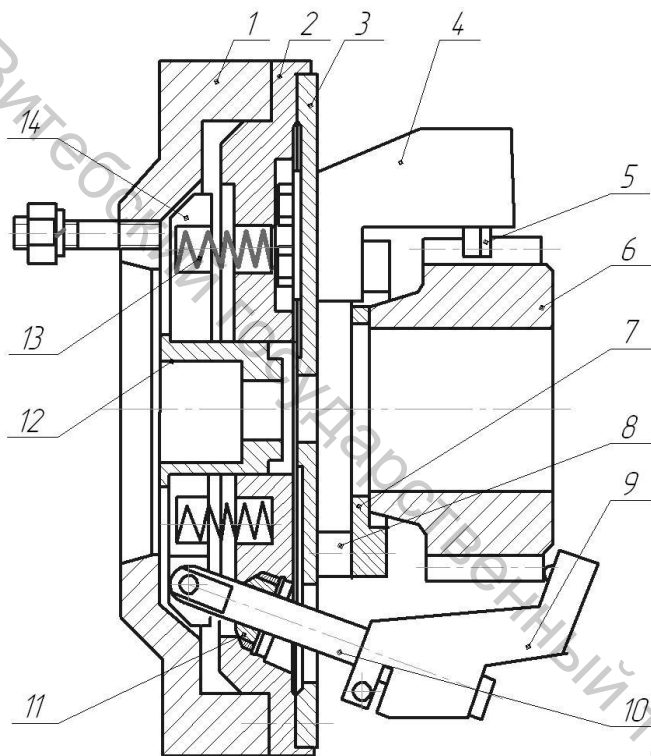


Рисунок 6.33 – Мембранно-рычажный патрон

Для закрепления деталей с базированием по наружному диаметру и торцу применяют *мембранно-рычажные патроны*. Одна из конструкций такого патрона представлена на рисунке 6.33. К корпусу 1 прикреплены фланец 2 и мембрана 3, несущая три кулачка 4. В отверстия мембраны проходят опоры 5, которые служат для установки на фланце базового кольца 7. Внутри патрона размещена крестовина 14 с тремя рычагами 10, на концах которых укреплены клеммовыми зажимами прихваты 9. Крестовина посажена на втулку 12, сцентрированную во фланце по посадке с зазором. Зажим изделия 6 происходит прихватами от действия шести пружин сжатия 13 общим усилием 1500 – 2000 Н.

Раскрепление обрабатываемой детали производит толкатель, проходящий сквозь отверстие шпинделя бабки изделия и входящий своим концом в отверстие втулки 12. При движении вправо втулка вначале заставляет двигаться крестовину, которая сжимает пружины и поворачивает рычаги 10 в шарнирных подшипниках 11 и прихваты отходят от торца детали. При дальнейшем движении втулка доходит до мембраны и выгибает ее, отчего расходятся кулачки и освобождают деталь.

Отверстия в длинных деталях шлифуют с помощью *люнетов*, являющихся принадлежностью станка. Наладка станка на обработку отверстия в детали «шпиндель» показана на рисунке 6.34. Люнеты 4 устанавливают на станине станка, добиваясь их соосного расположения с помощью специальной оправки. Обрабатываемую заготовку 7 базируют цилиндрической и конической шейками в отверстиях биметаллических вкладышей 5 и 6. Отверстия вкладышей пригоняют по поверхностям изделия с зазором 0,01 мм. Крутящий момент от шпинделя к заготовке передают гибким валиком 2, изготовленным из проволоки диаметром 4 – 6 мм длиной 300 мм. Соединение происходит через планшайбу 1 и поводок 3, закрепляемый клеммовым зажимом на конце обрабатываемого ва-

ла. Гибкая связь заготовки со шпинделем станка позволяет компенсировать некоторое несовпадение осей шлифуемой детали и шпинделя. Это позволяет шлифовать конические отверстия без разворота бабки изделия.

На рисунке 6.35 показана схема шлифования сферической внутренней поверхности. Радиус сферы зависит от диаметра шлифовального круга и угла поворота α бабки изделия. Для обеспечения точности формы необходимо, чтобы оси вращения шлифовального круга и шлифуемой заготовки точно пересекались. Скрещивание осей недопустимо.

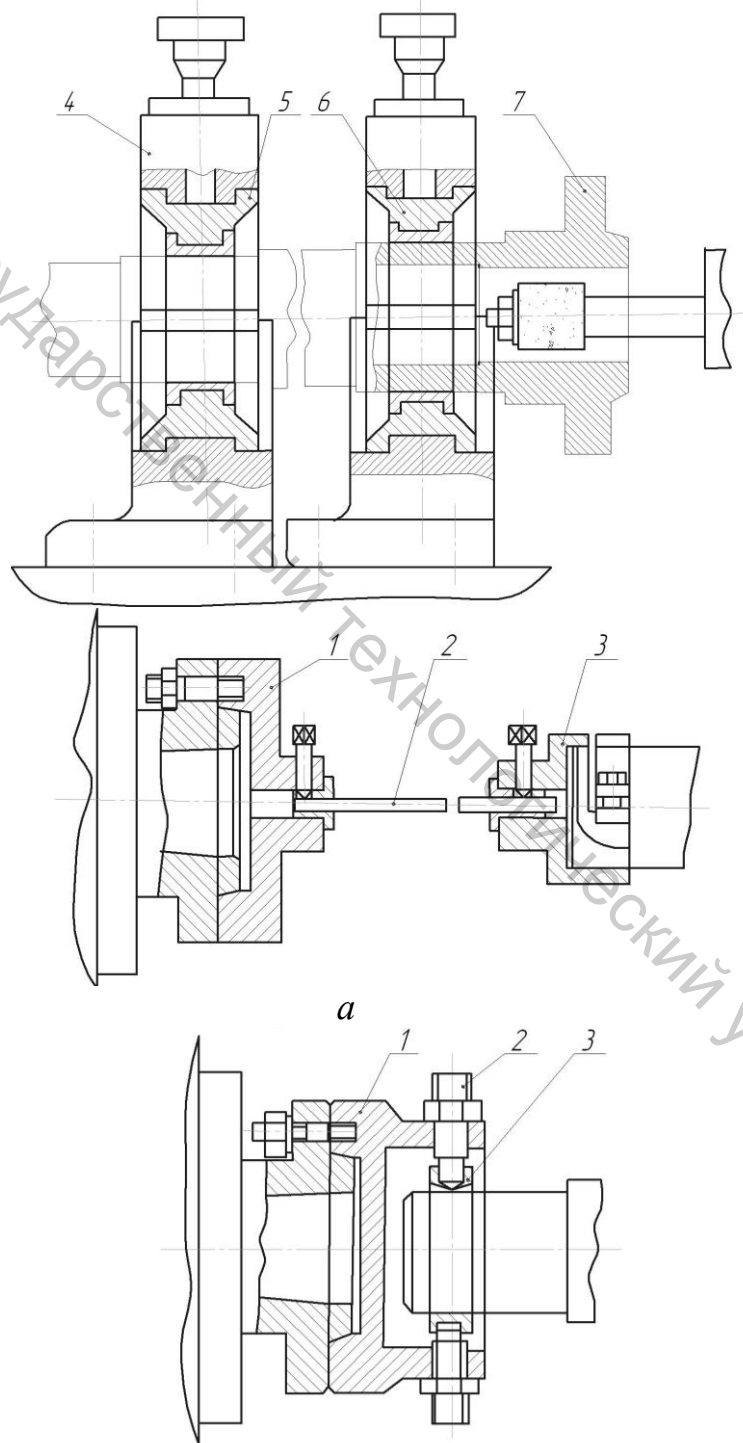


Рисунок 6.34 — Наладка для шлифования отверстия в длинной детали

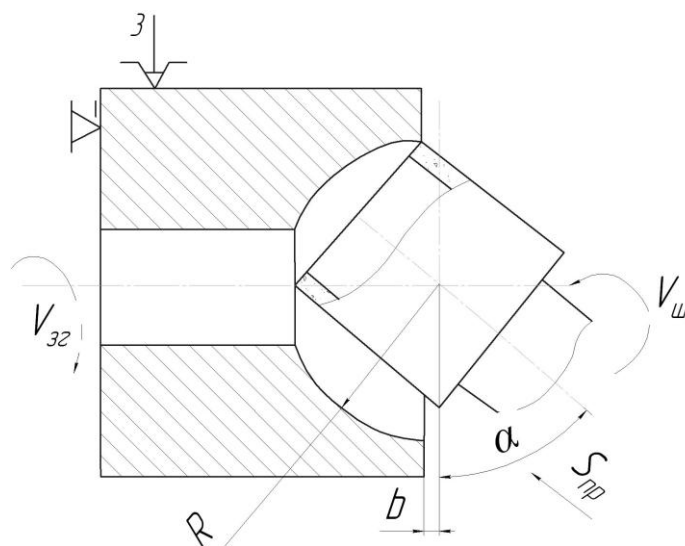


Рисунок 6.35 — Схема шлифования сферического отверстия

6.8 Координатно-планетарное шлифование

Координатно-шлифовальные станки предназначены для шлифования отверстий, связанных между собой точными координатами. Схема шлифования на этих станках показана на рисунке 6.36. На координатно-шлифовальных станках можно обрабатывать закаленные детали, к отверстиям которых предъявляют высокие требования по точности размера, формы и расположения.

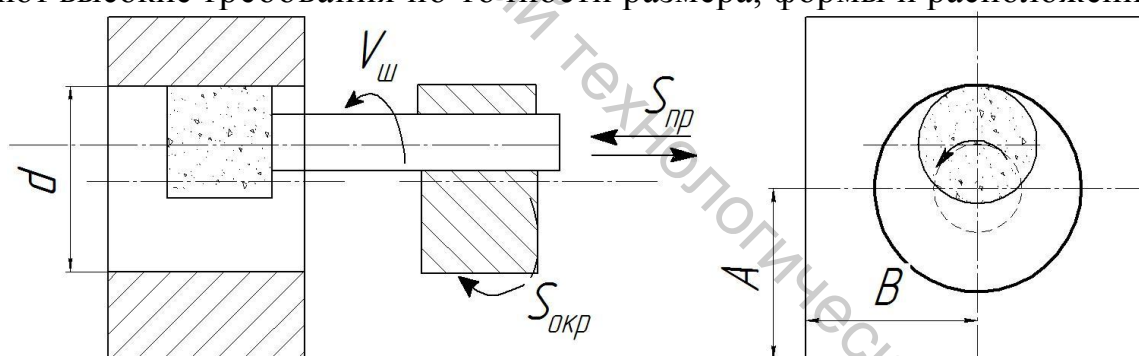


Рисунок 6.36 — Схема планетарного шлифования отверстия в корпусной детали

Станки обеспечивают круглость обработанных отверстий с отклонениями не более 0,001 – 0,003 мм, точность расположения отверстий и плоскостей в пределах 0,003 – 0,006 мм, шероховатость обработанных поверхностей по параметру $Ra = 0,16$ мкм на стальных деталях с твердостью 56 HRC_э и 0,63 мкм на чугунных деталях с твердостью 180 HB.

По конструкции координатно-шлифовальные станки выпускают одностоечные и двухстоечные. В одностоечных станках заготовку устанавливают на крестовом столе, перемещающемся в продольном и поперечном направлениях.

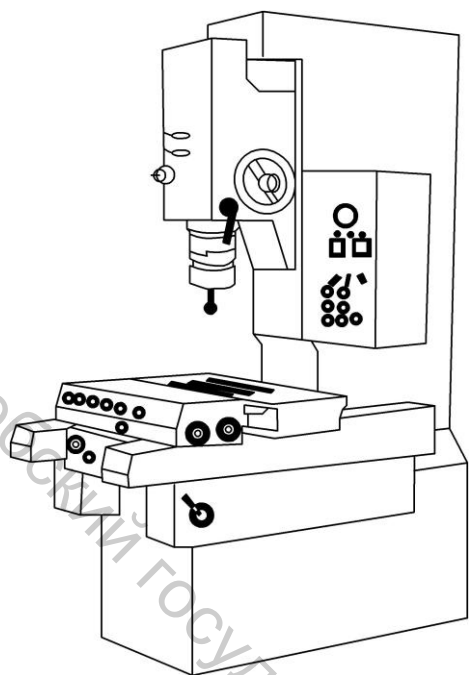


Рисунок 6.37 — Одностоечный координатно-шлифовальный станок модели 3B282

Шпиндельная бабка перемещается по вертикальным направляющим стойки. Такую конструкцию имеют небольшие станки Одесского завода фрезерных станков им. С.М. Кирова моделей 3A282, 3Б282, 3B282, 3B282Ф1 (рисунок 6.37). Двухстоечную конструкцию имеют большие станки Куйбышевского СПО моделей 3289 и 3289АФ1. Стол в этих станках имеет лишь продольное перемещение и проходит между стойками, образующими портал. По вертикальным направляющим стоек движется поперечина, по горизонтальным направляющим которой передвигается шпиндельная бабка со встроенной гильзой шпинделя.

Техническая характеристика координатно-шлифовального станка приведена в таблице 6.7.

Таблица 6.7 — Технические характеристики станка 3B282

Параметры	Значения
Диаметры шлифуемых отверстий, мм	0,8...200
Наибольший угол конуса шлифуемого отверстия, град	3
Размеры рабочей поверхности стола, мм	250×450
Наибольшие координатные перемещения, мм	
поперечное	200
продольное	320
Наибольшее перемещение гильзы, мм	60
Частота вращения, об/мин	
шлифовального круга	15000...250000
планетарного шпинделя	5...350
Подача шлифовального круга продольная, мм/мин	6...4060
Точность установки координат, мм	0,0025

Координатношлифовальные станки выпускаются высокой (класс А) и особо высокой (класс С) точности. Основными показателями точности станка являются:

- 1) точность координатных перемещений при ручной установке рабочих органов в заданные координаты;
- 2) точность позиционирования при автоматической установке рабочих органов в станках с цифровой индикацией и предварительным набором координат, а также с устройствами ЧПУ;

3) точность отверстия, которая характеризуется в первую очередь точностью геометрической формы (круглостью и постоянством диаметра в любом продольном сечении) и качеством обработанной поверхности.

Для проверки точности позиционирования или координатных перемещений проводят многократные испытания по обеим координатным осям и выявляют три статистических показателя:

1) точность позиционирования, которую определяют как разность средних значений фактической и заданной координат;

2) стабильность позиционирования, которую характеризует рассеивание полученных значений координаты;

3) зона нечувствительности при реверсировании, которую рассчитывают как разность средних значений координат, полученных при позиционировании в противоположных направлениях.

В станках класса С при перемещениях до 400 – 1000 мм точность позиционирования должна быть не ниже 4 – 6 мкм, а стабильность позиционирования и зона нечувствительности – 2 – 3 мкм. Контрольные замеры проводят приборами высокой точности, например лазерным интерферометром.

Точность полученных отверстий проверяют на чугунных и стальных образцах, форма и размеры которых регламентированы.

Процесс шлифования отверстия на координатно-шлифовальном станке обеспечивается работой только шпиндельной головки, показанной на рисунке 6.38. Из-за того, что деталь неподвижна, все движения, необходимые для осуществления процесса шлифования, кинематически задаются механизмами шпиндельной головки.

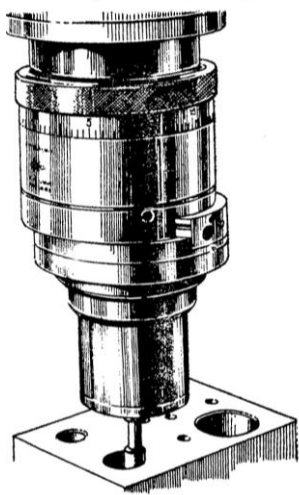


Рисунок 6.38 —
Планетарный шпиндель
со шлифовальной
головкой

Качество поверхности зависит не только от скорости круга, но и от скорости планетарного движения и глубины шлифования. Во многих случаях повышение интенсивности обработки приводит к недопустимому повышению температуры в зоне контакта круга с изделием, вследствие чего происходят структурные изменения в поверхностном слое детали и возникают внутренние напряжения. Чтобы избежать ухудшения качества поверхности, рекомендуют снижать глубину шлифования и увеличивать скорость планетарного движения. Однако поднять планетарную подачу выше 350 об/мин не удастся из-за эксцентричного расположения шлифовальной головки на планетарном шпинделе. Неуравновешенная масса такой конструкции приводит к появлению вибраций.

Для шлифования конусных отверстий предусмотрен механизм, который осуществляет согласованное перемещение шлифовального круга в радиальном направлении с осевой подачей. Перемещение шлифовального круга в радиаль-

ном направлении, а следовательно и угол конусности обрабатываемого отверстия обеспечивается углом наклона копировальной линейки. При шлифовании цилиндрических отверстий механизм конусного шлифования отключается.

Для совмещения оси отверстия с осью планетарного шпинделя применяется рычажный центроискатель с индикатором, схема которого показана на рисунке 6.39 а. Центроискатель состоит из направляющей планки 3, прикрепленной к планетарному шпинделю 1; корпуса 2, на котором закреплены индикатор 9 и контактный рычаг 7. Корпус 2 перемещается по планке 3 в зависимости от

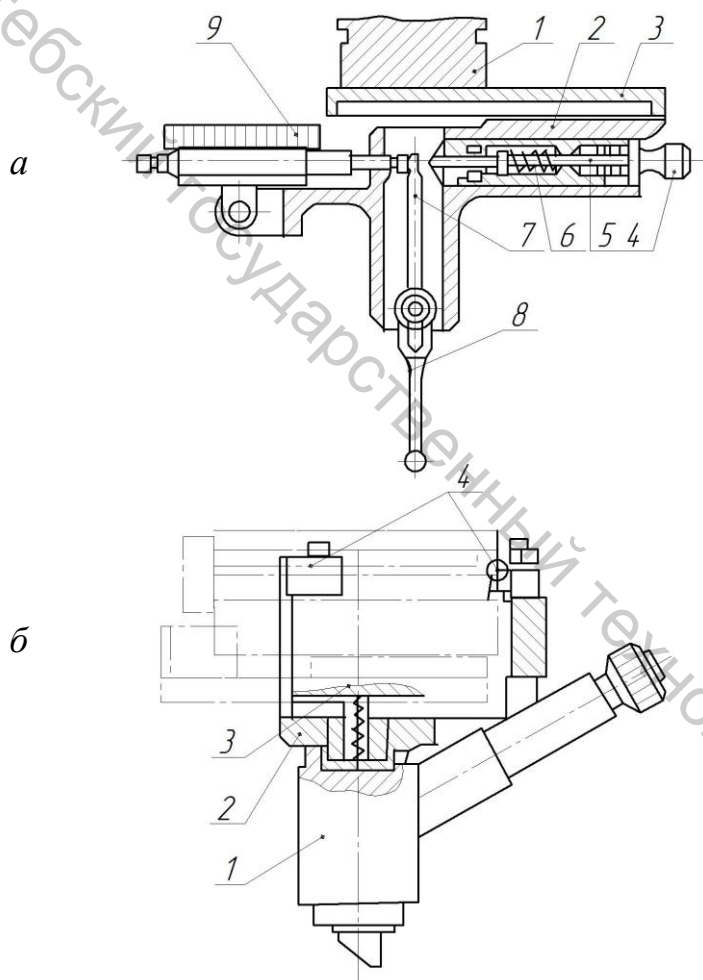


Рисунок 6.39 — Центроискатели рычажный (а) и оптический (б) к координатно-шлифовальному станку

радиуса отверстия, на котором производится проверка. Щуп 8 прижимается к проверяемой поверхности усилием пружины индикатора 9 через рычаг 7. Индикатор часового типа 9 имеет цену деления 0,01 или 0,001 мм.

Оптический центроискатель (см. рисунок 6.39 б) предназначен для совмещения базовой кромки изделия или какой-либо точки, нанесенной, например, керном при разметке, с осью планетарного шпинделя. Микроскоп 1 с переходным стаканом 2 надевается на конец шпинделя 3. Закрепление центроискателя на шпинделе и совмещение оптической оси микроскопа с осью шпинделя производится с помощью регулировочных опор 4.

Для того чтобы уловить момент касания шлифовального круга со шлифуемой поверхностью, применяют ин-

дикаторы касания, которые улавливают повышение уровня шума в момент касания. Минимальная глубина резания, которую может зафиксировать индикатор, составляет 0,3 – 0,5 мкм.

Зону шлифования на некоторых координатно-шлифовальных станках охлаждают СОЖ, подаваемую в обрабатываемое отверстие в виде аэрозоля. Разбрызгивание СОЖ производят пульверизатором, работающим от сжатого воздуха пневмосети. Наконечник пульверизатора прикреплен к магнитной стойке, которая может быть установлена в любом месте стола станка.

6.9 Плоское шлифование

Плоское шлифование (плоских и сложнопрофильных поверхностей) производится на плоскошлифовальных станках. Типичным представителем этих станков является плоскошлифовальный станок модели ЗЕ7ПВ-1 Оршанского станкостроительного завода. Он предназначен для шлифования заготовок, закрепленных на зеркале стола, магнитной и электромагнитной плитах или в приспособлении. Станок применяют в единичном, мелкосерийном и серийном производстве. На рисунке 6.40 представлен общий вид станка, расположение его основных составных частей и органов управления.

Станок состоит из станины 17 коробчатой формы, которая является основанием для установки основных узлов станка: колонны 2 со шлифовальной головкой 1, крестового стола 11 с суппортом, механизмов перемещений стола и шлифовальной бабки. Гидростанция 13, система подачи СОЖ в зону шлифования 23, электрошкаф 9 и пульт управления 12 расположены вне станины. Установка для смазки шлифовальной головки расположена за станком. На верхних платиках станины установлена колонна и крепятся направляющие качения для суппорта стола. Одна направляющая плоская, она воспринимает вертикальные нагрузки, другая — П-образной формы, воспринимающая вертикальные и горизонтальные нагрузки. Сверху на станине закрепляются пластина для фиксации суппорта и линейка для отсчета поперечных перемещений. К передней стенке станины крепятся механизмы вертикальной и поперечной подачи, а ее внутренняя полость используется для разводки коммуникаций гидрооборудования и смазки.

Колонна 2 обеспечивает установку и вертикальное перемещение шпиндельной головки по двум направляющим качения, собранным с предварительным натягом. Для ограничения подъема шлифовальной головки и верхней части колонны установлен микропереключатель, который отключает электродвигатель ускоренного перемещения головки при ее предельном верхнем положении. На боковой стенке колонны 7 закреплена планка с Т-образным пазом, на которой установлен датчик контроля размера шлифуемой заготовки (рисунок 6.41).

Датчик служит для управления автоматической вертикальной подачей. Он обеспечивает автоматическое переключение с черновых подач на чистовые, установку желаемого значения чистового припуска и отключение подачи при достижении заданного размера. Фиксация датчика по высоте производится гайками 10. На шлифовальной головке 9 установлен кронштейн 5 с микрометрическим упором 6, воздействующим на упор 4 датчика, связанный с контактами переключения команд. При шлифовании партии заготовок после каждой правки шлифовального круга для обеспечения заданного размера микрометрический упор перемещают вверх на толщину слоя абразива, снятого при правке. Барабан 3 служит для настройки чистового припуска.

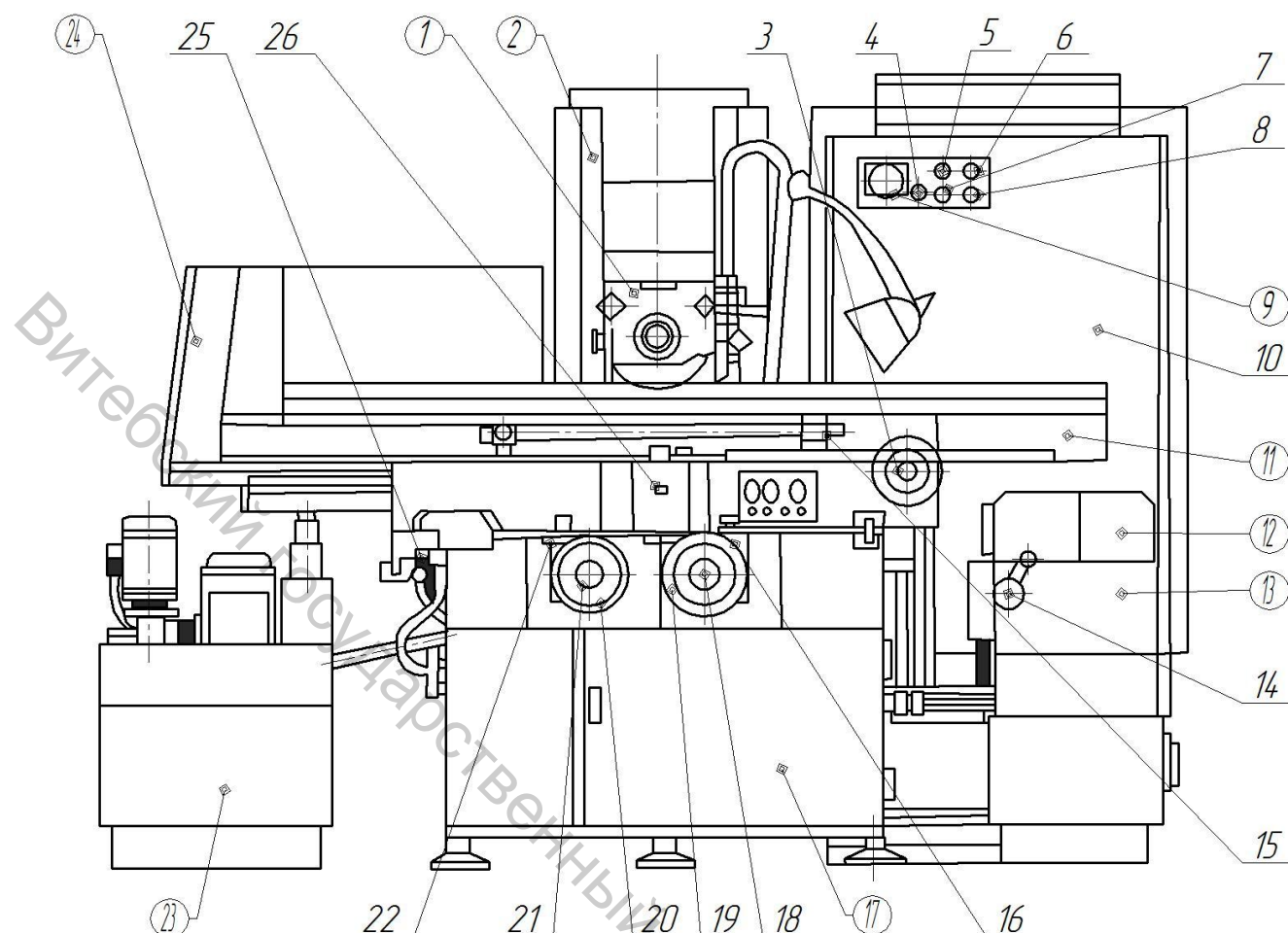


Рисунок 6.40 — Расположение составных частей и органов управления станка модели 3E711B-1: Составные части станка (цифры обведены кружком):

1 – шлифовальная головка с кругом; 2 – колонна (стойка); 9 – электрошкаф; 11 – стол крестовый; 12 – пульт управления; 13 – гидростанция; 17 – станина; 23 – система охлаждения зоны шлифования; 24 – ограждение стола. Органы управления: 3 – рычаг продольного реверса; 4 – маховик ручного продольного перемещения стола; 5 – лампа «Нет смазки»; 6 – лампа «Черновая подача»; 7 – лампа «Чистовая подача»; 8 – лампа «Размер готовой детали»; 10 – амперметр контроля нагрузки шлифовального круга; 15 – рукоятка «Пуск – стоп стола» регулирования скорости стола; 16 – упоры регулирования длины продольного хода стола; 18 – рукоятка включения тонкой вертикальной подачи; 19 – кнопка «Вертикальная подача ручная – автоматическая»; 20 – маховики вертикальной подачи; 21 – маховик поперечной подачи; 22 – кнопка «Поперечная подача ручная – автоматическая»; 25 – рукоятка включения и маховик тонкой поперечной подачи; 26 – упоры регулирования и ограничения поперечного хода

При износе шлифовального круга на 25 мм по радиусу микрометрический упор 6 возвращается в исходное нижнее положение, а электроконтактный датчик перемещается вниз по пазу. Для предотвращения поломки датчика при перемещении шлифовальной головки из нижнего положения в верхнее он перемещается вместе с головкой посредством болта 8. Шпиндель шлифовального

круга приводится во вращение от электродвигателя мощностью 4 кВт через поликлиновую ременную передачу. На станке модели 3Е711В-1 шпиндель смонтирован на подшипниках качения.

Шлифовальный круг устанавливается между двумя фланцами и закрепляется винтами. Балансировка круга производится балансировочными грузиками, имеющимися в пазу переднего фланца.

Стол станка модели 3Е711В-1 имеет рабочую поверхность с Т-образными пазами для установки заготовки или приспособления. Продольное и поперечное перемещения стола относительно шлифовального круга осуществляются по направляющим крестового суппорта: верхним продольным (одна V – образная, другая плоская) и нижним плоским поперечным направляющим. Верхние и нижние направляющие станка модели 3Е711В-1 имеют ролики. Между верхними направляющими устанавливается гидроцилиндр продольного перемещения стола. К нижней поверхности суппорта крепится гайка поперечной подачи, а на передней стенке — кран продольного реверса. На передней стороне стола установлены кулачки и упоры продольного реверсирования. Механизм поперечной подачи обеспечивает ручное перемещение крестового суппорта со столом, автоматическую непрерывную подачу с бесступенчатым регулированием скорости, дискретную ступенчатую подачу на каждый ход стола и комбинированную подачу (т. е. непрерывную и ступенчатую на реверсе стола), а также правку и ускоренные наладочные перемещения.

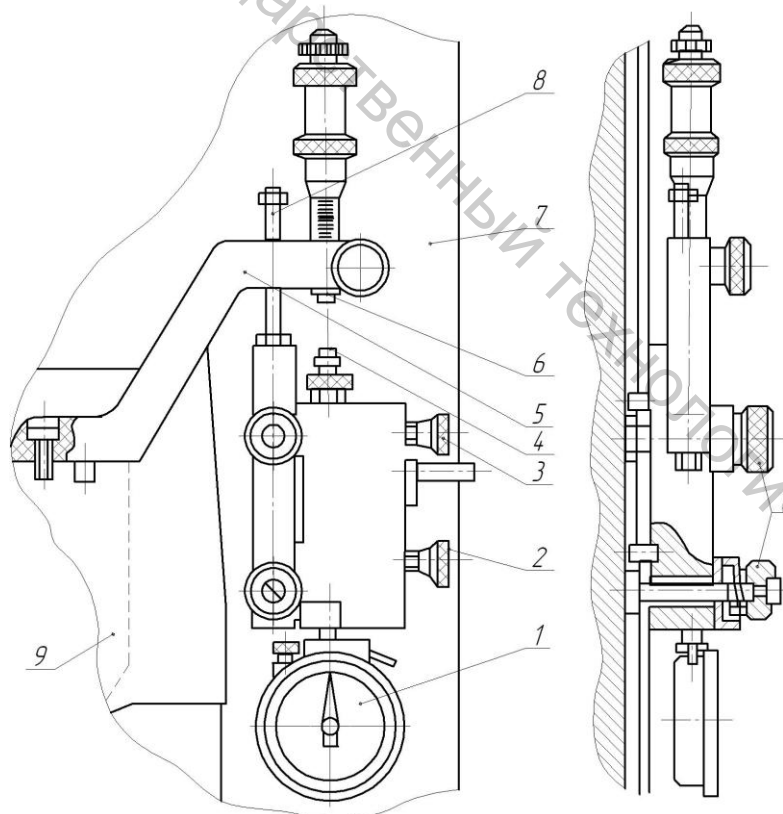


Рисунок 6.41 — Датчик контроля размера заготовки:

- 1 — индикатор; 2 и 3 — барабаны установки припуска; 4 — упор датчика; 5 — кронштейн;
6 — микрометрический упор; 7 — колонна;
8 — болт; 9 — шлифовальная головка;
10 — гайки фиксации датчика

речной подачи обеспечивает ручное перемещение крестового суппорта со столом, автоматическую непрерывную подачу с бесступенчатым регулированием скорости, дискретную ступенчатую подачу на каждый ход стола и комбинированную подачу (т. е. непрерывную и ступенчатую на реверсе стола), а также правку и ускоренные наладочные перемещения.

Все автоматические перемещения производятся от одного электродвигателя модели ПЯ-250 с регулируемой частотой вращения. Команда на электродвигатель подается от бесконтактного путевого переключателя при продольном реверсе стола. Скорость подач регулируется бес-

ключателя при продольном реверсе стола. Скорость подач регулируется бес-

ступенчато от пульта управления. Движение от электродвигателя через муфту и зубчатые колеса передается ходовому винту. Грубая ручная подача осуществляется вращением маховика. Для изменения направления поперечного перемещения крестового суппорта со столом имеется механизм поперечного реверса, а для фиксации суппорта — специальная планка, прижимающая его к станине станка.

Продольное ручное перемещение стола осуществляется с помощью двухступенчатого редуктора, реечного зацепления и маховика. Автоматическое возвратно-поступательное перемещение стола производится гидроцилиндром.

Механизм вертикальной подачи шлифовальной головки обеспечивает автоматическую ступенчатую подачу во время реверса стола или суппорта и ручное перемещение. Автоматическая подача производится шаговым электродвигателем ПЯ-250 через зубчатую передачу, карданный вал и редуктор; скорость подачи регулируется углом поворота ротора электродвигателя. Грубая ручная подача осуществляется маховиком, тонкая — специальной кнопкой, поворачивающей карданный вал (см. рисунок 6.42).

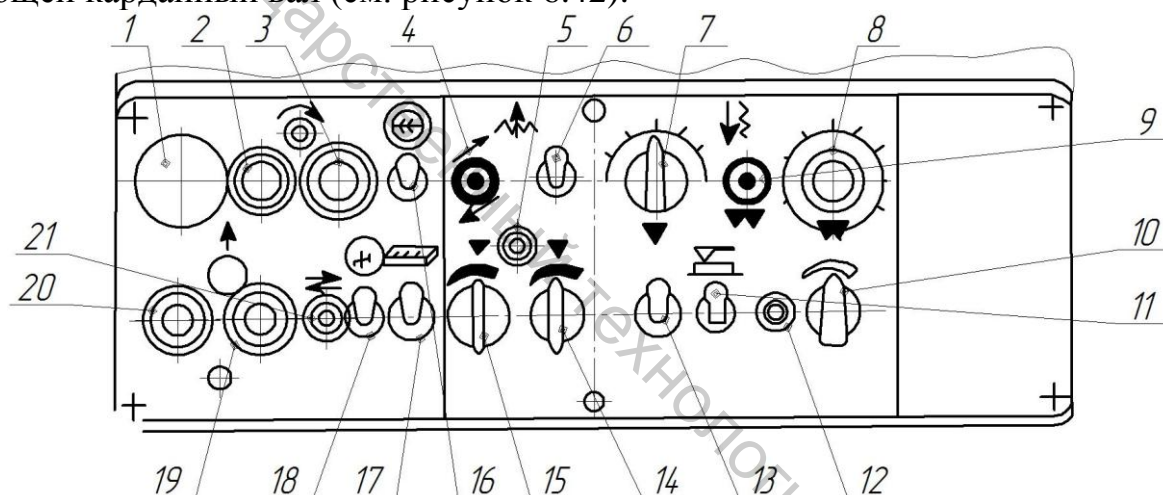


Рисунок 6.42 — Пульт управления станка модели 3Е711В-1:

- 1 – кнопка «Общий стоп»; 2 – кнопка «Пуск шлифовального круга»; 3 – кнопка «Стоп шлифовального круга»; 4 – тумблер «Поперечная подача вперед–назад»; 5 – переключатель «Прерывистая, комбинированная – непрерывная поперечная подача»; 6 – переключатель «Поперечная подача автоматическая – ручная»; 7 – переключатель «Установка величины черновой вертикальной подачи»; 8 – переключатель «Установка величины чистовой вертикальной подачи»; 9 – тумблер переключения подач; 10 – регулятор скоростей перемещения шлифовальной головки; 11 – переключатель размера детали «Включено – выключено»; 12 – тумблер «Шлифовальная головка вверх–вниз»; 13 – тумблер «Вертикальная подача включена – отключена»; 14 – регулятор установки величины прерывистой поперечной подачи; 15 – регулятор установки скоростей непрерывной поперечной подачи; 16 – тумблер «Приспособление включено – отключено»; 17 – тумблер «Электромагнитная плита включена – отключена»; 18 – тумблер «Охлаждение включено – отключено»; 19 – кнопка «Стоп гидропривода»; 20 – кнопка «Пуск гидропривода»; 21 – тумблер «Пуск стола загрузка»

Подача СОЖ в зону шлифования производится насосом ПА-45 с подачей 45 л/мин из бака охлаждения, находящегося вне станины станка (см. поз. 23 на рисунке 6.40). В баке жидкость отстаивается, а в магнитном сепараторе очищается от металлического шлама. Привод сепаратора осуществляется от отдельного электродвигателя АОЛ11-4-С1. На некоторых моделях станков дополнительно установлен фильтр-транспортёр, обеспечивающий более тонкую очистку СОЖ.

На рисунках 6.43 – 6.45 приведены схемы плоского шлифования на станках с прямоугольным крестовым столом.

Работа на плоскошлифовальном станке выполняется в следующей последовательности (на примере станка ЗЕ711В-1).

Изучить чертеж детали или операционный эскиз, получить необходимую технологическую оснастку, установить на столе станка магнитную плиту или другое приспособление.

Отбалансировать и установить на шпинделе станка шлифовальный круг, произвести правку круга.

Установить и закрепить заготовку на магнитной плите или специальном приспособлении. Включение плиты производится поворотом рукоятки-тумблера 17 в положение «Электромагнитная плита включена».

1. В зависимости от размеров шлифуемой заготовки установить кулачки продольного реверса так, чтобы продольный ход стола был больше длины обрабатываемой поверхности на 80 – 100 мм.

2. Настроить положения сопла подачи СОЖ в зону шлифования и ограждающих щитков стола.

3. Включить привод вращения шлифовального круга кнопкой 2 и подачу СОЖ тумблером 18.

4. Установить прерывистую поперечную подачу регулятором 14.

5. Включить гидропривод кнопкой 20, предварительно установив рукоятку 14 регулирования скорости стола (см. рисунок 6.40) в нулевое положение; включить тумблер 12 «Пуск стола — загрузка» в положение «Пуск стола» и поворотом рукоятки регулирования скорости стола установить требуемую скорость движения. В случае обработки нескольких одинаковых заготовок остановка стола в крайнем правом положении для загрузки очередной заготовки осуществляется поворотом тумблера 21 в положение «Загрузка».

9. Установить переключателем 6 автоматическую поперечную подачу, а переключателем 5 — прерывистую или комбинированную — непрерывную поперечную подачу; передвиганием упоров установить величину поперечного хода стола (см. рисунок 6.42).

10. При включенной скорости стола подвести шлифовальный круг к заготовке, пользуясь тумблером 12 «Шлифовальная головка вниз», в конце хода уменьшить скорость подвода регулятором 10.

11. Выбрать один из трех режимов работы с автоматической вертикальной подачей: 1) работа с датчиком контроля размера, когда происходит автоматический переход с черновых подач на чистовые и отключение подач при достиже-

нии заданного размера; 2) только чистовая подача без выхода на размер; 3) только черновая подача без выхода на размер.

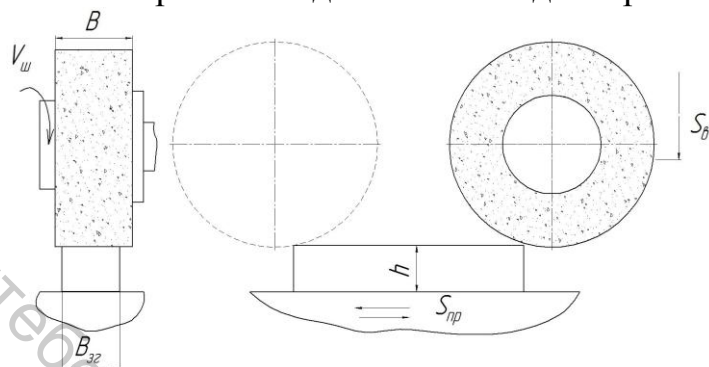


Рисунок 6.43 — Схема плоского врезного шлифования

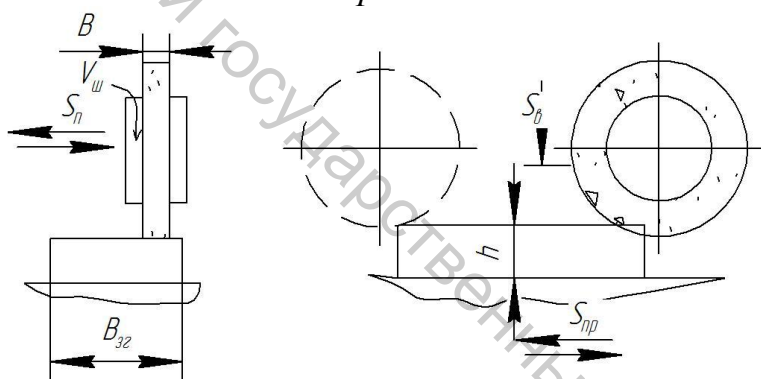


Рисунок 6.44 — Схема плоского шлифования с поперечной подачей

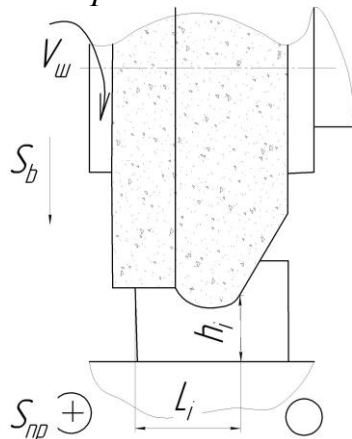


Рисунок 6.45 — Схема плоского фасонного шлифования

При касании шлифовального круга обрабатываемой поверхности упор датчика 4 подвести к микрометрическому упору 6, но не до полного соприкосновения. Затем упор 6 подвести к упору датчика 4 до соприкосновения и вращать микрометрический винт для загорания сигнальной лампы 8 «Размер готовой детали» (см. рисунок 6.40), сигнализирующей отключение вертикальной подачи (срабатывание второго контакта датчика). Поднять шлифовальную головку вверх и установить обрабатываемую заготовку. После черновой подачи и воздействия на упор датчика 4 (см. рисунок 6.41) происходит переключение на чи-

12. При работе с датчиком контроля размера установить черновые и чистовые подачи регуляторами 7 и 8 (см. рисунок 6.42); датчик включить тумблером 11. Датчик обеспечивает автоматический переход с чернового на чистовое шлифование. Чистовой припуск устанавливается барабанами 2 и 3 (см. рисунок 6.41) в следующей последовательности: вращая барабан 3, замкнуть верхние контакты датчика, при этом загорится сигнальная лампа 7 «Чистовая подача» (см. рисунок 6.40); перемещая упор датчика 4 (см. рисунок 6.41) вниз, добиться загорания лампы 8 (см. рисунок 6.40) «Размер готовой детали», в этом случае вертикальная подача отключается. Путь, пройденный упором датчика 4 (см. рисунок 6.41), является чистовым припуском и визуально контролируется по индикатору 1; желаемый припуск может быть установлен вращением барабана 2 в ту или иную сторону.

стовую подачу, при этом загорается сигнальная лампа 7 (см. рисунок 6.40) «Чистовая подача».

13. При работе только с черновой или чистовой подачей переключатель 11 (см. рисунок 6.42) установить в положение «Отключено», а тумблер 9 – в положение «Черновая и чистовая подача». В этом случае размер заготовки не контролируется и отключение подачи производится вручную тумблером 13.

14. Увеличить скорость стола до необходимого значения. Установить регулятором 14 прерывистую подачу или регулятором 15 непрерывную поперечную подачу; включить переключателем 6 поперечную подачу и тумблером 4 задать направление в ту или иную сторону в зависимости от того, с какой стороны начинается шлифование.

Шлифование следует производить при обильном охлаждении, применять соответствующие условиям операции характеристики кругов, своевременно править круг и следить за его сбалансированностью.

6.10 Технологическая оснастка для плоскошлифовальных станков

К технологической оснастке относятся различные приспособления для установки и закрепления заготовок на столе станка, делительные устройства для поворота заготовки в нужное положение при шлифовании нескольких поверхностей, приспособления для балансировки и правки шлифовального круга, контрольно-измерительные устройства, необходимые для выполнения шлифовальной операции.

Технологическая оснастка должна обеспечивать быстрое и качественное выполнение всех рабочих приемов шлифовальной операции. В зависимости от типа производства применяют универсальную (при единичном и мелкосерийном производстве) или специальную (при серийном и массовом производстве) оснастку. Основным требованием к универсальной оснастке является возможность быстрой переналадки станка на шлифование различных заготовок, а специальная оснастка должна обеспечивать минимальные затраты времени на установку заготовки, ее измерение, балансировку и правку круга.

Установку и закрепление заготовки можно производить непосредственно на столе станка с помощью прижимных планок, однако такой метод требует больших затрат времени. Из универсальных приспособлений чаще всего применяют электромагнитные плиты и тиски.

Закрепление заготовок на электромагнитной плите основано на следующем принципе. Подковообразный железный сердечник с обмоткой намагничивают, пропуская через его обмотку постоянный ток. Такой сердечник способен притягивать к себе стальные и чугунные заготовки и обеспечивать их закрепление магнитными силами. Электромагнитная плита представляет собой группу подковообразных сердечников, полюса которых выведены на ее верхнюю рабочую плоскость и изолированы друг от друга немагнитными сплавами (цинком, баббитом и др.), благодаря чему магнитные силы не рассеиваются в плите, а направляются непосредственно на заготовку. Электромагнитная плита может

закреплять заготовки из магнитных металлов при условии достаточно большой площади контакта. Различные конструкции и размеры электромагнитных плит обеспечивают закрепление разных заготовок.

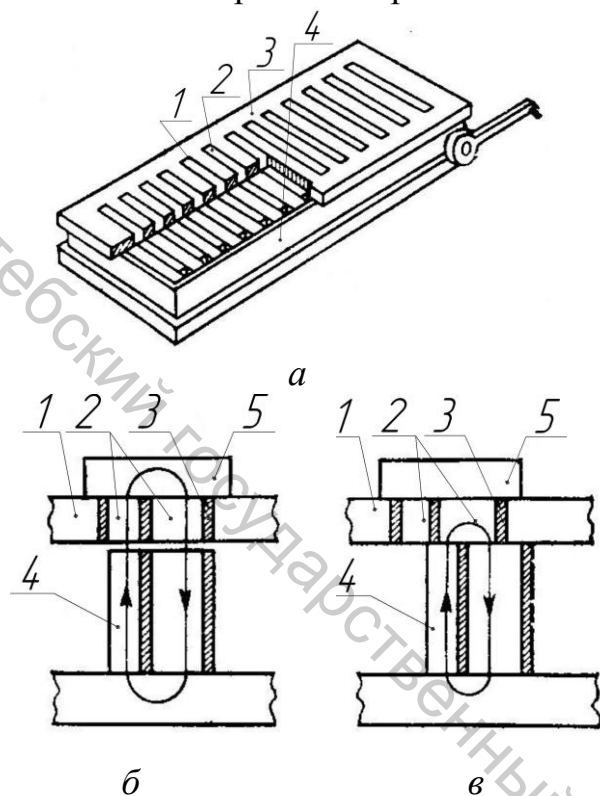


Рисунок 6.46 — Магнитная плита: а — общий вид; в — положение магнитов и действие магнитного потока при закреплении заготовки; в — положение магнитов и действие магнитного потока при установке и снятии заготовки; 1, 2 — железные пластины; 3 — немагнитные прослойки между пластинами; 4 — магниты; 5 — заготовка

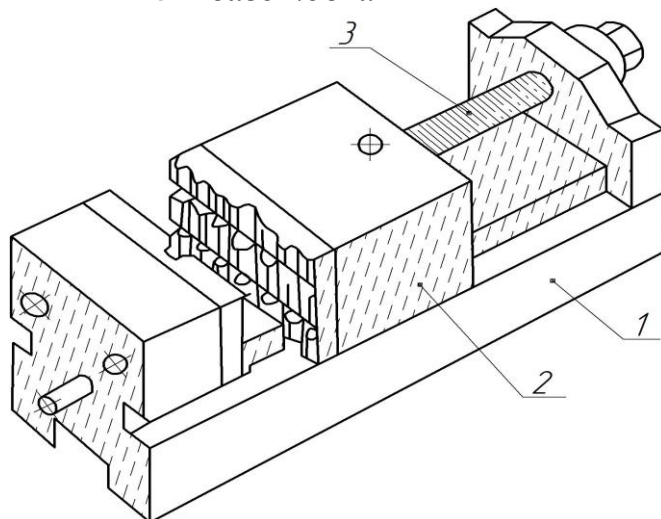


Рисунок 6.47 — Лекальные тиски

Кроме электромагнитных плит на плоскошлифовальных станках применяют магнитные плиты (рисунок 6.46), состоящие из набора постоянных магнитов и не требующие применения специальных генераторов и выпрямителей. Однако сила притяжения магнитными плитами слабее по сравнению с электромагнитными. В качестве вспомогательных элементов при установке заготовок на электромагнитных плитах используют различные угольники, призмы, планки и синусные линейки. Рабочие плоскости (зеркало) электромагнитных и магнитных плит следует периодически перешлифовывать на самом станке во включенном состоянии.

Лекальные тиски (рисунок 6.47) отличаются от обычных машинных тисков точностью изготовления и возможностью их установки на боковые поверхности. Неподвижная губка тисков составляет единое целое с основанием 1. В основании имеются пазы для перемещения подвижной губки 2 винтом 3. Основание имеет резьбовые отверстия для крепления тисков к различным приспособлениям. Все плоскости тисков обработаны под углом 90° и могут быть использованы в качестве установочных элементов.

Для установки заготовок в центрах при шлифовании на плоскошлифовальных станках с прямоугольным столом и го-

горизонтальным шпинделем применяют универсальные приспособления, показанные на рисунке 6.48. Приспособление состоит из массивной плиты 4, на которой установлены две стойки 2 и 5 со срезанными центрами 1. Стойки закрепляются в заданном положении на плите эксцентриковым зажимом с помощью рукоятки 3.

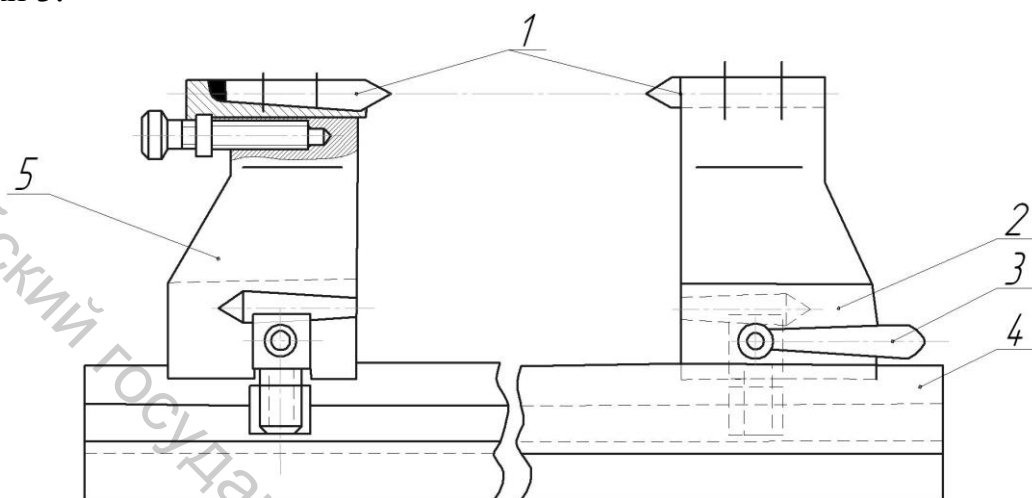


Рисунок 6.48 — Приспособление для шлифования в центрах

Для установки заготовок на столе станка с наклоном шлифуемой поверхности под разными углами широко применяют синусные приспособления (рисунок 6.49 а, б) в сочетании с угольниками, центровыми приспособлениями и другими устройствами. Необходимый угол задается с помощью мерных плиток и роликов.

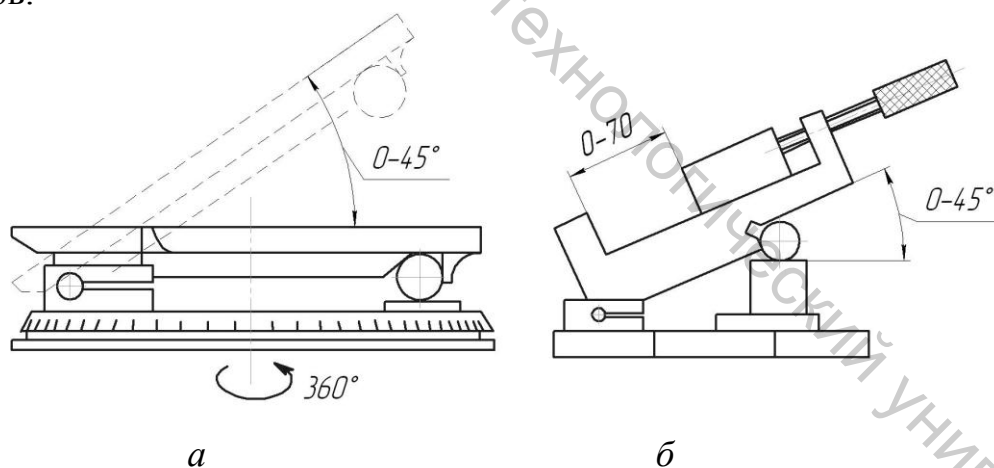


Рисунок 6.49 — Синусные приспособления:

а — поворотный синусный столик; б — прецизионные синусные тиски

Для правки шлифовального круга алмазным карандашом применяют различные по своему назначению и сложности приспособления. Для правки периферии и торца круга на станках с прямоугольным столом применяют державки различных конструкций (рисунок 6.50 а, б). Державка, изображенная на рисунке 6.50 а, состоит из корпуса 5, алмазодержателя 1 и алмазного карандаша 2. Крепится державка болтом 4 на столе станка в Т-образном пазу или на электромагнитной плите. Поворотом рукоятки 3 производится фиксация алмазодержателя в нужном положении. На рисунке 6.50 б представлено приспособле-

ние для угловой правки круга, обеспечивающее различную его форму. Угловая правка производится двумя алмазными карандашами, установленными в алмазодержателях под заданным углом. Подача алмазодержателей производится механически от специального электропривода.

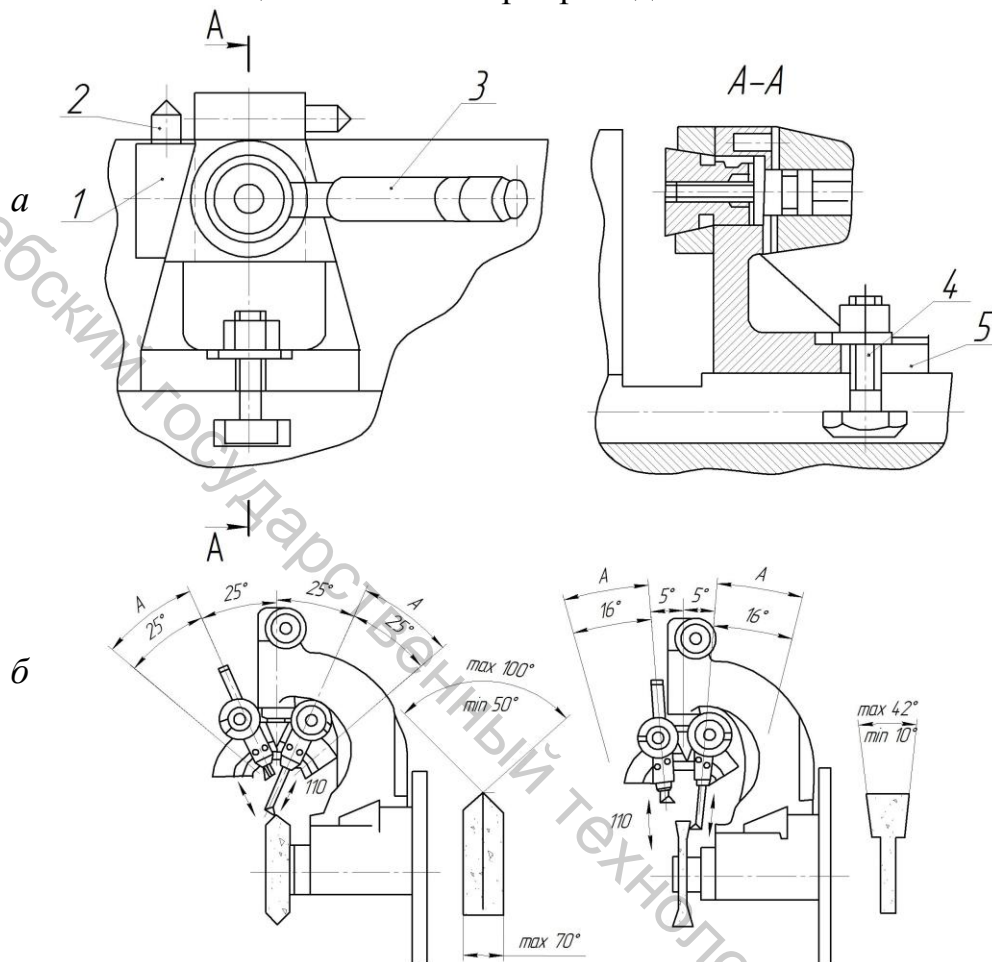


Рисунок 6.50 — Приспособления для правки шлифовальных кругов

6.11 Выбор характеристики шлифовального круга

Характеристика круга оказывает решающее влияние на производительность шлифования, точность и качество обработанных поверхностей. Во многих случаях малейшее изменение характеристики круга делает невозможным выполнение операции шлифования.

Выбор размеров. Для круглого наружного и плоского шлифования выбирается наружный диаметр максимальным для того станка, на котором будет производиться обработка. Для внутреннего шлифования диаметр шлифовального круга $d_{кр}$ определяется из выражения $d_{кр} = (0,5...0,9) \cdot d_{от}$, где $d_{от}$ — диаметр шлифуемого отверстия. Для отверстия диаметром больше 200 мм диаметр шлифовального круга определяется в основном диаметром шпинделя шлифовальной бабки.

Выбор абразивных материалов. При шлифовании сталей, как правило, применяют круги из различных электрокорундов (белого или нормального). Лучше всего шлифуются углеродистые стали. Легирующие присадки обычно

ухудшают обрабатываемость, особенно такие, которые делают сталь вязкой (например, никель) или способствуют образованию твердых карбидных соединений (например, ванадий). Увеличение теплостойкости стали или сплава, прочности и вязкости, уменьшение теплопроводности приводят к ухудшению обрабатываемости и быстрому затуплению круга. Стали аустенитного класса шлифуются хуже, чем мартенситного, перлитного и сорбитного классов. Для труднообрабатываемых сталей и сплавов рекомендуется применять круги из белого электрокорунда или монокорунда. Монокорунд применяют также при шлифовании деталей из цементованных и азотированных сталей. При снятии большого припуска часто применяют круги из нормального или легированного электрокорунда.

Шлифовальные круги из карбида кремния рекомендуется применять при шлифовании деталей из чугуна, алюминия, бронзы и латуни.

Выбор зернистости. Необходимую зернистость шлифовального круга выбирают в зависимости от режима шлифования и заданного уровня шероховатости. Зернистость при выполнении операций шлифования периферией круга обычно выбирают в пределах 50, 40, 25 и 16. Большой номер зернистости выбирается при предварительной обработке. Зернистость 40 и 25 выбирается при комбинированном шлифовании, когда в одном рабочем цикле последовательно осуществляется предварительное, чистовое и отделочное шлифование. При профильном шлифовании, когда необходимо длительное время сохранять форму профиля рабочей части круга, применяют мелкозернистые круги.

Выбор твердости шлифовального круга. При выборе твердости шлифовального круга следует руководствоваться следующим правилом – чем тверже обрабатываемый материал, тем мягче должен быть шлифовальный круг. Исключение составляют весьма мягкие и вязкие материалы: алюминий, бронза, латунь, обрабатываемые мягкими кругами. Наиболее часто при круглом наружном шлифовании углеродистой закаленной стали рекомендуется применять круги твердостью СМ2 и С1. При шлифовании с охлаждением твердость шлифовального круга следует выбирать на одну ступень тверже, чем при шлифовании без охлаждения. При внутреннем и плоском шлифовании рекомендуется применять более мягкие круги, чем при круглом наружном. При замене нормального электрокорунда на белый, белого электрокорунда на монокорунд, крупнозернистых кругов на мелкозернистые следует повышать твердость шлифовального круга на одну ступень. Если имеет место опасность прижогов и трещин, необходимо применять более мягкие круги.

Вообще следует иметь в виду, что увеличение площади контакта круга с заготовкой и твердости обрабатываемого материала требует при всех прочих равных условиях уменьшения твердости круга. Круги меньшей твердости экономичнее, так как их реже правят; они меньше прижигают обработанную поверхность, но их размерный износ значительно больше и поэтому часто лимитирует получение заданной точности. При шлифовании прерывистых поверхностей следует пользоваться кругами большей твердости.

Выбор связки шлифовального круга. В большинстве случаев применяют шлифовальные круги на керамической связке. Они дают возможность работать с различными охлаждающими жидкостями. При шлифовании деталей из чугуна и закаленных хромоникелевых сталей часто применяют шлифовальные круги на бакелитовой связке. Но при этом нельзя применять в качестве охлаждающей жидкости содовые растворы. Если применяют круги на бакелитовой связке, то их твердость увеличивают на 2—3 степени по сравнению с кругами на керамической связке.

Выбор структуры шлифовального круга. Мягкие и вязкие материалы обычно шлифуют кругами открытой структуры. Шлифовальные круги с плотной структурой применяют при обдирочном шлифовании. Для круглого наружного шлифования применяют круги 5 – 6-й структур, а для плоского шлифования периферией круга и внутреннего шлифования – круги 7 – 8-й структур.

Приведенные рекомендации по выбору характеристик шлифовального круга следует рассматривать как общие. Для каждого конкретного случая следует пользоваться справочными таблицами рекомендаций, полученных экспериментально. При массовом производстве в зависимости от конкретных условий шлифования приведенные в справочнике рекомендации обычно корректируются. Корректировку выполняют по внешним признакам и изменениям параметров точности и шероховатости обработанной поверхности. Так, прижоги и трещины на шлифованной поверхности свидетельствуют о том, что твердость круга выше, чем это необходимо для данной операции. Изменение звука при шлифовании (появление дребезжащих звуков, скрипа, высоких тонов) означает, что круг затупился; на шлифованной поверхности при этом появляются следы волнистости, полосы прижогов, неоднородная шероховатость. Следовательно, шлифовальный круг нужно править. Если его стойкость слишком мала, можно взять круг из другого, более износостойкого абразивного материала или уменьшить его твердость. Появление погрешностей формы и ухудшение шероховатости обработанной поверхности свидетельствует о том, что выбран круг низкой твердости.

6.12 Назначение показателей режима шлифования

Особенностью врезного и многопроходного шлифования является переменность производительности процесса удаления материала (съема припуска) в течение времени (цикла) обработки одной заготовки. Производительность изменяется вследствие изменения поперечной (вертикальной) подачи s и упругой деформации системы СПИД (под действием силы P_y).

Закон изменения поперечной подачи будем называть алгоритмом управления съемом припуска. Наиболее часто в практике применяется ступенчатый алгоритм управления съемом припуска (СТАЛ), который состоит из ряда подач, последовательно уменьшающихся от начала цикла съема припуска к его концу. Для круглого врезного шлифования наиболее общий СТАЛ показан на рисунке 6.51. Он включает подачу s_{11} в течение времени t_{11} (этап ускоренного врезания), подачу s_1 в течение времени t_1 (этап предварительного шлифования), по-

дачу s_2 в течение времени t_2 (чистовое шлифование) и подачу s_3 , чаще всего равную нулю, в течение времени t_3 (этап выхаживания).

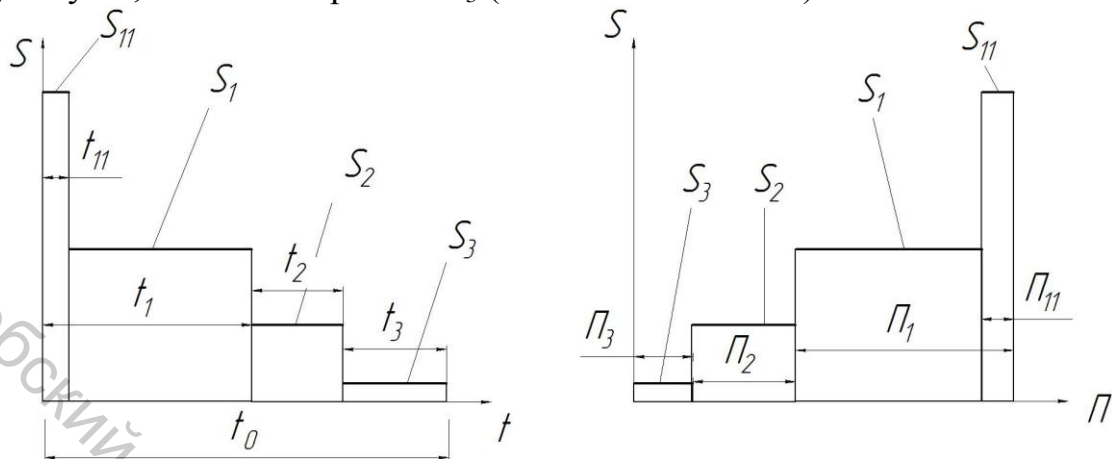


Рисунок 6.51 — Схема изменения подачи в СТАПП круглого врезного шлифования

Таблица 6.8 — Показатели режима шлифования и качества обработки

Код способа и вида шлифования	Показатели режима шлифования			Показатели качества шлифованной поверхности	
	$S_{\text{рад}}$, мкм / проход или оборот заг.	$S_{\text{поп}}$, мм / ход или мм / оборот заг.	$v_{\text{прод}}$, м / мин	Квалитет точности размера	Показатель шероховат. Ra
КНП-п	10 – 25	(0,3 – 0,7)Н	12 – 25	8 – 9	2,5 – 6,3
КНП-ч	5 – 15	(0,2 – 0,4)Н	15 – 55	6 – 7	0,2 – 1,25
КНП-т	2 – 5	(0,1 – 0,7)Н	10 – 20	5 – 6	0,05 – 0,32
КНВ-п	2,5 – 8	–	30 – 50	8 – 9	2,5 – 6,3
КНВ-ч	1 – 5	–	20 – 40	6 – 7	0,2 – 1,25
КНВ-т	0,2 – 0,6	–	15 – 30	5 – 6	0,05 – 0,32
КВП-п	5 – 20	(0,4 – 0,7)Н	20 – 40	8 – 9	3,2 – 6,3
КВП-ч	2,5 – 10	(0,25 – 0,4)Н	20 – 40	6 – 7	0,32 – 1,6
КВП-т	1 – 3	(0,1 – 0,2)Н	20 – 40	5	0,08 – 0,32
КВВ-п	1,5 – 6	–	30 – 50	8 – 9	3,2 – 6,3
КВВ-ч	0,6 – 1,5	–	30 – 50	6 – 7	0,32 – 1,6
КВВ-т	0,2 – 0,5	–	30 – 50	5	0,08 – 0,32
ППП-п	15 – 40	(0,4 – 0,7)Н	8 – 30	8 – 10	1,6 – 6,3
ППП-ч	5 – 15	(0,2 – 0,4)Н	15 – 20	6 – 7	0,32 – 1,6
ППП-т	2 – 5	(0,1 – 0,2)Н	15 – 25	5 – 6	0,06 – 0,32
ПВП-п	8 – 20	–	10 – 30	8 – 10	1,6 – 6,3
ПВП-ч	1,5 – 6	–	15 – 25	6 – 7	0,32 – 1,6
ПВП-т	0,3 – 1	–	10 – 30	5 – 6	0,06 – 0,32

Примечание. Коды способов шлифования: КНП – круглое наружное с продольной подачей в долях ширины Н шлифовального круга; КНВ – круглое наружное врезное; КВП – круглое внутреннее с продольной подачей; КВВ – круглое внутреннее врезное; ППП – плоское с поперечной подачей периферией круга; ПВП – плоское врезное периферией шлифовального круга. Коды способов шлифования: п – предварительное; ч – чистовое; т – тонкое (отделочное).

Вследствие упругой деформации (y) технологической системы под действием радиальной силы P_y производительность шлифования Q изменяется за время цикла обработки не так, как меняется подача s (рисунок 6.51), то есть имеют место переходные процессы, когда при постоянной подаче производи-

тельность Q изменяется. Закон изменения Q на каждом этапе можно установить путем решения дифференциального уравнения баланса скоростей.

Рекомендуемые показатели режима шлифования и получаемые при этом показатели качества шлифованной поверхности приведены в таблице 6.8. Ниже приведены алгоритмы расчета показателей режима шлифования для различных методов шлифования.

6.12.1 Круглое наружное врезное шлифование.

Исходные данные:

1) для детали:

- диаметр шлифуемой поверхности d , мм;
- допуск на диаметр шлифуемой поверхности $T(d)$, мм;
- показатель шероховатости шлифуемой поверхности Ra , мкм;
- длина шлифуемой поверхности B_d , мм;
- твердость шлифуемой поверхности H_d , (HRC);
- группа материала заготовки G_m ;
- материал заготовки;
- общий припуск P_o , мм.

2) для станка и инструмента:

- модель станка
- максимальные габаритные размеры шлифуемых деталей (d_T и L_T), мм;
- диапазон скоростей продольной подачи ($s_{np.min}$ и $s_{np.max}$), мм/с;
- диапазон скоростей радиальной подачи ($s_{p.min}$ и $s_{p.max}$), мм/с;
- диапазон диаметров шлифовального круга ($D_{кр.max}$ и $D_{кр.min}$), мм
- фактический диаметр шлифовального круга $D_{кр.ф}$, мм;
- частота вращения шлифовального круга $n_{кр}$, 1/мин;
- ширина шлифовального круга $B_{кр}$, мм;
- код твердости шлифовального круга $H_{кр}$;
- жесткость технологической системы j , Н/мм;
- допустимая удельная радиальная сила p_{y_d} , Н/мм.

Порядок вычислений:

1) скорость шлифования v_k $v_k = \pi \cdot D_{кр.ф} \cdot n_{кр} / 60000$, м/с;

2) скорость детали v_d $v_d = v_k \cdot (1,05 - 0,015 \cdot v_k + 0,0125 \cdot H_d)$, м/мин;

3) частота вращения детали $n_d = 1000 \cdot v_d / (\pi \cdot d)$, 1/мин;

4) скорость подачи правки s_a $s_a = 0,009 \cdot v_k \cdot Ra$, м/мин;

5) глубина при правке a_{np} $a_{np} = 0,025 \cdot \sqrt{Ra}$, мм;

6) табличный коэффициент режущей способности $K_{p.таб}$ мм³/(с Н); см таблицу 6.6;

7) коэффициент влияния скорости шлифования K_v :

при $G_m = 1$ $K_v = 1 + (v_k - 35) / (22,5 + 0,75 \cdot v_k)$;

при $G_m = 2$ $K_v = \sqrt{2,575 - 0,045 \cdot v_k}$;

8) коэффициент влияния твердости шлифовального круга K_H :

$$K_H = 1 - (H_K - 3) / (4 + 0,3 \cdot H_K); \text{ где}$$

Таблица 6.9а

Твердость шл. круга	M3	CM1	CM2	C1	C2	CT1
Код твердости H_K	1	2	3	4	5	6

9) коэффициент влияния скорости подачи при правке K_{np} :

$$K_{np} = s_a^2 / (0,028 + 0,75 \cdot s_a^2);$$

10) коэффициент влияния диаметра шлифуемой поверхности K_d :

$$K_d = 0,825 + 0,0045 \cdot d;$$

11) фактический коэффициент режущей способности K_p :

$$K_p = K_{p,T} \cdot K_V \cdot K_H \cdot K_{np} \cdot K_d \cdot K_M, \text{ мм}^3/(\text{с Н}); K_M \text{ из таблицы 6.9};$$

Таблица 6.9

Материал детали	Γ_M	K_M	Материал детали	Γ_M	K_M
Сталь 30...50	1	1,4	Сталь ШХ15	2	1
Сталь 45ХН	1	1,25	Сталь 38ХГСА	2	0,9
Сталь 30Х...45Х	1	1,3	Сталь 40ХНМА	2	0,85
Сталь 50Г	1	1,5	Сталь 18ХГТ	2	0,95
Сталь 33ХС...40ХС	1	1,1			

12) относительный коэффициент режущей способности k :

$$k = K_p \cdot j / (\pi \cdot d \cdot B_o), 1/\text{с};$$

13) припуски на предварительное (Π_1), чистовое (Π_2) и отделочное (Π_3) шлифование $\Pi_1 = (0,5 \dots 0,6) \Pi_0$; $\Pi_2 = (0,4 \dots 0,3) \Pi_0$; $\Pi_3 = (0,05 \dots 0,1) \Pi_0$;

14) максимально допустимая упругая деформация y_m :

$$y_m = 0,04 + T(d) / (0,5 + 3 \cdot T(d)), \text{ мм};$$

– проверка правильности распределения припуска по этапам:

$y_m < 0,6 \cdot (\Pi_2 + \Pi_3)$, если неравенство не соблюдается, то увеличивают припуски Π_2 и Π_3 за счет уменьшения Π_1 ;

15) скорость предварительной радиальной подачи s_1 :

$$s_1 = 60 \cdot k \cdot y_m, \text{ мм/мин};$$

– проверка подачи по допустимой удельной радиальной силе $p_{y\partial}$:

$s_1 < 60 \cdot p_{y\partial} \cdot k \cdot B_o / j$; если неравенство не соблюдается, то уменьшают подачу s_1 ;

16) скорость врезной подачи s_{11} $s_{11} = 4 s_1$;

– проверка выбора подачи s_{11} ; назначается доля припуска Π_{11} , которая удаляется во время врезания $K_{\Pi} = \Pi_{11} / \Pi_1$, затем вычисляется значение параметра Z : $Z = k \cdot K_{\Pi} \cdot \Pi_1 / s_1$; по таблице 6.10 определяется соответствующее значение

K_s : $K_s = s_{11} / s_1$; если $K_s > 4$, то принимаем $s_{11} = 4 s_1$, если нет, то принимаем $s_{11} = K_s s_1$; затем проверяется соблюдение неравенства $s_{11} < s_{p \cdot max}$;

Таблица 6.10

Z	K_s	Z	K_s	Z	K_s	Z	K_s
0,3862	2,00	0,2694	2,55	0,2073	3,10	0,1686	3,65
0,3715	2,05	0,2623	2,60	0,2030	3,15	0,1658	3,70
0,3579	2,10	0,2555	2,65	0,1990	3,20	0,1630	3,75
0,3452	2,15	0,2490	2,70	0,1951	3,25	0,1604	3,80
0,3334	2,20	0,2429	2,75	0,1913	3,30	0,1579	3,85
0,3225	2,25	0,2371	2,80	0,1877	3,35	0,1554	3,90
0,3122	2,30	0,2315	2,85	0,1842	3,40	0,1530	3,95
0,3026	2,35	0,2262	2,90	0,1808	3,45	0,1507	4,00
0,2935	2,40	0,2212	2,95	0,1776	3,50	0,1484	4,05
0,2850	2,45	0,2163	3,00	0,1745	3,55	0,1462	4,10
0,2770	2,50	0,2117	3,05	0,1715	3,60	0,1441	4,15

17) скорости чистовой и отделочной радиальных подач

$s_2 = 0,4 s_1$; $s_3 = 0,1 s_1$; проверяем $s_3 > s_{p \cdot min}$;

18) время на врезание t_{11} определяется из выражения

$t_{11} = (-\ln(1 - s_1 / s_{11})) / k$;

19) часть припуска Π_{11} , удаленная за время врезания, определяется из выражения $\Pi_{11} = s_{11} \cdot (t_{11} - (1 - \exp(-k \cdot t_{11})) / k)$;

20) припуск Π_{10} , оставшийся после врезания для удаления на первом этапе будет $\Pi_{10} = \Pi_1 - \Pi_{11}$;

21) время, затраченное на удаление этой части припуска, определяется из выражения $t_{10} = \Pi_{10} / s_1$;

22) время t_2 , затраченное на выполнение чистового этапа, определяется из уравнения $t_2 = (\Pi_2 - (s_1 - s_2) \cdot (1 - \exp(-k \cdot t_2)) / k) / s_2$; но это уравнение можно разрешить только численно методом итерации (повторения);

начальное значение t_2 будет $t_{20} = (\Pi_2 - (s_1 - s_2) / k) / s_2$; и далее

$t_{2i} = (\Pi_2 - (s_1 - s_2) \cdot (1 - \exp(-k \cdot t_{2(i-1)})) / k) / s_2$; итерации продолжаются, пока $abs(t_{2i} - t_{2(i-1)}) < 0,05$; abs – абсолютное значение;

23) к концу чистового этапа рабочего цикла линейная скорость v_{r2} удаления припуска будет: $v_{r2} = s_1 \cdot \exp(-k \cdot t_2) + s_2(1 - \exp(-k \cdot t_2))$

24) время t_3 , затраченное на третий этап, можно определить по уравнению $t_3 = (\Pi_3 - (v_{r2} - s_3) \cdot (1 - \exp(-k \cdot t_3)) / k) / s_3$; определяется методом итерации аналогично пункту 22; начальное значение t_{30} определяется по выражению $t_{30} = (\Pi_3 - (v_{r2} - s_3) / k) / s_3$;

25) основное время t_o : $t_o = t_{11} + t_{10} + t_2 + t_3$.

Если ширина шлифуемой поверхности B_d больше ширины шлифовального круга $B_{кр}$, но меньше $3B_{кр}$, то можно применить последовательно-врезное шлифование, схема которого показана на рисунке 6.52. Если $B_d > 3B_{кр}$, то применяется круглое наружное шлифование с продольной подачей и поперечной подачей на каждый или двойной ход стола. Первый вариант применяется при шлифовании открытых поверхностей, а второй – полуоткрытых.

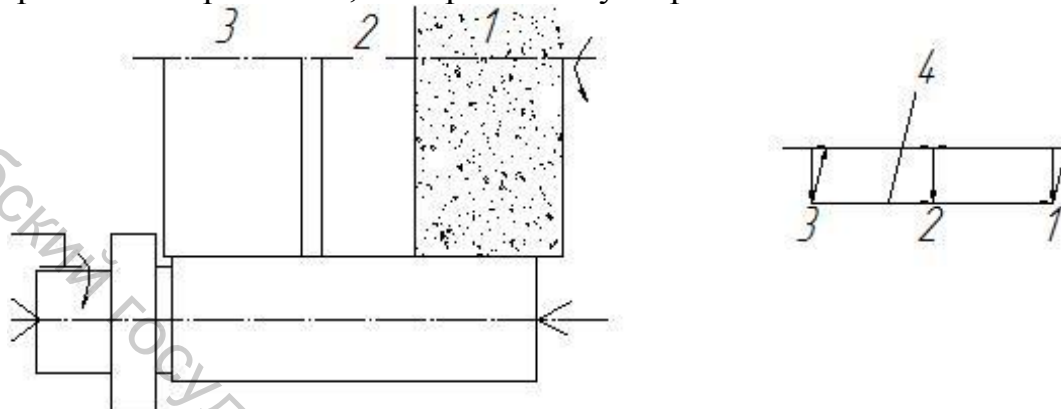


Рисунок 6.52 — Схема последовательно-врезного шлифования

6.12.2 Круглое наружное продольное шлифование с радиальной подачей на каждый ход

Исходные данные

Те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

Порядок вычислений:

Шаги 1, 2 и 3 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

Скорость подачи и глубину при правке (см. шаги 4 и 5) увеличить в 1,5 раза.

Табличный коэффициент режущей способности (см. шаг 6) уменьшить в 1,2 раза.

Шаги 7, 8, 9, 10, и 11 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

12. Принимаем продольную подачу $s_{np.o}$, мм/об. заг. согласно модели

$$s_{np.o} = 0,7 \cdot B_{кр} \cdot (0,02 + T(d)/(0,045 + 0,5 \cdot T(d)));$$

Проверяем выбранную продольную подачу по станку:

$$s_{np.min} < s_{np.o} \cdot n_d < s_{np.max}.$$

Относительную упругую деформацию Y и параметры α и γ определяем по моделям

$$Y = s_{np.o} \cdot v_d / (j \cdot K_p); \quad \alpha = Y / (1 + Y); \quad \gamma = (1 + Y) / (1 + 2 \cdot Y).$$

Шаги 13, и 14 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

15. Предварительная радиальная подача s_1 мм/проход:

$$s_1 = y_m / Y; \quad \text{проверка по } p_{y\partial} \quad s_1 < p_{y\partial} \cdot s_{np.o} / (j \cdot Y).$$

16. Подача на врезание перед первым проходом s_{11} , мм:

$s_{11} = s_1 \cdot (1 + Y)$; проверка $s_{11} < s_{p.\max}$.

17. Чистовая и отделочная радиальная подачи

$s_2 = 0,4 s_1$; $s_3 = 0,1 s_1$; проверка $s_3 > s_{p.\min}$.

18. Число проходов i_1 предварительного этапа рабочего цикла

$i_1 = \Pi_1 / s_1$; полученное значение округляется до ближайшего целого i_{1c} .

19. Фактически удаленная на первом этапе рабочего цикла часть припуска определяется согласно модели $\Pi_{1c} = s_1 \cdot i_{1c}$.

20. Число проходов i_2 , затраченное на второй этап рабочего цикла, определяется последовательным перебором: сначала определяется начальное значение $i_{2н} = [\Pi_2 - Y \cdot (s_1 - s_2)] / s_2$; полученное значение округляется до ближайшего целого i_{2c} ; затем вычисляется припуск, снятый за это число проходов согласно модели $\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot (s_1 - s_2) \cdot (1 - \alpha^{i_{2c}})$; если $\Pi_{2c} < \Pi_2$, то принимаем $i_{2c} := i_{2c} + 1$ и повторяем определение Π_{2c} до тех пор, пока не будет выполнено неравенство $\Pi_{2c} > \Pi_2$; выбирается то значение i_{2c} , которое обеспечивает минимальную разницу между Π_{2c} и Π_2 .

21. Часть припуска, которая удаляется на втором этапе рабочего цикла, определяется согласно модели $\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot (s_1 - s_2) \cdot (1 - \alpha^{i_{2c}})$, где i_{2c} – окончательно выбранное значение числа проходов на втором этапе.

22. Конечное значение глубины шлифования $a_{2к}$ для второго этапа рабочего цикла определяется согласно модели $a_{2о} = s_2 \cdot (1 - \alpha^{i_{2c}}) + s_1 \cdot \alpha^{i_{2c}}$.

23. Часть припуска, оставшаяся на третий этап рабочего цикла, определяется согласно модели $\Pi_{3о} = \Pi_o - \Pi_{1c} - \Pi_{2c}$.

24. Число проходов i_3 , затраченное на третий этап рабочего цикла, определяется так же, как и для второго этапа, однако начальное значение i_3 определяется согласно модели $i_{3н} = [\Pi_{3о} - Y \cdot (s_2 - s_3)] / s_3$; полученное значение округляется до ближайшего целого i_{3c} ; а часть припуска, удаленная на третьем этапе, определяется согласно модели $\Pi_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (a_{2о} - s_3) \cdot (1 - \alpha^{i_{3c}})$.

25. Часть припуска, удаленная на третьем этапе рабочего цикла, определяется согласно модели $\Pi_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (a_{2о} - s_3) \cdot (1 - \alpha^{i_{3c}})$, где i_{3c} – окончательно выбранное число проходов третьего этапа.

26. Погрешность шлифования определяется согласно модели

$\Delta\Pi = \Pi_{3о} - \Pi_{3c}$, должна быть меньше $T(d)$;

27. Время на один проход $t_{1.нр}$: $t_{1.нр} = (B_\delta + B_\kappa) / (s_{нр.o} \cdot n_\delta)$.

28. Основное время t_o : $t_o = t_{1.нр} \cdot (i_{1c} + i_{2c} + i_{3c})$.

6.12.3 Круглое наружное продольное шлифование с радиальной подачей на двойной ход

Исходные данные

Те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

Порядок вычислений:

Шаги 1, 2 и 3 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

Скорость подачи и глубину при правке (см. шаги 4 и 5) увеличить в 1,5 раза.

Табличный коэффициент режущей способности (см. шаг 6) уменьшить в 1,2 раза.

Шаги 7, 8, 9, 10, и 11 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

12. Принимаем продольную подачу $s_{np.o}$, мм/об. заг. согласно модели

$$s_{np.o} = 0,5 \cdot B_{кр} \cdot (0,2 + T(d)) / (0,045 + 0,5 \cdot T(d)).$$

Проверяем выбранную продольную подачу по станку

$$s_{np.min} < s_{np.o} \cdot n_o < s_{np.max}.$$

Относительную упругую деформацию Y и параметры α и γ определяем по моделям

$$Y = s_{np.o} \cdot v_o / (j \cdot K_p); \quad \alpha = Y / (1 + Y); \quad \gamma = (1 + Y) / (1 + 2 \cdot Y).$$

Шаги 13, и 14 те же, что и для круглого наружного врезного шлифования.

15. Предварительная радиальная подача s_1 мм/дв. ход:

$$s_1 = y_m \cdot (1 + 2Y) / (Y \cdot (1 + Y)) = y_m / (Y \cdot \gamma);$$

проверка по $p_{y\partial}$ $y_m < p_{y\partial} \cdot s_{np.o} / j$.

16. Подача на врезание перед первым проходом s_{11} мм:

$$s_{11} = y_m \cdot (1 + Y) / Y; \text{ проверка } s_{11} < s_{p.max}.$$

17. Чистовая и отделочная радиальная подачи:

$$s_2 = 0,4 s_1; \quad s_3 = 0,1 s_1; \text{ проверка } s_3 > s_{p.min}.$$

18. Число двойных ходов i_1 предварительного этапа рабочего цикла

$$i_1 = \Pi_1 / s_1;$$

полученное значение округляется до ближайшего целого i_{1c} .

19. Фактически удаленная на первом этапе рабочего цикла часть припуска определяется согласно модели $\Pi_{1c} = s_1 \cdot i_{1c}$.

20. Число двойных ходов i_2 на втором этапе рабочего цикла определяется так же, как для случая радиальной подачи на каждый проход, но начальное значение $i_{2н}$ определяем из модели

$$i_{2н} = [\Pi_2 - Y \cdot (s_1 \cdot \alpha - s_2) / (1 + \alpha)] / s_2;$$

полученное значение i_2 округляется до ближайшего целого i_{2c} , а припуск Π_{2c} определится по модели

$$\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot \frac{(1 - \alpha^{2i_{2c}})}{(1 + \alpha)} \cdot (s_1 \cdot \alpha - s_2).$$

21. Удаленный на втором этапе припуск Π_{2c} определится по модели

$$P_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot \frac{(1 - \alpha^{2i_{2c}})}{(1 + \alpha)} \cdot (s_1 \cdot \alpha - s_2), \text{ где } i_{2c} \text{ окончательно принятое}$$

значение числа двойных ходов на этом этапе рабочего цикла.

22. Припуск, оставшийся на третий этап рабочего цикла P_{3o}

$$P_{3o} = P_o - P_{1c} - P_{2c};$$

23. Глубина шлифования для обратного хода в конце второго этапа a_{2o} :

$$a_{2o} = [s_1 \cdot \alpha^{1+i_{2c}} + s_2 \cdot (1 - \alpha^{i_{2c}})] / (1 + \alpha).$$

24. Число двойных ходов i_3 на третьем этапе рабочего цикла определяем так же, как для второго, но начальное значение $i_{3н}$ определяется по модели

$$i_{3н} = \{P_{3o} - Y \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + \alpha)]\} / s_3; \text{ полученное значение } i_3 \text{ округляется до ближайшего целого } i_{3c}, \text{ а припуск } P_{3c} \text{ определяется согласно модели}$$

$$P_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (1 - \alpha^{2i_{3c}}) \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + \alpha)].$$

25. Удаленный на третьем этапе рабочего цикла припуск P_{3c} определяется по модели $P_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (1 - \alpha^{2i_{3c}}) \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + \alpha)]$, где i_{3c} – окончательно выбранное значение числа двойных ходов третьего этапа.

26. Погрешность шлифования определяется согласно модели

$$\Delta P = P_{3o} - P_{3c}, \text{ должна быть меньше } T(d).$$

27. Время на один двойной ход $t_{1.np}$: $t_{1.np} = (2 \cdot B_o + B_k) / (s_{np.o} \cdot n_o).$

28. Основное время t_o : $t_o = t_{1.np} \cdot (i_{1c} + i_{2c} + i_{3c}).$

6.12.4 Внутреннее врезное шлифование

Смотри 12.1.

6.12.5 Внутреннее продольное шлифование с радиальной подачей на каждый ход.

Смотри 12.2.

6.12.6 Внутреннее продольное шлифование с радиальной подачей на двойной ход.

Смотри 12.3.

6.12.7 Плоское врезное шлифование с вертикальной подачей на каждый ход.

Исходные данные:

1) для детали:

- длина шлифуемой поверхности L_o , мм;
- ширина шлифуемой поверхности B_o , мм;
- высота шлифуемой детали H_o , мм;
- допуск на выдерживаемый размер $T(H_o)$, мм;
- показатель шероховатости шлифуемой поверхности Ra , мкм;
- твердость шлифуемой поверхности HR_o , (HRC);
- группа материала заготовки G_m ;

- материал заготовки;
- общий припуск P_o , мм.
- 2) для станка и инструмента:
- модель станка;
- максимальные габаритные размеры шлифуемых деталей (L_z , B_z и H_z),

мм;

- диапазон скоростей стола (продольная подача) (V_{\min} и V_{\max}), м/мин;
- диапазон скоростей поперечной подачи ($s_{\text{non}\cdot\min}$ и $s_{\text{non}\cdot\max}$), мм/ход;
- диапазон скоростей вертикальной подачи ($s_{\text{в}\cdot\min}$ и $s_{\text{в}\cdot\max}$), мм/с;
- диапазон диаметров шлифовального круга ($D_{\text{кр}\cdot\max}$ и $D_{\text{кр}\cdot\min}$), мм
- фактический диаметр шлифовального круга $D_{\text{кр}\cdot\phi}$, мм;
- частота вращения шлифовального круга $n_{\text{кр}}$, 1/мин;
- ширина шлифовального круга $B_{\text{кр}}$, мм;
- код твердости шлифовального круга $H_{\text{кр}}$;
- жесткость технологической системы j , Н/мм;
- допустимая удельная радиальная сила $p_{y\partial}$, Н/мм

Порядок вычислений:

1) скорость шлифования v_k : $v_k = \pi \cdot D_{\text{кр}\cdot\phi} \cdot n_{\text{кр}} / 60000$, м/с;

2) скорость подачи правки s_a : $s_a = 0,009 \cdot v_k \cdot Ra$, м/мин;

3) глубина при правке a_{np} : $a_{np} = 0,025 \cdot \sqrt{Ra}$, мм;

4) табличный коэффициент режущей способности $K_{p\cdot\text{таб}}$ мм³/(с Н); см таблицу 6.6;

5) коэффициент влияния скорости шлифования K_v

при $\Gamma_m = 1$ $K_v = 1 + (v_k - 35) / (22,5 + 0,75 \cdot v_k)$;

при $\Gamma_m = 2$ $K_v = \sqrt{2,575 - 0,045 \cdot v_k}$;

6) коэффициент влияния твердости шлифовального круга K_H :

$K_H = 1 - (H_k - 3) / (4 + 0,3 \cdot H_k)$, где значение H_k выбирается по таблице

6.9а;

7) коэффициент влияния скорости подачи при правке K_{np} :

$K_{np} = s_a^2 / (0,027 + 0,75 \cdot s_a^2)$;

8) коэффициент влияния диаметра шлифовального круга K_d :

$K_d = 0,725 + 0,001 \cdot D_{\text{кр}\cdot\phi}$;

9) фактический коэффициент режущей способности K_p :

$K_p = K_{p\cdot T} \cdot K_v \cdot K_H \cdot K_{np} \cdot K_d \cdot K_m$, мм³/(с Н); K_m из таблицы 6.9;

10) Скорость стола V :

$V = v_k \cdot (1 - 0,015 \cdot v_k + 0,012 \cdot HR_o)$;

полученное значение проверить по станку $V_{\min} < V < V_{\max}$;

11) относительная упругая деформация Y и параметр α :

$Y = B_o \cdot V / (j \cdot K_p)$; $\alpha = Y / (1 + Y)$; $\gamma = (1 + Y) / (1 + 2 \cdot Y)$.

12) припуски на предварительное (Π_1), чистовое (Π_2) и отделочное (Π_3) шлифование $\Pi_1 = (0,5 \dots 0,6) \Pi_0$; $\Pi_2 = (0,4 \dots 0,3) \Pi_0$; $\Pi_3 = (0,05 \dots 0,1) \Pi_0$;

13) максимально допустимая упругая деформация y_m :

$$y_m = 0,02 + T(H_\delta) / (0,5 + 3 \cdot T(H_\delta)), \text{ мм};$$

проверка правильности распределения припуска по этапам

$$y_m < 0,6 \cdot (\Pi_2 + \Pi_3), \text{ если неравенство не соблюдается, то увеличивают}$$

припуски Π_2 и Π_3 за счет уменьшения Π_1 ;

14) предварительная вертикальная подача s_1 мм/проход:

$$s_1 = y_m / Y; \text{ проверка по } p_{y\delta} \quad s_1 < p_{y\delta} \cdot B_\delta / (j \cdot Y);$$

15) вертикальная подача на врезание перед первым проходом s_{11} , мм:

$$s_{11} = s_1 \cdot (1 + Y); \text{ проверка } s_{11} < s_{e.\max};$$

16) чистовая и отделочная вертикальная подачи

$$s_2 = 0,4 s_1; \quad s_3 = 0,1 s_1; \text{ проверка } s_3 > s_{e.\min};$$

17) число проходов i_1 предварительного этапа рабочего цикла

$$i_1 = \Pi_1 / s_1;$$

полученное значение округляется до ближайшего целого i_{1c} ;

18) фактически удаленная на первом этапе рабочего цикла часть припуска определяется согласно модели $\Pi_{1c} = s_1 \cdot i_{1c}$;

19) число проходов i_2 , затраченное на второй этап рабочего цикла, определяется методом последовательного поиска: начальное значение числа проходов $i_{2н}$ определяются по модели $i_{2н} = [\Pi_2 - Y \cdot (s_1 - s_2)] / s_2$; полученное значение округляется до ближайшего целого i_{2c} ; затем вычисляется припуск, снятый за это число проходов согласно модели $\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot (s_1 - s_2) \cdot (1 - \alpha^{i_{2c}})$; если $\Pi_{2c} < \Pi_2$, то принимаем $i_{2c} := i_{2c} + 1$ и повторяем определение Π_{2c} до тех пор, пока не будет выполнено неравенство $\Pi_{2c} > \Pi_2$; выбирается то значение i_{2c} , которое обеспечивает минимальную разницу между Π_{2c} и Π_2 ;

20) часть припуска, которая удаляется на втором этапе рабочего цикла, определяется согласно модели $\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot (s_1 - s_2) \cdot (1 - \alpha^{i_{2c}})$, где i_{2c} — окончательно выбранное значение числа проходов на втором этапе;

21) конечное значение глубины шлифования $a_{2к}$ для второго этапа рабочего цикла определяется согласно модели $a_{2о} = s_2 \cdot (1 - \alpha^{i_{2c}}) + s_1 \cdot \alpha^{i_{2c}}$;

22) часть припуска, оставшаяся на третий этап рабочего цикла определяется согласно модели $\Pi_{3о} = \Pi_0 - \Pi_{1c} - \Pi_{2c}$;

23) число проходов i_3 , затраченное на третий этап рабочего цикла, определяется так же, как и для второго этапа, однако начальное значение i_3 определяется согласно модели $i_{3н} = [\Pi_{3о} - Y \cdot (s_2 - s_3)] / s_3$; полученное значение округляется до ближайшего целого i_{3c} ; а часть припуска, удаленная на третьем этапе, определяется согласно модели $\Pi_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (a_{2о} - s_3) \cdot (1 - \alpha^{i_{3c}})$;

24) часть припуска, удаленная на третьем этапе рабочего цикла, определяется согласно модели $\Pi_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (a_{2o} - s_3) \cdot (1 - \alpha^{i_{3c}})$, где i_{3c} – окончательно выбранное число проходов третьего этапа;

25) погрешность шлифования определяется согласно модели

$\Delta P = \Pi_{3o} - \Pi_{3c}$, должна быть меньше $T(H_o)$;

26) время на один проход $t_{1, np}$: $t_{1, np} = (L_o + 4 \cdot V) / (1000 \cdot V)$;

27) основное время t_o : $t_o = t_{1, np} \cdot (i_{1c} + i_{2c} + i_{3c})$.

6.12.8 *Плоское врезное шлифование с вертикальной подачей на двойной ход.*

Порядок вычислений:

Шаги 1 – 13 также как для врезного шлифования с подачей на каждый ход.

14. Предварительная вертикальная подача s_1 мм/дв. ход:

$s_1 = y_m / (Y \cdot \gamma)$; проверка по $p_{y\partial}$ $y_m < p_{y\partial} \cdot B_o / j$.

15. Подача на врезание перед первым проходом s_{11} мм:

$s_{11} = y_m \cdot (1 + Y) / Y$; проверка $s_{11} < s_{e, max}$.

Шаги 16 – 18 также как для врезного шлифования с подачей на каждый ход.

19. Число двойных ходов i_2 на втором этапе рабочего цикла определяется так же, как для случая вертикальной подачи на каждый проход, но начальное значение $i_{2н}$ определяем из модели

$i_{2н} = [\Pi_2 - Y \cdot (s_1 \cdot \alpha - s_2) / (1 + \alpha)] / s_2$;

полученное значение i_2 округляется до ближайшего целого i_{2c} , а припуск Π_{2c} определится по модели

$$\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot \frac{(1 - \alpha^{2i_{2c}})}{(1 + \alpha)} \cdot (s_1 \cdot \alpha - s_2).$$

20. Удаленный на втором этапе припуск Π_{2c} определится по модели

$\Pi_{2c} = s_2 \cdot i_{2c} + Y \cdot \frac{(1 - \alpha^{2i_{2c}})}{(1 + \alpha)} \cdot (s_1 \cdot \alpha - s_2)$, где i_{2c} окончательно принятое

значение числа двойных ходов на этом этапе рабочего цикла.

21. Припуск, оставшийся на третий этап рабочего цикла Π_{3o}

$\Pi_{3o} = \Pi_o - \Pi_{1c} - \Pi_{2c}$.

22. Глубина шлифования для обратного хода в конце второго этапа a_{2o}

$a_{2o} = [s_1 \cdot \alpha^{1+i_{2c}} + s_2 \cdot (1 - \alpha^{i_{2c}})] / (1 + \alpha)$.

23. Число двойных ходов i_3 на третьем этапе рабочего цикла определяем так же, как для второго, но начальное значение $i_{3н}$ определяется по модели

$i_{3н} = \{\Pi_{3o} - Y \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + \alpha)]\} / s_3$; полученное значение i_3 округляется до ближайшего целого i_{3c} , а припуск Π_{3c} определяется согласно модели

$\Pi_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (1 - \alpha^{2i_{3c}}) \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + \alpha)]$.

24. Удаленный на третьем этапе рабочего цикла припуск P_{3c} определяется по модели $P_{3c} = s_3 \cdot i_{3c} + Y \cdot (1 - \alpha^{2i_{3c}}) \cdot [a_{2o} - s_3 / (1 + \alpha)]$, где i_{3c} – окончательно выбранное значение числа двойных ходов третьего этапа.

25. Погрешность шлифования определяется согласно модели

$$\Delta P = P_{3o} - P_{3c}, \text{ должна быть меньше } T(d).$$

26. Время на один двойной ход $t_{1,np}$: $t_{1,np} = (2 \cdot B_o + 4 \cdot V) / (1000 \cdot V)$.

27. Основное время t_o : $t_o = t_{1,np} \cdot (i_{1c} + i_{2c} + i_{3c})$.

6.12.9 Плоское продольное шлифование с вертикальной подачей на каждый ход

Порядок вычислений:

Шаги 1 – 10 те же, что и для плоского врезного шлифования с вертикальной подачей на каждый ход.

11. Относительная упругая деформация Y и параметры α и γ :

$$s_{non} = B_{кр} \cdot (0,15 + 0,2 \cdot Ra);$$

$$Y = s_{non} \cdot V / (j \cdot K_p); \quad \alpha = Y / (1 + Y); \quad \gamma = (1 + Y) / (1 + 2 \cdot Y).$$

Шаги 12 – 16 те же, что и для плоского врезного шлифования с вертикальной подачей на каждый ход.

17. Число циклов проходов i_1 предварительного этапа рабочего цикла

$$i_1 = P_1 / s_1; \text{ число проходов в цикле } i_n \quad i_n = B_o / s_{non};$$

полученные значения округляются до ближайших целых i_{1c} и i_{nc} .

Шаги 18 – 26 те же, что и для плоского врезного шлифования с вертикальной подачей на каждый ход.

27. Основное время t_o : $t_o = t_{1,np} \cdot (i_{1c} + i_{2c} + i_{3c}) \cdot i_{nc}$.

Характеристики шлифовальных станков приведены в таблицах 6.11 – 6.13.

Таблица 6.11 — Круглошлифовальные станки

Показатели	Модели станков					
	3М150	3М153	3М153А	3Т153Е	3У120А	3М151Ф2
L_r , мм	360	500	500	500	500	700
d_r , мм	100	140	140	140	200	200
d_{max} , мм	45	50	50	50	60	180
$D_{кр}$, мм	400	500	500	500	350	400
$H_{кр}$, мм	40	63	50	63	40	40
$n_{кр}$, об/мин	2350 1670	1900	1910 1340	1900	1910	2340 2000
$S_{пр}$, мм/мин	20 – 4000	20 – 5000	20 – 5000	20 – 5000	20 – 5000	30 – 5000
$n_{заг}$, об/мин	100 – 1000	50 – 1000	50 – 1000	63 – 700	50 – 1000	55 – 900
$S_{п}$, мм/мин	0,05–5	0,05 – 5	0,03 – 3	0,1 – 10	–	0,025 – 15
$S_{п,д}$, мкм/ход	1 – 100	2 – 150	1 – 150	–	1 – 150	0,5 – 150
j , Н/мм	2900	3650	3650	3950	4350	4350

Обозначения: L_r – максимальная длина устанавливаемой заготовки; d_r – максимальный диаметр устанавливаемой заготовки; d_{max} – максимальный диаметр шлифуемой поверхности; $D_{кр}$ – максимальный диаметр шлифовального круга; $H_{кр}$ – высота шлифовального круга; $n_{кр}$ – частота вращения шлифовального круга; $S_{пр}$ – скорость подачи при правке; $n_{заг}$ – частота вращения заготовки; $S_{п}$ – скорость радиальной (врезной) подачи; $S_{п,д}$ – дискретная радиальная подача; j – жесткость технологической системы.

Таблица 6.12 — Внутришлифовальные станки

Показатели	Модели станков					
	3К225В	3К227В	3К228В	3М225Ф2	3М227Ф2	3К227Ф2
1	2	3	4	5	6	7
$d_{0.32}, \text{мм}$	3 – 25	20 – 100	50 – 300	1 – 80	20 – 200	20 – 100
$L_{\text{шл}}, \text{мм}$	8 – 50	50 – 125	125 – 320	5 – 80	50 – 200	50 – 125
$D_{\text{кр}}, \text{мм}$	25	80	200	50	125	80
$n_{\text{кр}}, \text{об/мин}$	18000 24000 36000 48000 72000 92000	9000 12000 18000 22000	4500 5300 8200 12000	12000 – 150000	5000 – 28000	9000 12000 18000 22000
$S_{\text{пр}}, \text{м/мин}$	0,2 – 2	0,1 – 2	0,1 – 2	0,1 – 2	0,1 – 2	0,1 – 2
$S_{\text{прод}}, \text{м/мин}$	1 – 7	1 – 7	1 – 7	1 – 7	1 – 7	1 – 7
$S_{\text{р1}}, \text{мм/мин}$ $S_{\text{р1}},$ $S_{\text{р2}},$ $S_{\text{р3}}, \text{мкм/мин}$				1,2 – 12 0,3 – 3 0,1 – 0,6 6 – 60	1,2 – 12 0,3 – 3 0,1 – 0,6 6 – 60	1,2 – 12 0,3 – 3 0,1 – 0,6 6 – 60
$S_{\text{р.д}}, \text{мкм/д.х.}$	1 – 12	1 – 12	1 – 12	1,25 – 100	1,25 – 100	1,25 – 100
$n_{\text{заг}}, \text{об/мин}$	280 – 2000	140 – 1000	60 – 600	125 – 2000	60 – 1200	60 – 1200
$j, \text{Н/мм}$	1600	1800	2000	1600	1800	2000

Обозначения: $L_{\text{шл}}$ – длина шлифования; $d_{0.32}$ – диаметр шлифуемой поверхности; $D_{\text{кр}}$ – максимальный диаметр шлифовального круга; $n_{\text{кр}}$ – частота вращения шлифовального круга; $S_{\text{пр}}$ – скорость подачи при правке; $n_{\text{заг}}$ – частота вращения заготовки; $S_{\text{р}}$ – скорость радиальной (врезной) подачи; $S_{\text{р.д}}$ – дискретная радиальная подача; j – жесткость технологической системы.

Таблица 6.13 — Плоскошлифовальные станки

Показатели	Модели станков				
	3Е710А	3Е711В	3Е721АФ1	3П722	3П722Ф2
$L_c * B_c, \text{мм}$	400*125	630*200	630*200	1600*320	1250*320
$H_{\text{max}}, \text{мм}$	420	445	550	600	600
$D_{\text{к. max}}, \text{мм}$	200	250	300	450	450
$B_{\text{к}}, \text{мм}$	32	40	63	80	80
$n_{\text{к}}, \text{об/мин}$	3350	2675	2200	1500	1450
$S_{\text{прод}}, \text{м/мин}$	2 – 35	2 – 35	2 – 35	3 – 45	3 – 35
$S_{\text{поп}}, \text{мм/ход}$	0,3 – 20	0,3 – 30	0,5 – 30	4 – 48	0,2 – 75
$S_{\text{вер}}, \text{мкм}$	2 – 90	1 – 90	1 – 100	1 – 150	1 – 150
$j, \text{Н/мм}$	6000	9800	10000	13500	

$L_c * B_c$ – длина и ширина стола, H_{max} – максимальная высота заготовки, $D_{\text{к. max}}$ – максимальный диаметр шлифовального круга, $B_{\text{к}}$ – ширина шлифовального круга, $n_{\text{к}}$ – частота вращения шлифовального круга, $S_{\text{прод}}$ – скорость продольной подачи, $S_{\text{поп}}$ – поперечная подача, $S_{\text{вер}}$ – вертикальная подача, j – жесткость технологической системы.

6.13 Вопросы для самоконтроля

1. Как классифицируется шлифование в зависимости от требований к точности?
2. Поясните понятия «силового» и «глубинного» шлифования.
3. Перечислите известные Вам виды шлифования.
4. Для чего применяют круглое шлифование?
5. Как ориентируется заготовка при бесцентровом шлифовании?
6. Для чего применяют плоское шлифование?
7. Изобразите эскиз плоского шлифовального круга прямого профиля.
8. Изобразите эскиз плоского шлифовального круга с двусторонним профилем.
9. Изобразите эскиз плоского шлифовального круга с односторонним профилем.
10. Изобразите эскиз плоского шлифовального круга с конической выточкой.
11. Изобразите эскиз шлифовального круга «чашка цилиндрическая».
12. Изобразите эскиз шлифовального круга «чашка коническая».
13. Изобразите эскиз шлифовального круга «тарелка».
14. Из каких материалов изготавливаются абразивные зерна?
15. На какие виды в зависимости от содержания примесей и технологии производства делится электрокорунд?
16. Для чего применяются шлифовальные круги с зернами из электрокорунда нормального и белого?
17. Для чего применяются шлифовальные круги с зернами из монокорунда?
18. Для чего применяются шлифовальные круги с зернами из карбида кремния черного и зеленого?
19. Для чего применяются шлифовальные круги из кубического нитрида бора (эльбор, кубонит)?
20. Для чего применяются шлифовальные круги из природных и искусственных алмазов?
21. Какие виды связки Вы знаете?
22. Охарактеризуйте керамическую связку, а также инструменты на ее основе.
23. Для чего применяются шлифовальные круги на бакелитовой связке?
24. Для чего в бакелитовую связку добавляют наполнители? Что применяется в качестве наполнителей?
25. Для чего применяются шлифовальные круги на вулканитовой связке?
26. Для чего применяются органические, керамические и металлические связки?
27. Что служит связующим веществом для органических связок?
28. Что является основой для большинства металлических связок?
29. Назовите характеристики строения шлифовальных кругов.
30. Что характеризует номер зернистости шлифовального круга?
31. Охарактеризуйте индексы марки шлифовального материала?

32. Что характеризует структура шлифовального круга?
33. На что влияет пористость шлифовального круга?
34. С чем связывается номер структуры шлифовального круга?
35. Что характеризует твердость шлифовального круга?
36. Как осуществляется контроль твердости абразивных инструментов с номером зернистости больше 16-ти?
37. Как осуществляется контроль твердости абразивных инструментов без его разрушения?
38. Какими рекомендациями нужно пользоваться при выборе степени твердости для конкретных условий шлифования?
39. Охарактеризуйте классы точности шлифовальных кругов.
40. Охарактеризуйте классы уравновешенности шлифовальных кругов.
41. Для чего применяют правку шлифовальных кругов?
42. В зависимости от чего выбирают метод и режим правки?
43. Перечислите известные Вам методы правки шлифовальных кругов?
44. Опишите метод правки шлифовальных кругов обтачиванием.
45. Какие типы алмазно-металлических карандашей для правки шлифовальных кругов вы знаете?
46. Как правят шлифовальные круги методом обкатывания?
47. Как правят шлифовальные круги методом шлифования?
48. Какие показатели режима правки шлифовальных кругов Вы знаете?
49. От чего зависят показатели режима правки шлифовальных кругов?
50. Из каких подпроцессов состоит процесс шлифования?
51. Дайте определение понятию «режущая способность шлифовального круга».
52. Какие режимы работы круга в зависимости от сочетания твердости шлифовального круга и показателей режима шлифования и правки Вы знаете?
53. Опишите зависимость коэффициента режущей способности круга от времени работы с постоянной радиальной силой.
54. Как зависит параметр шероховатости Ra от времени работы круга после правки при его разных продольных подачах?
55. С помощью какой модели можно отразить зависимость Ra от показателей условий шлифования?
56. Для чего применяют охлаждение различными смазочно-охлаждающими жидкостями?
57. Какие основные способы подачи СОЖ Вы знаете?
58. Как выбрать охлаждающую жидкость для шлифования?
59. Перечислите основные компоненты технологической системы кругло-шлифовального станка.
60. Изобразите схему круглого наружного врезного шлифования.
61. Изобразите схему круглого врезного шлифования с подшлифовкой торца.
62. Изобразите схему круглого врезного шлифования фасонной поверхности.
63. Изобразите схему круглого шлифования с продольной подачей.

64. Как шлифуются конические поверхности на круглошлифовальном станке?
65. Как на круглошлифовальном станке установить заготовку небольшой высоты с точным отверстием?
66. Перечислите основные компоненты технологической системы внутришлифовального станка.
67. Изобразите схему внутреннего врезного шлифования.
68. Изобразите схему внутреннего врезного шлифования с подшлифовкой внутреннего торца..
69. Изобразите схему внутреннего продольного шлифования.
70. Изобразите схему внутреннего продольного шлифования с подшлифовкой наружного торца.
71. Как осуществляется привод шлифовального круга?
72. Какие основные приспособления, применяемые на универсальных внутришлифовальных станках, Вы знаете?
73. Изобразите схему шлифования сферического отверстия.
74. Изобразите схему планетарного шлифования отверстия в корпусной детали.
75. Для чего предназначены координатно-шлифовальные станки?
76. Перечислите основные показатели точности координатношлифовальных станков.
77. Какие статические показатели выявляют для проверки точности позиционирования или координатных перемещений?
78. Как совмещают ось шлифуемого отверстия с осью планетарного шпинделя при обработке на координатношлифовальных станках?
79. Перечислите основные компоненты технологической системы плоскошлифовального станка.
80. При помощи чего производится балансировка круга плоскошлифовального станка?
81. Перечислите автоматические и ручные перемещения, которые может осуществлять станок модели 3E711B-1.
82. Изобразите схему плоского врезного шлифования.
83. Изобразите схему плоского шлифования с поперечной подачей.
84. Изобразите схему плоского фасонного шлифования.
85. Какие приспособления используются для закрепления заготовок на плоскошлифовальных станках?
86. Опишите принцип закрепления заготовок на электромагнитной плите.
87. Опишите достоинства и недостатки магнитной плиты по сравнению с электромагнитной.
88. Чем лекальные тиски отличаются от обычных тисков?
89. Для чего при обработке на плоскошлифовальных станках применяются синусные приспособления?
90. Как выбрать размер шлифовального круга?
91. В каких случаях применяются те или иные абразивные материалы?

92. Как выбрать зернистость шлифовального круга?
93. Как выбрать твердость шлифовального круга?
94. Как выбрать связку шлифовального круга?
95. Как выбрать структуру шлифовального круга?
96. Опишите схему изменения подачи в СТАЛП круглого врезного шлифования.
97. Как назначить режимы резания при круглом наружном врезном шлифовании?
98. Как назначить режимы резания при круглом наружном продольном шлифовании с радиальной подачей на каждый ход?
99. Как назначить режимы резания при круглом наружном продольном шлифовании с радиальной подачей на двойной ход?
100. Как назначить режимы резания при плоском врезном шлифовании с вертикальной подачей на каждый ход.

7. ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ (работа № 7)

7.1 Регулярные микрорельефы и их разновидности

Вызывает восхищение умение природы сводить к минимуму потери энергии, придавая своим творениям симметричность и упорядоченность форм и микрогеометрии поверхностей. Для уменьшения скольжения, например, у пресмыкающихся в процессе эволюции образовался регулярный микрорельеф брюшной части поверхности тела. Подобную роль играет и капиллярный рисунок на опорных поверхностях конечностей млекопитающих. А в целях увеличения скольжения существует регулярный микрорельеф поверхности кожи дельфинов, плоскоидной чешуи у быстроходных рыб и т. п. Примеры природы привели к мысли об упорядочении, оптимизации и регуляризации микрогеометрии технических поверхностей деталей, работающих в различных парах и условиях.

Попытки образования регулярного микрорельефа (РМР) предпринимались во многих странах мира. Так, в США применено протравливание на поверхностях лунок через трафареты с закономерно расположенными отверстиями. В Германии и Франции для образования РМР использованы копировальные системы и специальное оборудование со сменными копиями. В Японии созданы специальные способы шлифования, с помощью которых на поверхностях образуются регулярно расположенные системы рисок. Но описанные и другие запатентованные за рубежом способы образования РМР не универсальны, требуют специального оборудования и его сложной настройки и перенастройки при экспериментальном поиске оптимальной микрогеометрии поверхностей, приводят к необходимости изготовления большого количества дорогостоящих специальных трафаретов, копиров, управляющих систем, инструмента и поэтому практически не нашли применения в промышленности.

Проблема регуляризации микрорельефов решена в СНГ, благодаря чему положено новое начало в теории микрогеометрии технических поверхностей и практике технологического обеспечения требуемых эксплуатационных свойств деталей и функциональных характеристик машин и приборов. В результате многолетних исследований разработаны теоретические основы, созданы и внедрены в производство простые в использовании способы и технологии образования на рабочих поверхностях деталей регулярных микрорельефов, многократно улучшающих эксплуатационные свойства деталей. Для реализации способов созданы инструменты, приспособления для виброобработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) с источниками вибрации и без них, семейство станков и виброустановок.

Еще в 1971 г. академик И. И. Артоболевский предсказал большое будущее целенаправленному созданию деталей и соединений, поверхности которых имеют вместо шероховатости с неупорядоченным расположением пиков и впа-

дин разной высоты и глубины специально созданный запрограммированный конструктором заранее, еще на стадии проектирования изделия, регулярный (повторяющийся) микрорельеф.

В результате образования регулярной микрогеометрии в виде полностью регулярного микрорельефа (ПРМР) и частично регулярного микрорельефа (ЧРМР) можно за счет изменения параметров вибронакатывания (вибровыглаживания) и инструмента обеспечивать разные значения относительных опорной площади $F_{оп}$ и площади F_H канавок (выступов), глубины h канавок (высоты выступов) неровностей, числа $N_э$ элементов на единице площади поверхности, углов направления γ (γ_1 и γ_2) следов обработки и θ , $\gamma_э$, $\beta_э$ элементов, плотности N_n и N_p и шага S_K расположения неровностей, превышения h_n регулярных поднутренных неровностей (РПН) в виде приканавочных наплавов над уровнем $Rz(R)$, радиусов r округления выступов неровностей, отношения r/R_{max} и других параметров микрогеометрии поверхностей деталей. Следует также отметить факторы физико-механических свойств обработанного ППД материала и, в частности, микроструктуры M_c , микротвердости H_μ , толщины упрочненного слоя h_σ , напряжений в подповерхностном слое σ .

Все РМР можно подразделить на одноуровневые (ОУРМР) с постоянными значениями параметров и двухуровневые (ДУРМР) с чередующимися двумя значениями переменных параметров с РПН и без них (рисунки 7.1 и 7.2). Поперечные сечения поверхностей с ЧРМР (а) и ПРМР (б) и виды на РМР сверху (в, г) показаны на рисунке 7.3.

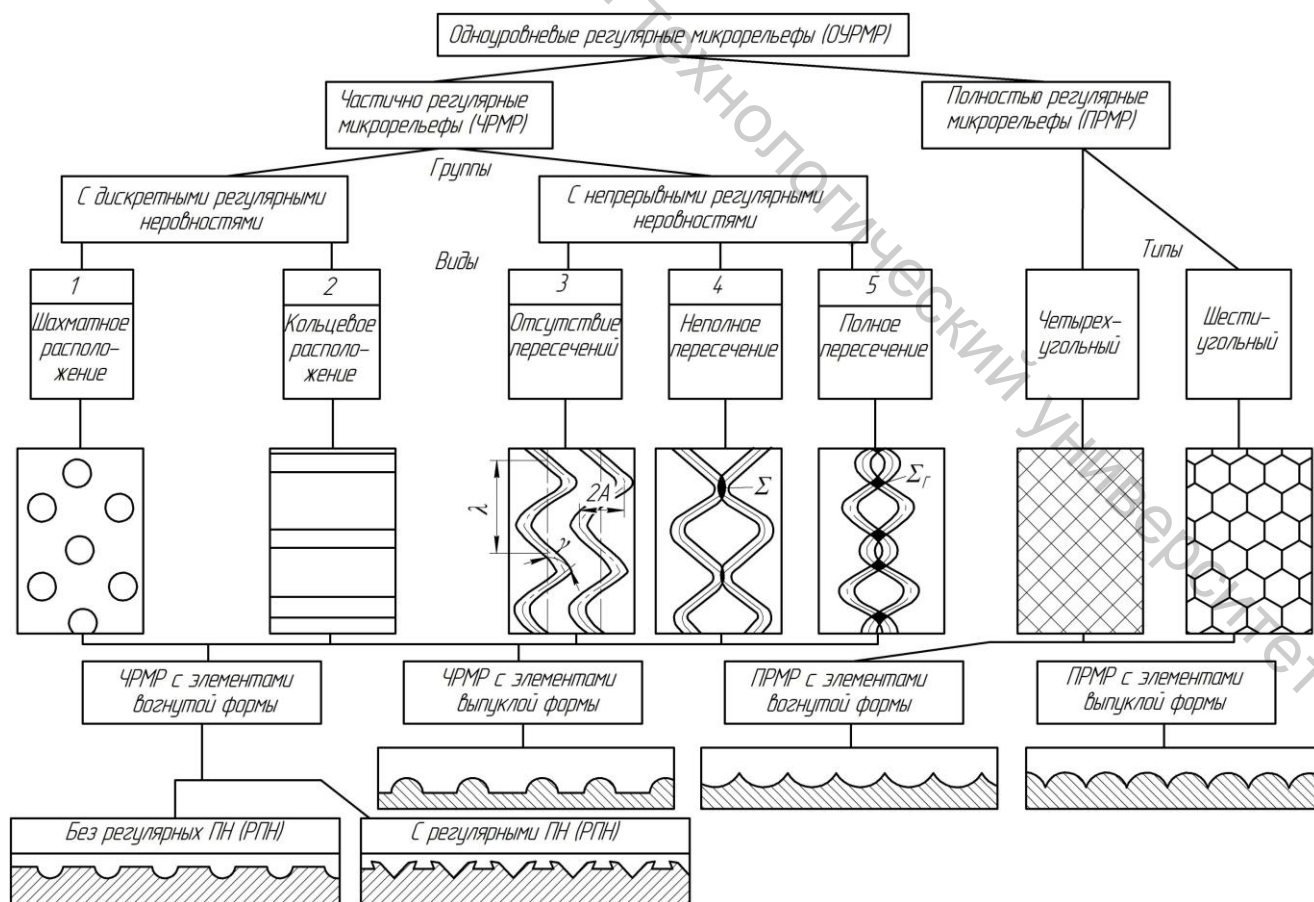


Рисунок 7.1 – Классификация одноуровневых РМР

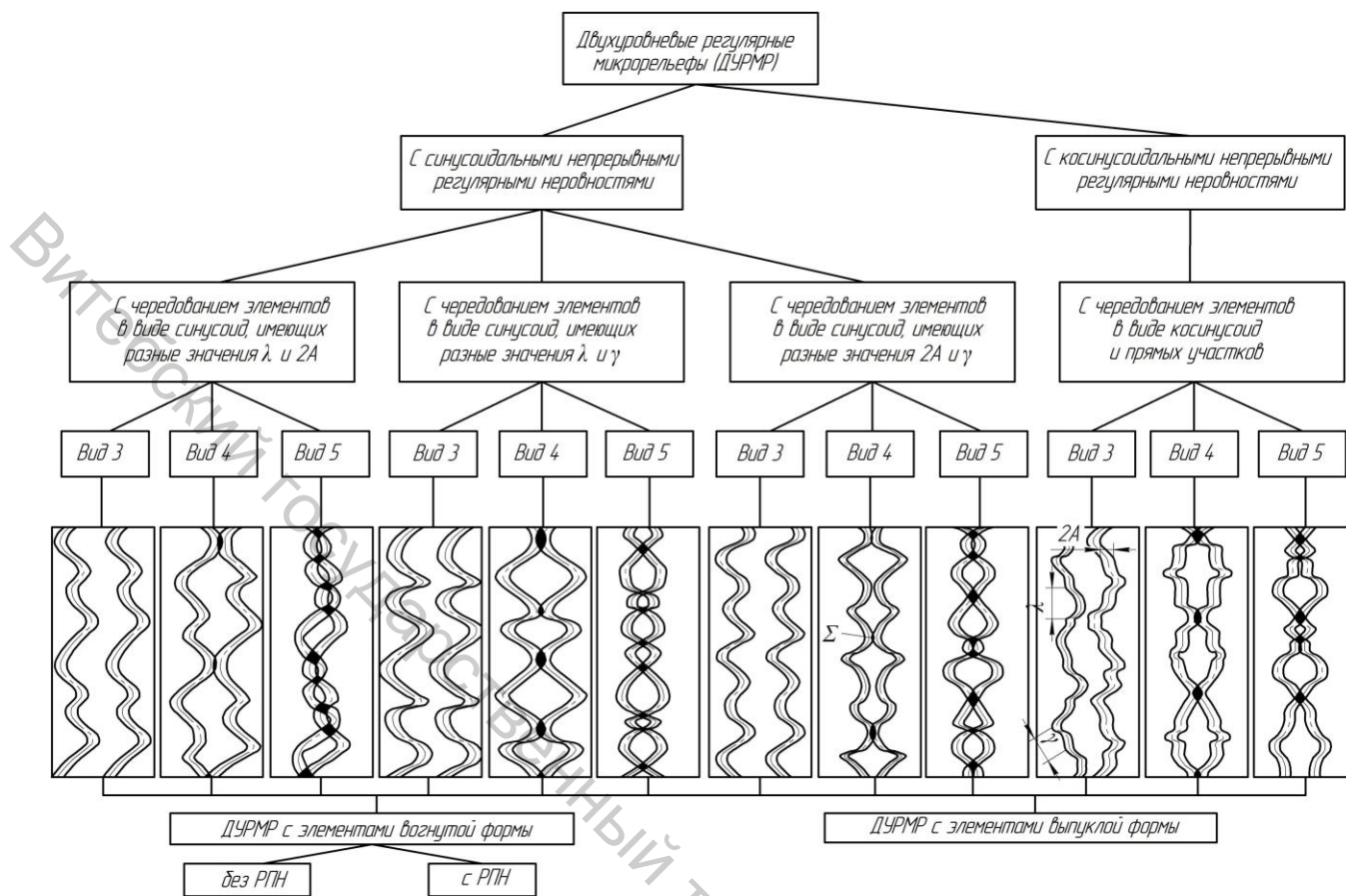


Рисунок 7.2 – Классификация двухуровневых РМР

В отличие от абразивных видов отделочной обработки предложенные способы вибрационного ППД имеют решающие преимущества, обусловленные экологической чистотой, простотой, дешевизной и надежностью образования РМР, а также созданием упрочненного подповерхностного слоя материалов деталей. Виды обработки ППД представлены ниже. Для всех технологий обработки выявлены зависимости получаемых параметров РМР от параметров режимов обработки ППД (частоты вращения и вибрации, подача и сила поджима инструмента к поверхности, радиусы сферы шаров и алмазных наконечников и скругления роликов, амплитуда колебаний и размах гофр инструмента и др.) для разных по твердости материалов и различных по размерам и конфигурации деталей.

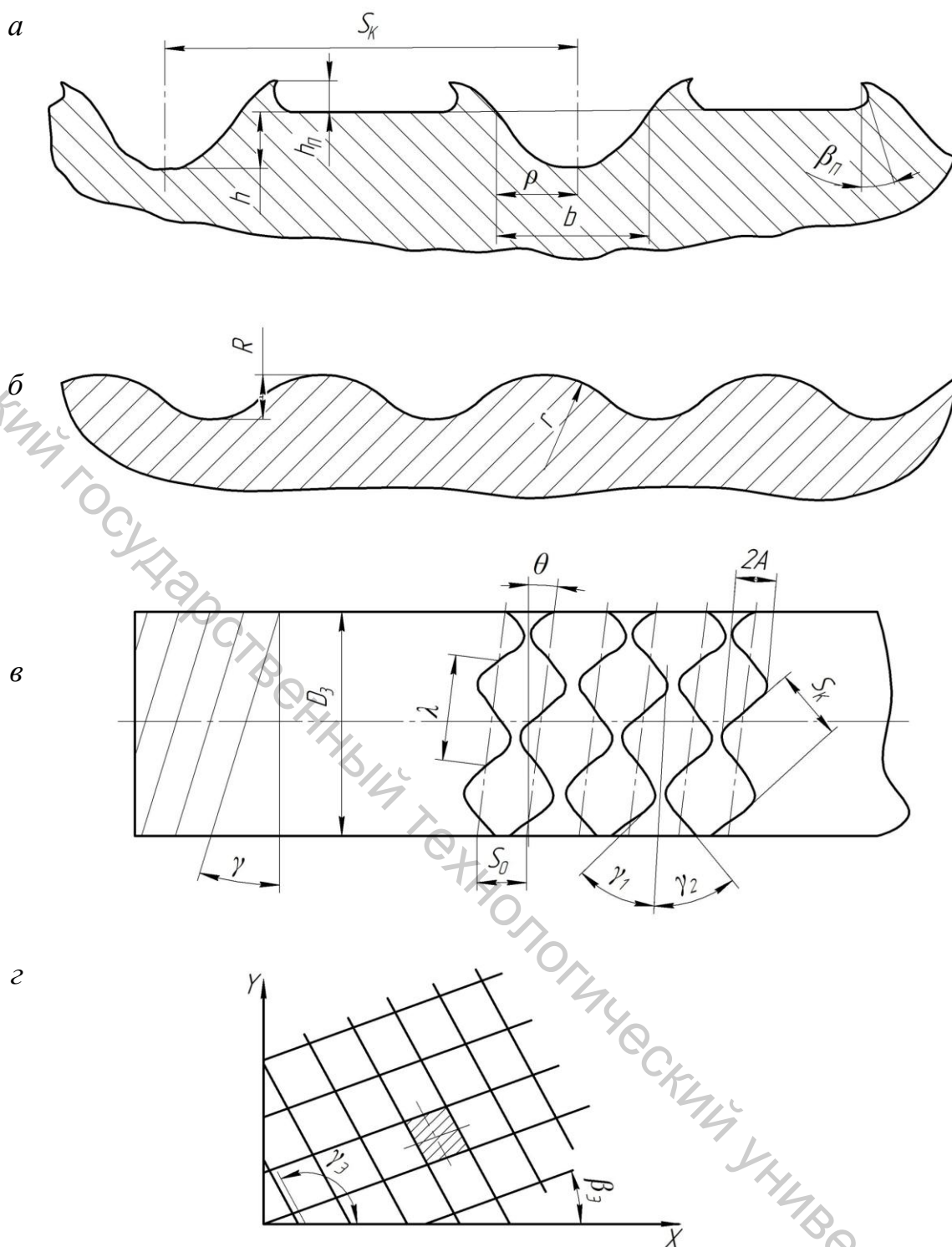


Рисунок 7.3 – Поперечное сечение (профиль) поверхностей с ЧРМР (а) и ПРМР (б) и вид на РМР сверху (в, г)

7.2 Взаимосвязь микрогеометрии рабочих поверхностей и свойств подповерхностного слоя материала с эксплуатационными свойствами деталей и соединений

Практика использования в изделиях машино- и приборостроения деталей с различными параметрами микрогеометрии поверхностей позволила выявить

взаимосвязь более 40 эксплуатационных свойств деталей и пар с различными параметрами микрогеометрии поверхностей и подповерхностного слоя материала деталей. Зависимость некоторых свойств от параметров микрогеометрии и материала представлена на рисунке 7.4.

Ниже приведены примеры машино- и приборостроительных изделий, эффективность использования которых повысилась благодаря регуляризации микрогеометрии поверхностей и упрочнения подповерхностного слоя материала деталей.

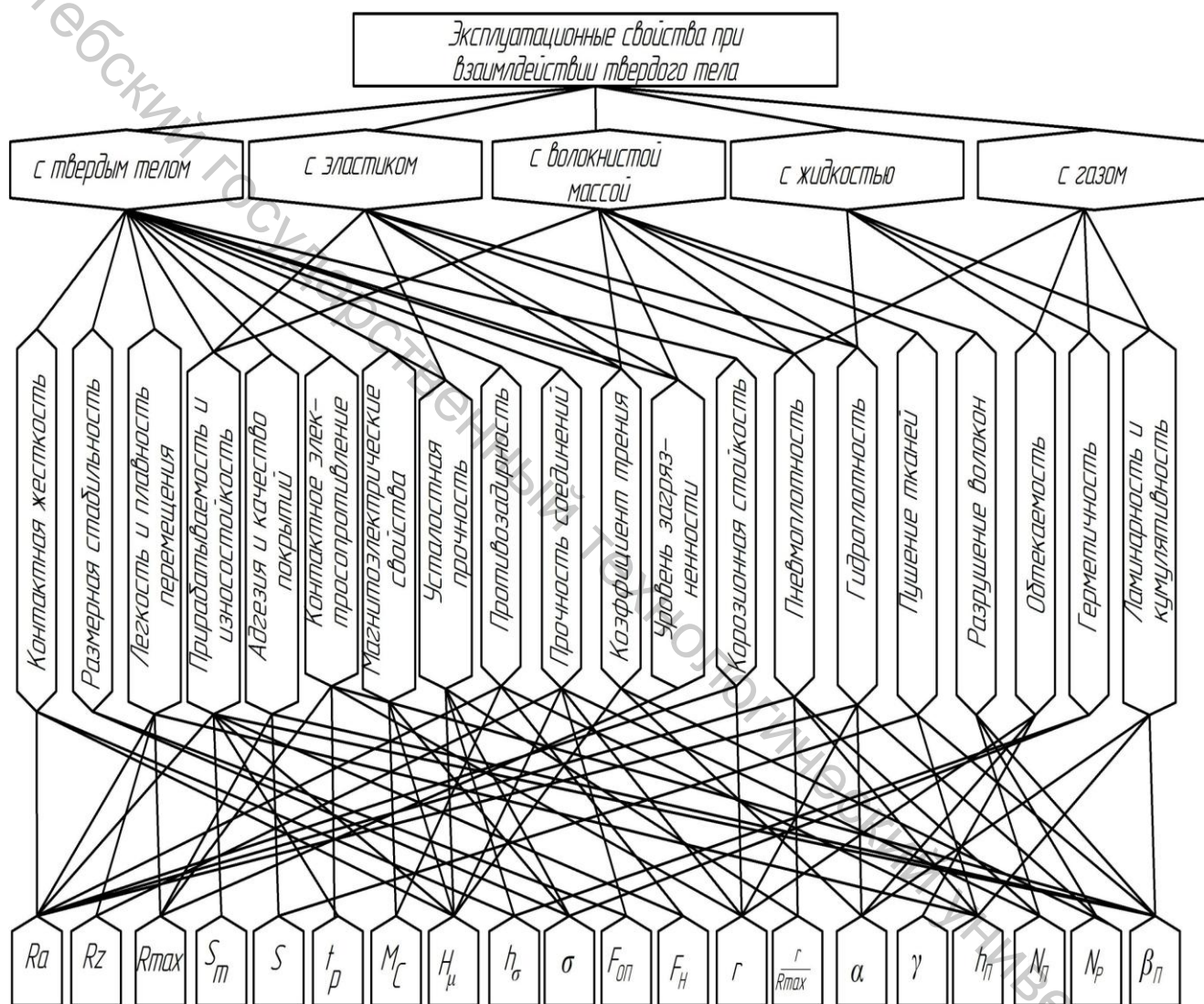
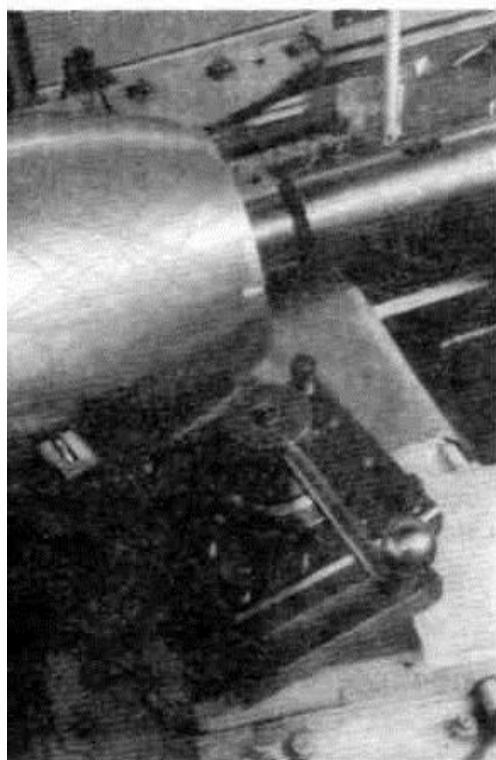


Рисунок 7.4 – Эксплуатационные свойства деталей и соединений и их зависимость от параметров микрогеометрии рабочих поверхностей и состояния подповерхностного слоя материала

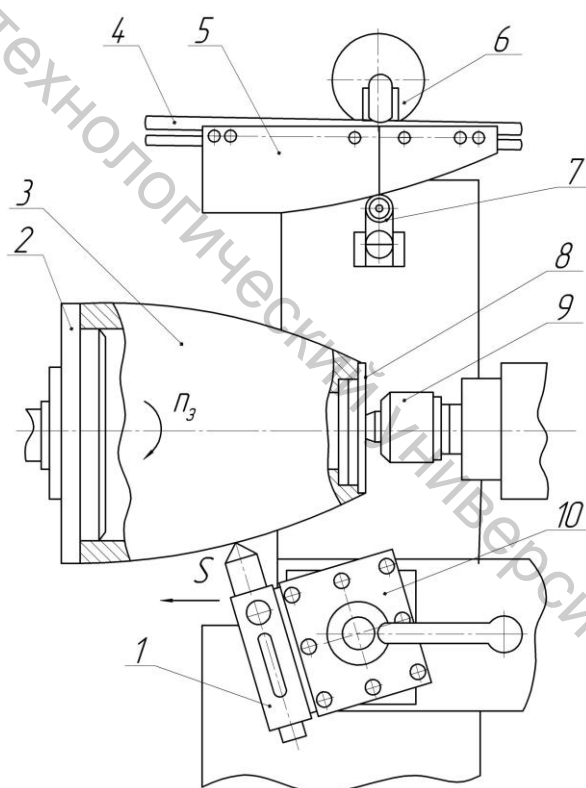
Литые корпуса из алюминиевого сплава марки АЛ4 используются для размещения приборов, работающих в морской воде. Основными требованиями к корпусам являются герметичность, чистота поверхности и подповерхностного слоя литого (пористого) основного материала перед покрытием, тщательная от-

делка фасонной поверхности и наименьшее отклонение формы от заданного контура. Традиционно корпуса обрабатывались обтачиванием по копиру, затем шлифовались гибкой абразивной лентой для обеспечения шероховатости поверхности $Ra = 0,32 - 1,25$ мкм. При снятии литейной корки вскрывались раковины и поры металла, которые способствовали загрязнению поверхности и подповерхностного слоя материала и приводили к нарушению герметичности корпусов. Возникающая течь устранялась заваркой с последующей зачисткой и термообработкой заготовок. При этом искажалась форма обточенного корпуса из-за явления в местах заварки утяжки, снижалась прочность корпусов из-за разнородности основного металла и металла в местах заварки, появлялись значительные дополнительные затраты на заварку, доработку и термообработку заготовок. До 27 % обработанных на 90 % заготовок уходило в брак. При вибрационном ППД перечисленные недостатки устраняются.

Обработка корпусов вибронакатыванием профильным роликом на токарно-винторезном станке показана на рисунке 7.5. Корпус 3 цилиндрической поверхностью большой горловины устанавливается на палец планшайбы 2 передней бабки и через съемную планшайбу 8, размещаемую своим пальцем в отверстие малой горловины, подпирается вращающимся центром 9 задней бабки. Поперечная каретка суппорта отключается от винта подачи. С помощью специального натяжного устройства, состоящего из кронштейнов, шкивов, троса и груза 6, соединенный с суппортом станка ролик 7 постоянно контактирует с установленным на раме 4 копиром 5.



а



б

Рисунок 7.5 – Отделочно-упрочняющая обработка фасонных литых корпусов на токарно-винторезном станке мод. 16K20, оборудованном рамой с копирным устройством (а), и схема обработки ППД по копиру (б)

При продольном перемещении с подачей S суппорт вместе с приспособлением 1, установленным в резцедержателе 10, с профильным роликом описывает кривую в соответствии с рабочим контуром копира 5. Таким образом, поджимаемый к заготовке профильный ролик образует на поверхности ПРМР, закатывает поры и раковины (размерами до 0,3 мм), упрочняет подповерхностный слой материала толщиной до 0,5 мм, исключает абразивную обработку и загрязнение поверхности и металла. Более 80 % мест течи при этом устраняется, обеспечиваются требуемая точность контура, высокое качество покрытия и упрочнение корпусов. В результате более чем в 5 раз уменьшается необходимость заварки, возрастает прочность корпусов, улучшается адгезия лакокрасочных покрытий, надежно обеспечивается герметичность корпусов, а брак деталей по отклонению контура фасонной поверхности и поломкам при гидropневмоиспытаниях снижается с 27 до 2 %.

Путем обработки заготовок ППД можно повышать сопротивление коррозии деталей за счет увеличения радиусов выступов и впадин микронеровностей при образовании ПРМР, а также за счет повышения адгезии и закатывания пор гальванически или химически наносимых металлических покрытий. На рисунке 7.6 показан палец дифференциала из стали 18ХГТ трактора Х-151, левая сторона которого обработана алмазным выглаживанием сферическим наконечником из искусственного алмаза на токарно-винторезном станке с обеспечением Ra от 0,18 до 0,32 мкм, а правая сторона по ранее существующей технологии была подвергнута шлифованию с обеспечением шероховатости Ra 0,22 мкм.

После года хранения правая сторона пальца, обработанная шлифованием, интенсивно корродировала, при этом первые следы коррозии появились уже на 11-й день после обработки. На левой стороне, обработанной ППД с обеспечением ПРМР, за год хранения детали появились лишь первые признаки коррозии.

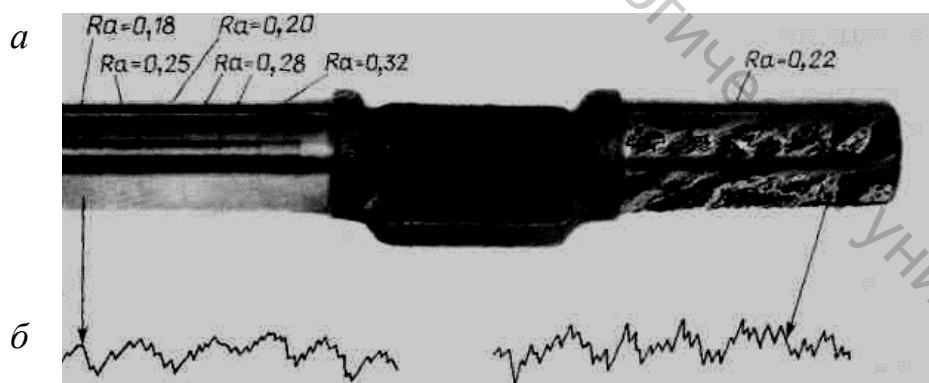


Рисунок 7.6 – Палец дифференциала трактора Т-151 после испытания на коррозионную стойкость (а) и профилограммы рабочих поверхностей пальца слева с ПРМР и справа с шероховатостью (б)

В прецизионных парах азимутальных шаровых гироскопов от состояния сферической рабочей поверхности аэродинамической опоры (чаши) зависят точность и надежность работы ротора и всей механической системы. Отделочно-упрочняющая обработка чаш виброраскатыванием и вибровыглаживанием

обеспечивает изменение параметров микрогеометрии сферической поверхности и состояния подповерхностного слоя литого материала (бронзы марки БрО8С12), приводит к закатыванию (заглаживанию) мелких пор и раковин, исключает загрязнение поверхности и металла продуктами шлифования и доводки, повышает противозадирность деталей. Приобретенные после вибрационного ППД характеристики рабочей поверхности и металла послужили основой для создания аэродинамической опоры с новыми свойствами (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Характеристики рабочей поверхности

Характеристика	Опора		Изменение характеристик новой опоры по сравнению с существовавшей
	Ранее существовавшая	Новая	
Конструкция			
Форма поверхности выточки	Цилиндрическая	Коническая	Угол между образующей конуса 10 – 120
Параметры микрогеометрии			
R_{max} , мкм	2	1,67	Уменьшение на 16,5 %
σ_p , мкм	0,81	0,30	Уменьшение в 2,7 раза
r , мкм	41	5000	Увеличение в 122 раза
r/R , мкм	20,5	3000	Увеличение в 146 раз
α , град	14,5	3,5	Уменьшение в 4,6 раза
γ_{cp} , угл. Мин	10	4,2	Увеличение в 90 раз
F_{on} , %	0,31	4,2	Увеличение в 13,5 раз
Количество впадин круговых сечений.	Переменное	Постоянное	Улучшение свойств
Сумма площадей впадин круговых сечений.	Переменное	Постоянное	Улучшение свойств
Наличие поднутренных неровностей	Есть	Нет	Улучшение свойств
Физико- механические свойства подповерхностного слоя материала			
Микротвердость H_μ	210	275	Увеличение на 30 %
Степень упрочнения, %	21,1	56,1	Увеличение в 2,7 раза
Толщина упрочненного слоя h_σ , мкм	15,6	28,6	Увеличение в 1,8 раза
Эксплуатационные свойства			
Коэффициент трения в паре опоры – ротор.	0,18	0,13	Уменьшение на 28 %
Противозадирность, число запусков-остановок до появления задиров.	2	9	Увеличение в 4,5 раза
Движение газа в зазоре.	Турбулентное Переменное Неспокойная, с нестабильными показаниями	Ламинарное Постоянное Спокойная, со стабильными показаниями	Повышение работоспособности опоры и аэродинамического подвеса ротора; улучшение качества и надежности работы гидроскопа
Давление газа в зазоре.			
Работа подвеса и гироскопа			
Примечание: σ_p – среднее квадратическое отклонение высотных параметров микрогеометрии поверхности			

На рисунке 7.7 показаны новая чаша-опора и схема работы подвеса ротора в аэростатическом (\leftarrow) и аэродинамическом (\leftarrow -----) режимах. В новой опоре (таблица 7.1, рисунок 7.7) цилиндрическая выточка заменена на коническую с углом наклона образующей $10 - 12^\circ$. Рабочая поверхность опоры 2 имеет пологие обтекаемой формы микроповерхности 3 в направлении движения газа в режиме эксплуатации гироскопа. Из рассмотрения разверток 4 круговых сечений А и Б следует, что микрорельеф поверхности имеет равные число и суммарную площадь впадин во всех круговых сечениях опоры, что достигается постоянным значением числа $n_{\text{ов. х.}}$ двойных ходов инструмента при виброраскачивании (вибровыглаживании) сферической поверхности. Именно это условие обеспечивает равномерное давление во всех точках зазора 63, что очень важно для запуска гироскопа, когда газ под давлением подается через отверстие опоры и в радиальных направлениях проходит через зазор между ротором 1 и опорой 2.

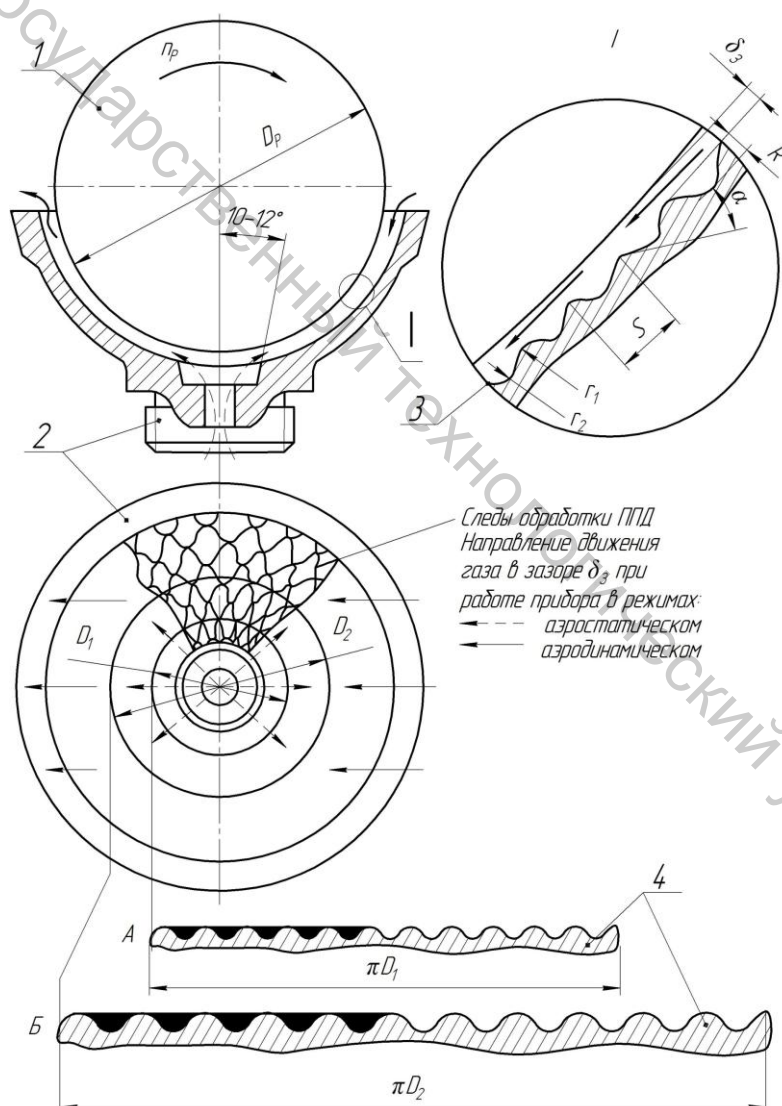


Рисунок 7.7 – Аэродинамическая опора (подшипник) с ПРМР на сферической рабочей поверхности, ее характеристики и схема работы аэродинамического подвеса ротора

После достижения ротором частоты вращения $n_p > 5000 \text{ мин}^{-1}$ (при $D_p =$

101 мм, $v > 1586$ м/мин) гироскоп переводится на аэродинамический режим работы, когда подъемная сила создается клиновым эффектом при нагнетании (самозатягивании) газа, например гелия, в зазор поверхностью вращающегося ротора.

Испытания на вибростенде и практика использования в изделиях показали, что среднее число касаний ротора с обработанными ППД чашами составляет 33,2, а с расточенными – 143,6. Таким образом, новые чаши обеспечивают высокую степень ламинарности перемещения газа в зазоре и спокойную, стабильную работу аэродинамического подвеса. Они обладают высокими противозадирными свойствами и снижают загрязненность зазора в процессе эксплуатации гироскопа за счет исключения загрязнений на рабочей поверхности (в подповерхностном слое материала) и «выдувания» их в зазор, а также разрушения (отрыва) поднутренных неровностей в виде микрозаусенцев от поверхности детали потоком газа, что способствует также повышению точности и надежности работы гироскопа. При этом исправимый брак деталей (необходимость перерастачивания) снизился с 97 до 6 %, ресурс работы гироскопа повысился в 4,5 раза, а затраты на обслуживание гиросистемы снизились в 2 раза.

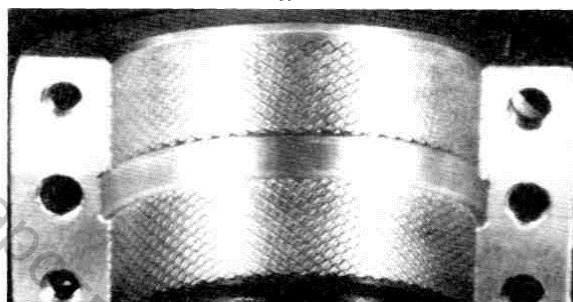
Эффективным в отношении прочности неподвижных соединений оказалось образование ЧРМР в виде системы канавок (ОУРМР вида 4 с РПН на рисунке 7.1 с $F_H = 30$ %, $h = 0,04$ мм, $h_n = 0,02$ мм) взамен ранее производившихся грубого обтачивания или нарезания резьбы на стальном стержне, предназначенной для предотвращения смещения резиновой втулки относительно этого стержня. Такое соединение обеспечивается надеванием радиально растянутой и обработанной холодом (замороженной) резиновой втулки на стержень с последующим размораживанием резины и используется в резинометаллических подшипниках в шарнирных соединениях гусеничных тракторов. В результате образования ЧРМР прочность соединения возросла более чем на 25 %, а осевое смещение втулок на стержнях в период эксплуатации тракторов исключено вплоть до полного изнашивания деталей и выхода из строя подшипника по износу.

Вибрационное ППД в режиме образования ЧРМР различных сочетаний может повышать маслостойкость поверхностей и сопротивление деталей изнашиванию и схватыванию. На рисунке 7.8 показаны детали двигателей внутреннего сгорания с ЧРМР, ресурс работы которых увеличен в 1,7 – 2,2 раза.

Приведенные примеры использования деталей с нерегулярной (щероховатостью) и регулярной (РМР) микрогеометрией поверхностей, с неупрочненным (малоупрочненным) и упрочненным ППД подповерхностным слоем материалов показывают, что улучшение свойств деталей наиболее эффективно достигается за счет комплексного влияния факторов микрогеометрии их рабочих поверхностей и физико-химического состояния подповерхностного слоя материалов.



а



б

Рисунок 7.8 – Поршень (а) и крышка подшипника (б) двигателя с регулярным микрорельефом на наружной и внутренней цилиндрических рабочих поверхностях

В таблице 7.2 приведены ориентировочные показатели улучшения некоторых эксплуатационных свойств и характеристик деталей и соединений с учетом воздействующих факторов, обеспечиваемых как механической обработкой, так и покрытиями, химико-термическим, лазерным, ультразвуковым и другим воздействием на материалы.

Таблица 7.2 – Показатели улучшения некоторых эксплуатационных свойств и характеристик деталей

Свойство и характеристика	Повышение (+), снижение (-) показателей	Предел улучшения показателей	Влияние факторов микрогеометрии поверхности и состояния материала
1	2	3	4
Коэффициент трения: титановые сплавы другие материалы	- -	До 3 раз	
Загрязненность поверхностей и зазоров	-	На 10 – 30 %	
Размерная стабильность и точность	+	В 10 и 2,5 раза	
Электросопротивление материала	+	В 2 раза	

Окончание таблицы 7.2

Переходное электросопротивление соединений	-	До 11 %	
Магнитные характеристики деталей	+	На 25 %	
Время приработки и приработочный износ	-	На 30 %	
Износостойкость	+	В 1,4 – 9 раз	
Противозадирность	+	В 1,12 – 5,3 раза	
Прочность деталей и неподвижных соединений	+	В 1,18 – 2 раза	
Легкость сдвига и плавность перемещения деталей в соединениях	+	До 2,7 раза	
Ламинарность перемещения газа в малых зазорах	+	В 4 раза	
Коммулятивность струи	+	Значительно	
Герметичность деталей	+	На 80%	
Гидроплотности ресурс безотказной работы подвижных соединений	+	В 2 раза	
Пневмоплотность и ресурс безотказной работы подвижных соединений	+	До 3,2 раза	
Коррозионная стойкость	+	Значительно	
Адгезия слоя покрытия	+	На 21 – 31%	
Примечание: - влияние фактора микрогеометрии рабочих поверхностей; - влияние фактора физико-химического состояния материала; - преимущественное влияние одного из факторов качества деталей (в данном случае микрогеометрии рабочих поверхностей).			

Таким образом, регуляризация микрогеометрии технических поверхностей и упрочнения материалов открывает новые возможности в технологии обработки материалов. При этом улучшаются качество и эксплуатационные свойства деталей и соединений, снижаются затраты на обработку и уменьшается брак заготовок, повышается ресурс и надежность работы изделий, уменьшаются средства на ремонт и обслуживание машин и приборов.

7.3 Отделочно-упрочняющая обработка ППД, оборудование и инструменты

При поверхностном пластическом деформировании (ППД) возрастают прочностные характеристики и снижаются параметры пластичности обработанных материалов, искажается их структура, создаются благоприятные сжимающие напряжения, повышаются твердость, степень упрочнения и толщина подповерхностного упрочненного слоя. Кроме изменения физико-механических свойств подповерхностного слоя металла, при обработке ППД происходит сглаживание неровностей, оставшихся от предшествующей обработки (рисунок 7.9). Деформирующий инструмент 6 поджимается с силой P к вращающейся с частотой n_3 заготовке 5 и перемещается с подачей S вдоль ее оси.

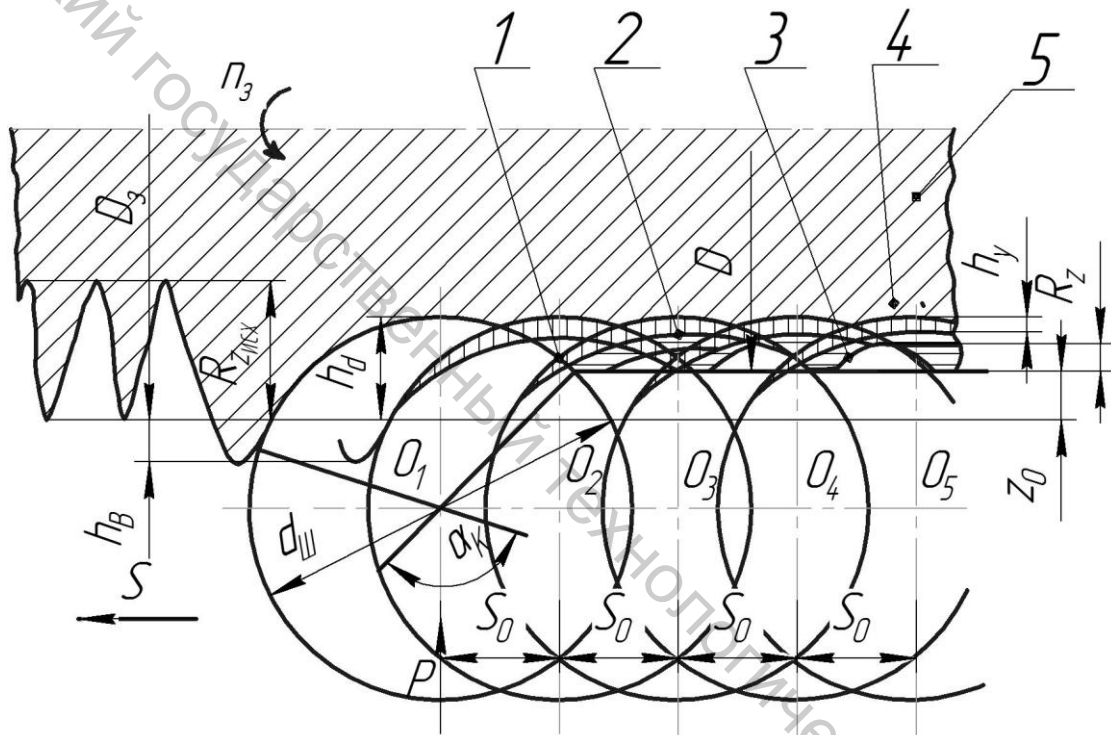


Рисунок 7.9 – Схема деформации поверхности и материала при отделочно-упрочняющей обработке ППД: 1 – зона пластической деформации; 2 – зона упругой деформации; 3 – поперечная шероховатость поверхности после обкатывания; 4 – профиль следа шара; 5 – заготовка; 6 – инструмент; O_1 – O_5 – положения центра шара при перемещении с подачей S_0 , на оборот заготовки; $Rz_{исх}$, Rz – высоты неровностей исходной и накатанной поверхностей; Z_0 – пластическая деформация поверхности; h_y – упругая деформация материала; h_δ – глубина внедрения инструмента; h_B – высота выступа деформируемого материала; α_k – угол контакта шара с обрабатываемым материалом

В настоящее время используются различные приемы обработки ППД, в том числе и способы, осуществление которых связано с трением качения и трением скольжения инструмента по обрабатываемой поверхности, вибрацией инструмента, ударным воздействием рабочих тел и инструмента на обрабатываемую поверхность.

мую поверхность, а также комбинированные и совмещенные процессы обработки с применением ППД.

На использовании трения качения основаны различные способы накатывания поверхностей. В качестве деформирующих элементов при этом применяются стальные и твердосплавные шары и ролики различной формы. По целевому назначению накатывание подразделяется на сглаживающее, формообразующее, калибрующее и упрочняющее.

На использовании трения скольжения основаны процессы выглаживания поверхностей, дорнование и редуцирование. Наибольшее распространение получили алмазное выглаживание и дорнование. Способ выглаживания поверхностей алмазными наконечниками можно применять при обработке деталей из металлов различной твердости, включая закаленные стали, и нельзя для обработки титановых сплавов, циркония и ниобия, что связано со специфическими свойствами этих металлов и возможным взаимодействием их с алмазом.

Дорнованием называется процесс ППД при поступательном скольжении деформирующего инструмента по охватывающей поверхности деформируемого материала. Дорнование используется для обработки отверстий, когда инструмент - дорн 2 (рисунок 7.10) с силой P_T проталкивается через обрабатываемое отверстие заготовки 1.

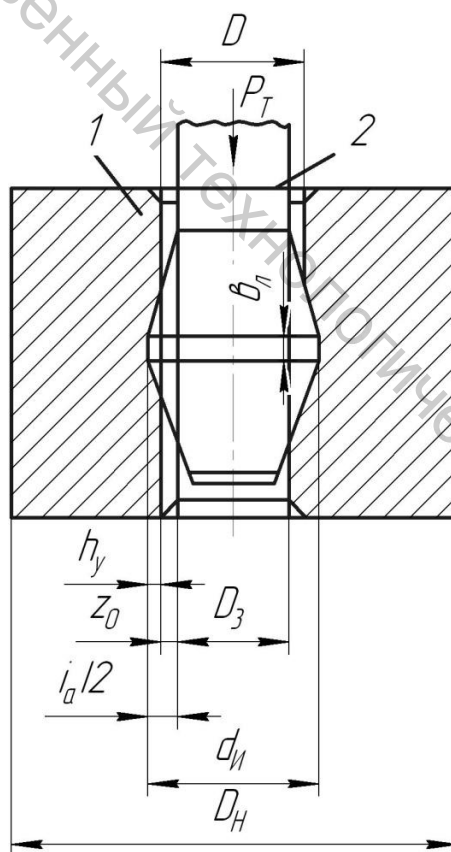


Рисунок 7.10 – Параметры дорна и режима дорнования: 1 – обрабатываемая заготовка; 2 – дорн; h_y – упругая деформация материала; z_0 – пластическая деформация; P_T – сила проталкивания дорна через отверстие; i_a – натяг

Важное место среди способов обработки ППД занимают процессы с вибрацией деформирующего инструмента. В настоящее время получил распространение способ обработки ППД – вибрационное накатывание.

Установлено, что с усложнением кинематики движения инструмента при ППД значительно улучшаются условия протекания процесса пластической деформации. Это можно наблюдать по изменению глубины h формируемой на поверхности канавки (рисунок 7.11) при обкатывании заготовки диаметром 39,5 мм шаром $d_{ш} = 5,6$ мм. По мере усложнения кинематики движения шара глубина канавки h возрастает и достигает максимального значения при виброобкатывании. Глубина следа инструмента зависит также от материала обрабатываемой заготовки.

По источнику возникновения колебаний вибрационная обработка ППД может быть трех видов: 1) с источником вибрации, который является специальным устройством; 2) включающая сочетание двух движений, например вращательных; 3) с использованием специального инструмента с колеблющимся в процессе накатывания рабочим контуром. Наиболее распространен первый вид обработки, но он связан с необходимостью создания специальных виброголовок, с усложнением обработки фасонных поверхностей, а также с отрицательным влиянием вибрации на оборудование и высокого уровня шумов на человека. Вибрационная обработка второго типа успешно используется для сферических поверхностей деталей, однако для целого ряда деталей ее возможности ограничены. Все более широкое применение находит обработка третьего вида, осуществляемая с помощью специальных роликов без источников вибрации.

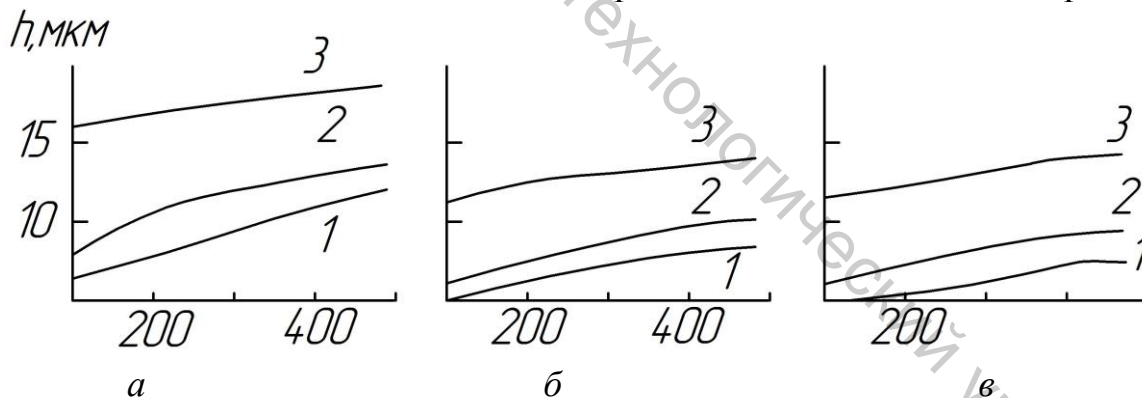


Рисунок 7.11 – Изменение глубины канавки h при обкатывании стали 12Х18Н10Т (а) никелевого сплава ХН67ВМТЮ (б) и титанового сплава ВТЗ-1 (в): 1 – без подачи; 2 – с подачей; 3 – с подачей и вибрацией инструмента

Устройства для возбуждения вибрации подразделяются по виду привода на механические и электромеханические, механогидравлические, электромагнитные, пневматические и др.

С помощью вибрации инструмента в осевом направлении (в направлении подачи) успешно решаются такие сложные вопросы механической обработки ППД, как образование высокоэффективных регулярных микрорельефов и повышение эффективности пластической деформации материала. Вибрация в радиальном (перпендикулярном к обрабатываемой поверхности) направлении ис-

пользуется при ультразвуковых процессах ППД. Переменное направление вибрации имеет место, например, при выглаживании вращающимся сферическим алмазным наконечником, ось сферы которого смещена относительно оси вращения.

Наибольшими возможностями из существующих способов вибрационной обработки ППД обладают накатывание и выглаживание с низкочастотной вибрацией.

На рисунке 7.12 показаны схемы вибрационной обработки заготовки типа вала поверхностным пластическим деформированием с источником вибрации – обкатыванием шаром или выглаживанием алмазным наконечником (а, б); без источников вибрации – обкатыванием фасонным наклонным (в), профильными синусоидальным с радиальными гофрами в виде синусоид в сечении (г) и косинусоидальными с гофрами в виде косинусоид, перемежающимися с прямыми участками (д), роликами. Вибрация инструмента с частотой f_B при обработке деталей осуществляется в направлении подачи S (рисунок 7.12 а, б). Обкатывание фасонными и профильными роликами (рисунок 7.12 в-д) может служить примером вибрационной обработки, обеспечиваемой конструкцией обрабатывающего инструмента. Ультразвуковое выглаживание (рисунок 7.12 е) осуществляется с вибрацией ультразвуковой частоты f_{BY} в направлении действия силы прижима P .

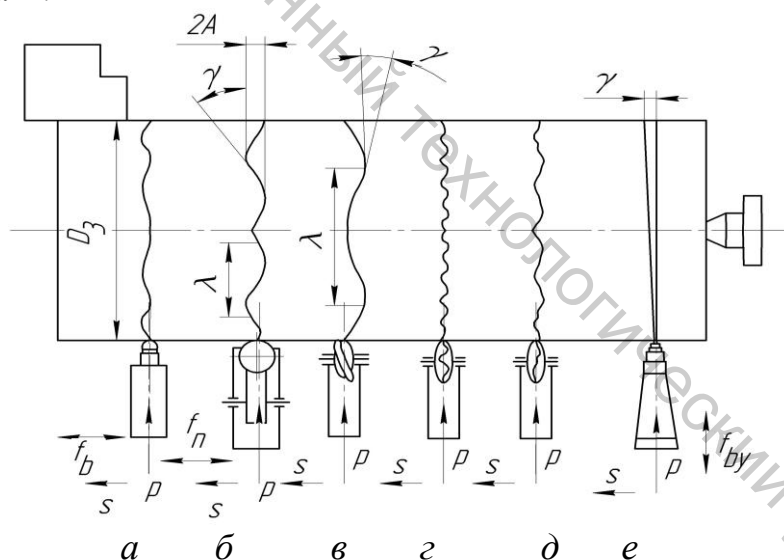


Рисунок 7.12 – Схемы вибрационной обработки ППД и параметры наносимых следов

Осуществление вибрационной обработки ППД шарами и алмазными наконечниками возможно с помощью виброустановок ВУ-2 – ВУ-5, оснащенных виброголовками резцедержателя. В ряде случаев для этих целей создается специальное оборудование, высокопроизводительные станки-автоматы и полуавтоматы для вибронакатывания и вибровыглаживания.

При изготовлении прецизионных деталей целесообразно использовать накатывание, алмазное выглаживание, вибронакатывание и вибровыглаживание. Особое место занимает вибронакатывание профильными роликами, не требующее виброголовок, исключаящее отрицательное влияние вибрации на

станки и высокого уровня шума на человека и позволяющее без особых затруднений осуществлять обработку фасонных поверхностей по копиру.

Автоматизированное оборудование для обработки заготовок ППД наиболее эффективно при использовании в массовом и крупносерийном производствах.

Станок-автомат мод. 115ФСС для алмазного выравнивания заготовок деталей типа пальцев, осей, втулок (рисунок 7.13) состоит из бункера 8 с трубчатым питателем 9, двух валков 12, привода 2, 3 с клиноременной передачей 13 и каретки с поджимающим 11 и выравнивающим 10 устройствами.

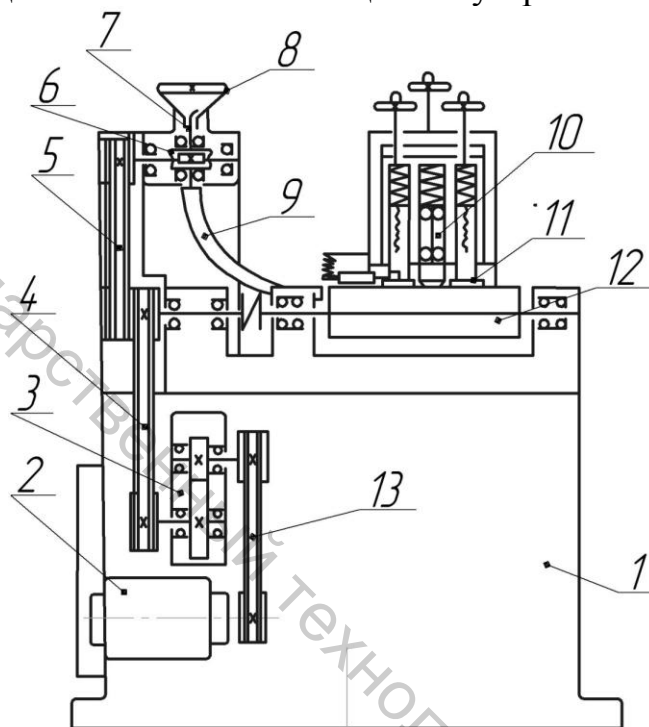


Рисунок 7.13 – Станок-автомат мод. 115ФСС для бесцентрового алмазного выравнивания цилиндрических гладких заготовок деталей типа пальцев, осей и длинных втулок

Устройства загрузочной зоны смонтированы наклонно к станине 1 так, что при загрузке создается гравитационный поток, облегчающий прохождение заготовок и самоподачу их при выравнивании.

Бесцентровое выравнивание заготовок реализуется с помощью выравнивающего устройства и двух приводных валков, размещенных на станине. Вращение валков осуществляется электродвигателем 2 через одноступенчатый редуктор 3 и клиноременную передачу 4. Для обеспечения бесступенчатой продольной подачи заготовок приводные валки установлены таким образом, что их оси в вертикальной плоскости перекрещиваются под определенным углом, величина которого может регулироваться. Обрабатываемые заготовкижимаются к приводным валкам двумя подпружиненными упорами устройства 11.

Автоматическая подача заготовок в зону обработки производится из загрузочного бункера по трубчатому питателю. Для облегчения заполнения заготовками последнего в загрузочном бункере предусмотрен ворошитель 7, приводимый в действие посредством червячного редуктора 6 и клиноременной переда-

чи 5. Необходимая сила поджима алмазного выглаживателя к обрабатываемой поверхности обеспечивается размещенной в устройстве тарированной пружинной, сжатие которой регулируется.

Станок позволяет обрабатывать заготовки диаметром 10–20 мм и длиной 40–65 мм. Сила прижима инструмента 200–220 Н; частота вращения приводных валков 40 мин⁻¹; подача (бесступенчатая) – 0,1–0,10 мм/об; производительность 100–210 шт/ч.

Наиболее часто в практике машиностроительных заводов для обработки ППД используются универсальные металлорежущие станки и станки с ЧПУ, оснащенные соответствующими приспособлениями.

Для обработки ППД, основанной на трении качения, используются деформирующие инструменты (рисунок 7.14): шары (а); цельные без цапф и с цапфами ролики (б); прямые ролики с отверстиями диаметром $d_o(b)$, включающие сферические ролики с $r_p = d_p/2$, закругленные с $r_p < d_p/2$, с цилиндрической ленточкой и с торовой поверхностью; фасонные ролики (г), включающие клиновидные для обработки галтелей и наклонные ролики; профильные ролики (д), включающие синусоидальные ролики с постоянными и переменными параметрами рабочего контура и косинусоидальные ролики.

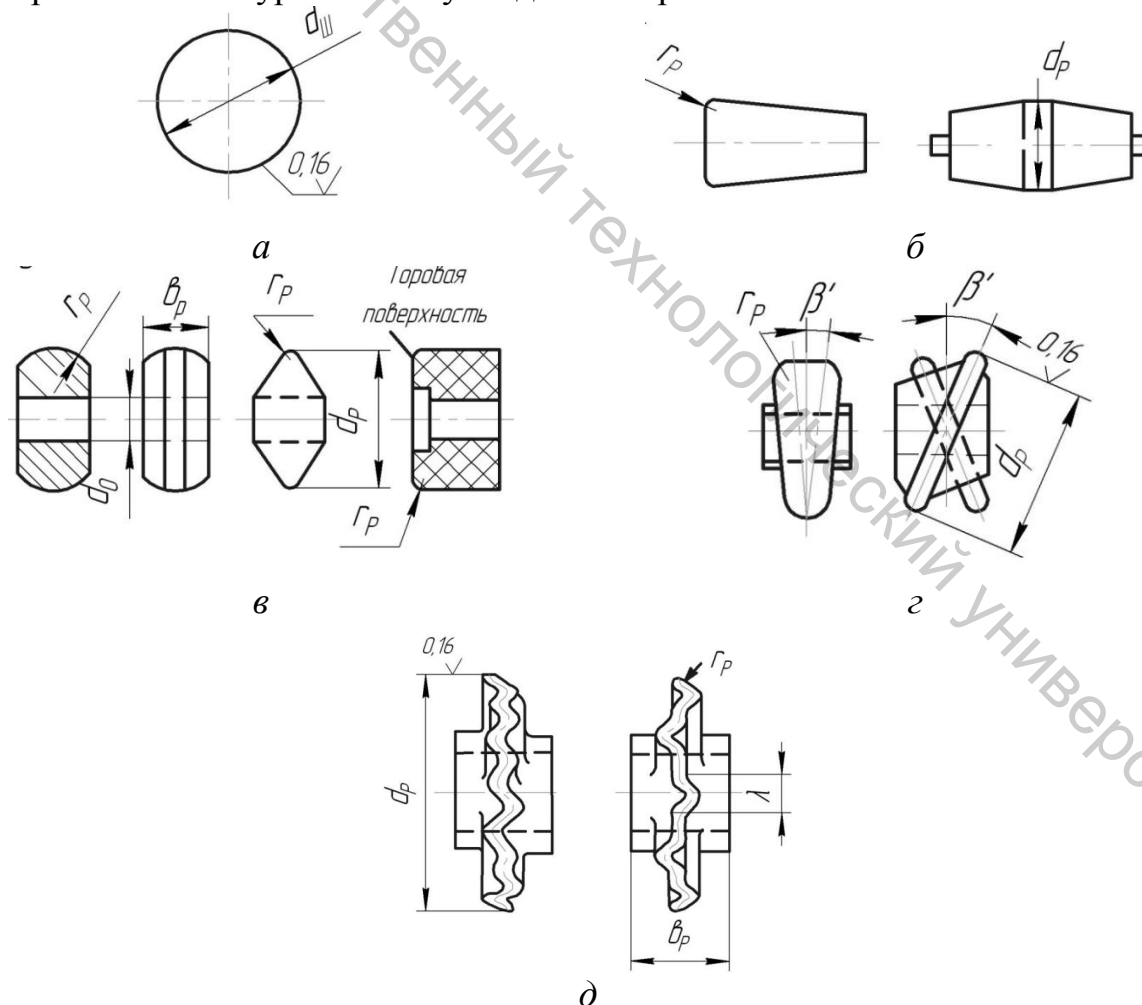


Рисунок 7.14 – Деформирующие инструменты, работающие в условиях трения качения: а – шар; б – цельные ролики и ролики с отверстием; в – прямые; г – фасонные; д – профильные

В качестве деформирующих шаров используются шарики от стандартных шарикоподшипников из стали ШХ15, а также шары из твердых сплавов ВК6М, Т15К6 и других материалов. Ролики обычно изготавливаются из сталей У10А, ХВГ, ШХ15, ЭХ12, а также из твердых сплавов ВК6М, ВК8М, минералокерамики марок ЦМ-332, ВОК-60, ОНТ-20. Минералокерамические ролики с цилиндрической или торовой поверхностью (рисунок 7.14 в) используются для ротационного выглаживания. При этом наряду с поступательным движением вдоль обрабатываемой поверхности ролику сообщается за счет сил взаимодействия с обрабатываемой поверхностью дополнительно вращательное движение вокруг геометрической оси, которая перпендикулярна или наклонена к направлению подачи. Постоянная смена участка контакта инструмента с поверхностью в связи с непрерывным вращением ролика, активное воздействие смазочно-охлаждающих средств, непосредственно подаваемых на рабочую поверхность инструмента, периодическое восстановление на ней адсорбированных пленок окислов, малая теплопроводность, высокие адгезионная стойкость, твердость и красностойкость инструментальной минералокерамики позволяют при высокой стойкости инструмента обеспечивать скоростное высокоэнергетическое воздействие на поверхность и подповерхностный слой материала деталей. В результате специфических условий деформации в подповерхностном слое формируются мелкодисперсная структура и остаточные напряжения сжатия, сочетающиеся с высокой твердостью обработанного ППД материал и малой шероховатостью обработанной поверхности.

Ротационное выглаживание минералокерамическими роликами выполняется со скоростями и подачами, в 2 – 3 раза превышающими максимально допустимые при обычных схемах обработки. Метод обычно осуществляется на станках токарной группы и обеспечивает высокие результаты. Так, при выглаживании рабочих поверхностей заготовок из стали 40Х с исходными твердостью 180–197 НВ и шероховатостью по $Ra = 1,2 - 2,8$ мкм торковым роликом из минералокерамики ЦМ-332 при скорости $v = 10 - 120$ м/мин, подаче $S = 0,2 - 0,3$ мм/об достигаются шероховатость поверхности по $Ra = 0,08 - 0,2$ мкм; степень упрочнения 1,8 – 2,2; толщина упрочненного слоя 180 – 260 мкм; сжимающие остаточные напряжения 1200 – 1320 МПа, мелкозернистая структура подповерхностного слоя материала с ярко выраженной текстурой. Стойкость ротационного выглаживателя 100 – 120 мин.

Наклонные ролики наносят на поверхность следы в виде синусоиды (рисунок 7.14 г) с длиной волны $\lambda_1 = \pi d_p$. Подобные следы оставляют при обработке галтелей и клиновидные ролики.

Профильные ролики с постоянными параметрами синусоидальных гофр образуют на поверхности следы с постоянными значениями параметров синусоид. Ролики с переменными параметрами гофр в виде синусоид и косинусоид в сечении, чередующихся с прямыми участками рабочего профиля, позволяют создавать двухуровневые регулярные микрорельефы (РМР). На рисунке 7.15 показаны разновидности профильных роликов.

Ролики с различным профилем рабочей поверхности наносят на поверхность разные следы обработки. На рисунке 7.16 показаны развертки следов обработки, производимых профильными роликами на цилиндрическую поверхность заготовок диаметром D_3 , с подачей S . Прямыми синусоидальными роликами наносятся следы с постоянными значениями λ и $2A$ (рисунок 7.16 а), с переменными значениями λ и $2A$ и постоянными значениями γ (рисунок 7.16 б), с переменными значениями λ и γ и постоянным значением $2A$ (рисунок 7.16 в), с переменными значениями $2A$ и γ и постоянным значением λ (рисунок 7.16 г).

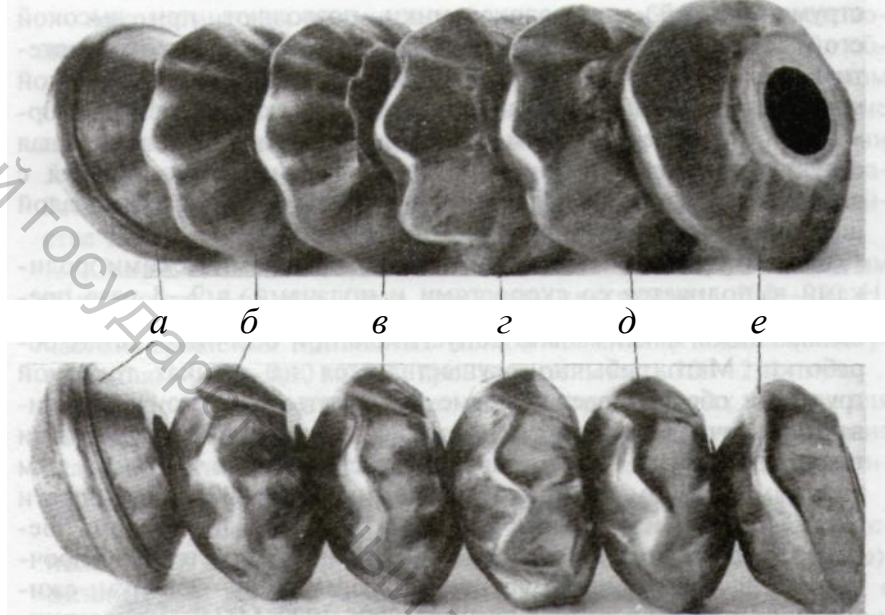


Рисунок 7.15 – Разновидности роликов: а – прямой, б – синусоидальный с постоянными параметрами; в - д – синусоидальные с переменными параметрами; е – косинусоидальный

Применение наклонных профильных роликов обеспечивает нанесение синусоидальных или косинусоидальных следов, наложенных на синусоиду с длиной волны λ_i и амплитудой δ (рисунок 7.16 д). Косинусоидальные ролики образуют след (рисунок 7.16 е), состоящий из прямых участков, расположенных под углом γ_1 к линии развертки, и участков в виде косинусоид, размещенных по обе стороны линии развертки цилиндрической поверхности заготовок под углом γ_2 .

В зависимости от формы рабочего профиля ролика на обрабатываемую поверхность наносятся следы с постоянными или переменными параметрами синусоид и косинусоид, что является основой переменного кинематического воздействия ролика на поверхность заготовки и создания поверхностей с переменными, заранее заданными направлениями следов обработки.

Расчет профильного ролика начинается с выбора угла γ наклона следов обработки из условий работы детали в машине. Установлено, что в большинстве случаев для улучшения износостойкости деталей целесообразно принимать $\gamma = 31 - 35^\circ$; для повышения сопротивления схватыванию $\gamma \approx 45^\circ$; для обеспечения улучшенных прочностных характеристик $\gamma \approx 60 - 65^\circ$.

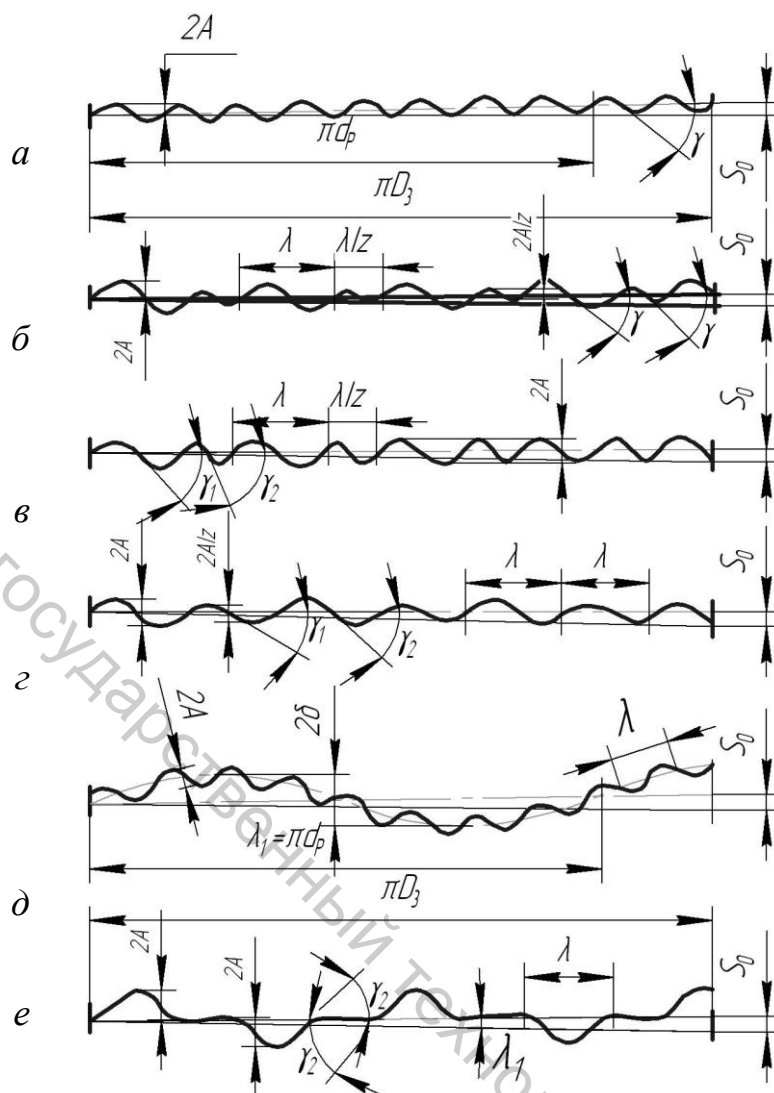


Рисунок 7.16 – Развертки следов обработки, наносимых профильными роликами

По выбранному значению γ и принятой амплитуде $2A$ размаха гофр ролика (обычно $2A = 1 - 10$ мм) определяется длина волны λ гофр по формуле

$$\lambda = 4A / \operatorname{tg} \gamma,$$

где λ и $2A$ – в мм; γ – в град.

Для профильных синусоидальных роликов с переменными параметрами λ и $2A$ следует задавать коэффициент кратности z . Например, в случае, когда оба параметра переменные, то гофры в виде синусоид с λ и $2A$ будут попеременно чередоваться с гофрами в виде синусоид, имеющих параметры $\lambda_1 \equiv \lambda/z$ и $2A_1 = 2A/z$. При этом угол γ следов обработки будет постоянным (рисунок 7.16 б). Возможен и такой вариант, когда переменным задается один из параметров, например λ . Тогда синусоиды с λ и $2A$ будут попеременно чередоваться с синусоидами, имеющими параметры $\lambda_1 = \lambda/z$ и $2A$. При этом угол γ будет иметь значение γ_1 и γ_2 (рисунок 7.16, в). В профильных косинусоидальных роликах длина прямых участков обычно равна длине косинусоид λ гофр.

Далее определяется диаметр ролика d_p , мм, по формулам:

– для синусоидального ролика с постоянным значением λ

$$d_p = \lambda m / \pi;$$

–для синусоидального ролика с переменным значением λ

$$dp = (\lambda + \lambda/z)m/\pi;$$

–для косинусоидального ролика

$$dp = 2\lambda m/\pi,$$

где λ – длина волны синусоиды (косинусоиды), мм; m – количество синусоид, косинусоид и прямых участков, укладываемое целое число раз на длине πd_p (значение m принимается по конструктивным соображениям для обеспечения рационального значения d_p).

Ширина ролика b_p (см. рисунок 7.14) в месте контакта с осью выбирается конструктивно. Диаметр d_o отверстия ролика под ось (цапфу) определяется из условия отсутствия контактных деформаций смятия в соответствии с принятым значением b_p по формуле

$$d_o = P/b_p [\sigma_{см}],$$

где P – сила поджима инструмента (обработки), Н; $[\sigma_{см}]$ – допускаемое напряжение смятия, МПа (обычно $[\sigma_{см}] = 15 - 25$ МПа).

Радиус r_p округления рабочего профиля ролика принимается равным 1 – 12 мм. Значение r_p зависит от твердости обрабатываемого материала и требований к шероховатости обработанной поверхности. Чем ниже твердость и выше требования к шероховатости по высотным параметрам, тем большее значение должен иметь радиус r_p .

Профильные ролики можно изготавливать различными способами, в том числе механической и слесарной обработкой, штамповкой, порошковой металлургией. Ниже изложена технология изготовления роликов механической и слесарной обработкой, наиболее приемлемой в мелкосерийном и единичном производствах. Этапы изготовления профильных роликов (рисунок 7.17): 1 – изготовление заготовки на токарном станке с отверстием под чистовую обработку после термообработки; 2 – разметка профильной ленточки на наружной поверхности; 3 – фрезерование радиальных гофр и формирование профильной ленточки опиливанием; 4 – радиусное округление ленточки опиливанием и термообработка заготовки (сталь У10, закалка и отпуск до твердости 63 – 65 HRC); 5 – зачистка поверхностей от окалины, шлифование отверстия и полирование рабочего профиля ролика (6, 7).

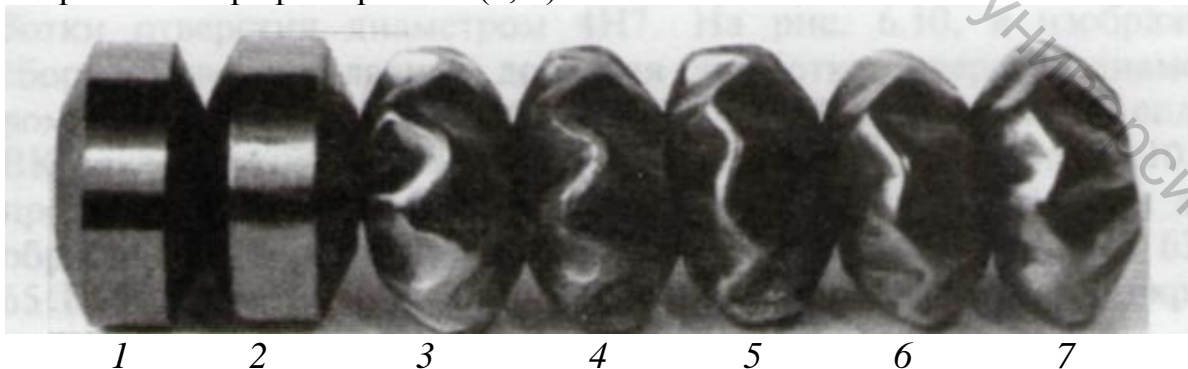


Рисунок 7.17 – Этапы изготовления профильных роликов механической и слесарной обработки

Применение профильных роликов вместо виброголовок оправдано технически и экономически. При накатывании профильными синусоидальными ро-

ликами шеек валов из стали 45 диаметром 50 мм шероховатость снижается при силе поджима $P = 500$ Н с исходной $Ra = 7,5$ мкм до 1,3 мкм, т. е. более чем в 5 раз.

Применение профильных роликов с переменным кинематико-динамическим воздействием значительно снижает необходимую силу поджима. Если для достижения шероховатости с $Ra = 1,3$ мкм при использовании обычного синусоидального ролика (с постоянным значением параметров волн синусоид) требуется сила $P = 550$ Н, то с применением косинусоидального ролика такого же диаметра и радиуса округления рабочего профиля необходима сила $P = 350$ Н, т. е. на 36 % меньше. При накатывании обычным синусоидальным роликом с силой поджима $P = 350$ Н шероховатость возрастает до $Ra = 2$ мкм. Эффект снижения потребной силы на 10 – 18 % наблюдается также при применении синусоидальных роликов с переменными параметрами гофр.

Для обработки ППД в условиях трения скольжения используются алмазные наконечники и дорны. Алмазные наконечники (рисунок 7.18 а) могут быть армированы искусственными или естественными алмазами. Переполіровка алмазных выглаживателей в случае их изнашивания может производиться на ограночных или универсально-заточных станках с помощью различных приспособлений для полирования сферических поверхностей.

Дорны могут быть однопоясковые и многопоясковые. В качестве материалов для них используются стали У12А, Х12Ф, ХВГ, 38ХМЮА, 9ХС, ШХ15 и твердые сплавы ВК6, ВК6М, Т15К6, а также другие материалы. Наибольшую ценность для обработки деталей из труднообрабатываемых материалов представляют твердосплавные и хромированные дорны. На рисунке 7.18 б показан монолитный дорн из твердого сплава ВК8 для обработки отверстия диаметром 4Н7. На рисунке 7.18 в изображен сборный твердосплавный дорн для обработки отверстий диаметром 9Н7 (направление – сталь ХВГ или ШХ15, втулка – сплав ВК8, хвостовик – сталь 45, пайка латуной). На рисунке 7.18 г представлен трехпоясковый стальной хромированный дорн для обработки отверстий диаметром 3Н7 (сталь ХВГ, твердость 63 – 65 HRC_э, хвостовик 46 HRC_э, толщина слоя хромового покрытия 10 мкм).

Твердосплавные монолитные дорны получают путем спекания порошковой массы в пресс-формах. Дальнейшая их обработка связана с чисто механическими операциями. При изготовлении сборных дорнов с механическим креплением колеи или с помощью пайки необходимо обеспечить плотное прилегание отверстия твердосплавного кольца к поверхности оправки дорна. Последняя шлифуется под размер внутреннего отверстия твердосплавного кольца для обеспечения посадки Н7/г6. Кольца с повышенной овальностью и конусностью по отверстию перед сборкой следует доводить для обеспечения указанной посадки, так как неплотное прилегание сопрягаемых поверхностей при работе дорнов может вызвать появление кольцевых трещин и разрушение твердосплавных колец.

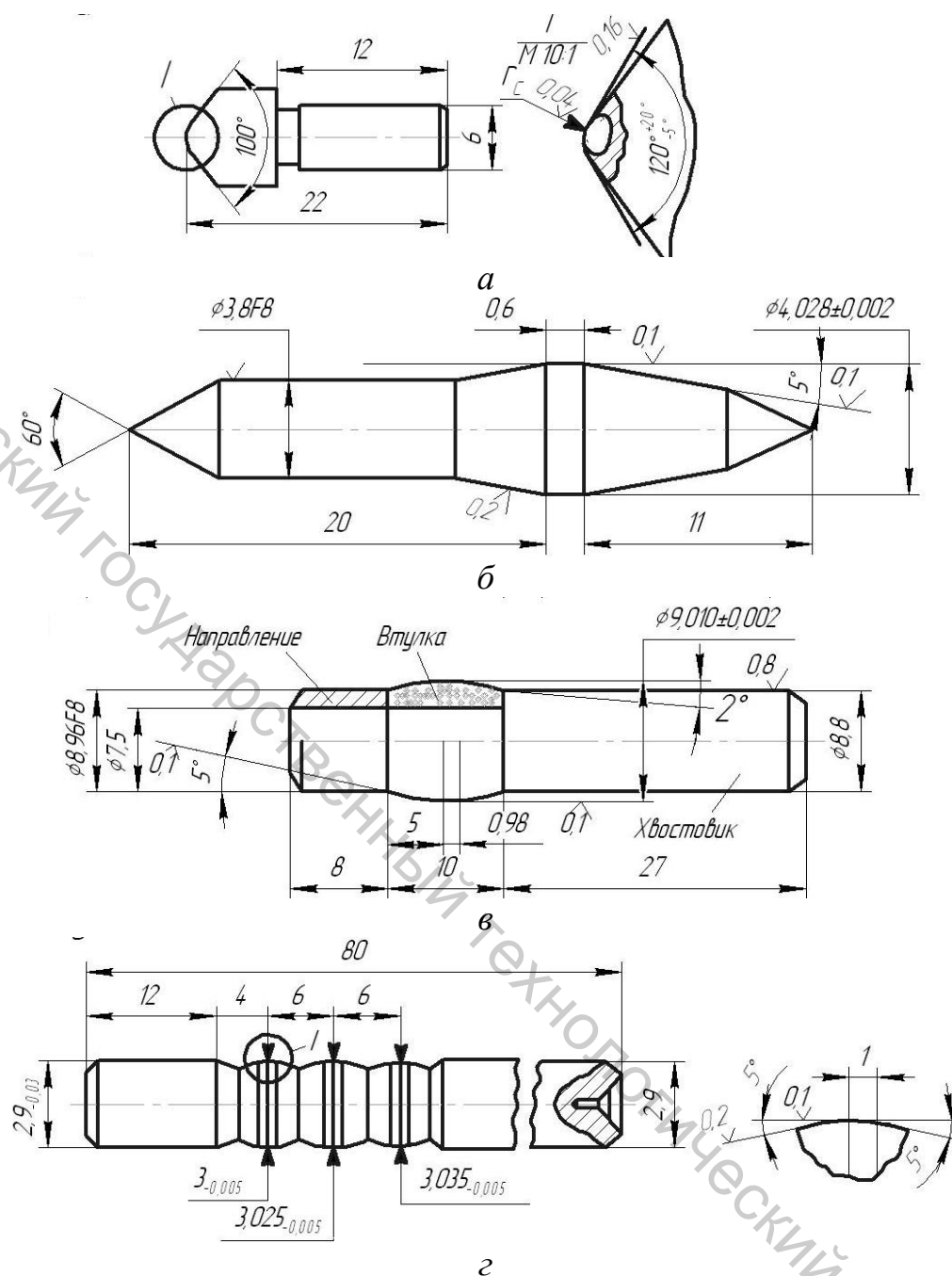


Рисунок 7.18 – Деформирующие инструменты, работающие в условиях трения скольжения: а – алмазный наконечник; б-г – дорны

Особенности изготовления хромированных дорнов заключаются в том, что заготовка из сталей У12А, ХВГ, ШХ15 обрабатывается с припуском 0,6 – 0,8 мм на диаметр для последующего шлифования. Затем производится закалка заготовки до твердости 63 – 65 HRCэ. Для прочного сцепления (адгезии) слоя хрома рабочий профиль дорна должен после шлифования (обязательно без прижогов) подвергаться полированию или алмазному выглаживанию с обеспечением шероховатости поверхности с $Ra = 0,1$ мкм. В этом случае слой покрытия получается равномерным, а сцепление хрома со сталью – наилучшим.

Время хромирования при заданной толщине слоя покрытия определяется по формуле

$$t_x = 1,5h_x / q,$$

где h_x – толщина слоя хромового покрытия, мм (обычно $h_x = 0,01$ мм); q – плотность тока, А/дм².

Твердость хромового покрытия должна быть 63 – 67 HRCэ. Для обеспечения необходимой прочности хромового покрытия толщина его не должна превышать 0,02 мм. Нагрев хромированных дорнов до 423 – 473К и выдержка их при этой температуре в течение 2 – 3 ч с последующим охлаждением на воздухе способствуют удалению поглощенного в процессе хромирования водорода, что повышает прочность слоя покрытия и адгезию его с металлом дорна.

Важными условиями при обработке отверстий заготовок прецизионных деталей из труднообрабатываемых материалов являются геометрическая точность дорнов и длительное сохранение размеров их рабочих поверхностей. В этом плане положительно выделяются твердосплавные и стальные хромированные дорны, размерная износостойкость которых соответственно в 7 и 3 раза выше износостойкости стальных дорнов без покрытия. Вместе с тем твердосплавные дорны требуют больших сил проталкивания через обрабатываемые отверстия, обладают пониженной прочностью из-за хрупкости твердого сплава. В контакте их рабочих поверхностей с материалом заготовки наиболее часто наблюдается схватывание, в процессе изготовления они более трудоемки и дороги. Поэтому в производстве прецизионных деталей из труднообрабатываемых материалов более широкое применение нашли стальные хромированные дорны. В целях улучшения их эксплуатационных свойств предложена дополнительная обработка – электролитическое сульфидирование. Установлено, что хромированные дорны с сульфидированием обладают износостойкостью, превышающей в 2 раза износостойкость хромированных дорнов без сульфидирования.

7.4 Приспособления, микрогеометрия поверхности и состояние металла при отделочно-упрочняющей обработке ППД

Система приспособлений для ППД, предназначенная для использования в гибком легкoperеналаживаемом на выпуск новой продукции производстве, позволяет применять одни и те же приспособления при изготовлении различных деталей из разных материалов и осуществлять обработку ППД на различных станках.

Универсальные приспособления обеспечивают наладку на обработку различных заготовок без замены деталей и сборочных единиц, универсально-наладочные – с их заменой. Комбинированные приспособления позволяют обеспечивать как накатывание, так и выглаживание поверхностей заготовок путем смены обрабатывающих инструментов. Комбинированные приспособления по форме обрабатываемых поверхностей могут использоваться, например, для обработки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей или наруж-

ных цилиндрических и фасонных поверхностей по копиру. В приспособлениях предусмотрены точные отсчетные устройства для обеспечения заданных сил прижима инструмента и настройки на прецизионную обработку.

Малогабаритные шаровая и алмазная головки (рисунок 7.19) могут использоваться для обработки как наружных, так и внутренних цилиндрических и сферических поверхностей. Шаровая головка работает следующим образом (рисунок 7.19 а). Шар 7 располагается во втулке-сепараторе 6 и в процессе работы обкатывается по поверхности шарикоподшипника 4, расположенного на оси 8. Вилка 9 направляющим хвостовиком входит в отверстие корпуса 1 и свободно перемещается в пределах перемещения штифта 3 по пазу корпуса. Необходимая сила прижима шара 7 обеспечивается тарированной пружиной 5. Регулирование значения силы в пределах $P = 10 - 100\text{Н}$ обеспечивается гайкой 2.

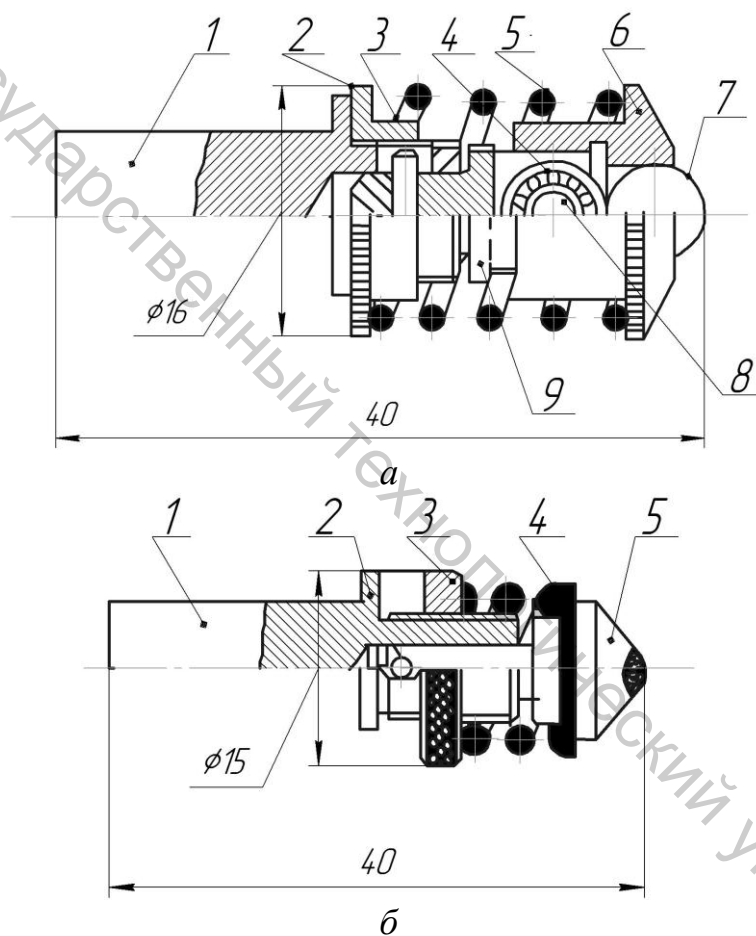


Рисунок 7.19 – Универсальные малогабаритные шаровая (а) и алмазная (б) головки

В качестве деформирующего элемента алмазной головки (рисунки 7.19 б) используется наконечник типа НК от твердомера Роквелла с кристаллом алмаза, переполированным под сферу с радиусами от 1,5 до 4 мм. Наконечник 5 свободно перемещается своим направляющим хвостовиком в отверстии корпуса 1 в пределах перемещения штифта 2 в пазу корпуса. Необходимая сила прижима выглаживателя обеспечивается тарированной пружиной 4 путем сжатия ее гайкой 3. Хвостовик головки крепится в резцедержателе или приспособлении для предварительной обработки. Головки могут использоваться как при

жестком, так и при упругом контакте деформирующего инструмента с обрабатываемой поверхностью.

Приспособление для вибронакатывания цилиндрических поверхностей (виброголовка с резцедержателем), встроенное в виброустановку ВУ-2, показано на рисунке 7.20. Оно работает следующим образом. Обрабатываемая заготовка устанавливается в патроне или центрах станка и получает вращательное движение от шпинделя виброустановки ВУ-2. Резец (накатная шаровая головка, алмазный выглаживатель) 10 крепится в резцедержателе 9, который вибрирует вдоль оси обрабатываемой заготовки на направляющих корпуса 6. Вибрация резцедержателя 9 с инструментом 10 обеспечивается через рычаг 4 жестко закрепленным на валу электродвигателя 1 ($N = 3$ кВт) кулачком 2 с эксцентриситетом e . Рычаг 4 колеблется вокруг оси хвостовика опоры 7, размещенной в отверстии ползуна 5. Вибрация от рычага 4 передается непосредственно на резцедержатель осью 8.

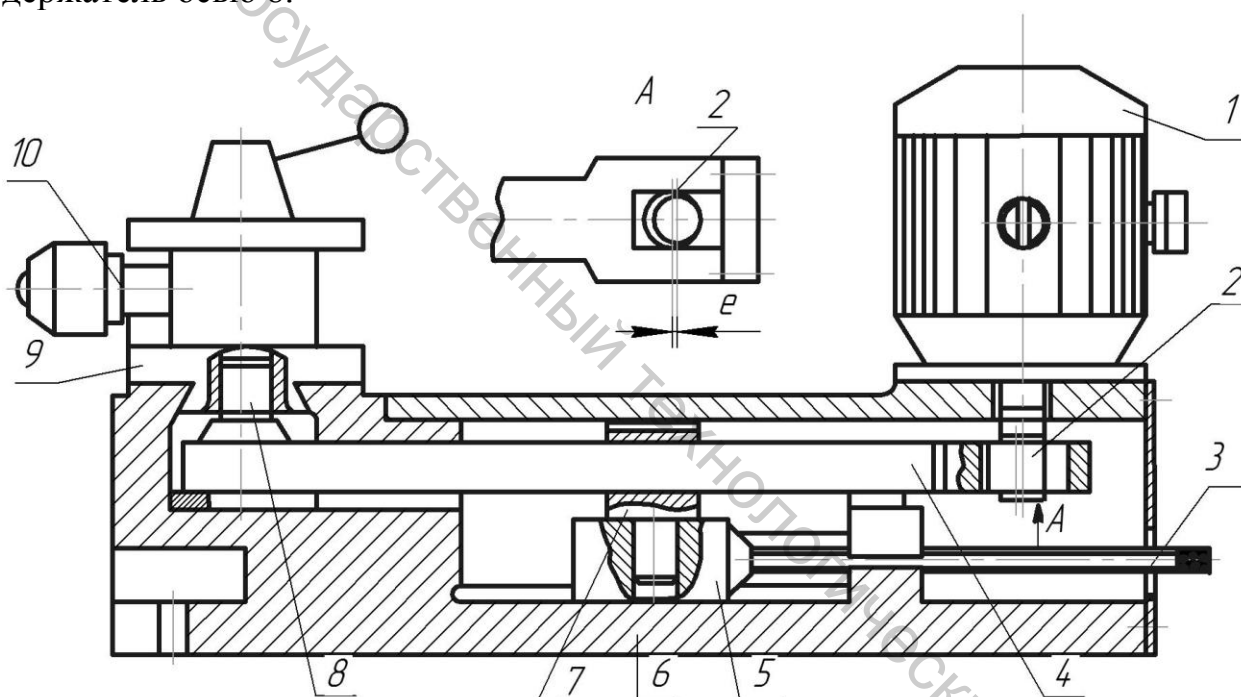


Рисунок 7.20 – Универсально-переналаживаемое приспособление для вибронакатывания шаром и алмазного вибровыглаживания с электромеханическим приводом

Частота вибрации f_v резцедержателя определяется частотой вращения электродвигателя 1 и может регулироваться. Амплитуда колебаний $2A$ инструмента зависит от величины эксцентриситета e сменного кулачка 2 и соотношения плеч рычага 4. Изменение плеч рычага 4 осуществляется смещением с помощью винта 3 ползуна 5 с опорой 7. При смещении опоры 7 вправо плечо «резцедержатель – опора» увеличивается, а плечо «опора – кулачок» уменьшается. При этом амплитуда вибрации инструмента возрастает. С обратным изменением плеч рычага амплитуда вибрации уменьшается.

Для вибронакатывания поверхностей профильными роликами используется приспособление, показанное на рисунке 7.21 а. В процессе обработки ролик 6 подводится к поверхности обрабатываемой заготовки до соприкосновения и

вращается на оси 8, размещенной в отверстиях вилки 9. Крышки 7 предотвращают выпадение оси из вилки и предохраняют соединение ролик – ось – вилка от загрязнения. Вилка 9, хвостовик которой располагается во втулках корпуса 1, соединяется посредством резьбы с пробкой 5. Необходимая сила поджима ролика к обрабатываемой поверхности обеспечивается тарированной пружиной 4 за счет ее предварительного сжатия подвижной пробкой 3, сидящей на резьбе винта 2. При вращении винта 2 риска на ползуне 11 совмещается с делением шкалы 10, соответствующим выбранной силе поджима P . Вилка 9 сменная, что облегчает переналадку приспособления на обработку заготовок различными роликами. Сменные вилки с синусоидальным и косинусоидальным профильными роликами показаны на рисунке 7.21 б, в. Процесс обработки представлен на рисунке 7.22.

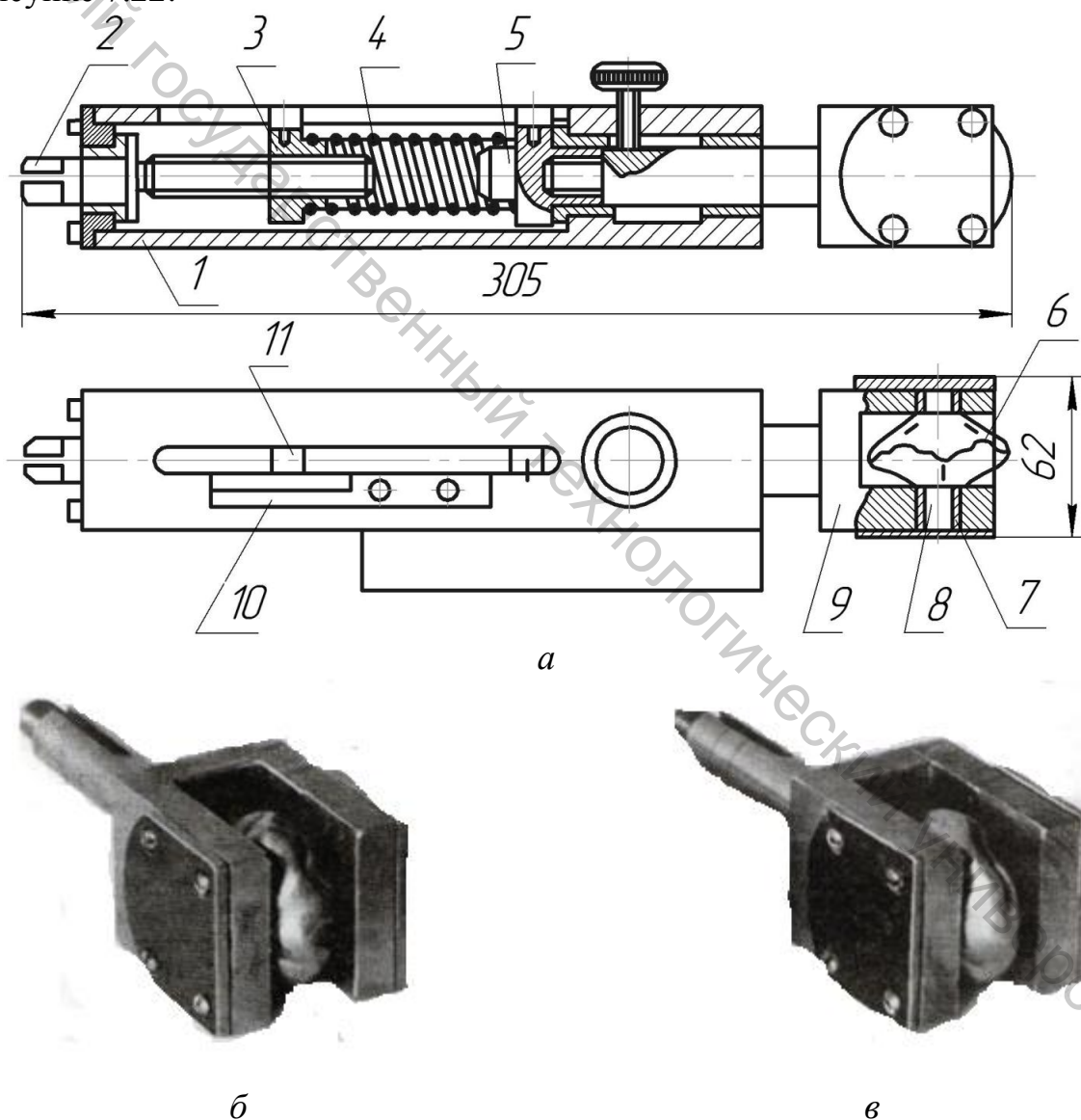
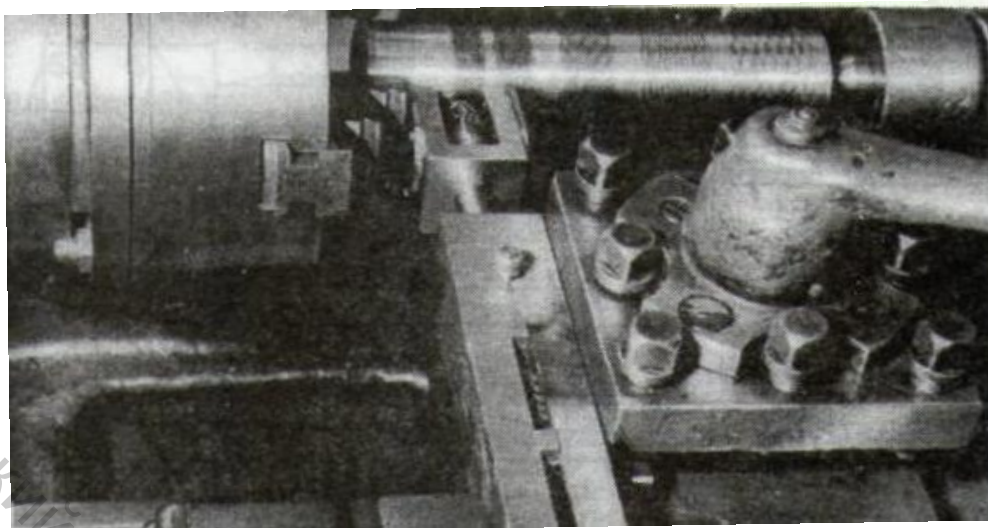
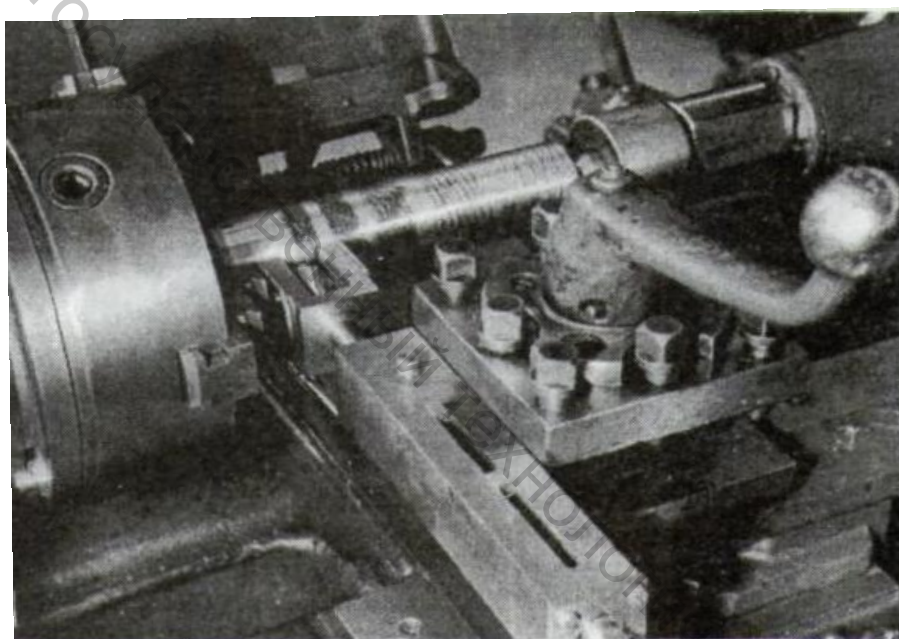


Рисунок 7.21 – Приспособления для вибронакатывания наружных цилиндрических и фасонных поверхностей профильными роликами (а) со сменными вилками (б, в)



а



б

Рисунок 7.22 – Вибронакатывание цилиндрической поверхности синусоидальным (а) и косинусоидальным (б) профильными роликами с помощью одного приспособления со сменными вилками

Для повышения производительности обработки ППД наружных цилиндрических поверхностей длинных нежестких заготовок деталей типа валов и осей используются многоинструментальные приспособления. На рисунке 7.23 показано трехроlikовое приспособление для накатывания на токарных станках длинных заготовок. Оно изображено в период установки заготовки на станок. При этом крышка с верхним роликом, шарнирно соединенная с корпусом приспособления, откидывается для удобства размещения в нем заготовки. Силы поджима роликов к обрабатываемой поверхности обеспечиваются тремя встроенными пневмоцилиндрами.

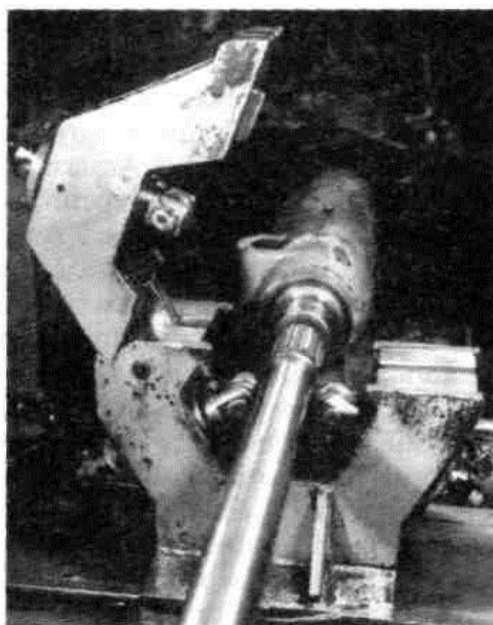


Рисунок 7.23 – Трехроликовое пневматическое приспособление в момент установки заготовки на станок

На рисунке 7.24 показано переналаживаемое приспособление для алмазного выглаживания и раскатывания шаром отверстий малого диаметра (от 12 мм и больше). Приспособление (рисунок 7.24 а) устанавливается в резцедержатель токарного станка с помощью державки 7, которая шарнирно соединена с оправкой 2 посредством оси 8. Сила поджима инструмента обеспечивается тарированной пружиной 6, регулируется винтом 5, контактирующим с оправкой 2 при помощи самоустанавливающейся шайбы 4, и контролируется по шкале 3. Алмазный наконечник 9 устанавливается в отверстие оправки 2 и крепится винтом 1.

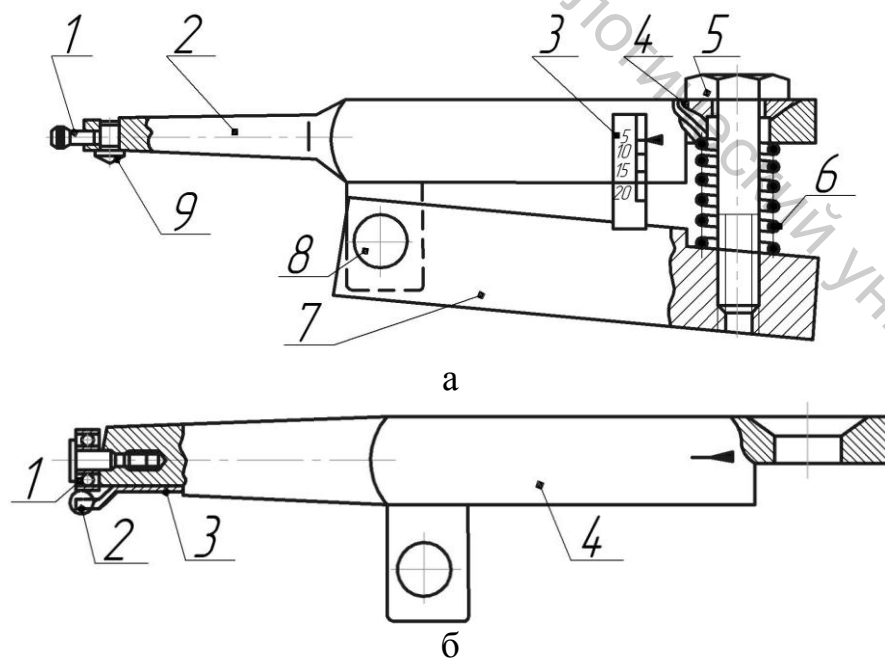


Рисунок 7.24 – Переналаживаемое приспособление для обработки отверстий малого диаметра алмазным наконечником (а) и шаром (б)

При раскатывании отверстий державка 7 (рисунок 7.24 а) заменяется на державку 4 (рисунок 7.24 б). Шар 2 удерживается в определенном положении планкой-сепаратором 3. В процессе раскатывания отверстий шар 2 обкатывается по поверхности наружной обоймы шарикоподшипника 1. Это приспособление может использоваться для обработки ступенчатых отверстий с плавно уменьшающимися по диаметру отверстиями. Величина необработанной шарообразной части отверстия по длине определяется диаметром шара $d_{ш}$ и равна $(d_{ш} / 2) + 0,2$ мм. Если по условиям эксплуатации деталь с необработанным пояском отверстия использовать нельзя, то в конце отверстия одного диаметра (перед торцом отверстия меньшего диаметра) необходимо сделать канавку глубиной до 0,1 мм.

Изображенное на рисунке 7.25 однороликовое приспособление предназначено для обработки профильными роликами плоских (линейчатых) поверхностей на строгальных станках. Оно устанавливается державкой 7 в резцедержателе станка и работает в двух направлениях. Необходимая сила обработки создается тарированной пружиной 4, сжатие которой на заданную величину обеспечивается вращением гайки 1 на винте 3. Винт удерживается от проворота рычагом-вилкой 5 с помощью лысок.

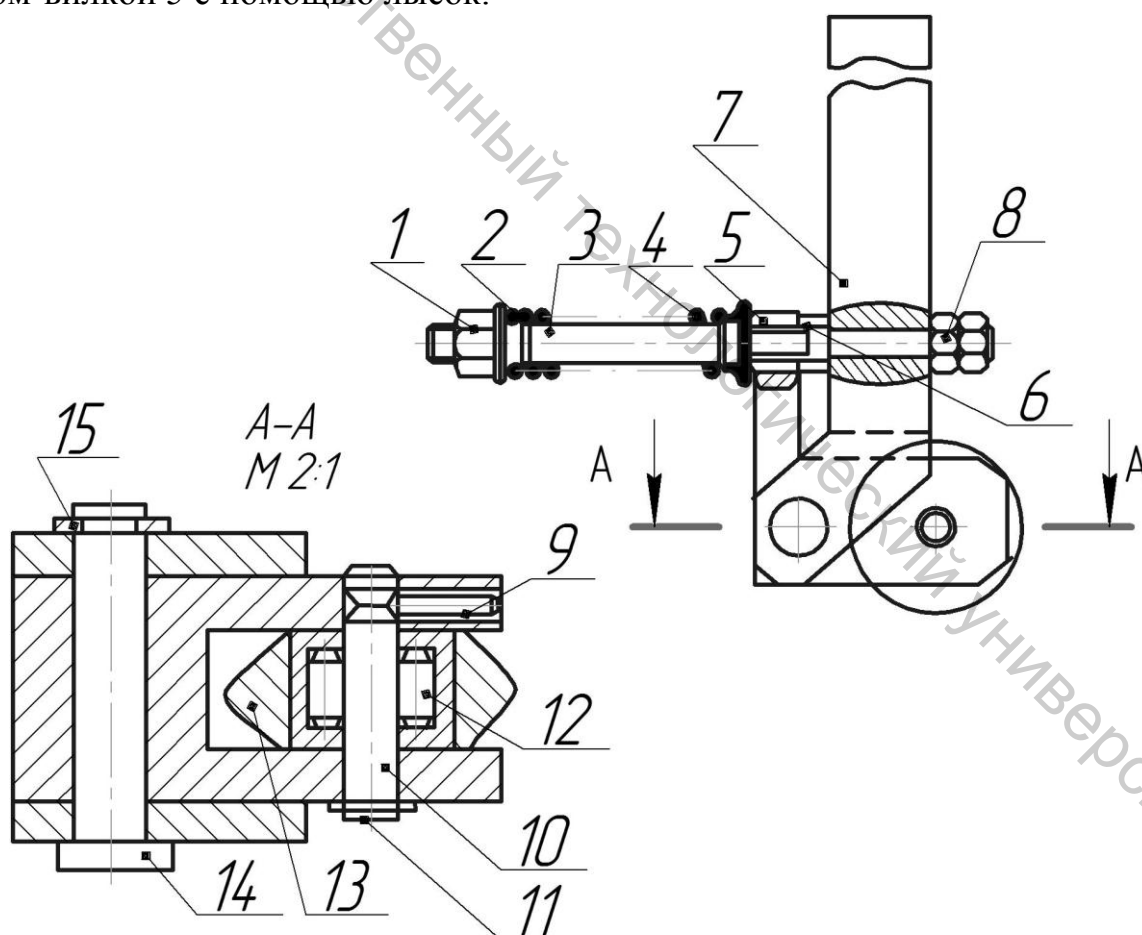


Рисунок 7.25 – Однороликовое приспособление для обработки плоских поверхностей на строгальных станках: 1, 8 – гайки; 2, 6 – шайбы; 3, 9 – винты; 4 – пружина; 5 – рычаг-вилка; 7 – державка; 10 – ось; 11, 15 – кольца; 12 – подшипник игольчатый; 13 – ролик; 14 – палец

Многоруликовое приспособление (рисунок 7.26) для вибронакатывания плоских поверхностей заготовок устанавливается на оправку шпинделя вертикально-фрезерных станков вместо торцевой фрезы. Необходимые силы поджима инструментов к заготовке обеспечиваются сменными пружинами 7. Основными требованиями при настройке на обработку являются точная установка приспособления на шпинделе станка и отсутствие торцевого биения корпуса 2 и выступающих профильных роликов 9.

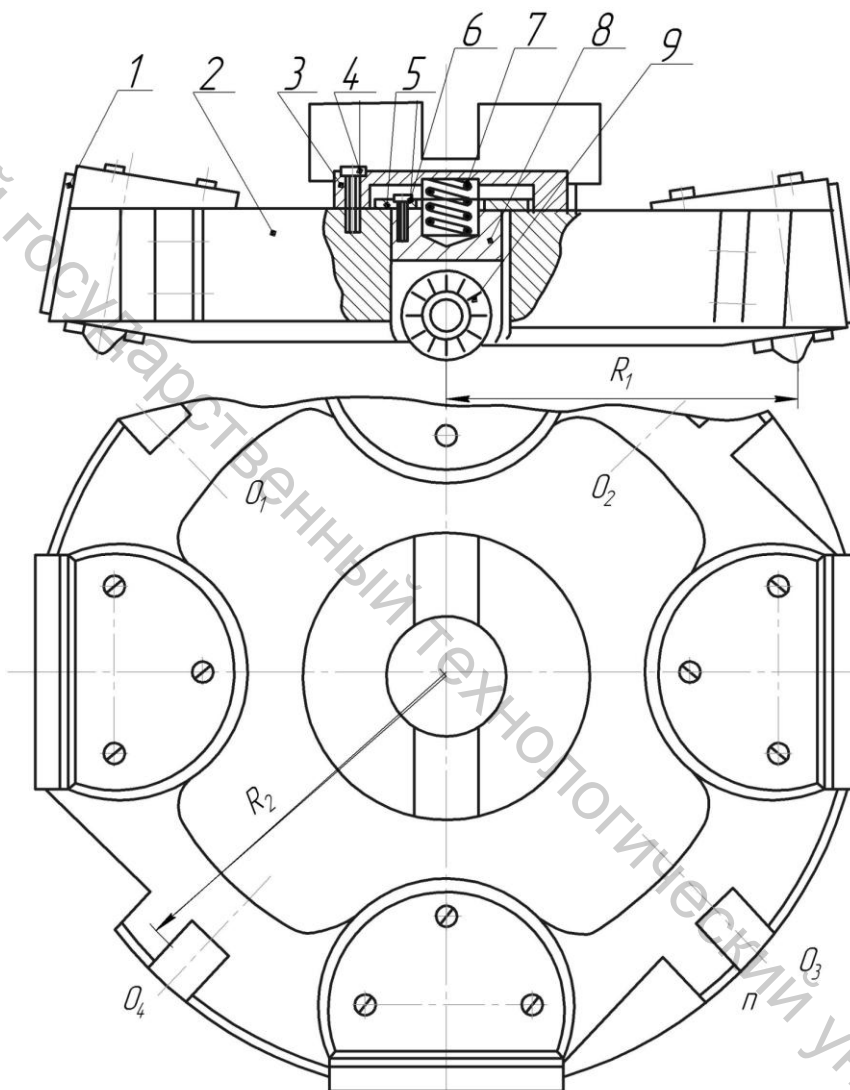


Рисунок 7.26 – Четырехроликовое приспособление для вибронакатывания плоских поверхностей на вертикально-фрезерных станках: 1,3 – крышки; 2 – корпус 4, 6 – винты; 5 – упор; 7 – пружина; 8 – державка; 9 – профильный ролик

Одной из разновидностей описанного приспособления является головка для совмещенной обработки резанием и ППД. В этих целях на корпусе головки предусмотрены пазы для установки резцов, расположенных по осям $O_1 - O_4$ (рисунок 7.26). Резцы размещаются на радиусе $R_2 > R_1$.

Вибровыглаживание наружной сферической поверхности алмазным наконечником можно осуществлять с помощью устройства, обеспечивающего соче-

тание двух вращательных движений (рисунок 7.27). Один, два или несколько сферических алмазных наконечников устанавливаются и закрепляются во вращающейся державке, при этом ось вращения державки не совмещена с осью инструмента и инструмент «обегают» сферическую поверхность. Заготовка устанавливается таким образом, чтобы ось сферической поверхности в направлении оси шпинделя станка располагалась под углом к оси вращения заготовки. При этом обеспечивается определенное значение отношения n/n_3 , (здесь n и n_3 – частоты вращения соответственно инструмента и заготовки). Чем больше величина указанного отношения, тем меньше размеры ячеек сетки наносимых следов инструмента. За каждый оборот инструмента заготовка поворачивается на некоторый угол и на сферическую поверхность наносится один виток спирального следа. За один оборот заготовки на всем обрабатываемом участке сферической поверхности создается сетка пересекающихся следов обработки. Изменением угла наклона осей вращения заготовки и инструмента относительно оси сферы в направлении шпинделя станка можно создать сетку следов на различных участках сферической поверхности.

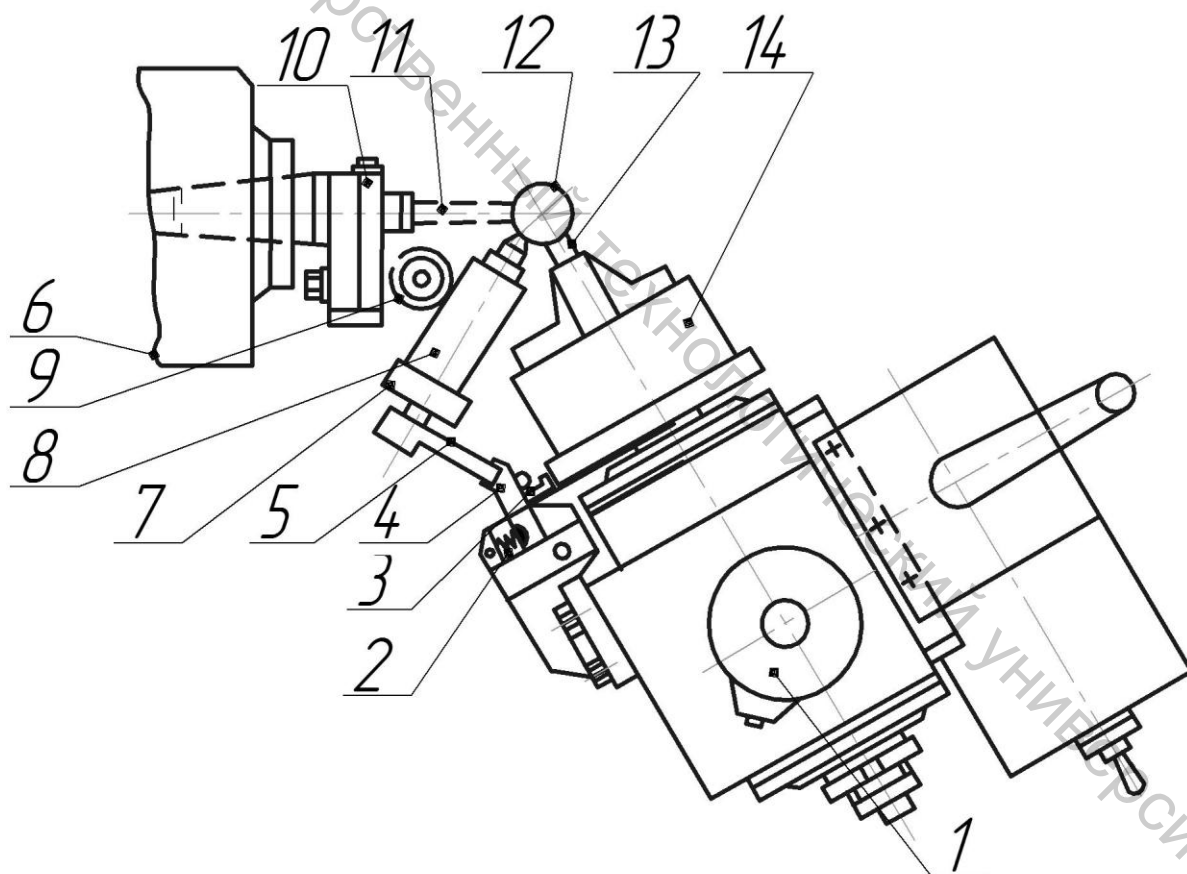


Рисунок 7.27 – Устройство для алмазного вибровыглаживания наружных сферических поверхностей

Алмазный наконечник 12 (рисунок 7.27) размещен в специальной державке 10, которая состоит из стойки 9, стакана 8, гайки 7, фляжка 5, штыря 11. В стакане 8 находятся элементы для создания необходимой силы поджима инструмента и автоматического отвода его после окончания обработки. Регулиро-

вание величины силы обеспечивается при помощи гайки 7. Автоматический отвод инструмента осуществляется при помощи флажка 5. Штырь 11 служит для правильной установки заготовки перед вибровыглаживанием. Державка устанавливается в шпинделе 6 токарного станка. Заготовка 13 закрепляется в патроне 14, размещенном на шпинделе устройства.

Вращение заготовке передается от электродвигателя 1 через редуктор, содержащий червячную пару и три пары цилиндрических шестерен. После полного оборота заготовки инструмент отводится взаимодействием флажка 5 с упором 4, соединенным с кронштейном 3 и пружины 2.

Устройство позволяет обрабатывать заготовки диаметром 10 – 200 мм, длиной 80 – 200 мм. Частота вращения заготовки 1 об/мин.

Обработка ППД внутренних сферических поверхностей может производиться малогабаритными головками (рисунок 7.19) на токарных станках с помощью устройства (рисунок 7.28) для растачивания сферической поверхности. Обработку следует производить за одну установку сразу же после растачивания. Заготовка 2 устанавливается в оправку 1, размещенную в шпинделе станка. Движение подачи обрабатывающей малогабаритной головке 17 сообщается при повороте вокруг оси стола 16, осуществляемом червячной передачей. Вращение червячной шестерне, жестко соединенной со столом 16, передается от ходового валика 12 станка с помощью ременной передачи, включающей в себя детали 9 – 11, 13 и 14, редуктор 8 и валик 7. Приспособление для раскатывания устанавливается на суппорте станка вместо резцедержателя. Для настройки устройства и осуществления ручной подачи головки 17 можно пользоваться (при снятом валике 7) маховиком 6, соединенным с валом червяка. Установку вылета головки 17 можно осуществлять с помощью винта и маховика 4. Контролируется вылет головки по шкале маховика, а поворот стола 16 – по шкале 5.

Для исключения завалов кромок поверхностей прецизионных деталей, какими являются опоры азимутальных шаровых гироскопов, приспособление описанного устройства следует настраивать по касанию инструмента головок 17 к поверхности и микрометрической шкале маховика 4 (рисунок 7.28). При помощи фольги или индикатора определяется касание сферы инструмента с обрабатываемой поверхностью. После этого головка 17 подается «к заготовке» на величину Z_0 , обеспечивающую «зависание» сферы и инструмента в пределах высоты микронеровностей исходной поверхности.

На состояние обработанной ППД поверхности в значительной степени оказывает влияние предшествующая обработка. Шероховатость исходной поверхности должна быть равномерной. Неравномерности по шагу и высоте приводят к неоднородности обработанной ППД поверхности и соответственно геометрических и физико-механических параметров поверхности и подповерхностного слоя материала. Более высокие требования к равномерности неровностей исходной поверхности должны предъявляться при обработке ППД менее пластичных материалов, например чугунов, магнитных сплавов ЮНДК-12 и др.

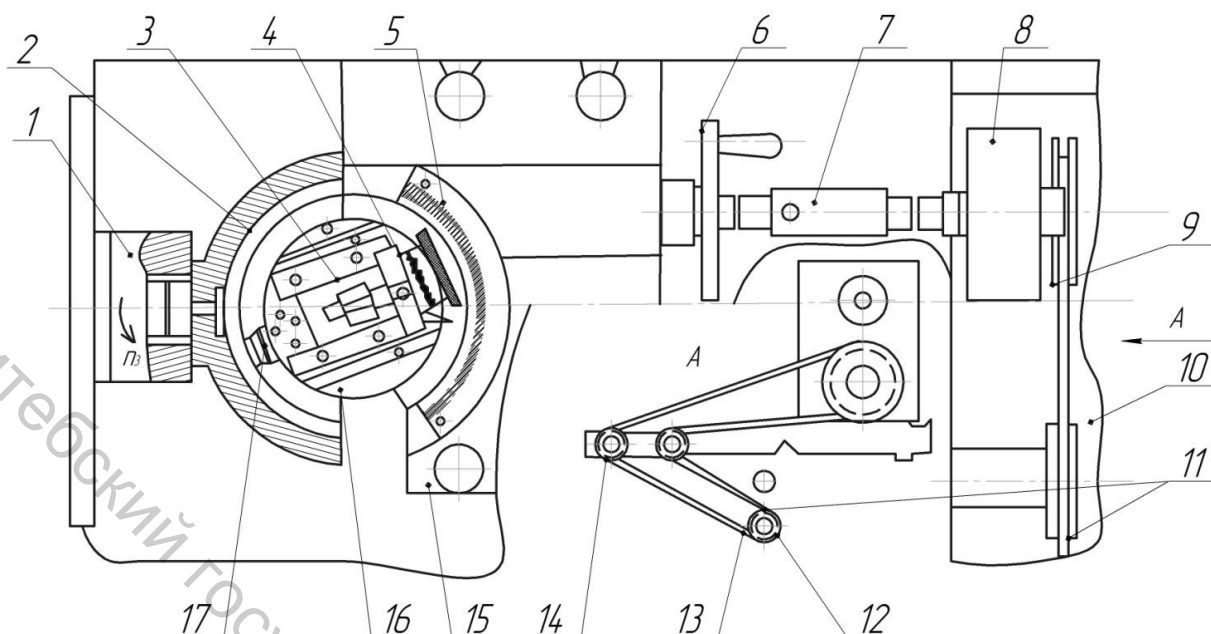


Рисунок 7.28 – Схема прецизионного устройства и обработка внутренней сферической поверхности аэродинамической опоры (подшипника) ротора:

- 1 – оправка; 2 – заготовка; 3 – инструментальная каретка; 4 – маховик перемещения инструмента; 5 – шкала; 6 – маховик настройки; 7 – регулируемый валик; 8 – редуктор; 9, 10, 13, 14 – шкивы; 11 – ремень; 12 – ходовой валик станка; 15 – основание; 16 – стол; 17 – обрабатывающая малогабаритная головка

Наиболее предпочтительной обработкой, предшествующей ППД, следует признать лезвийную обработку, которая обеспечивает по сравнению с абразивной более равномерные неровности шероховатости и практически исключает загрязнение поверхности инородными включениями. Абразивная обработка (шлифование, доводка пастами, хонингование) менее желательна, так как в этом случае возможны загрязнение поверхности и подповерхностного слоя материала остатками абразива (шаржирование) и другими продуктами обработки, а также значительная неравномерность неровностей по высоте и форме. Пластичность и малая твердость конструкционного материала, как и наличие в нем пор и мелких раковин, способствуют еще большему загрязнению поверхностей и подповерхностных слоев заготовок, обрабатываемых шлифованием, доводкой и полированием.

В зависимости от требований, которые предъявляются к деталям, назначаются геометрические параметры исходной поверхности. Следует иметь в виду, что при обработке ППД, как правило, шероховатость обрабатываемых поверхностей по высотным параметрам уменьшается в 2 – 15 раз. Поэтому исходные значения параметров Ra и Rz могут быть в 2 – 15 и даже более раз выше, чем требуется чертежом детали. Нижний предел уменьшения шероховатости соответствует менее пластичным металлам (когда пластическая деформация и перераспределение микрообъемов металла при ППД затруднены), а верхний предел – более пластичным металлам.

Обычно под обработку ППД с упругим контактом деформирующего инструмента с обрабатываемой заготовкой исходная поверхность должна обрабатываться с точностью, установленной чертежом. При жестком контакте деформирующего инструмента с поверхностью возможно исправление формы поверхностей в пределах высоты неровностей шероховатости. Исправление геометрической формы поверхностей наблюдается и при обработке ППД инструментом, установленным в пределах высоты неровностей обрабатываемой поверхности путем прецизионной настройки. Исключение составляют формообразующие отделочно-упрочняющие процессы, когда форма поверхностей создается деформирующим инструментом.

При обработке ППД изменяются размеры поверхностей. Это связано с изменением высоты неровностей после пластической деформации подповерхностного слоя материала.

Изменение диаметрального размера цилиндрических поверхностей в результате пластической деформации при обработке ППД («припуск» на обработку) можно определять по формуле

$$2z_{II} = K(Rz_{исх} - Rz) = 4K(Ra_{исх} - Ra),$$

где K – коэффициент, зависящий от свойств материала (таблица 7.3); $Rz_{исх}$, $Ra_{исх}$ – параметры шероховатости исходной поверхности, мкм; Rz , Ra – параметры шероховатости поверхности после обработки ППД, мкм.

Таблица 7.3 – Коэффициент в формуле «припуска» на обработку

Материал	k	Материал	k
Стали:		BT5	1,26
45	1,32	BT6	1,24
12XI810T	1,33	Медь и медные сплавы	
12XI3A	1,21	МП	1,27
40XI8H2M	1,28	Бр08С12	1,36
У10А	1,41	Бр0ЦС4- 4- 2,5	1,32
ШХ15	1,38	Бр0ЦС6- 6- 3	1,35
Чугуны :		ЛС59-1	1,23
СЧ18, СЧ20	1,36	Л62, Л63	1,25
Никелевый сплав		Железоникелевые сплавы	
ХН67ВМТ10	1,39	МП, 79НМ	1,29
Титановые сплавы:		Алюминиевые сплавы	
BT1-1	1,37	Д1, АЛ4	1,30
BT3-1	1,28		

С целью исключения завалов кромок, западания инструмента в канавки, пазы, отверстия при обработке прерывистых поверхностей и исключения поломки, например, алмазных наконечников, необходимо использовать приспособления, в которых движение инструмента I (наконечника, шара, ролика) в направлении к обрабатываемой поверхности заготовки 2 ограничено упором 3 (рисунок 7.29). Когда шток 5 находится в крайнем переднем положении, пружина 4

жина 4 сжата и обеспечивает силу P поджима инструмента. Прецизионная настройка на обработку осуществляется путем подачи приспособления в направлении обрабатываемой поверхности после касания с ней деформирующего элемента на величину Z_0 . Момент касания инструмента с обрабатываемой поверхностью заготовки определяется по рискам на подвижных и неподвижных элементах приспособления с помощью индикатора или по фольге, которая зажимается между заготовкой и инструментом. Значение Z_0 , определяется по формуле

$$Z_0 = 0,75 R_{z_{исх}} + \Delta + t_{\phi} + P / j = 3Ra_{исх} + \Delta + t_{\phi} + P / j,$$

где Δ – биение, отклонение формы обрабатываемой поверхности, мкм; t_{ϕ} – толщина фольги для определения момента касания инструмента с поверхностью, мкм; P – сила поджима инструмента, Н; j – жесткость приспособления, обычно $j = 80 - 200$ Н/мкм.

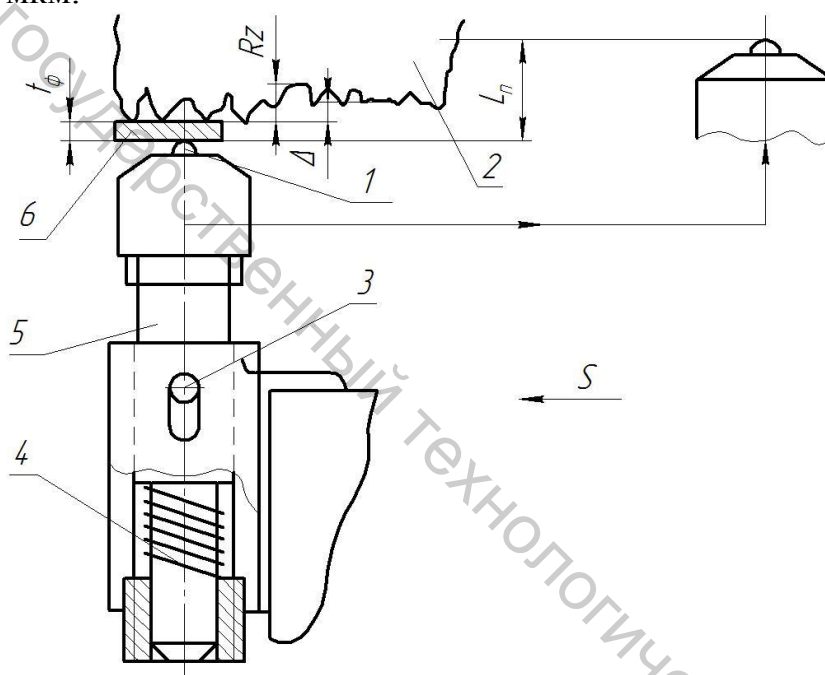


Рисунок 7.29 – Прецизионная настройка инструмента

Динамику изменения параметров шероховатости стальной обточенной цилиндрической поверхности (рисунок 7.30 а, случай 1) при обкатывании ее шаром с $d_{ш} - 9,5$ мм и различными силами P поджима можно проследить по рисунку 7.30 а. На этом рисунке случаи 2, 3, 4, 5, 6, 7 соответствуют силе P , равной 100, 200, 300, 400, 500 и 600 Н. Из рисунка 7.30 б следует, что необходимый уровень сближения с целью обеспечения $t_p = 75$ % для приведенных случаев различен. Чем меньше p , тем быстрее и с меньшим износом приработается поверхность.

Наиболее полно контактирование реальных поверхностей характеризует относительная опорная площадь F_{on} , которая вычисляется по формуле

$$F_{on} = (A_r / A_n) \cdot 100 \%,$$

где A_r – фактическая площадь контакта; A_n – номинальная площадь контактирующей поверхности.

Для определения F_{on} используется метод построения кривой фактической площади контакта A_r по двум профилограммам. Сущность метода заключается в том, что с поверхности снимаются профилограммы продольной и поперечной шероховатости. По профилограммам строятся кривые зависимости опорной длины профиля t_p от высоты (уровня сечения) p ее расположения относительно линии выступов (ГОСТ 2789 – 73). Абсциссы кривых, соответствующие одному и тому же уровню сближения (уровню сечения профиля p по ГОСТ 2789 – 73), перемножают и строят кривую A_n . Из сказанного следует, что значение F_{on} на определенном уровне сближения p можно найти по формуле

$$F_{on} = (n_{p\text{ поп}} n_{p\text{ пр}} / l^2) \cdot 100 \%,$$

где $n_{p\text{ поп}}$ – опорная длина профиля поперечной шероховатости на уровне p в пределах базовой длины l ; $n_{p\text{ пр}}$ – опорная длина профиля продольной шероховатости на том же уровне p в пределах той же базовой длины; l – базовая длина.

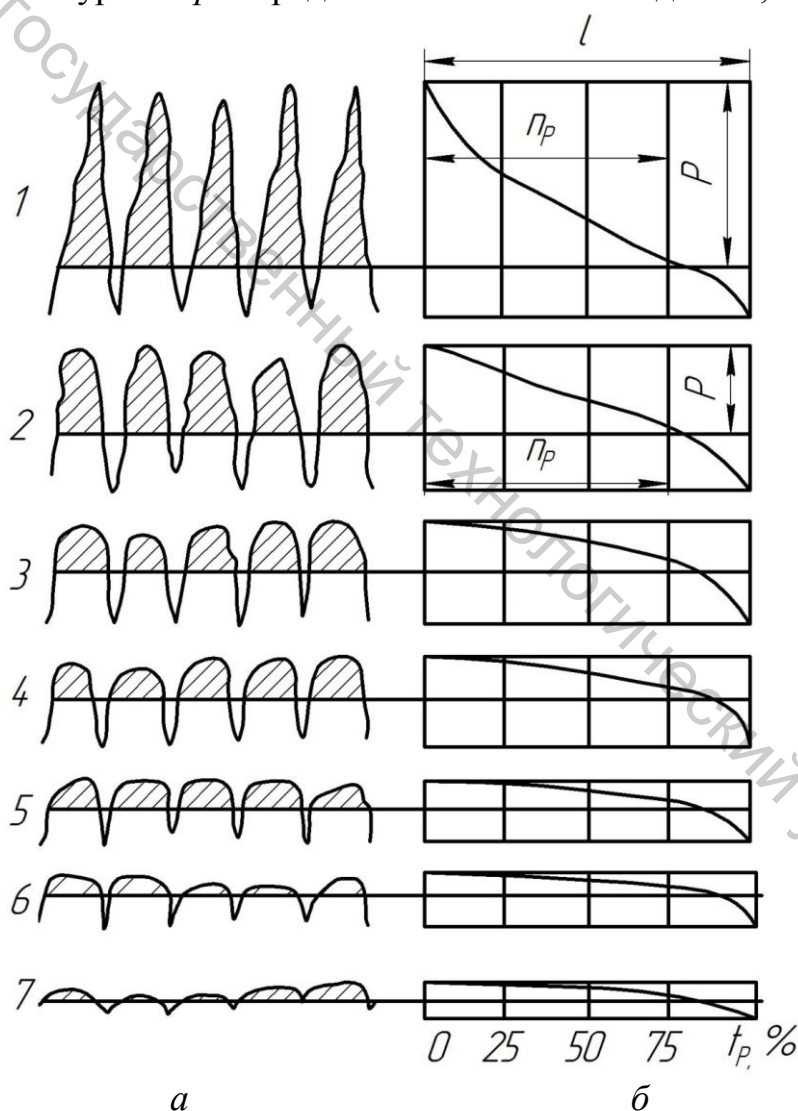


Рисунок 7.30 – Динамика изменения микрогеометрии обточенной цилиндрической поверхности стали 38ХНВА при обкатывании шаром:
а – профилограммы поперечной шероховатости (увеличение вертикальное $\times 2000$, горизонтальное $\times 80$); б – кривые относительной опорной длины профиля

Поверхности с частично регулярными микрорельефами (ЧРМР) в соответствии с ГОСТ 24773 – 81 могут быть пяти видов (см. рисунок 7.1). Вибронакатыванием обеспечиваются виды 3 – 5. При этом на обрабатываемую поверхность наносятся регулярные неровности вогнутой формы – канавки, являющиеся следом деформирующего инструмента. Поверхности с ЧРМР характеризуются относительной площадью F_H , занимаемой регулярными неровностями (канавками):

$$F_H = (A_K / A_H) \cdot 100 \%,$$

где A_K – площадь поверхности, занятая канавками.

В результате исследований и математической обработки их результатов выведены зависимости для аналитического расчета поверхностей с ЧРМР.

Отделочно-упрочняющая обработка ППД приводит к изменению состояния подповерхностного слоя материала и, в частности, его микроструктуры, твердости, остаточных напряжений, микротвердости, степени упрочнения и толщины упрочненного слоя. Для примера на рисунке 7.31 показана зависимость поверхностной твердости HV от силы P поджима инструмента и размера $d_{ш}$ инструмента при накатывании шаром сплавов ХН67ВМТЮ и ВТЗ-1, стали 12Х18Н10Т и других материалов.

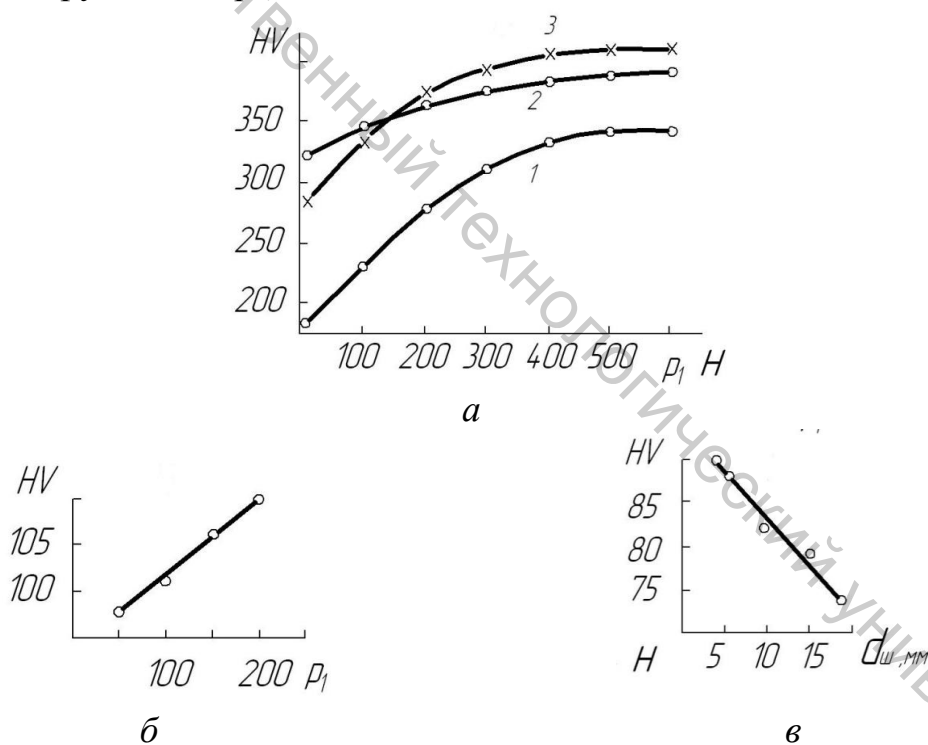


Рисунок 7.31 – Влияние силы поджима и размера инструмента на поверхностную твердость при накатывании: а, в – шаром; б – роликом

Из рисунок 7.31 а следует, что HV с возрастанием P увеличивается: для стали 12Х18Н10Т – от исходного значения 181 до 342 (кривая 1); для титанового сплава ВТЗ-1 – от 319 до 390 (кривая 2) и для никелевого сплава ХН67ВМТЮ – от 282 до 412 (кривая 3).

При обработке ППД заготовок из бронзы БрО8С12 поверхностная твердость HV материала повышается от 78 до 95 при обкатывании шаром с $d_{ш} = 7,1$

мм; до 96,5 при обкатывании шаром с $d_{ш} = 4,75$ мм; до 99,2 при алмазном выглаживании наконечником с радиусом сферы $r_c = 3,25$ мм.

Зависимости HV от силы P при обкатывании роликом наружной цилиндрической поверхности заготовки из силумина АЛ4 (исходная твердость 68 HV) и размера инструмента при обкатывании роликом и шаром показаны на рисунке 7.31 б и в. Из рисунка 7.31 б видно, что с увеличением P от 50 до 200 Н при обкатывании цилиндрической поверхности диаметром $D_3 = 90,5$ мм роликом ($d_p = 45$ мм, $r_p = 4$ мм) твердость повышается до 110 HV . Из рисунка 7.31 в следует, что при обкатывании ($P = 50$ Н) с увеличением $d_{ш}$ от 4 до 19 мм величина снижается с 90 до 74. Такое явление связано с уменьшением давления в контакте при увеличении $d_{ш}$.

7.5 Комбинированные процессы и расчет параметров режима отделочно-упрочняющей обработки ППД

Комбинированная обработка обычно состоит из двух или нескольких последовательно или одновременно осуществляемых процессов. В производстве наиболее часто используются комбинации двух способов ППД, ППД с последующей химико-термической или химической обработкой.

Эффективность применения комбинированной обработки ППД можно оценить на примере плунжеров топливных насосов из закаленных сталей ХВГ и У10А (твердость 62 – 65 HRCэ). Испытание плунжеров на износостойкость проводилось в паре с гильзами из закаленной стали 45. При испытании плунжеры были разбиты по обработке рабочих поверхностей диаметром 12 мм на 4 группы. Плунжеры 1-й группы были обработаны доводкой; 2-й – выглаживанием алмазным наконечником ($z_c = 1,5$ мм, $P = 200$ Н, $n_z = 2000$ мин⁻¹, $S = 0,02$ мм/об); 3-й – вибровыглаживанием алмазным наконечником ($r_c = 1,5$ мм, $P = 550 - 700$ Н, $n_z = 120 - 170$ об/мин, $S = 2$ мм/об, $f_n = 47$ Гц, $2A = 1,6 - 1,8$ мм); 4-й – вибровыглаживанием в режиме создания ЧРМР с $F_H = 64 - 73$ % (глубина канавок $h = 1,5 - 3$ мкм) с последующим выглаживанием алмазным наконечником. Комбинированная обработка осуществлялась с параметрами режима, указанными для групп 2 и 3.

Комбинированная обработка плунжеров обеспечивает шероховатость рабочих поверхностей с $Ra = 0,025 - 0,1$ мкм ($Ra_{исх} = 0,2 - 0,4$ мкм) и исключает доводку пастами. При ППД уменьшение диаметра плунжеров не превышает 0,3 мкм, точность их геометрической формы сохраняется, поверхностная твердость HRCэ возрастает на 1 – 2 единицы, а HV – от 762 до 803. За критерии изнашивания принят массовый и размерный износ плунжеров. В результате испытания установлено, что износ плунжеров 1-й группы составляет 1,38 мг по массе и 1,2 мкм по размеру; 2-й – соответственно 1,0 мг и 0,8 мкм; 3-й – 0,88 мг и 0,7 мкм и 4-й группы – 0,8 мг и 0,6 мкм. Износостойкость плунжеров с комбинированной обработкой ППД (4-я группа) возрастает по сравнению с 1-й группой в 1,73 раза по массе и в 2 раза по размеру; со 2-й группой соответственно в 1,28 и 1,33

раза; с 3-й – в 1,1 и 1,16 раза. Производительность комбинированной обработки ППД на 25 – 45% выше, чем при обработке доводкой.

Рассмотренное повышение износостойкости плунжеров можно объяснить действием следующих факторов: 1) некоторым упрочнением подповерхностного слоя материала; 2) образованием на рабочих поверхностях системы канавок, являющихся масляными «карманами» и «ловушками» для абразивных продуктов изнашивания; 3) повышенной несущей способностью рабочих поверхностей за счет образования микрогеометрии с неровностями, имеющими радиус скругления 2 мм и более.

Известно, что наиболее перспективными для упрочнения термически неупрочняемых титановых сплавов процессами химико-термической обработки для промышленного применения являются оксидирование (особенно вакуумное), азотирование и диффузионное насыщение подповерхностного слоя титановых сплавов ферромарганцем, осуществляемые после обработки ППД.

Для повышения производительности обработки заготовок все большее распространение получает совмещенная обработка, позволяющая соединить в один процесс резание и последующее ППД: точение, накатывание или алмазное выглаживание, виброточение и вибронакатывание с помощью виброустановки ВУ-2, а также опережающее ППД, совмещенное с резанием, и другие способы комбинированной обработки. Для совмещенной обработки предусмотрены приспособления, изображенные на рисунке 7.32. Большие возможности для расширения подобной обработки ППД накатыванием (алмазным выглаживанием) и вибронакатыванием открывает применение профильных роликов, позволяющих накатывать поверхности без виброголовок. Для совмещенного фрезерования и вибронакатывания плоских поверхностей может служить, например, приспособление, изображенное на рисунке 7.26.

Применение совмещенной комбинированной обработки является хорошим технологическим резервом в решении задач улучшения эксплуатационных свойств деталей и соединений и повышения производительности обработки заготовок из различных материалов.

К параметрам режима накатывания шарами и гладкими роликами относятся сила P прижима инструмента к заготовке, подача S , частота вращения n_3 . При вибронакатывании и вибровыглаживании шарами и алмазными наконечниками добавляется еще частота f_e и амплитуда $2A$ вибрации инструмента.

Параметры режима обработки ППД зависят от способа обработки и материала, а также от вида поверхности, используемого инструмента и его характеристик.

Скорость накатывания не оказывает существенного влияния на качество обработки, поэтому она выбирается в зависимости от значения D_3 , и ряда частот вращения шпинделя станка в пределах от 30 до 150 м/мин. При алмазном выглаживании диапазон рекомендуемых скоростей зависит от твердости заготовки. Для цветных сплавов и мягких сталей ($< 330 HB$) $V = 10 - 60$ м/мин, а для сталей средней и высокой твердости (35 – 64 HRCэ) $V = 200 - 280$ м/мин.

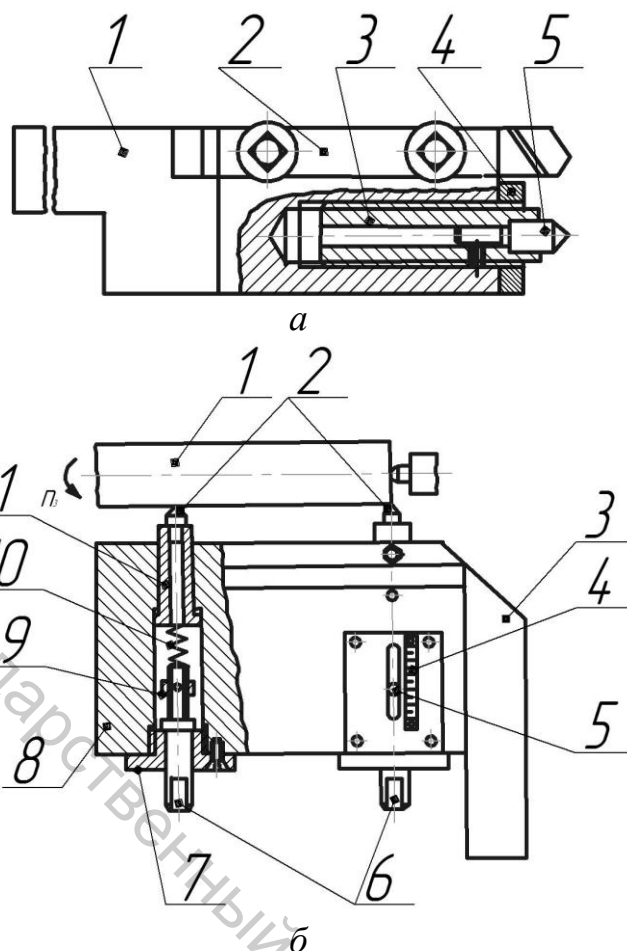


Рисунок 7.32 – Приспособления для совмещенной обработки:
а – обтачивание и алмазное выравнивание с жестким поджимом
 наконечника к поверхности заготовки (1 – корпус, 2 – резец, 3 – дер-
 жатель,
 4 – гайка, 5 – алмазный наконечник); *б* – алмазное выравнивание
 одновременно двумя наконечниками с упругим поджимом инстру-
 мента
 (1 – заготовка, 2 – наконечники, 3 – планка, 4 – шкала, 5 – стрелка,
 6 – винты, 7 – втулка, 8 – корпус, 9 – упор, 10 – пружина,
 11 – держатель наконечника)

Сила P при накатывании, алмазном выравнивании, вибронакатывании и вибровыглаживании в режиме создания ПРМР инструментом сферической формы может определяться по формуле

$$P = K_p (D_3 d_{ш} / (D^3 + d_{ш}))^2, \quad (7.1)$$

где K_p – коэффициент силы, равный 2,8 – 6,5 (таблица 7.4); $d_{ш}$ – диаметр шара (сферы) алмазного наконечника.

При накатывании и вибронакатывании роликами в режиме создания ПРМР сила P определяется по формуле

$$P = K_p (D_3 r_p / (D_3 + 2r_p)) 2 \sqrt{d_p / r_p}, \quad (7.2)$$

где k_s – коэффициент силы, равный 8 – 12,3 для роликов с постоянными параметрами и 5,7 – 10,3 для роликов с переменными параметрами (таблица 7.4).

Таблица 7.4 – Значения коэффициента K_p

Инструмент	Способ обработки ППД	Материал заготовки			
		Сталь незакаленная	Титановые сплавы	Никелевые сплавы	Цветные сплавы
Шар, сферический наконечник	Обкатывание и выглаживание	3,4 – 3,8	3,2 – 4,5	4,5 – 5,01	2,2 – 3,2
	Вибро ППД;				
	Наружное	2,8 – 3,0	3,0 – 4,2	3,8 – 4,2	2,0 – 2,4
	Внутреннее	3,0 – 3,2	3,3 – 4,4	4,0 – 4,3	2,2 – 2,8
Ролик гладкий	Накатывание	8,3 – 8,6	11,8 – 12,1	11,0 – 11,4	5,2 – 6,1
Синусоидальный ролик с постоянными параметрами	Вибрационное: накатывание раскатывание	7,9 – 8,3	8,5 – 11,8	11,4 – 11,6	5,5 – 7,4
		8,2 – 9,8	9,3 – 12,4	11,6 – 12,1	6,2 – 7,6
Синусоидальный ролик с переменными параметрами	Вибрационное накатывание	6,7 – 7,1	7,2 – 10,4	9,5 – 9,7	4,1 – 5,2
		7,1 – 7,6	7,9 – 10,6	10,1 – 10,3	4,6 – 5,6
Косинусоидальные ролики	Вибрационное накатывание	5,6 – 5,8	5,9 – 8,3	7,8 – 6,0	3,6 – 4,2
		5,8 – 6,5	6,6 – 8,7	8,3 – 8,5	3,7 – 4,4

При вибронакатывании с обеспечением ЧРМР сила P выражается для обработки инструментом сферической формы следующим образом:

$$P = (h d_{\text{ш}}^{0,809} D_3^{0,329} / 12,357 K_{\text{но}}^{0,723})^{1,389};$$

для обработки профильными роликами

$$P = (h r_p^{0,8} D_3^{0,3} / 14,706 K_{\text{но}}^{0,81})^{1,4} \sqrt{d_p / r_p},$$

где h – глубина канавки, задается из условий эксплуатации детали от 0,002 до 0,015 и более, мм; $k_{\text{но}}$ – коэффициент обрабатываемости материала относительно сплава ВТ1-1, принимается по таблице 7.5.

При накатывании (выглаживании) и вибронакатывании (вибровыглаживании) в режиме создания ПРМР подача s , мм/об, может определяться из выражений:

для обработки инструментом сферической формы

$$S = 0,8 \sqrt{d_{\text{ш}} R_z} = 1,8 \sqrt{d_{\text{ш}} R_a};$$

для обработки роликами

$$S = 2,83 \sqrt{r_p R_z} = 6,33 \sqrt{r_p R_a},$$

где $d_{ш}$ – диаметр шара и сферы алмазного наконечника, мм; r_p – радиус округления ролика, мм.

Таблица 7.5 – Коэффициенты обрабатываемости резанием и ППД некоторых труднообрабатываемых резанием материалов

Материал	Термообработка	Предел прочности σ_B , МПа	Коэффициент обрабатываемости		
			по скорости резания K_v по сравнению со сталью 45	по твердости при обкатывании шаром K_{H0} по сравнению со	
				сталью 45	сплавом ВТ1-1
Сталь: 45	Отжиг	550-610	1,00	1,00	1,04
12Х18Н10Т	Аустенизация	550-600	0,50	1,10	1,15
Сплав: ВТ1-1	Отжиг	550-700	0,45-0,60	0,96	1,00
ВТ3-1	»	950-1200	0,19-0,28	0,74	0,77
ВТ5	»	800-950	0,25-0,45	0,80	0,83
ВТ6	»	900-1100	0,20-0,32	0,75	0,78
ВТ16	Закалка и старение	1115-1500	0,18-0,24	0,72	0,76
ХН67ВМТЮ	Аустенизация и старение	1000-1100	0,08-0,10	0,79	0,82

При вибронакатывании и вибровыглаживании (ЧРМР) инструментом сферической формы S может определяться по формуле

$$S = (2r_k / 0,03F_n) (2 + \sqrt{1 + (2Ai/D_3)^2})$$

или назначаться из следующих условий:

для ЧРМР вида 3 $S > 2(\rho_k + A \sin \pi i_0)$;

для ЧРМР вида 4 $S > 2 A \sin \pi i_0$;

для ЧРМР вида 5 $S > 2\rho_k (A - \sin \pi i_0)$;

где $\rho_k = b_n/2$ (здесь b_n – ширина канавки, равная $1,2\sqrt{d_{ш}h}$ для шара и $1,24\sqrt{r_p h}$ для ролика); $i = f_s / n_{дв.х.}$; i_0 – дробный остаток i .

При вибронакатывании профильными роликами в режиме создания ЧРМР подачу следует принимать из соотношений: для ЧРМР вида 3 $S \geq b_n$, когда отношение D_n / d_p является целым числом, и $S \geq 2A + b_n$, когда отношение D_n / d_p не является целым числом; для ЧРМР вида 4 $2A - b_n < S < 2A + b_n$.

Для экспресс определения значений подачи, если целью обработки является уменьшение шероховатости и создание полностью регулярных микрорельефов, то при обработке роликом со скругленным радиусом r_p профилем значение s можно выбрать по таблице 7.6. При обкатывании роликом с цилиндрическим пояском на поверхность наносится след шириной b_n (здесь b_n – ширина по-

яска), подача принимается $s = 0,3v_n K_1 K_2 K_3$ - коэффициенты, учитывающие условия обработки, принимаются по таблице 7.7.

Таблица 7.6 – Значения подачи

Радиус r_p скруг- ления ролика, мм	Требуемый параметр шероховатости, мкм						
	1,25			0,63		0,32	
	Исходный параметр шероховатости Ra, мкм						
	10*	5	2,5	5	2,5	2,5	1,25
5	0,07	0,15	0,30	0,07	0,15	0,07	0,15
10	0,15	0,29	0,56	0,15	0,29	0,15	0,21
20	0,29	0,58	0,80	0,29	0,42	0,29	0,30
32	0,47	0,94	1,00	0,47	0,54	0,39	0,39
40	0,58	1,12	1,12	0,58	0,60	0,43	0,43
50	0,74	1,24	1,24	0,66	0,66	0,48	0,48
63	0,92	1,40	1,40	0,72	0,72	0,54	0,54
80	1,17	1,60	1,60	0,84	0,84	0,60	0,60
100	1,45	1,80	1,80	0,96	0,96	0,66	0,66
125	1,80	2,00	2,00	1,05	1,05	0,75	0,75
160	2,25	2,25	2,25	1,23	1,23	0,85	0,85
200	2,55	2,55	2,55	1,35	1,35	0,95	0,95

* - обработка производится за 2 – 3 прохода.

* - обработка производится за 2 – 3 прохода.

Таблица 7.7 – Коэффициенты условий обработки

Твердость заготовки HV	K_1	Ra		K_2	Число проходов	K_3
		требуемый	исходный			
До 160	1,2	1,25	10 5	0,25	1	0,5
160 – 300	1,0	0,63	5 2,5	0,35 0,85	2	1
300 – 375	0,4	0,32	5 2,5 1,25	0,14 0,24 0,40	3	1,4

При дорновании дорны диаметром d_n с цилиндрической ленточкой шириной b_d проталкиваются с силой P_m и абсолютным натягом i_a через отверстие, диаметром D_3 заготовки наружным диаметром D_n . В этом случае возникает упругая h_y и пластическая Z_0 деформация материала, а после обработки обеспечивается отверстие для снятия детали диаметром D .

Углы заборного и обратного конусов дорнов (рисунок 7.10 б) следует принимать $\theta_1 = 4 - 6^\circ$; $\theta_2 = 2 - 6^\circ$.

Диаметр d_n рабочего пояска дорна определяется по формуле

$$d = D_{\min} + i_a,$$

где D_{\min} – наименьшее значение диаметра отверстия детали по чертежу, мм;

a – абсолютный натяг, мм.

$$i_a = \lambda_0 D_3,$$

где λ_0 – относительный натяг;

D_3 – диаметр отверстия заготовки перед дорнованием, мм.

Значение λ_0 зависит от отношения диаметров наружного D_n и отверстия заготовки D_3 и выбирается по таблице 7.8.

Натяг можно определить и другим путем. Так, при дорновании заготовок из легированных сталей

$$i_{a \max} = T + 4K_{ж} z_m Ra, \quad i_{a \min} = 4K_{ж} z_m Ra,$$

где T – допуск на диаметр отверстия детали, мм;

Ra – параметр шероховатости поверхности перед дорнованием, мм;

$K_{ж}$ – коэффициент, учитывающий жесткость заготовки;

z_T – коэффициент, учитывающий твердость обрабатываемого материала.

Таблица 7.8 – Значение λ_0

Способ обработки отверстий перед дорнованием	Ra поверхности отверстия перед дорнованием, мм	Оптимальный относительный натяг при		
		$D_n / D_3 < 1,4$	$D_n / D_3 < 1,4 - 2,0$	$D_n / D_3 > 2,0$
Протягивание	0,6 – 2,5	0,0043 – 0,0050	0,0032 – 0,0038	0,0028 – 0,0032
Развертывание	1,2 – 2,2	0,0050 – 0,0065	0,0040 – 0,0055	0,0032 – 0,0040
Шлифование	0,6 – 2,4	0,0050 – 0,0065	0,0040 – 0,0055	0,0032 – 0,0042
Растачивание	1,0 – 1,8	0,0063 – 0,0084	0,0055 – 0,0070	0,0054 – 0,0060
Вибросверление	0,5 – 2,4	0,0065 – 0,0086	0,0058 – 0,0073	0,0056 – 0,0075

Значения коэффициента $K_{ж}$ в зависимости от отношения D_M / D_3 принимаются

D_M / D_3	3,3	2 – 3,3	2
$K_{ж}$	3,5	5	6

Значения коэффициента z_m в зависимости от твердости HV можно принимать:

HV	278. – 384	166 – 272	131 – 168	131
z_m	1,2	1,0	0,85	0,7

Допуск на изготовление дорна по диаметру может приниматься равным $\pm 1/8$ допуска на дорнуемое отверстие. Ширина цилиндрической ленточки дорна $b_d = 1/3 d_n + 0,3$ мм. Диаметр отверстия под дорнование $D_3 = (d_n - i_a) - 0,007$ мм.

Допуск на диаметр отверстия перед дорнованием должен быть в пределах 10 квалитета точности для отверстий по 7 квалитету и в пределах 8 квалитета для отверстий по 5...6 квалитетам точности. Скорость дорнования, как правило, составляет 10 – 60 м/мин.

Давление p , МПа, создаваемое между поверхностью заготовки и дорном, можно определить из решения задачи Лямэ для толстостенных оболочек:

$$p = \frac{10i_a}{D_3 \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)},$$

где i_a – абсолютный натяг, мм; D_3 – диаметр заготовки, мм;

$$C_1 = I - \mu_1; C_2 = (D_n^2 + D_3^2)/(D_n^2 - D_3^2) + \mu_2;$$

D_n – наружный диаметр заготовки, мм;

μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона материалов соответственно дорна и заготовки, для сталей $\mu = 0,3$.

Сила P_m проталкивания дорна через отверстие определяется из выражения

$$P_m = f \cdot p \cdot \pi \cdot D_3 \cdot l_{акт},$$

где f – коэффициент трения скольжения, для пары сталь по стали $f = 0,15$;

$l_{акт}$ – активная длина контакта дорна, для однозубого дорна $l_{акт} = b_l$ (здесь b_l – ширина цилиндрической ленточки), для многозубого дорна $l_{акт} = b_l n_a$. Здесь n_a – максимальное число зубьев одновременно находящихся в процессе дорнования в отверстии.

Управление микрогеометрией рабочих поверхностей прецизионных деталей из различных материалов можно осуществлять двумя путями. Первый заключается в регулировании уровня «зависания» поверхности деформирующего инструмента в пределах высоты неровностей обрабатываемой заготовки. Вторым позволяет управлять микрогеометрией, изменением силы поджима инструмента к поверхности. Первый путь осуществим при обработке поверхностей с большой исходной шероховатостью и требует приспособлений с весьма высокой точностью перемещения деформирующего инструмента «к заготовке» и от нее при настройке на обработку. Этот вариант можно использовать для исправления геометрической формы поверхностей, но он меньше применяется для управления шероховатостью прецизионных деталей из-за малой ее высоты и сложности настройки на обработку.

Поэтому для прецизионных деталей более приемлемым является второй путь, заключающийся в переменном силовом воздействии деформирующего инструмента на поверхность. Для получения поверхностей с отсутствием ПН необходимо осуществлять ППД в режиме создания ПРМР при значении p , полученном по формулам (6.1) и (6.2). Изменение значений N_n и h_n может осуществляться обработкой ППД поверхностей при уменьшенных значениях p , рассчитанных по указанным выше формулам.

7.6 Формообразующая обработка ППД фасонных поверхностей

Формообразование фасонных поверхностей накатыванием заготовок в холодном состоянии отличается по сравнению с обработкой резанием высокой производительностью, пониженной стоимостью и повышенным качеством де-

талей. Их высокая механическая и усталостная прочность объясняются тем, что при формообразовании накатыванием волокна заготовок не перерезаются, что, например, имеет место при формообразовании резанием, а как бы повторяют профиль вновь созданной поверхности детали. Профиль накатываемых заготовок образуется вдавливанием выступов инструмента в материал и выдавливанием части материала во впадины инструмента. При этом подповерхностный слой накатанных деталей оказывается упрочненным, а поверхность не нуждается в дополнительной отделке. Формообразующая обработка ППД может выполнять функции черновой, чистовой и отделочной обработок и используется для получения резьб, мелких шлицев на валах и зубчатых венцов мелко модульных колес.

Накатывание резьб обычно производится до термической обработки заготовок. Распространенным способом является образование резьбы плашками (рисунок 7.33 а). Заготовка 2 размещается между неподвижной 1 и подвижной 3 плашками, на рабочих поверхностях которых нарезаны рифления. Профиль и расположение рифлений соответствуют профилю и шагу накатываемой резьбы. При перемещении Ds_{np} подвижной плашки заготовка катится между инструментами, а на ее поверхности образуется резьба. Резьбу можно сформировать роликами (рисунок 7.33 б). Ролики 1, 2 получают принудительное движение D_p , заготовка 2 свободно обкатывается (n_3) между ними. Ролику 3 придается радиальное (поперечное) движение Ds_n для вдавливания в материал заготовки на необходимую глубину. При этом достигается формообразование резьбы при меньших силах, чем при формообразовании плашками. Поэтому с помощью роликов накатываются резьбы с большим шагом, чем с помощью плашек.

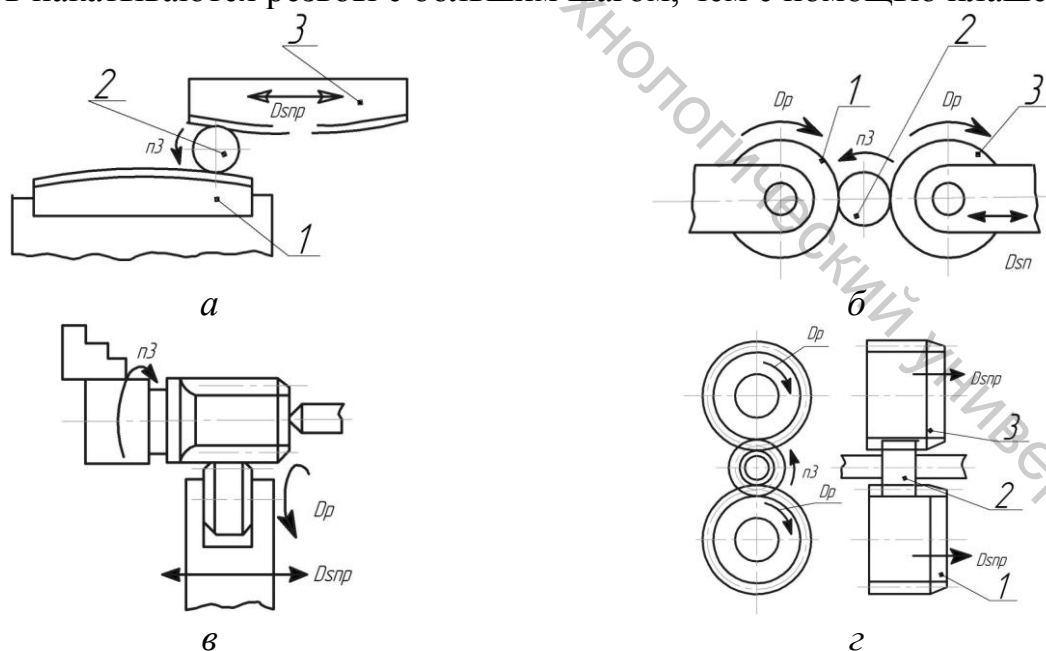


Рисунок 7.33 – Схемы формообразующего накатывания

Накатывать мелкие шлицы на валах (рисунок 7.33 в) можно с помощью накатного ролика, имеющего профиль шлицев. Ролик внедряется в поверхность вращающейся (n_3) заготовки при вращении (D_p) и при поступательном движении (Ds_{np}) вдоль вала.

Накатывание цилиндрических (рисунок 7.33 г) и конических мелко-модульных колес в 15 – 20 раз производительнее зубонарезания. Процесс можно производить на станках накатниками 1 и 3, которые закреплены на суппорте и перемещаются с продольным движением подачи Ds_{np} . Каждый накатник имеет заборную (конусную) часть для постепенного образования накатываемых зубьев на заготовке 2. Для накатывания применяется автоматизированное оборудование.

Универсальный резьбонакатной полуавтомат мод. 5933 (рисунок 7.34 а) предназначен для наружного накатывания метрических и дюймовых резьб двумя накатными роликами. На станине полуавтомата размещена ножевая опора 1 для установки и обеспечения поддержки заготовок, относительно которой на станине 6 слева установлена неподвижная бабка 2, а справа – подвижная бабка 3. В зону обработки по трубопроводу 4 подается СОЖ. На неподвижной бабке установлен кулачок поперечной подачи, который взаимодействует с роликом упора бабки 5. На неподвижной бабке 2 за шкивом ременной передачи установлены сменные колеса.

Диаметр накатываемой резьбы – 6 – 30 мм; наибольшая длина резьбы – 40 мм; наибольший шаг резьбы – 2,5 мм; направление резьбы – правое и левое.

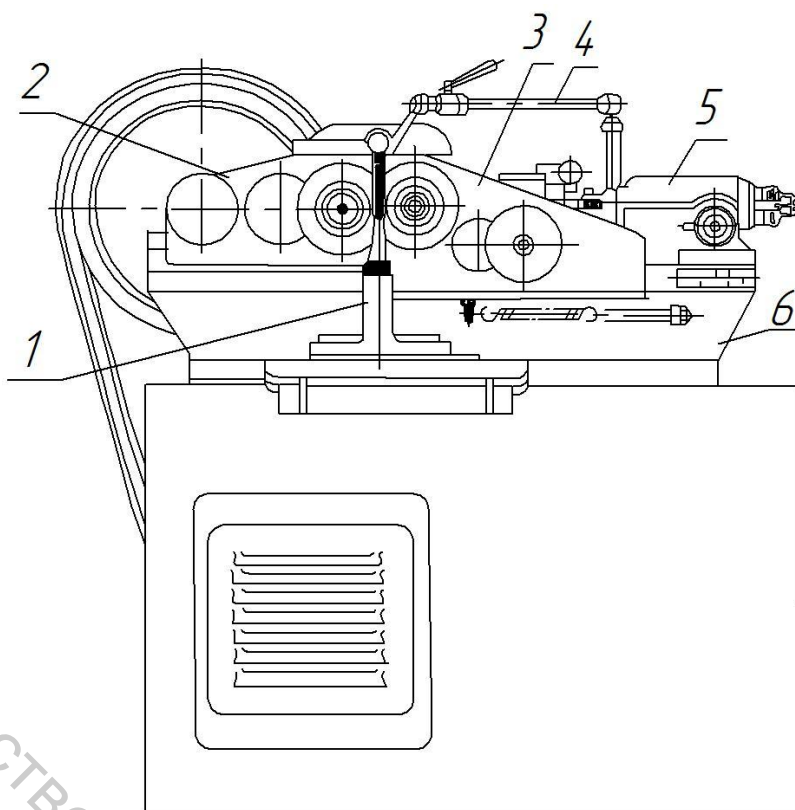
Вращение накатному ролику (рисунок 7.34 б) сообщается от электродвигателя M через клиноременную передачу 100/375, сменные зубчатые колеса a/b , зубчатую передачу 18/55, муфту M_1 . Уравнение кинематического баланса имеет вид:

$$1420 \cdot \frac{100}{375} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{18}{35} = n_p.$$

Набором сменных колес a, b можно регулировать частоту вращения накатного ролика в пределах 39 – 265 мин⁻¹. От шпинделя 1 накатного ролика через зубчатые колеса $z = 28$ вращение с такой же частотой передается на шпиндель 2. Поперечное перемещение подвижной бабки обеспечивается кулачком 3, которому сообщается вращение от шпинделя 2 через сменные зубчатые колеса a_1/b_1 , зубчатую муфту M_2 и червячную передачу. Частота вращения кулачка устанавливается сменными колесами a_1, b_1 в зависимости от времени накатывания резьбы.

Перед работой вершины выступов резьб роликов смещают относительно друг друга на половину шага накатываемой резьбы. Для этого размыкается зубчатая муфта M_2 с $z = 100$ и разворачивается полумуфта на необходимое число зубьев. Поворот одной полумуфты относительно другой на один зуб обеспечивает смещение вершины резьб на 0,01 шага накатываемой резьбы. Накатывание наружных резьб можно осуществлять посредством накатных головок на металлорежущих станках.

а



б

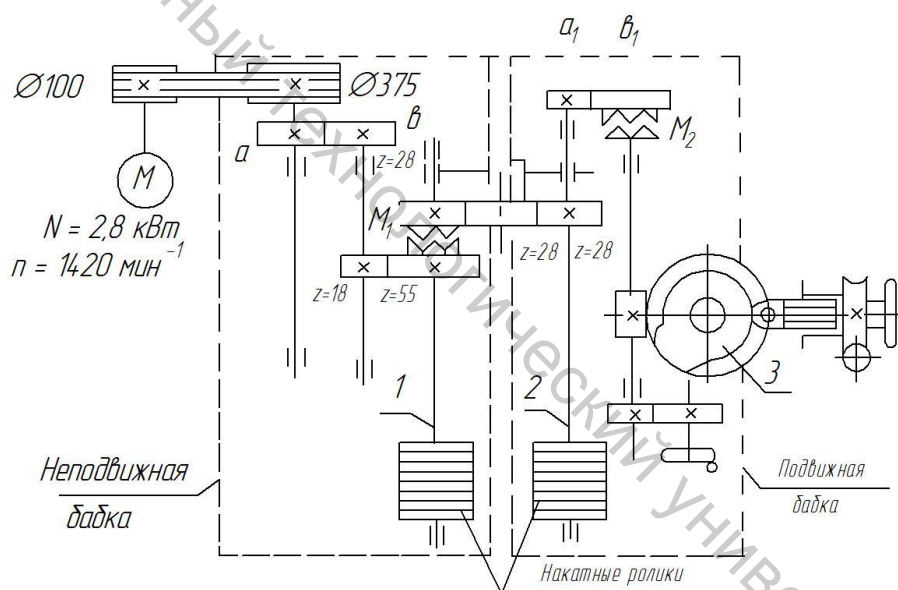


Рисунок 7.34 – Резьбонакатной полуавтомат мод. 5933 (а) и его кинематическая схема (б)

Для накатывания наружных резьб используются накатные ролики (рисунок 7.35 а) из сталей Х12М, Х68Ф, Х12Ф для обработки материалов твердостью 201 – 400 НВ. Размеры роликов колеблются в следующих пределах: $D_H = 75 - 207$ мм, $B = 25 - 125$, $d_0 = 45 - 100$ мм.

Накатывание (раскатывание) внутренних резьб диаметром 1 – 36 мм осуществляется бесстружечными метчиками (метчиками-раскатниками), а больше-

го диаметра – раскатными головками. Метчики-раскатники показаны на рисунке 7.35 б – д. Размеры метчиков-раскатников следующие: $d = 1 - 16$ мм, шаг $t = 0,25 - 2$, $L = 36 - 100$, $l = 6 - 24$ мм, длина заборного конуса для сквозных отверстий $l_1 = 1,5 - 12$ мм, $d_1 = 2,24 - 12,5$ мм; для метчиков с $d = 3 - 7,5$ мм, $d_3 = 2,12 - 7,5$ мм, $l_3 = 4,5 - 15,6$ мм.

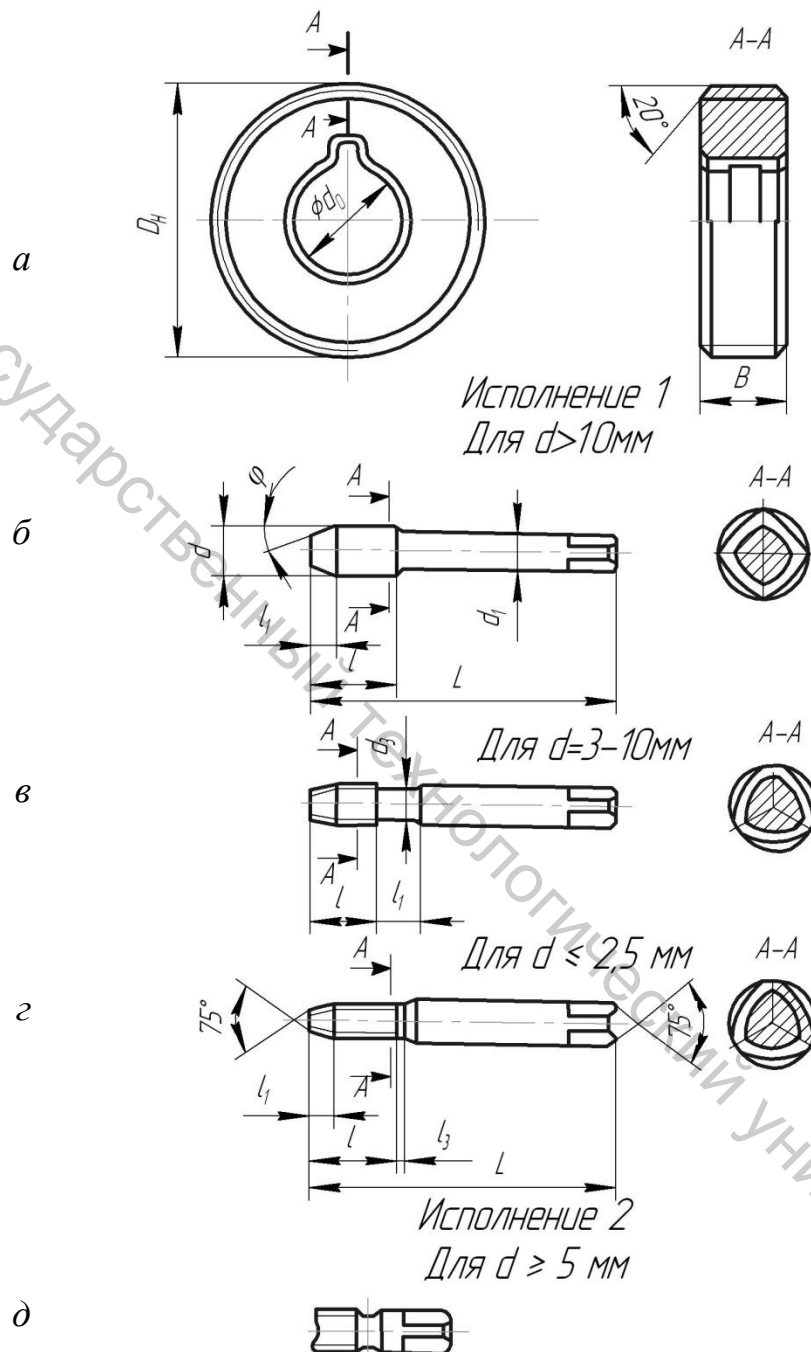
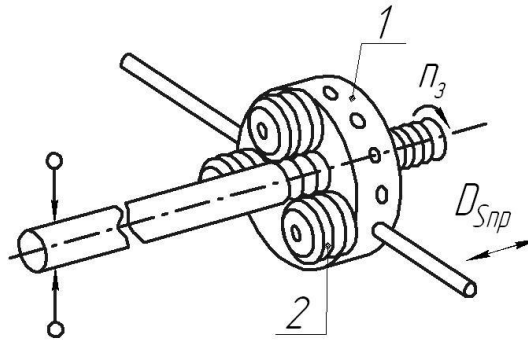


Рисунок 7.35 – Резьбонакатной инструмент: а – ролик;

б, в, г – метчики-раскатники для резьб соответственно с $d > 10$ мм, $d = 3 - 10$ мм, $d < 2,5$ мм; д – исполнение 2 хвостовика для метчиков с $d > 5$ мм

а



б

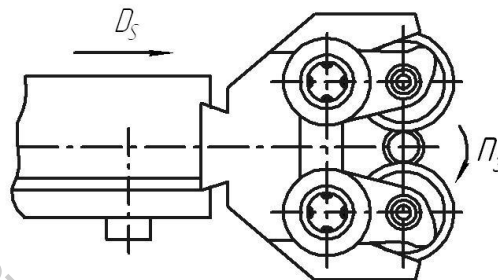


Рисунок 7.36– Резьбонакатные головки

Резьбонакатные нераскрывающиеся головки выполнены в виде сборного инструмента (рисунок 7.36 а) с установленными в корпусе 1 на осях роликами 2, которые вращаются и наклонены под углом, равным углу подъема резьбы. По окончании накатывания головка свинчивается с резьбы. Ролики имеют заборную часть и по шагу смещены друг относительно друга на $1/i$ (здесь i – число роликов).

Наиболее распространены резьбонакатные самораскрывающиеся головки. В конце накатывания ролики этих головок расходятся, а накатанная заготовка освобождается без свинчивания.

Двухроликовые тангенциальные головки (рисунок 7.36 б) применяются на токарных станках. Вращение роликов в них осуществляется под действием принудительно вращающейся заготовки. Окончание накатывания происходит тогда, когда оси роликов и заготовки окажутся в одной плоскости, а вершины ниток одного ролика будут расположены против впадин другого.

При накатывании резьбы плашками средняя скорость накатывания, м/мин, и частота вращения заготовки, мин^{-1} , рассчитываются по формулам:

$$v = \frac{2Ln_{\text{дв.х}}}{1000}, n_3 = \frac{L_{\text{н.н}}n_{\text{дв.х}}}{pd_2},$$

где L – путь ползуна с плашкой, мм; $n_{\text{дв.х}}$ – число двойных ходов в мин; $L_{\text{н.н}}$ – длина неподвижной плашки, мм; d_2 – средний диаметр накатываемой резьбы, мм.

Силы накатывания плоскими плашками: радиальная (нормальная к профилю резьбы) составляющая

$$P = 0,72 \frac{l_p H_1 \sqrt{h_b(2r - H_1)}}{t \cos \alpha / 2 \cos \omega} (HB + 22);$$

тангенциальная составляющая (по образующей профиля)

$$P_m = (0,15 - 0,18) P_r,$$

где l_p – длина накатываемой резьбы, мм; H_1 – высота профиля; h_b – глубина резьбы, мм; r – радиус заготовки, мм; t – шаг резьбы, мм; α – угол профиля резьбы; ω – угол подъема винтовой поверхности резьбы; HB – твердость материала по Бринеллю.

При накатывании роликами скорость накатывания составляет для латуни 100 – 120 м/мин; для мягкой стали 80 – 100; для стали средней твердости 40 – 60; для твердой стали 15 – 20; для титановых сплавов 12 – 14 м/мин.

Силы накатывания метрической резьбы роликами определяются по формулам

$$P_r = 3,5 \sqrt{\frac{\sigma_T^3}{E} \frac{D_H}{D_H + d_1}} d_1 \left(a + \frac{D_3 - d_1}{\cos \alpha / 2} \right) K,$$

$$P_m = 0,08 P_r,$$

где P_r – радиальная сила, Н; σ_m – предел текучести металла, МПа; D_H – наружный диаметр ролика, мм; E – модуль упругости металла, МПа; d_1 – внутренний диаметр накатываемой резьбы, мм; a – ширина впадины резьбы, мм; D_3 – диаметр заготовки, мм; α – угол профиля резьбы, град; K – число накатываемых ниток резьбы; P_m – тангенциальная сила, создающая момент вращения заготовки вокруг оси, Н.

При накатывании внутренних резьб метчиками скорость резьбоформования принимается для алюминия и его сплавов 22 – 30 м/мин; для меди 15 – 22; для латуни 10 – 15; для стали 8 – 10 м/мин.

В качестве СОЖ при резьбонакатывании используются сульфорезол, олеиновая кислота, В29, В31, В32-К, В35 и др.

7.7 Упрочняющая обработка ППД

Упрочняющая обработка ППД подразделяется на дробеструйную (обработка дробью) и виброударную. Дробеструйная обработка может осуществляться сухой дробью и дробью с СОЖ; виброударная с помощью стальных закаленных шаров (дробь) или с помощью смеси, состоящей из шаров и абразивных гранул (шлифзерна).

Дробеструйная обработка характеризуется скоростью полета дроби 1 – 100 м/с, количеством одновременно участвующей в работе дроби 6 – 1400 кг/мин, частотой ударов 103 – 104 с⁻¹ на поверхности диаметром 60 мм.

Дробь изготавливается из различных материалов (чугун, сталь, стекло или материал заготовки) и характеризуется методом изготовления (литая, рубленая из проволоки, шары для подшипников), диаметром (0,025–5 мм), неправильной (литая дробь) и правильной (шары) формой.

Очаг деформирования представляет собой круговой отпечаток диаметром d_0 и глубиной h с толщиной деформированной зоны h_σ . Отпечаток при обработке сухой дробью отличается от отпечатка при обработке с СОЖ. Если пространство под отпечатком представить в виде столбиков (рисунке 7.37 а, б), то степень и направление пластического деформирования этих столбиков изменяется от центра к периферии. Деформирование металла в центре отпечатка затруднено, а на его периферии облегчено.

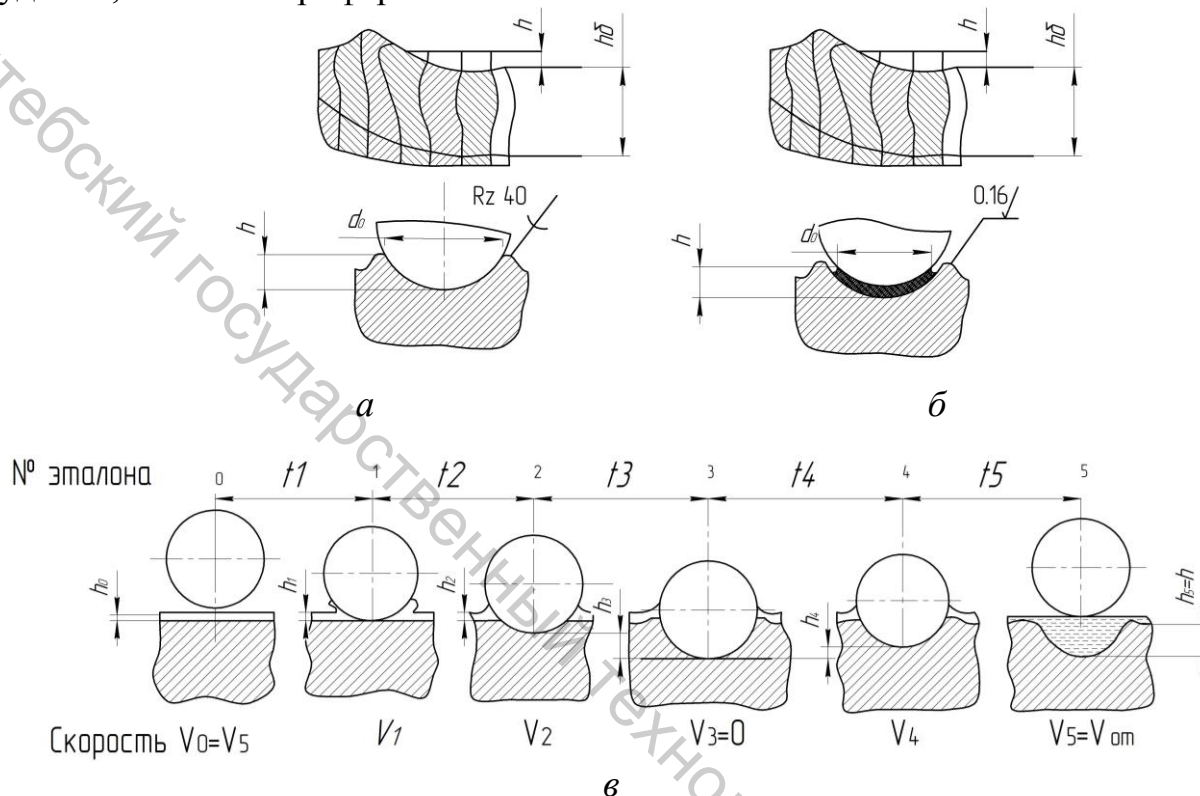


Рисунок 7.37 – Характер контактной зоны (а – без СОЖЭ, б – с СОЖ) и этапы взаимодействия дроби с обрабатываемой поверхностью при обработке (в): d_0 – диаметр отпечатка

При пневмодробеструйном упрочнении (ПДУ) обрабатываемый металл «сцепляется» в зоне контакта с поверхностью дроби, поэтому ПД самой поверхности затруднено: подповерхностные слои металла деформируются более интенсивно, чем сама поверхность (рисунке 7.37 а). Наплывы имеют более заостренную и наклоненную форму в виде ПН, в верхнем слое создаются растягивающие (+) напряжения, а в более глубоких слоях – сжимающие (–).

При гидродробеструйном упрочнении (ГДУ) под поверхностью дроби обрабатываемый металл деформируется свободно, создавая по краям отпечатка наплывы более пологой формы. В этом случае создаются только сжимающие остаточные напряжения (рисунке 7.37 б).

При обработке дробью обычно имеет место прямой удар, когда шар (дробинка) внедряется в металл, а не скользит по поверхности. Процесс внедрения шара в материал при ударе состоит из нескольких этапов (рисунке 7.37 в): 1) преодоление шаром слоя (пленки) СОЖ толщиной $h_{жс}$ при скорости $v_0 = v_y$ (v_y – скорость удара), $h_1 = 0$, v_1 ; 2) внедрение шара на глубину h_2 с обеспечением

скорости v_2 , 3) дополнительное внедрение его на глубину h_3 с обеспечением $v_3 = 0$; 4) отскок шара на расстояние h_4 со скоростью v_4 , при этом энергия упругонапряженного металла сообщается шару, и он теряет связь с поверхностью; 5) продолжение отскока шара, который затрачивает энергию на преодоление молекулярного сцепления с жидкостью; на поверхности остается лунка глубиной $h = h_5$, а $v_5 = v_{от}$ (здесь $v_{от}$ – скорость отскока дроби).

Уравнение баланса энергии имеет вид:

$$E_y = E_{ПД} + E_{ТР} + E_{Ж} + E_B,$$

где $E_{ПД}$ – энергия, затрачиваемая на остаточное пластическое деформирование (образование лунки); $E_{ТР}$ – энергия, затрачиваемая на трение без смазочного материала и адгезионное сцепление; $E_{Ж}$ – энергия, связанная с введением СОЖ при ГДУ и затрачиваемая на преодоление жидкостной пленки при внедрении шара и молекулярного сцепления с жидкостью при отскоке шара; E_B – волновая энергия, распространяющаяся в глубь металла.

Вибрационная обработка в зависимости от характера применяемой рабочей среды представляет собой механический или химико-механический процесс удаления частиц материала и его окислов с поверхности заготовок, а также сглаживания микронеровностей путем их пластического деформирования частицами рабочей среды. Эти процессы вызываются микроударами частиц рабочей среды об обрабатываемую поверхность, обусловленными действием направленных вибраций, сообщаемых рабочей камере 1, в которой размещены обрабатываемые заготовки 3 и рабочая среда 2. Рабочая камера смонтирована на спиральных (4) и плоских (5) пружинах и может совершать колебательные движения с частотой от 15 до 50 Гц и амплитудой от 0,5 до 8 мм под действием сил инерции вращающегося несбалансированного ротора 6 (рисунок 7.38 а). Под действием вибраций рабочая среда и заготовки совершают два вида движений: колебательное и циркуляционное (медленное вращение всей массы). В процессе обработки заготовки занимают различное положение в рабочей среде, что обеспечивает достаточно равномерную обработку всех поверхностей.

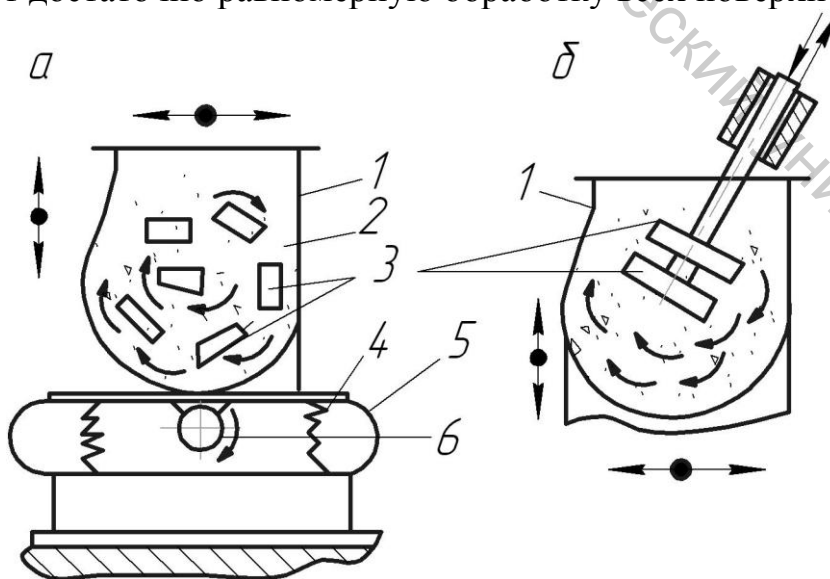


Рисунок 7.38 – Схемы обычной (а) и шпиндельной (б) виброабразивной обработки

Процесс обработки обычно протекает при непрерывной подаче СОЖ, которая обеспечивает удаление продуктов износа, смачивание заготовок и рабочей среды и равномерное распределение заготовок в рабочей среде. Интенсивность и качество обработки зависит от состава СОЖ и ее уровня в рабочей камере.

Вибрационная обработка позволяет выполнять следующие операции:

- 1) очистные (очистка заготовок от окалины, накали и коррозии, удаление заусенцев, скругление острых кромок);
- 2) шлифовально-отделочные (полирование поверхностей, поверхностный наклеп). В зависимости от целей обработки изменяются амплитуда и частота вибраций, а также состав рабочей среды и СОЖ.

В состав рабочей среды входят: абразивные компоненты (абразивная крошка, шлифзерно, галька, гранит, известняк), наполнители (металлические шарики или иголки, древесная крошка, резиновая крошка, кусочки кожи, пластмассы), водные растворы кальцинированной соды с моющими, разделяющими, травящими, пассивирующими или блескообразующими добавками. Кроме того, применяют мыльные растворы, а для отделки – водный раствор аммиака. Некоторые рекомендации по выбору рабочей среды приведены в таблице 7.9.

Скорость съема металла с заготовок существенно увеличивается с повышением частоты и амплитуды колебаний, особенно для бронзы. Аналогично влияют зернистость абразивной крошки и размер гранул. Наиболее интенсивно происходит удаление материала с острых кромок, выступов и открытых поверхностей, причем среди последних более равномерно и интенсивно обрабатываются цилиндрические и сферические поверхности и сравнительно хуже – плоские. Обработка в глубоких карманах, отверстиях, пазах и углублениях происходит медленнее.

На интенсивность съема существенное влияние оказывают химически активные добавки, вводимые в раствор. Так, если съем при обработке стали с применением СОЖ в виде 1,5 %-го раствора кальцинированной соды принять за 1, то добавка к нему 1 % олеиновой кислоты дает относительный съем, равный 1,89. А применение водного раствора серной кислоты и хромового ангидрида слабой концентрации дает относительный съем, равный 3,78. Применение 1 % стеариновой кислоты в керосине дает относительный съем, равный 5,68.

Указанные параметры условий виброабразивной обработки оказывают существенное влияние и на шероховатость обработанной поверхности. Для уменьшения параметра Ra необходимо уменьшить амплитуду вибраций, зернистость абразивной крошки, использовать крошку на бакелитовой или вулканической связке и с увеличенной твердостью. Применение поверхностно-активных добавок наряду с увеличением интенсивности съема может снизить Ra . С увеличением твердости заготовки в пределах от 50 до 300 единиц по Бринелю показатель шероховатости Ra уменьшается в 2 – 2,5 раза. При дальнейшем увеличении твердости Ra практически не изменяется.

Повышение качества и производительности достигается применением шпиндельной виброабразивной обработки, схема которой показана на рисунке 7.39 б. Скорость вращения на поверхности заготовки достигает от 1 до 15 м / с.

Таблица 7.9 – Рекомендации по выбору рабочих сред

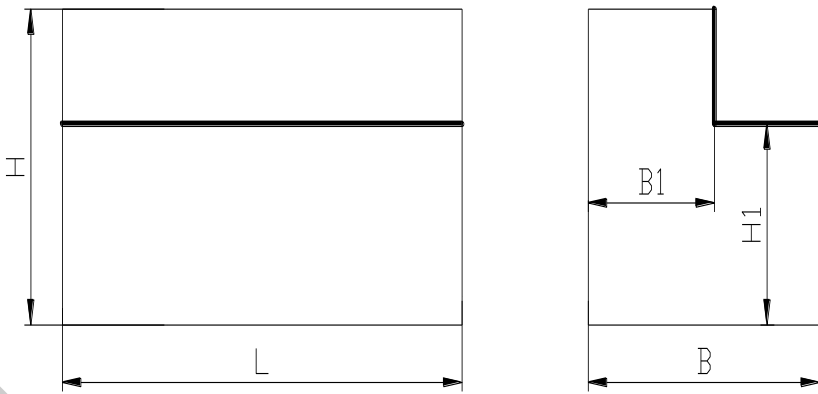
Абразивный компонент и наполнитель	СОЖ	Вид операции
Абразивная крошка зернистостью 16 – 125, твердостью Т – ЧТ	Содовый раствор	Удаление заусецев и окалины, грубое шлифование
Абразивная крошка зернистостью 8 – 16, твердостью Т – ЧТ	Содовый раствор Раствор хромового ангидрида	Удаление небольших заусенцев, скругление кромок, чистовое шлифование черных сплавов и бронзы То же для алюминиевых сплавов
Стеклянная крошка или стеклянные шары	Мыльно-содовый раствор с олеиновой кислотой (1%) Раствор хромпика	Полирование черных и цветных сплавов Полирование алюминиевых сплавов
Древесная крошка, шлифпорошок или полировальные пасты	Всухую или при слабом увлажнении	Чистовое шлифование и полирование


7.8 Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите геометрические характеристики качества поверхностей и дайте им оценку.
2. Назовите параметры шероховатости и волнистости поверхностей.
3. В чем сущность регуляризации микрогеометрии технических поверхностей ?
4. Опишите разновидности РМР и их параметры.
5. Какая взаимосвязь существует между микрогеометрией рабочих поверхностей и эксплуатационными свойствами деталей и соединений?
6. Приведите примеры возможного применения РМР и упрочнения подповерхностного слоя металла с целью улучшения эксплуатационных свойств деталей.

7. Каково соотношение влияния РМР и упрочнения материала на различные свойства деталей и соединений?
8. Классификация способов обработки ППД.
9. Технологическое назначение способов обработки ППД?
10. Какое влияние обработка ППД оказывает на микрогеометрию поверхности и состояние подповерхностного слоя материала?
11. Как влияет скорость на результаты обработки ППД.
12. Как влияет подача инструмента на шероховатость обработанной ППД поверхности.
13. Как влияет профиль инструмента на шероховатость обработанной ППД поверхности?
14. Как предотвратить завалы кромок и поломку инструмента при обработке ППД прерывистых поверхностей заготовок?
15. Опишите возможности комбинирования и совмещения процессов обработки ППД.
16. Каковы особенности упрочняющей обработки ППД?

Задания по проектированию операций обработки на строгальных станках

					
Материал Сталь 45					
№	H	B	L	$H1$	$B1$
1	40	60	240	35 IT11	50 IT11
2	50	85	280	40 IT10	70 IT10
3	60	90	300	52 IT9	55 IT9
4	80	120	350	60 IT9	100 IT9

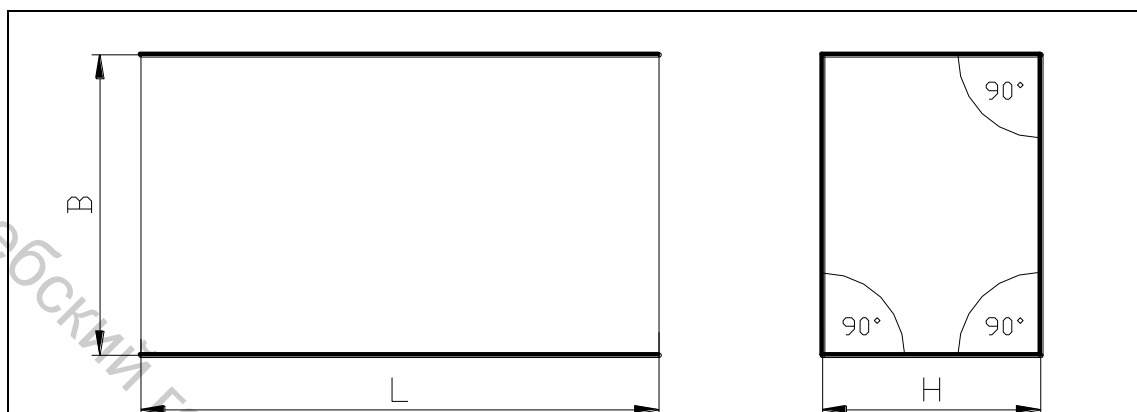
					
Материал СЧ10					
№	H	B	L	$H1$	$B1$
5	40	60	240	10 IT11	50 IT11
6	50	85	280	15 IT11	70 IT11
7	60	90	300	8 IT10	55 IT10
8	80	120	350	20 IT9	100 IT9

Материал Сталь 45

№	L	B	H	$H1$	$B3$	$B1$	$B2$	$H2$
9	300	160	140	121	80	12 IT11	20	9
10	400	240	200	175	120	14 IT10	24	11
11	450	280	220	186	140	18 IT10	30	14
12	500	300	240	202	150	22 IT9	36	16

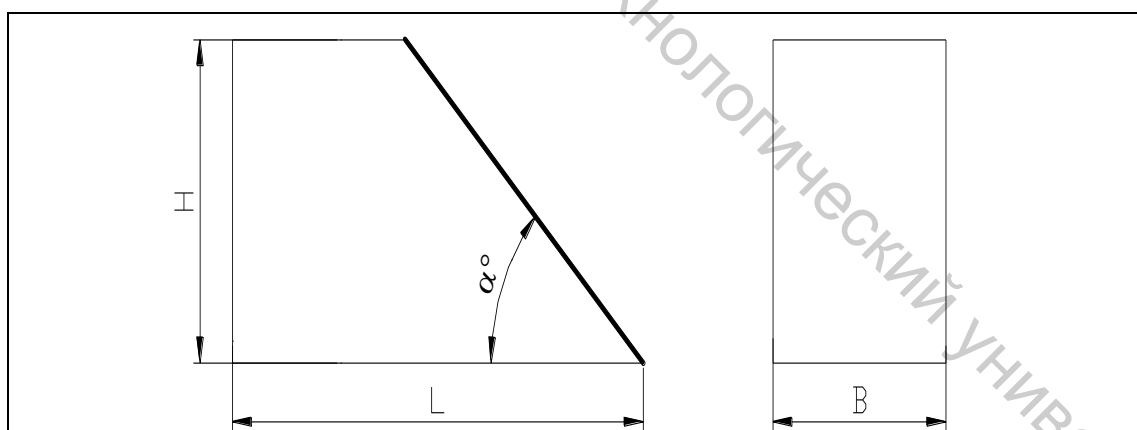
Материал СЧ10

№	L	B	H
13	250 IT11	120	120
14	300 IT11	180	160
15	360 IT10	100	180
16	400 IT9	200	120



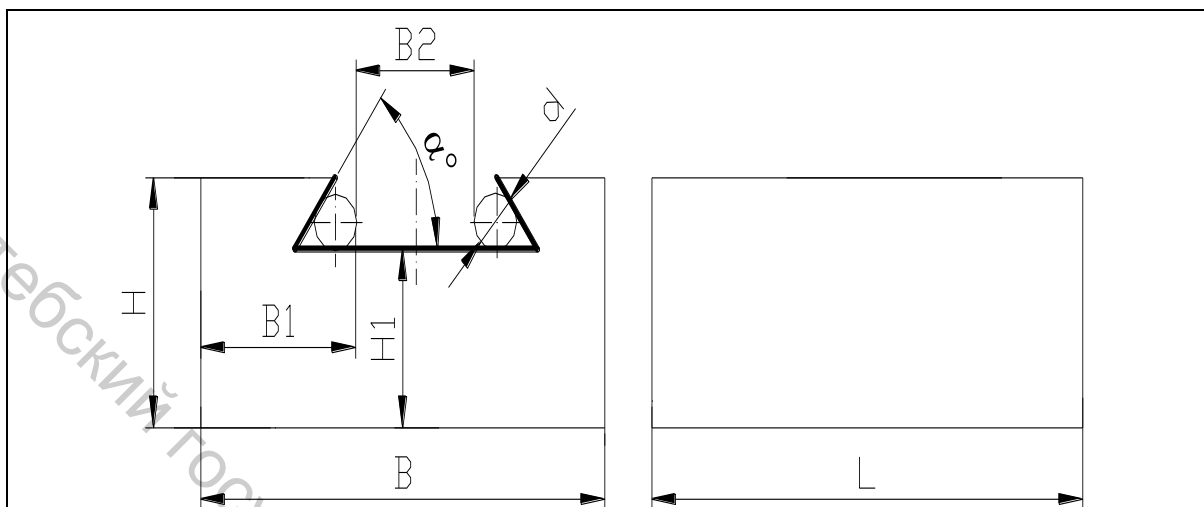
Материал Сталь 45

№	L	B	H
17	250	120 IT11	120 IT11
18	200	100 IT11	160 IT11
19	160	100 IT10	180 IT10
20	200	100 IT9	120 IT9



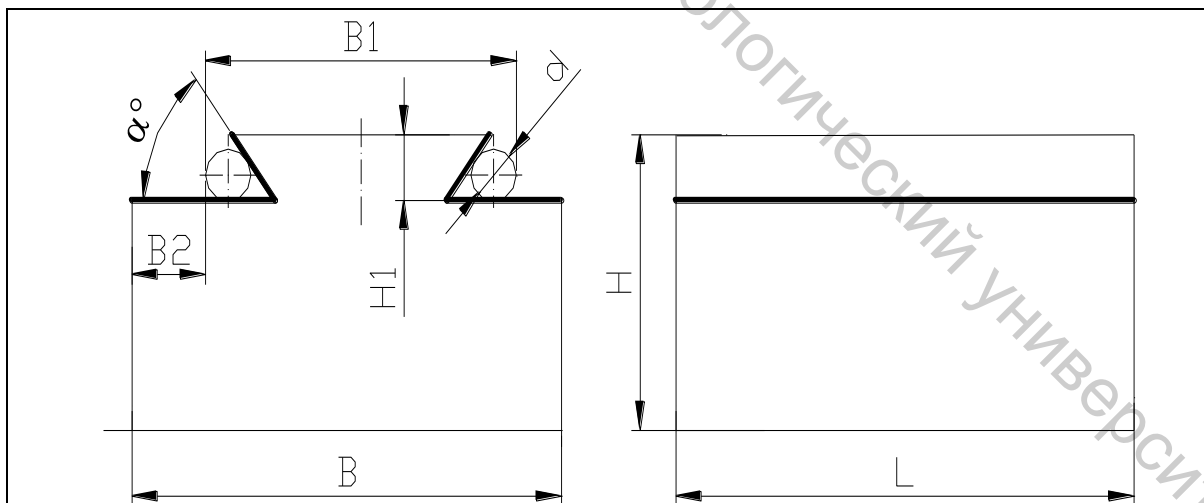
Материал Сталь 45

№	L	H	B	α
21	200 IT11	100	60	60
22	250 IT11	150	85	75
23	300 IT10	120	50	60
24	350 IT9	160	75	45



Материал Сталь 45

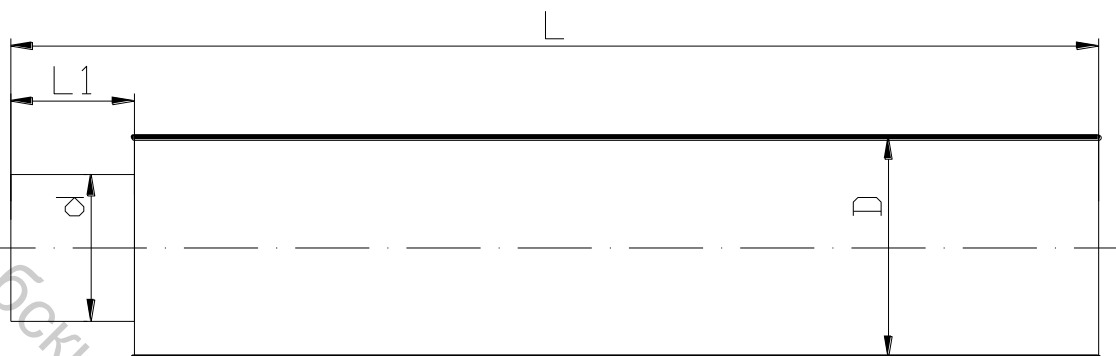
№	L	B	H	B1	B2	d	H1	α
25	300	200	240	30 IT11	140	16	220 IT11	60
26	320	220	260	20 IT11	160	10	250 IT11	55
27	360	260	200	40 IT9	180	20	175 IT9	60
28	400	300	220	40 IT9	200	12	205 IT9	55



Материал СЧ10

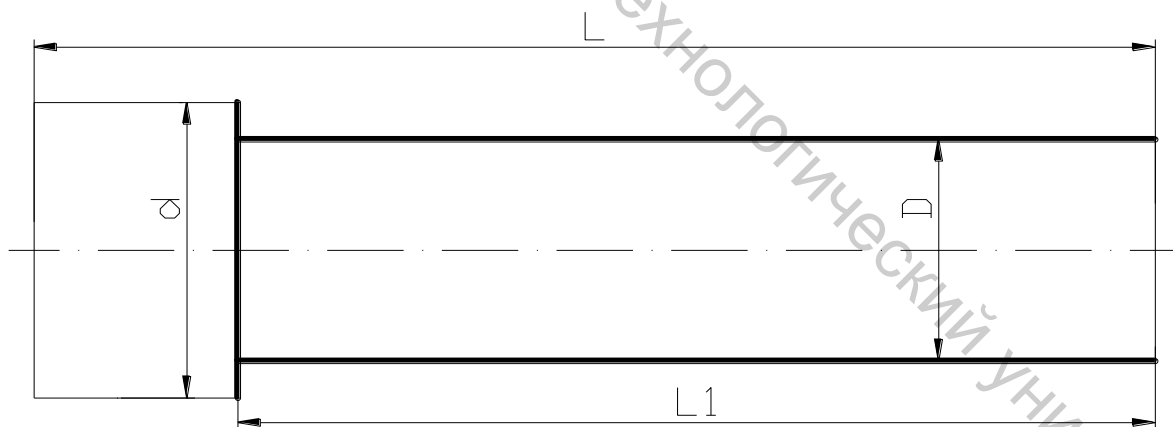
№	L	B	H	B1	B2	d	H1	α
29	300	200	240	160 IT11	20 IT11	16	20	60
30	320	220	260	200 IT10	10 IT10	10	10	55
31	360	260	200	320 IT9	18 IT9	20	25	60
32	400	300	220	260 IT9	20 IT9	12	15	55

Задания по проектированию операций обработки на токарных станках



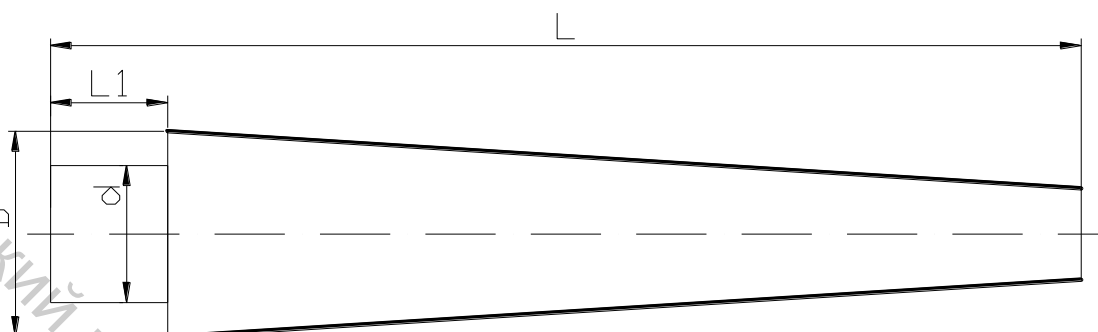
Материал СЧ10

№	D	d	L	$L1$	Ra
1	50 h11	30	300	50	12,5
2	50 h10	20	80	20	6,3
3	100 h9	80	200	40	3,2
4	120 h9	100	400	100	1,6



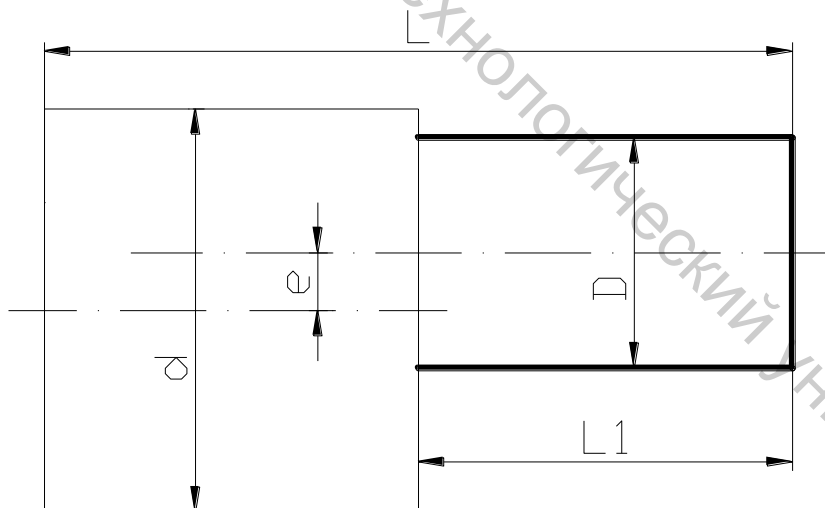
Материал Сталь 45

№	D	d	L	$L1$	Ra
5	30 h11	50	300	50 IT11	12,5
6	20 h10	50	80	20 IT10	6,3
7	80 h9	100	200	40 IT9	3,2
8	100 h8	120	600	100 IT10	1,6



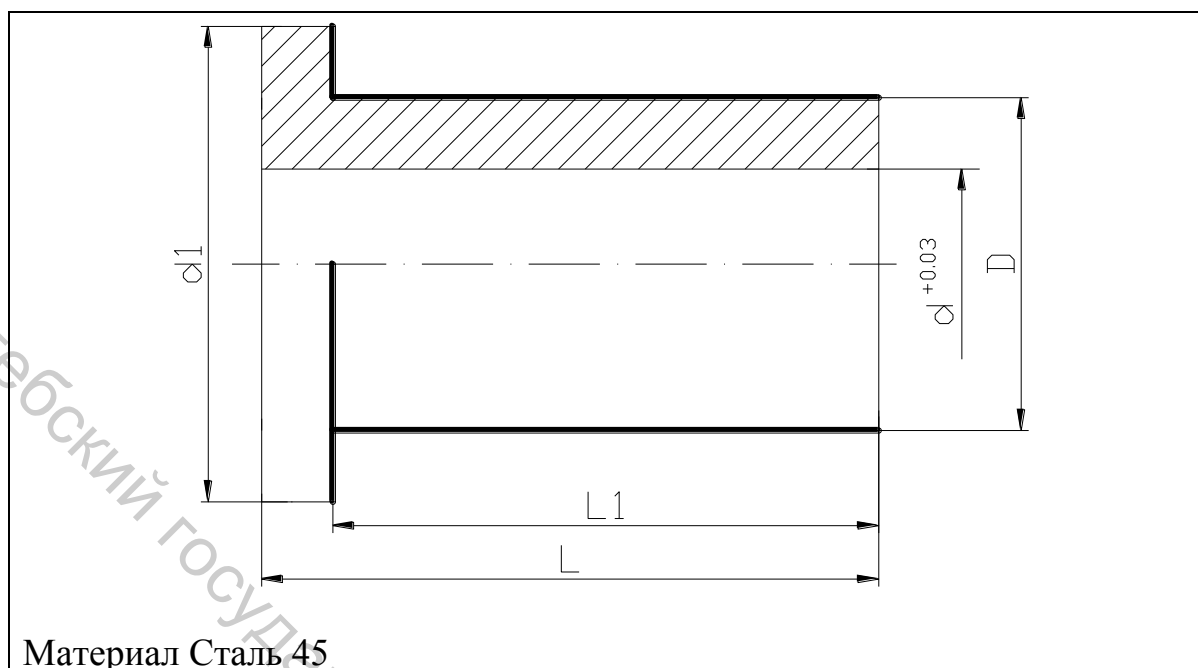
Материал Сталь 45

№	D	d	конусность	L	$L1$	Ra
9	47 h11	30	1/5	300	50	12,5
10	50 h9	20	1/10	80	15	0,8
11	100 h9	80	7/24	200	50	3,2
12	120 h8	100	1/10	900	80	1,6



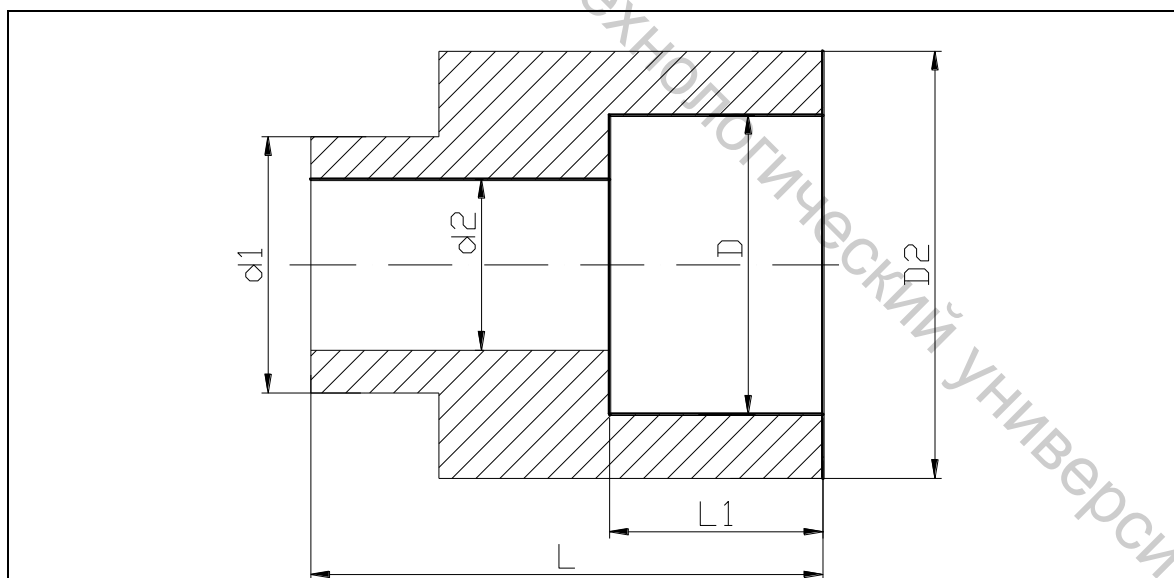
Материал Сталь 45

№	d	D	e	L	$L1$	Ra
13	50	30 h11	5	300	150 IT11	12,5
14	50	20 h10	10	80	40 IT10	6,3
15	100	80 hH9	5	200	100 IT10	3,2
16	120	100 h9	12	150	50 IT9	1,6



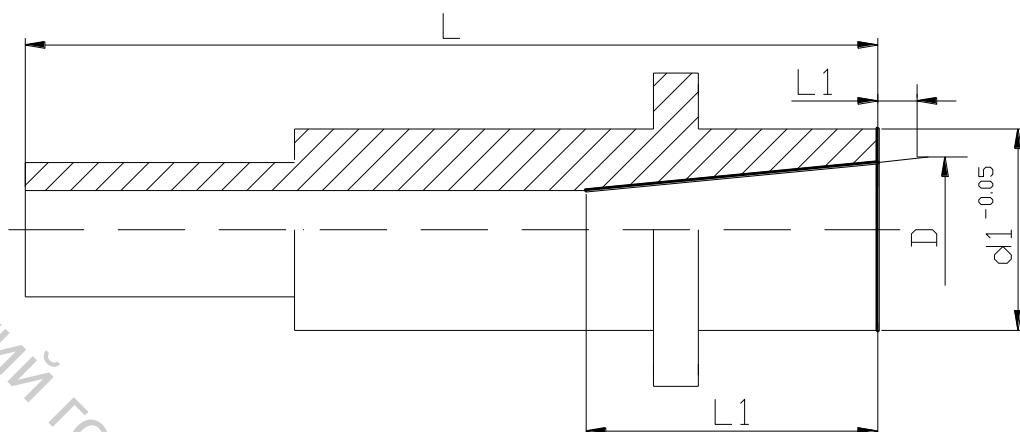
Материал Сталь 45

№	D	d	$d1$	L	$L1$	Ra
17	55 h11	30	60	300	250 IT11	12,5
18	50 h10	20	69	80	60 IT10	6,3
19	100 h9	80	120	200	160 IT9	3,2
20	120 h8	100	140	900	800 IT9	1,6



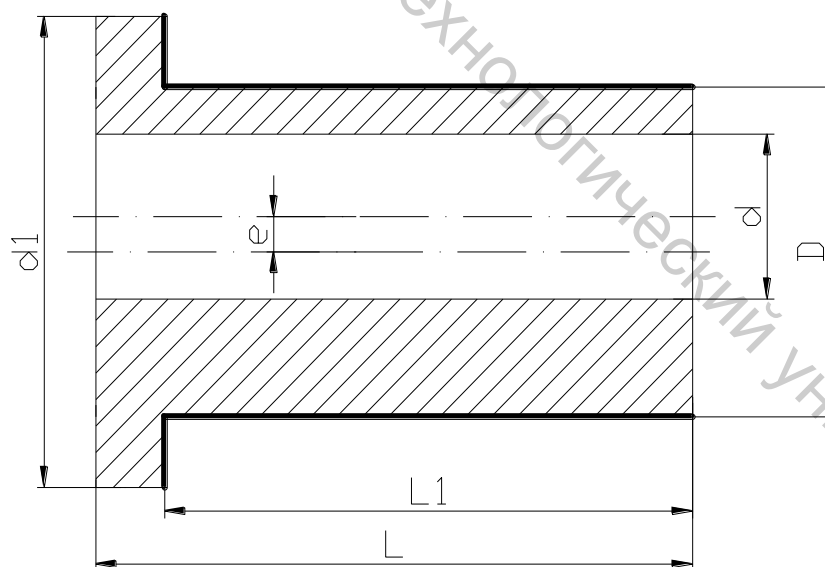
Материал СЧ10

№	$d1$	$d2$	D	$D2$	L	$L1$	Ra
21	55	30	50 H11	80	300	150 IT11	12,5
22	50	20	40 H11	70	80	40 IT10	6,3
23	100	80	100 H10	160	150	50 IT9	3,2
24	120	100	150 H9	200	900	300 IT9	1,6



Материал Сталь 45

№	$d1$	D	$L1$	L	конусность	Ra
25	47	30 H11	5	300	1/5	12,5
26	50	20 H10	6	80	1/10	6,3
27	100	80 H9	4	200	7/24	3,2
28	120	100 H9	10	900	1/10	1,6



Материал Сталь 45

№	D	d	$d1$	e	L	$L1$	Ra
29	55 h11	30	60	1	300	250	12,5
30	50 h10	20	69	2	80	60	0,8
31	100 h9	80	120	1	200	160	3,2
32	120 h9	100	140	2	300	50	1,6

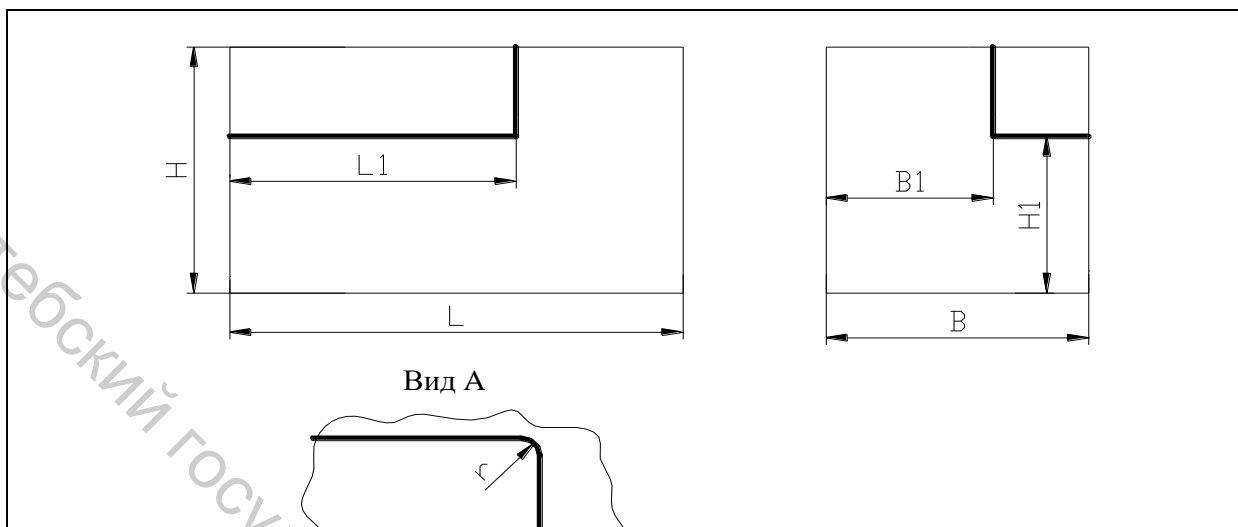
Задания по проектированию операций обработки на фрезерных станках

Материал Сталь 45

№	H	B	L	$H1$	$B1$
1	40	60	240	35 IT11	50 IT11
2	50	85	280	40 IT10	70 IT10
3	60	90	300	52 IT9	55 IT9
4	80	120	350	60 IT9	100 IT9

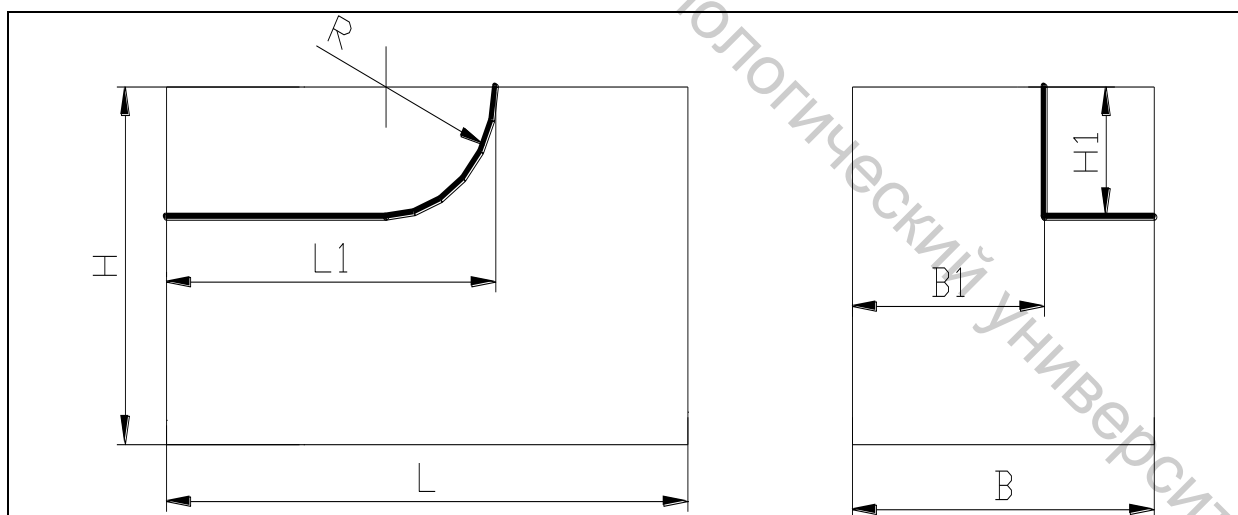
Материал СЧ10

№	H	B	L	$H1$	$B1$
5	40	60	240	10 IT11	50 IT11
6	50	85	280	15 IT11	70 IT11
7	60	90	300	8 IT10	55 IT10
8	80	120	350	20 IT9	100 IT9



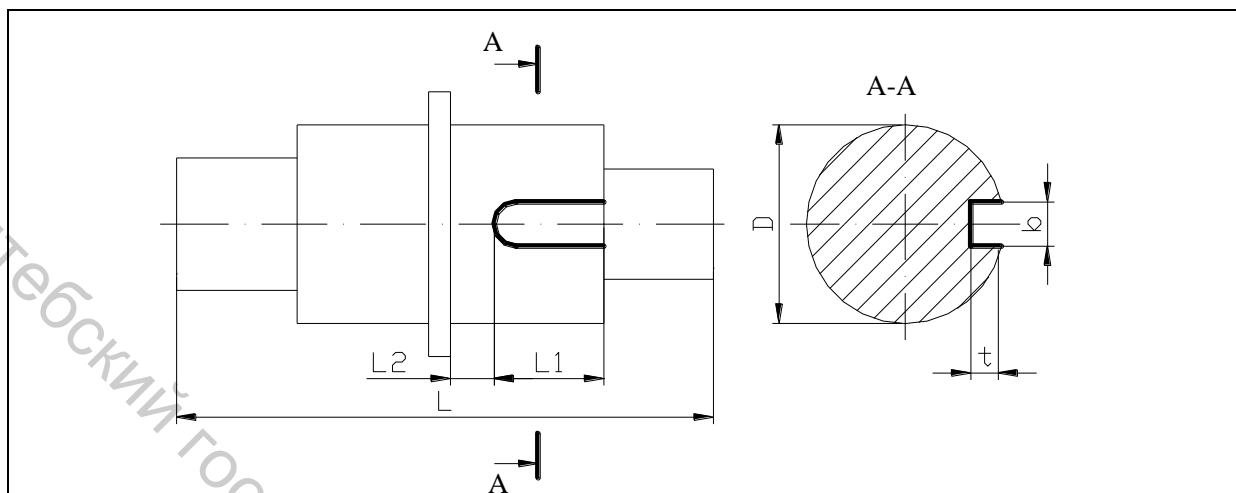
Материал Сталь 45

№	L	B	H	r	$L1$	$B1$	$H1$
9	250	120	100	12	200 IT11	100 IT11	80 IT11
10	300	140	120	10	220 IT11	125 IT11	105 IT11
11	320	200	160	15	280 IT11	182 IT10	142 IT10
12	380	180	200	12	300 IT11	162 IT10	174 IT10



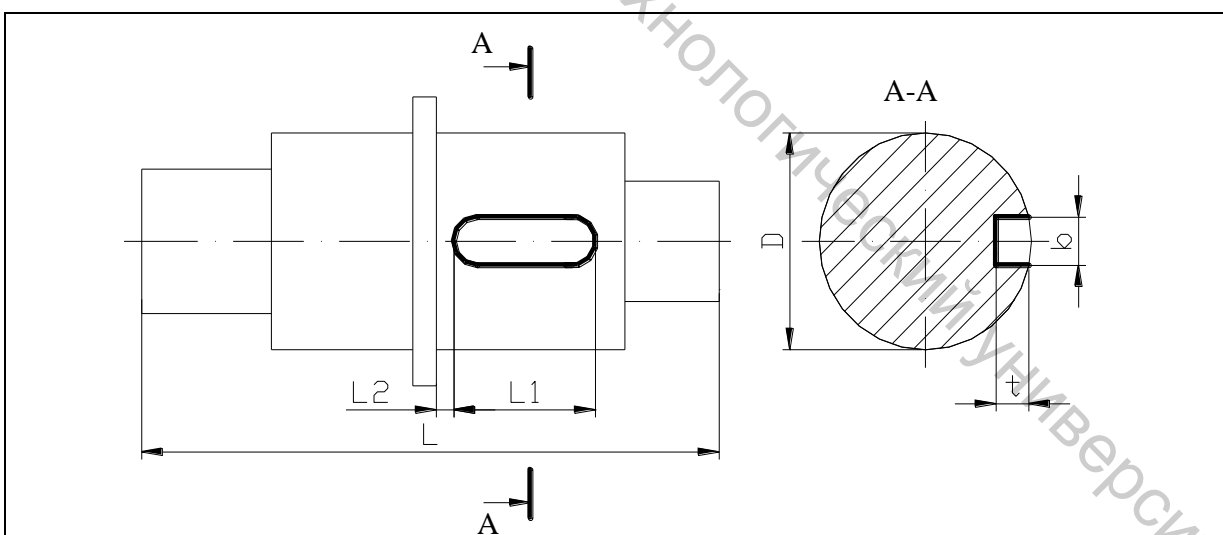
Материал Сталь 45

№	L	B	H	R	$L1$	$B1$	$H1$
13	250	120	100	20	200 IT11	100 IT11	15 IT11
14	300	140	120	30	220 IT11	125 IT11	20 IT11
15	320	200	160	50	280 IT10	182 IT10	16 IT10
16	380	180	200	18	300 IT9	162 IT9	18 IT9



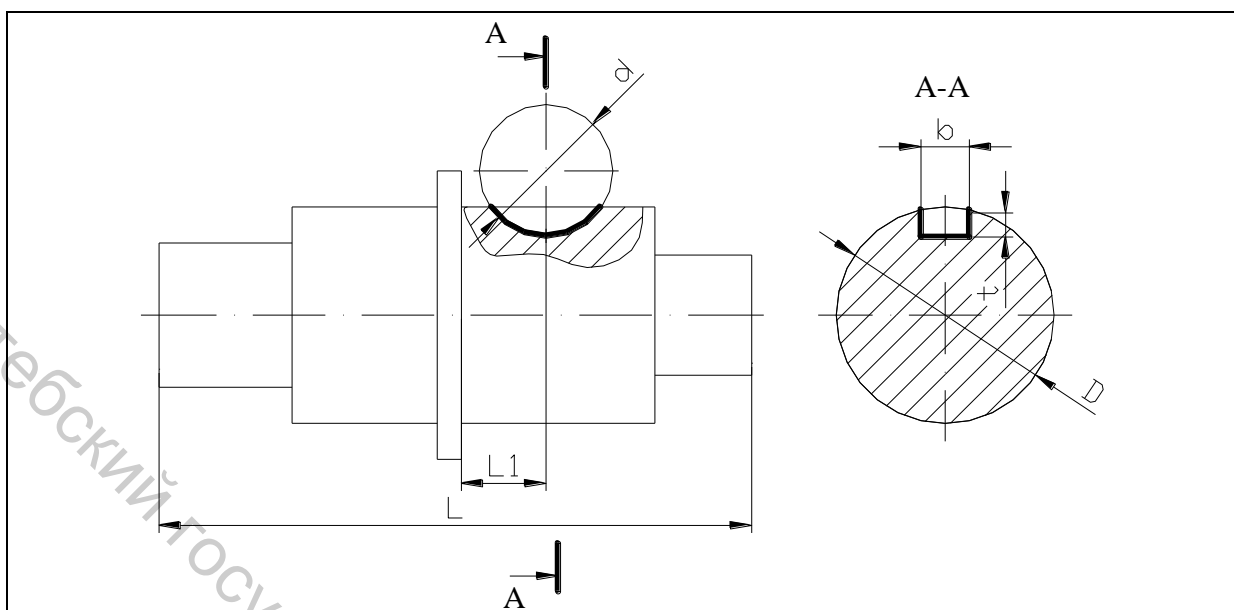
Материал Сталь 45

№	L	$L2$	$L1$	D	b	t
17	260	2	20 IT11	25	6 IT9	3,8 IT10
18	300	3	25 IT10	30	8 IT8	4,5 IT9
19	400	5	30 IT9/11	45	12 IT9	5,2 IT10
20	500	5	40 IT10	60	16 IT8	6,5 IT9



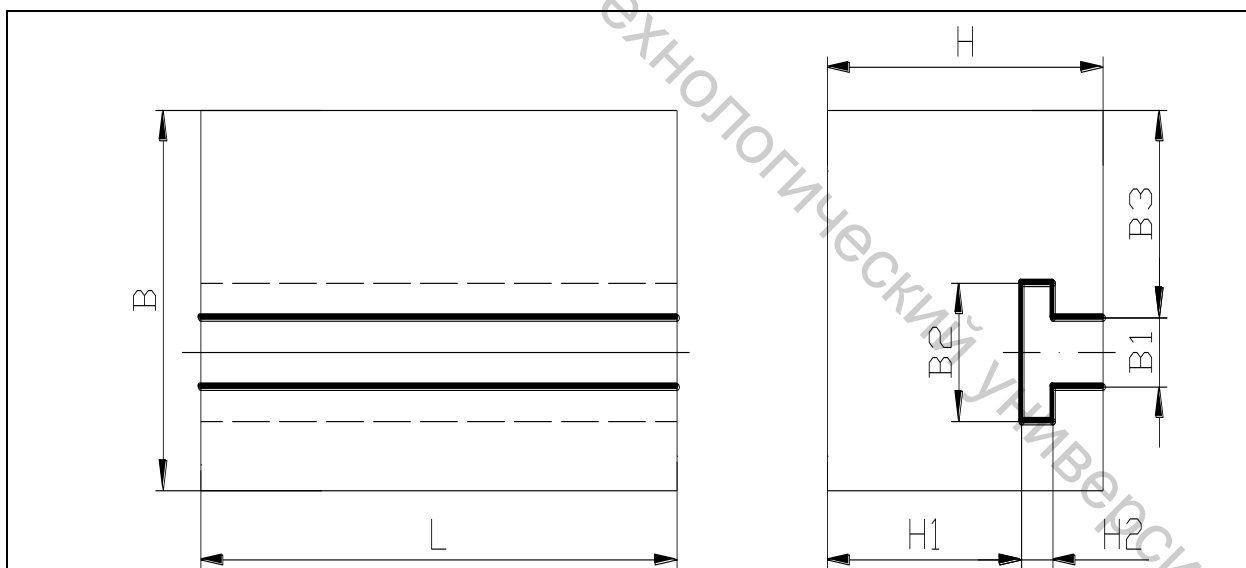
Материал Сталь 45

№	L	$L2$	$L1$	D	b	t
21	260	2	20 IT11	25	6 IT9	3,8 IT10
22	300	3	25 IT10	30	8 IT8	4,5 IT9
23	400	5	30 IT9/11	45	12 IT9	5,2 IT10
24	500	5	40 IT10	60	16 IT8	6,5 IT9



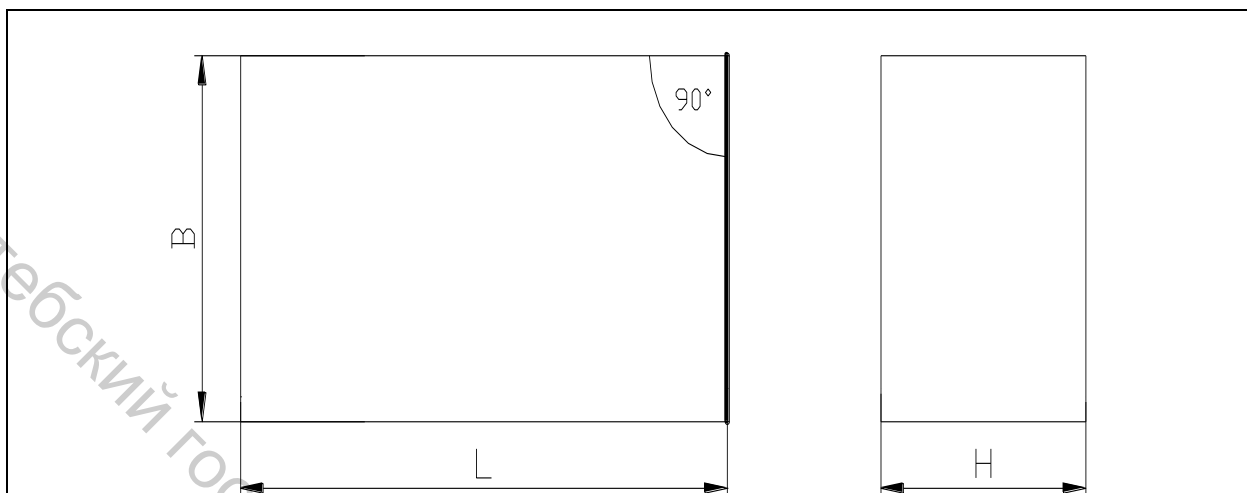
Материал Сталь 45

№	L	$L1$	D	d	b	t
25	200	20	18	25	5 IT8	8,7
26	250	30	24	32	6 IT9	11,2
27	300	32	30	35	8 IT8	12,2
28	320	40	36	38	10 IT9	11,7



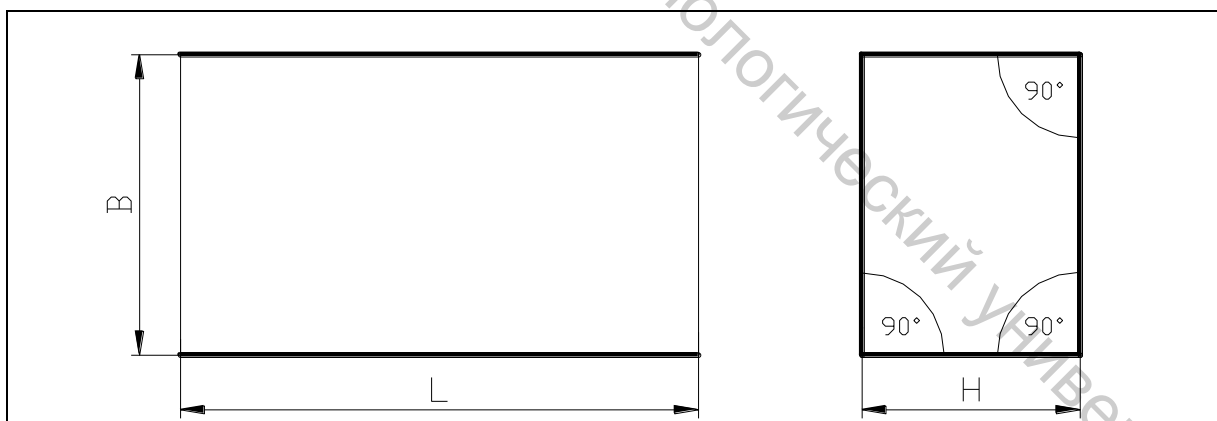
Материал Сталь 45

№	L	B	H	$H1$	$B3$	$B1$	$B2$	$H2$
29	300	160	140	121	80	12 IT11	20	9
30	400	240	200	175	120	14 IT10	24	11
31	450	280	220	186	140	18 IT10	30	14
32	500	300	240	202	150	22 IT9	36	16



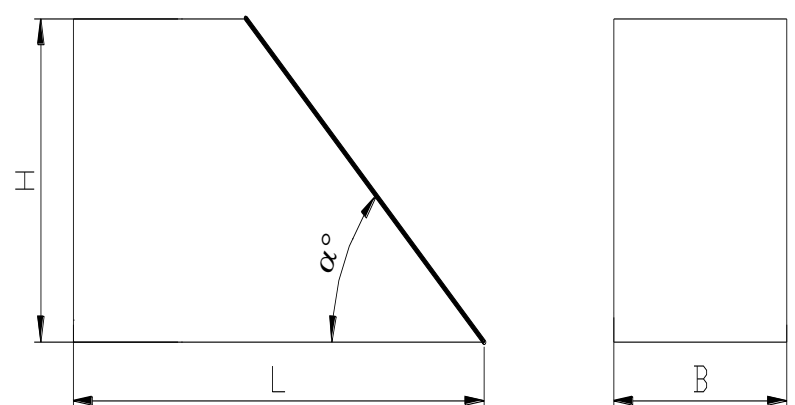
Материал СЧ10

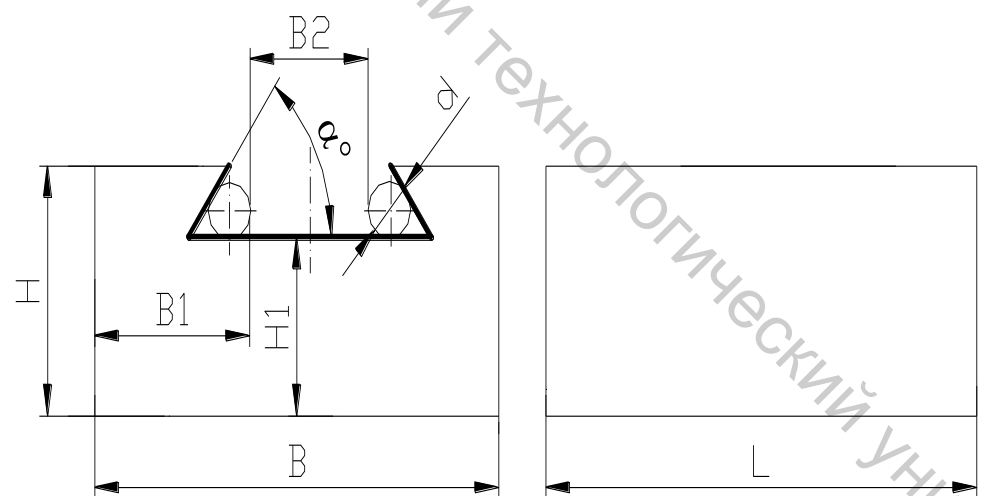
№	L	B	H
33	250 IT11	120	120
34	300 IT11	180	160
35	360 IT10	100	180
36	400 IT9	200	120

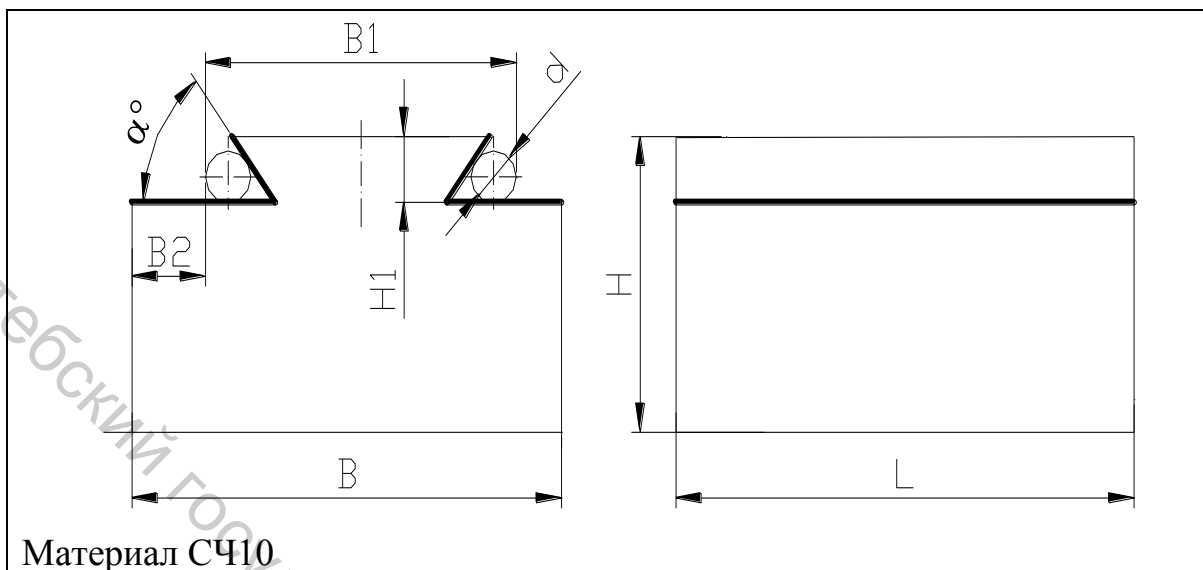


Материал Сталь 45

№	L	B	H
37	250	120 IT11	120 IT11
38	200	100 IT11	160 IT11
39	160	100 IT10	180 IT10
40	200	100 IT9	120 IT9

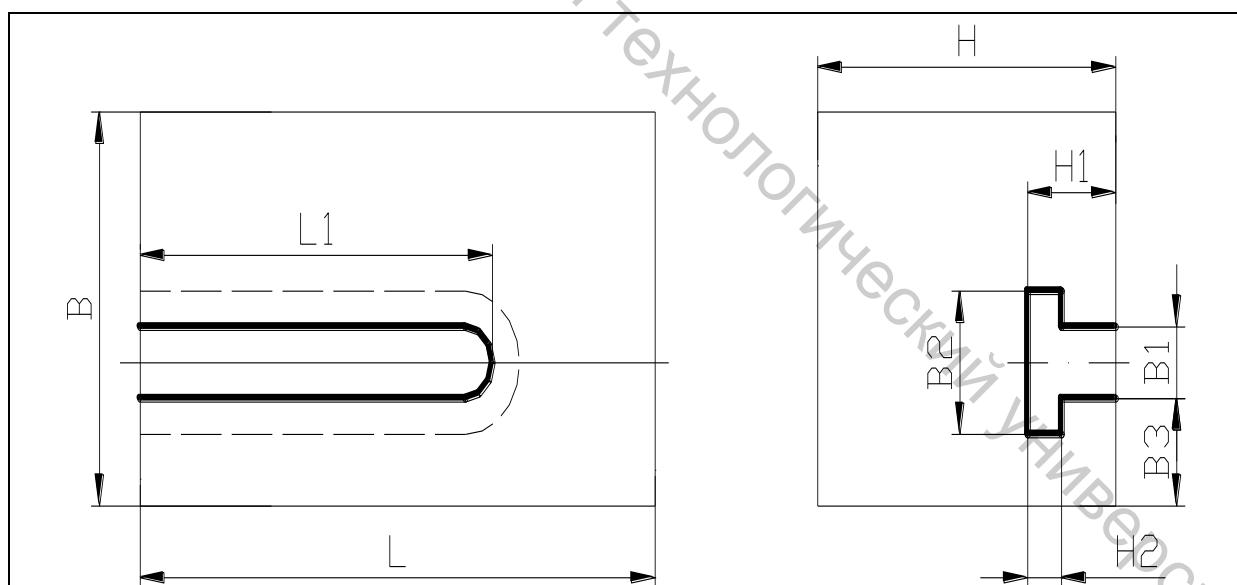
				
Материал Сталь 45				
№	L	H	B	α
41	200 IT11	100	60	60
42	250 IT11	150	85	75
43	300 IT10	120	50	60
44	350 IT9	160	75	45

								
Материал Сталь 45								
№	L	B	H	$B1$	$B2$	d	$H1$	α
45	300	200	240	30 IT11	140	16	220 IT11	60
46	320	220	260	20 IT11	160	10	250 IT11	55
47	360	260	200	40 IT9	180	20	175 IT9	60
48	400	300	220	40 IT9	200	12	205 IT9	55



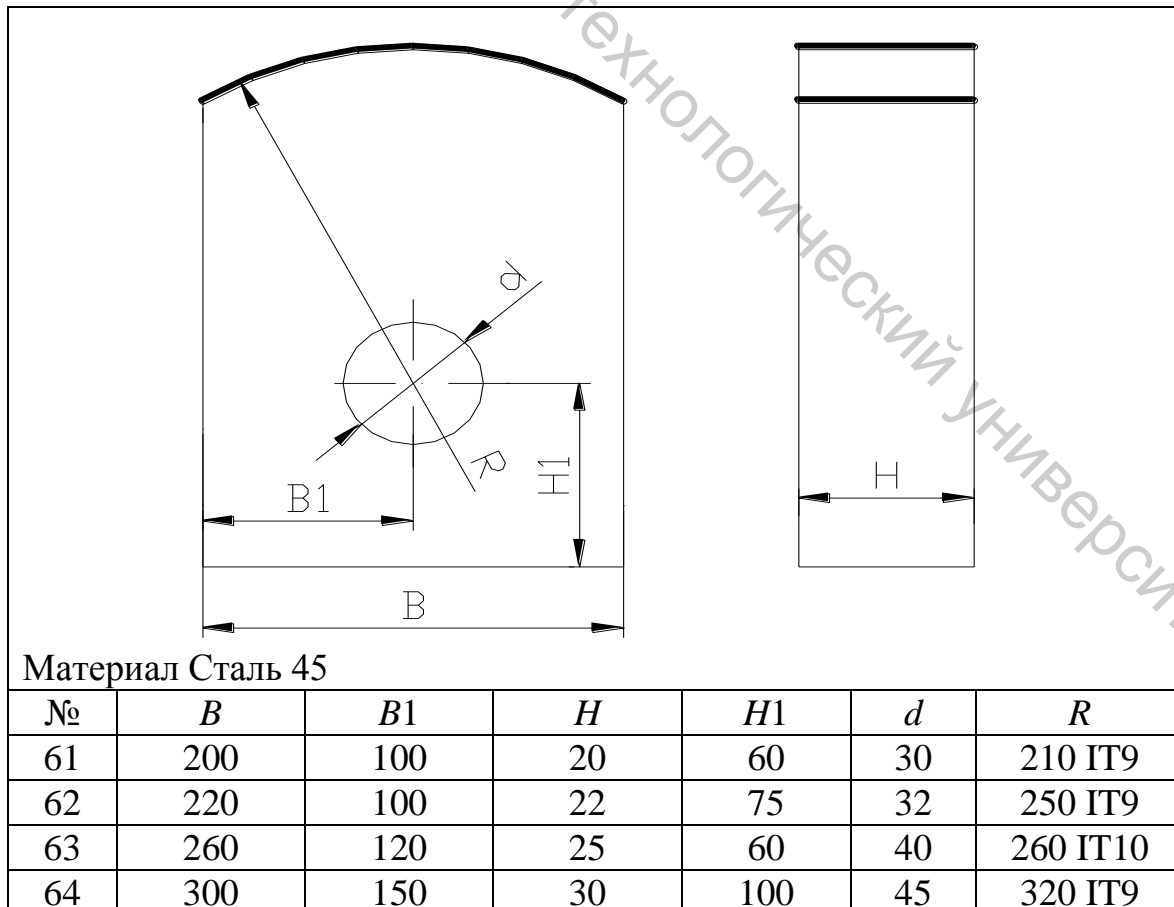
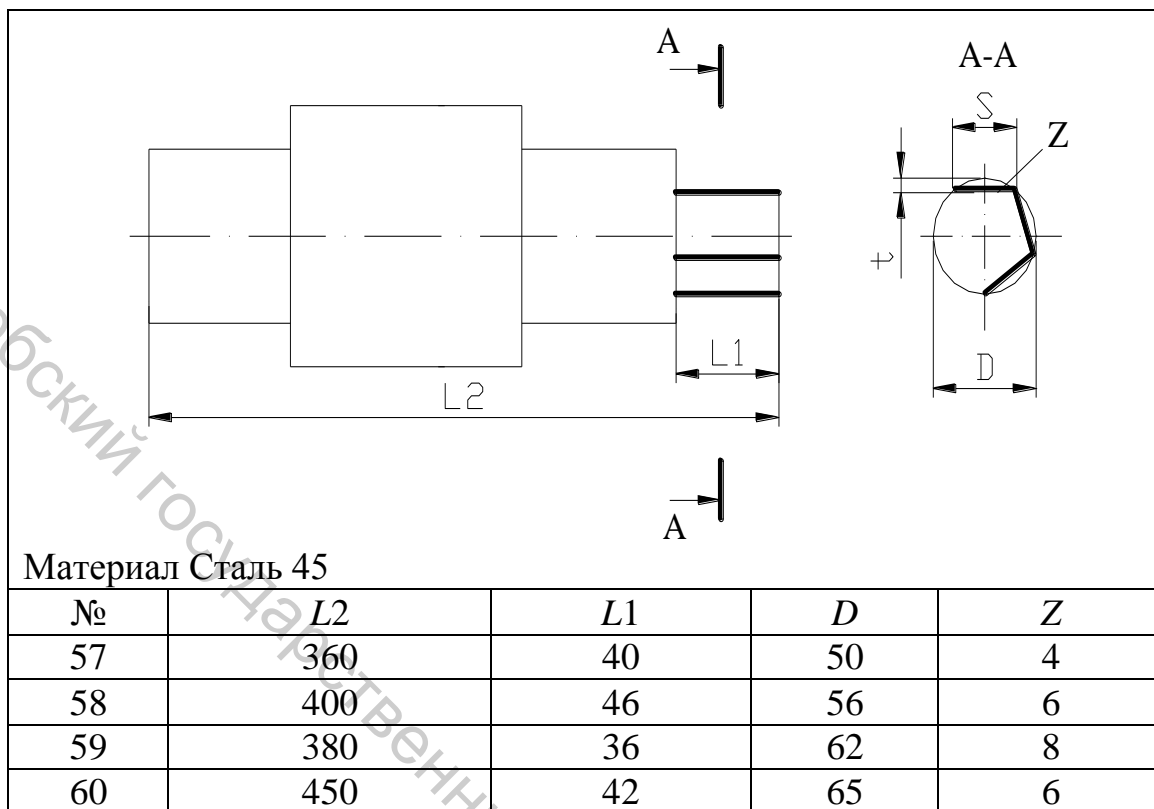
Материал СЧ10

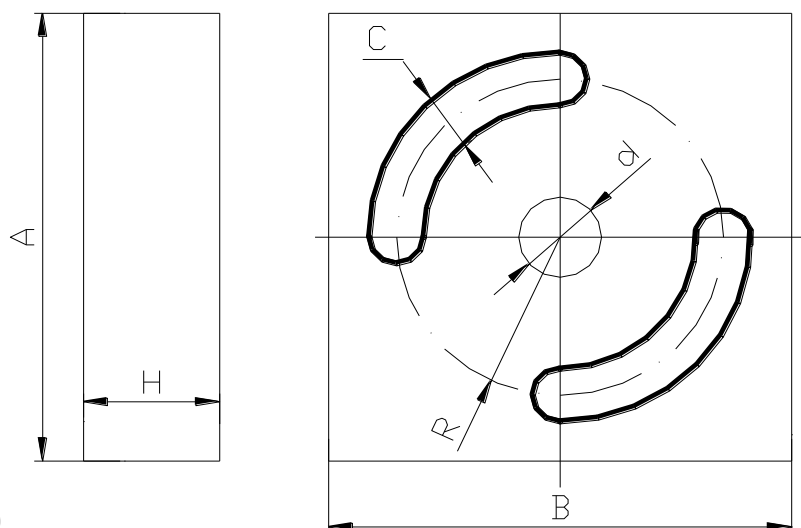
№	L	B	H	B_1	B_2	d	H_1	α
49	300	200	240	160 IT11	20 IT11	16	20	60
50	320	220	260	200 IT10	10 IT10	10	10	55
51	360	260	200	320 IT9	18 IT9	20	25	60
52	400	300	220	260 IT9	20 IT9	12	15	55



Материал Сталь 45

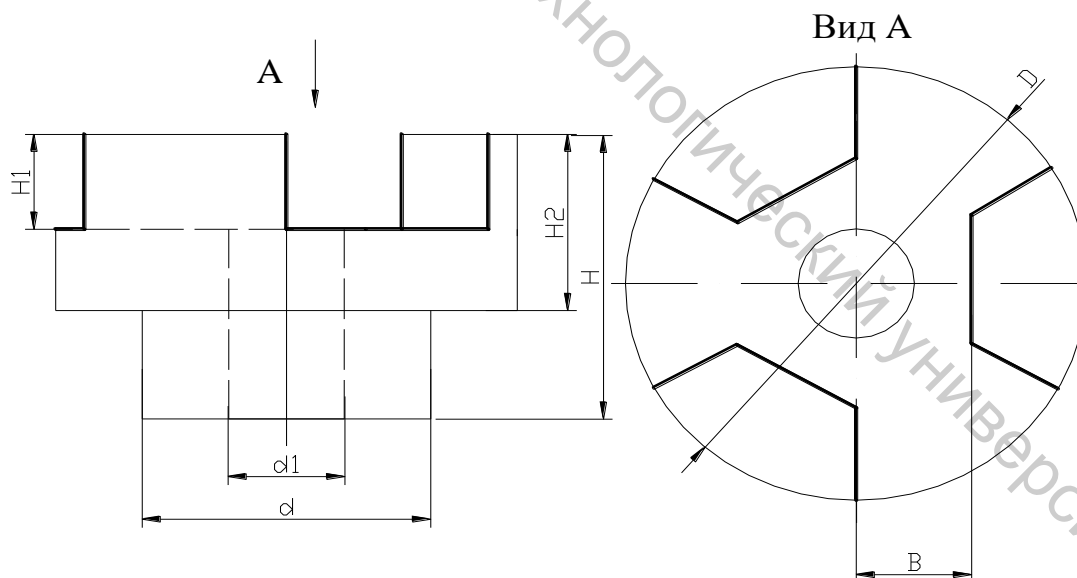
№	L	B	H	B_3	L_1	B_1	B_2	H_1	H_2
53	300	180	200	68	250	12 IT9	20	19	9
54	360	200	160	80	300	14 IT8	24	25	11
55	450	220	180	80	400	18 IT9	30	34	14
56	520	300	250	100	500	22 IT8	36	38	16





Материал СЧ20

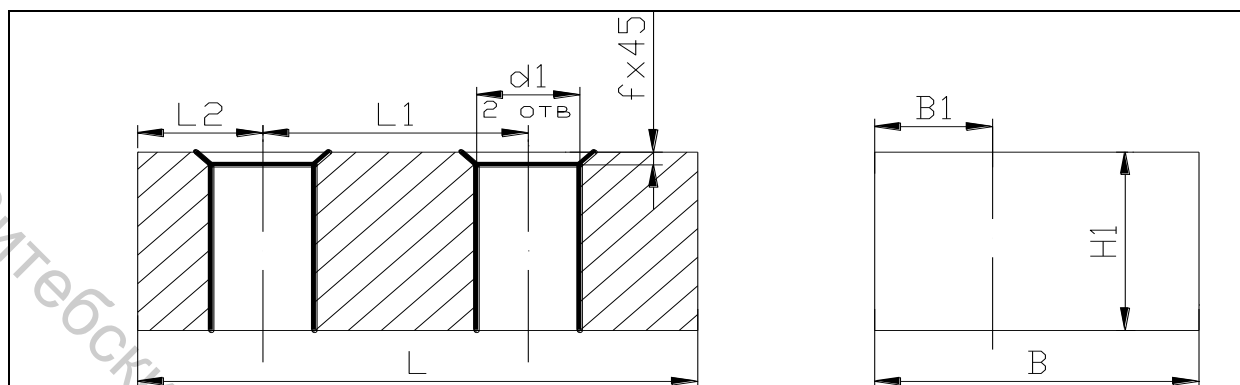
№	A	B	H	d	C	R
65	200	200	10	20	20 IT9	80 IT9
66	240	240	12	25	24 IT10	100 IT10
67	280	280	16	25	30 IT9	110 IT9
68	300	300	20	30	40 IT9	120 IT9



Материал Сталь 45

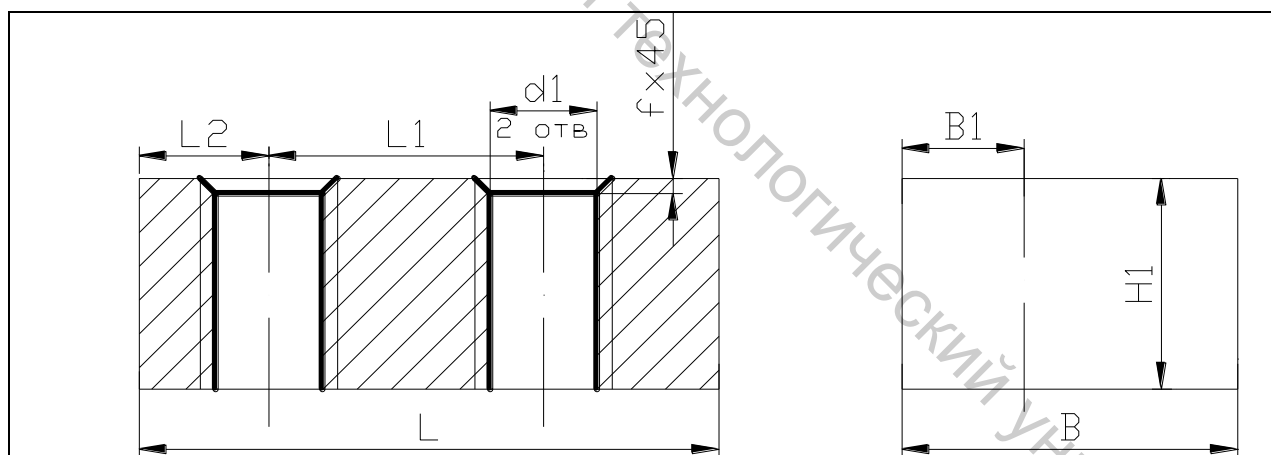
№	H	H1	H2	D	d	d1	B
69	70	30 IT10	50	120	90	30	30 IT10
70	100	50 IT10	60	200	170	50	50 IT10
71	120	50 IT10	80	240	200	60	60 IT10
72	150	70 IT10	100	300	270	80	75 IT11

Задания по проектированию операций обработки на сверлильных станках



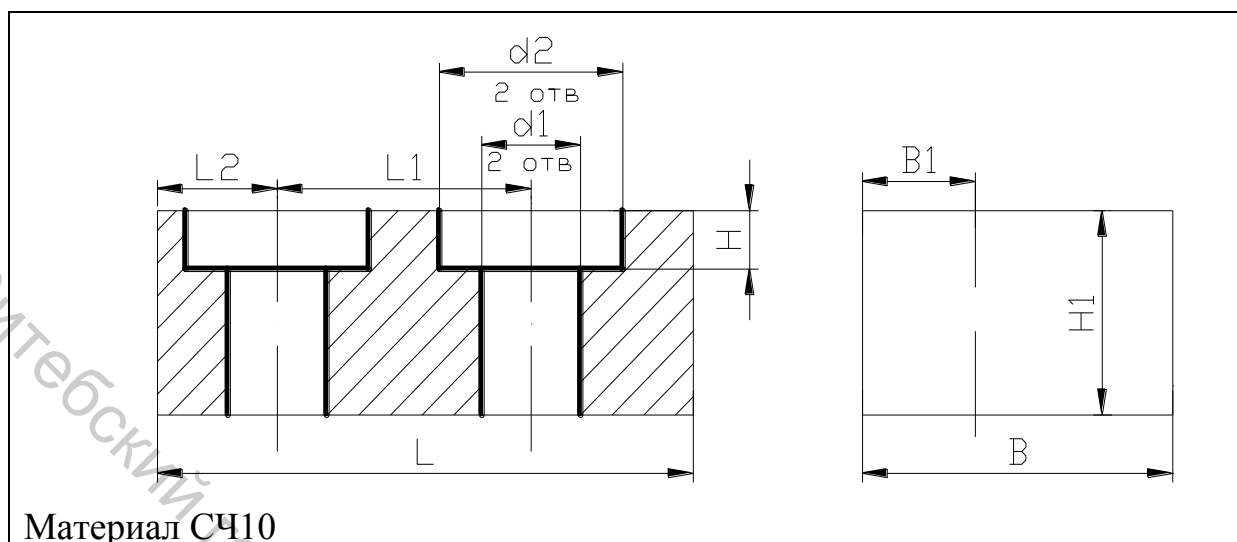
Материал Сталь 45

№	H1	B	L	B1	L2	L1	f	d1
1	40	60	240	30	40	40	1	10H7
2	60	85	280	20	60	60	1,5	10H12
3	60	90	300	40	70	70	2	30H6
4	80	120	350	60	80	80	1,5	12H12



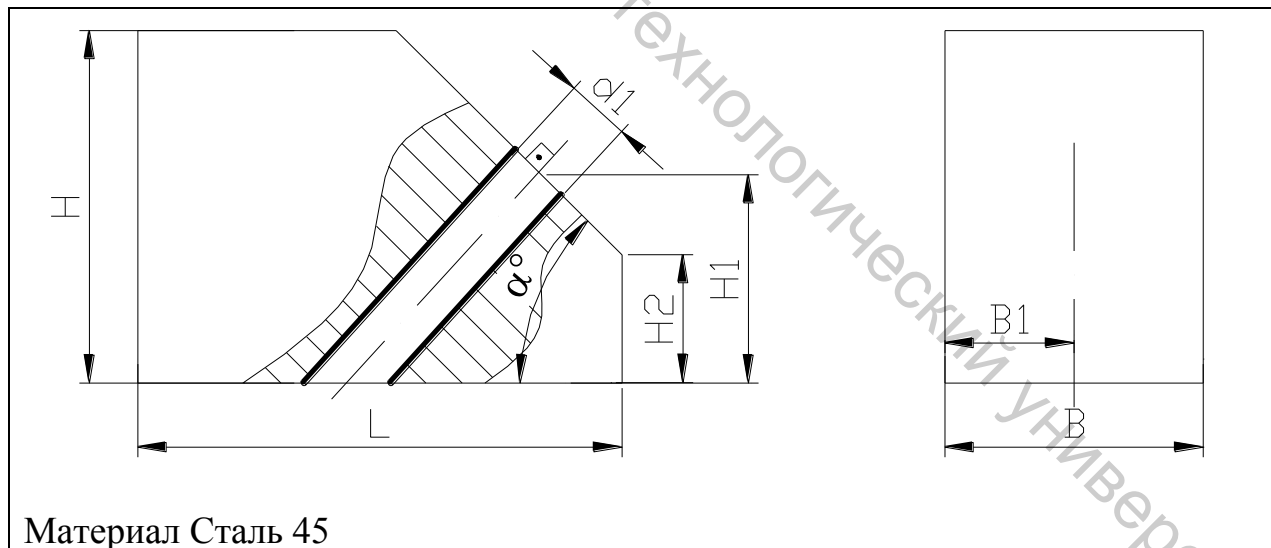
Материал СЧ10

№	H1	B	L	B1	L2	L1	f	d1
5	40	60	240	30	40	40	1	M10H7
6	20	85	280	20	60	60	1,5	M10H7
7	60	90	300	40	70	70	2	M30H6
8	80	120	350	60	80	80	1,5	M24H7



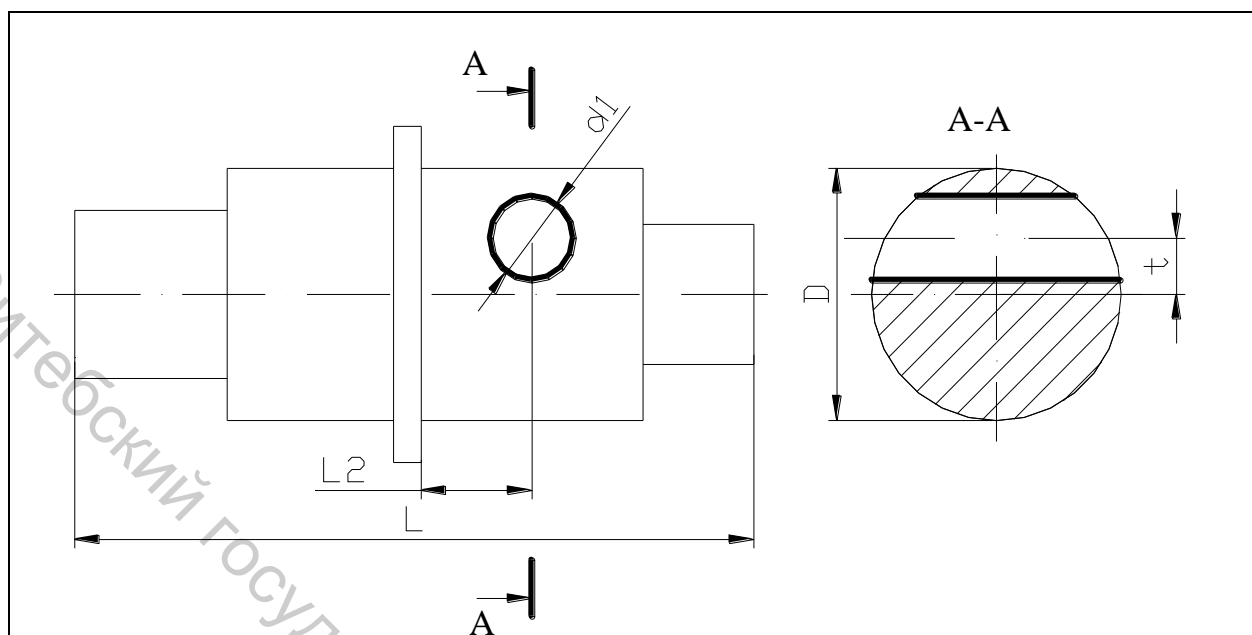
Материал СЧ10

№	H_1	B	L	B_1	L_2	L_1	H	d_2	d_1
9	40	60	240	30	40	40	10	16H12	10H7
10	20	85	280	20	60	60	10	20H12	10H8
11	60	90	300	40	70	70	20	38H12	30H6
12	70	120	350	60	80	80	20	26H12	20H12



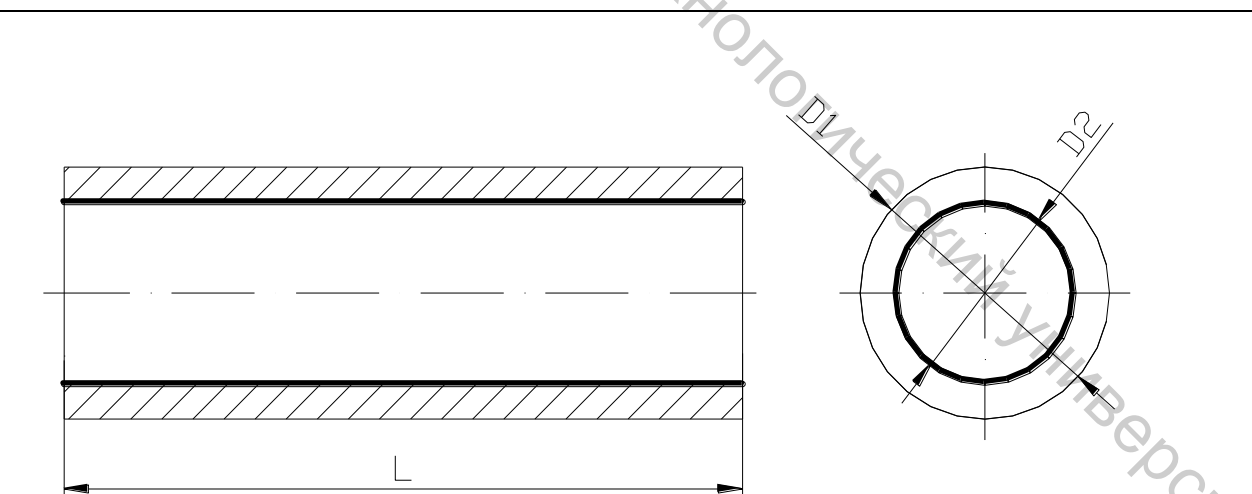
Материал Сталь 45

№	L	H	H_2	H_1	B	B_1	d_1	α
13	200	100	60	80	60	30	20H7	50
14	250	150	70	90	85	50	24H8	45
15	300	120	60	100	50	20	30H6	40
16	350	160	70	95	75	30	12H12	45



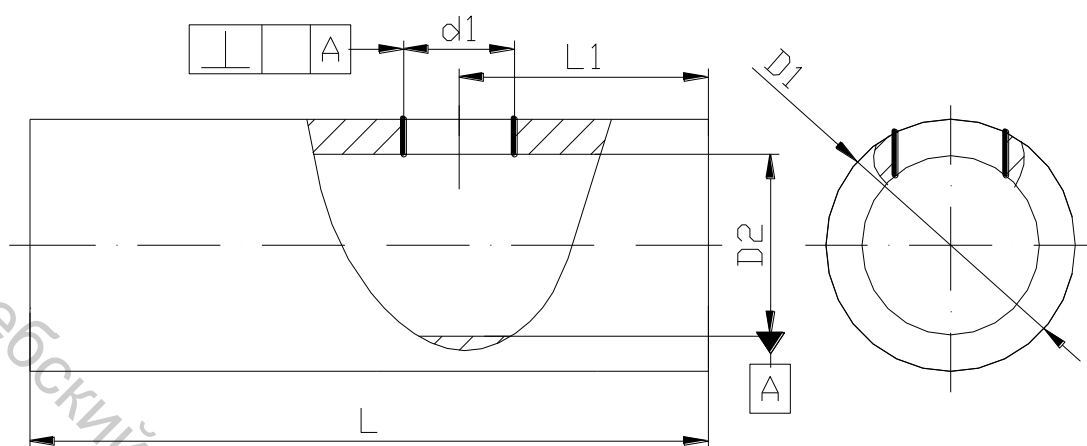
Материал Сталь 45

№	L	$L2$	t	D	$d1$
17	260	10	20	25	10H7
18	300	12	25	30	12H8
19	400	30	30	45	30H6
20	500	10	40	60	2H12



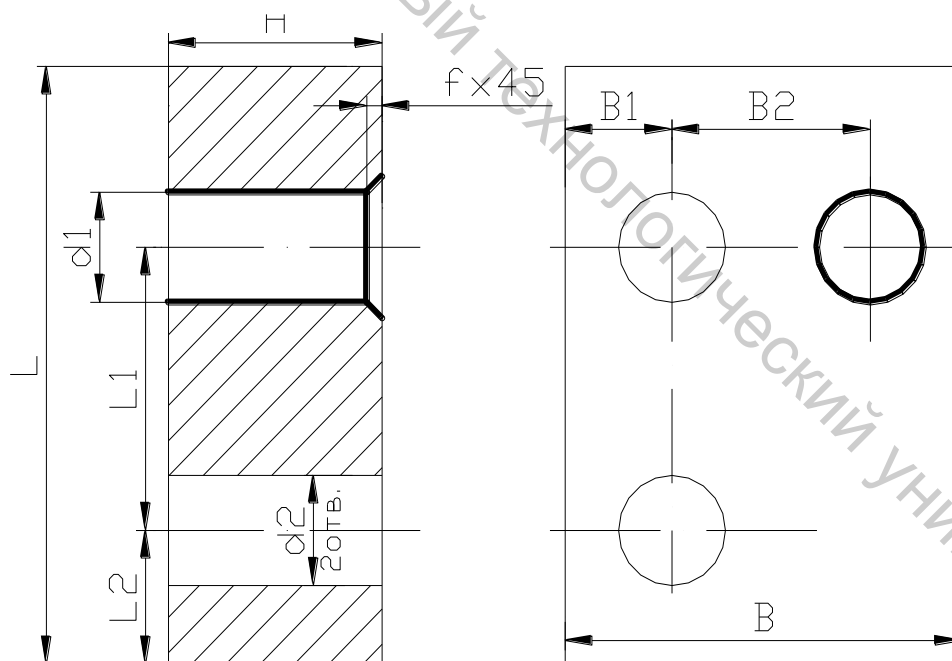
Материал Сталь 45

№	L	$D1$	$D2$
21	60	65	20H7
22	100	30	12H8
23	150	80	40H6
24	30	20	16H12



Материал Сталь 45

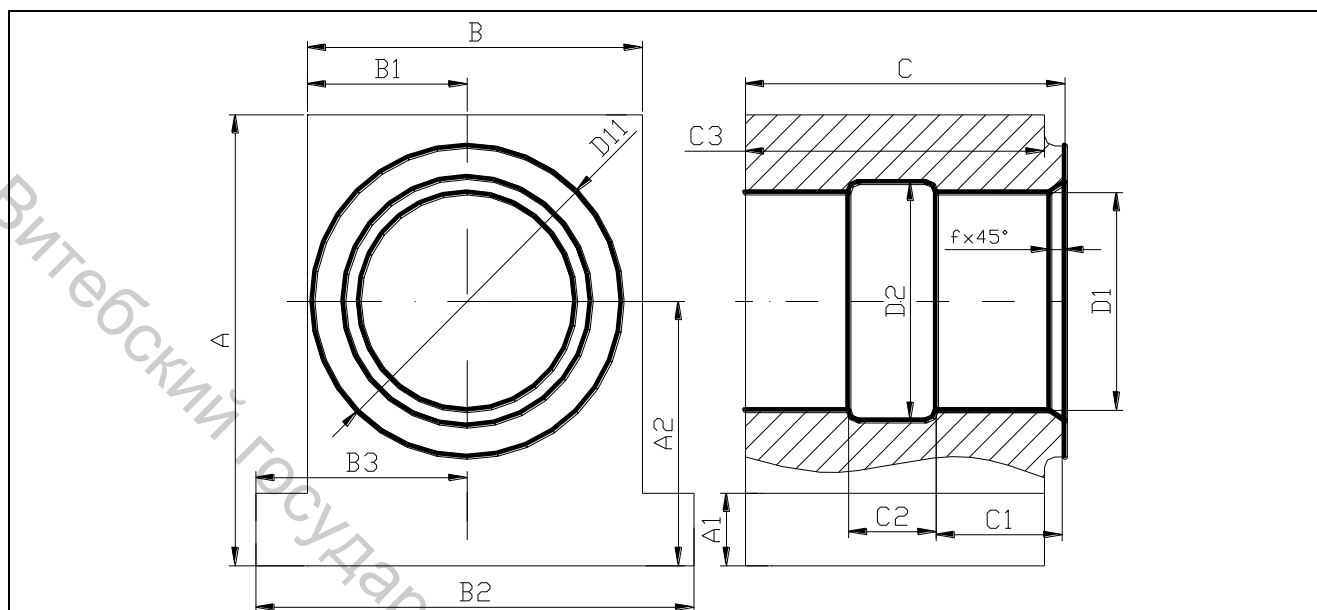
№	L	$L1$	$D1$	$D2$	$d1$
25	60	30	65	20H7	20H7
26	100	60	30	12H8	12H8
27	150	70	80	40H6	40H6
28	30	10	20	16H12	16H9



Материал СЧ10

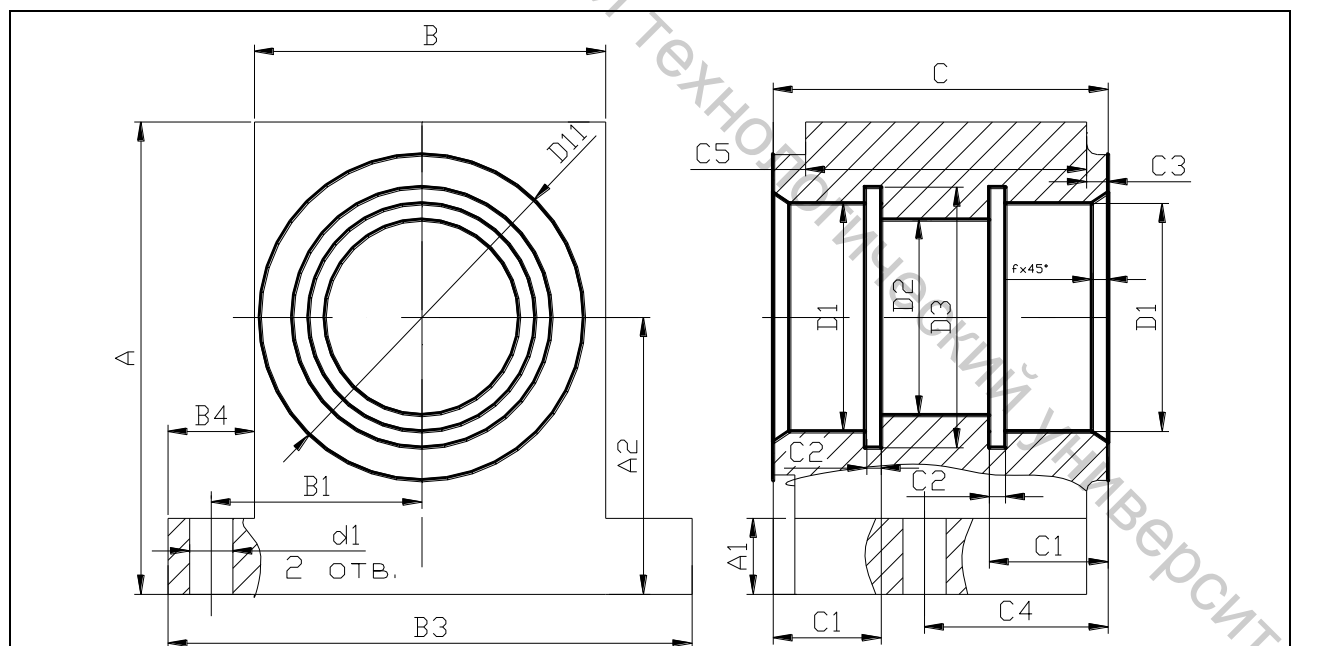
№	H	B	L	$B1$	$B2$	$L2$	$L1$	$d2$	$d1$
29	40	400	240	90	90	90	90	16H12	10H7
30	20	300	280	100	60	60	60	20H12	10H8
31	60	500	300	140	80	80	80	38H12	30H6
32	70	300	350	160	80	80	80	26H12	20H10

Задания по проектированию операций обработки на расточных станках



Материал СЧ20

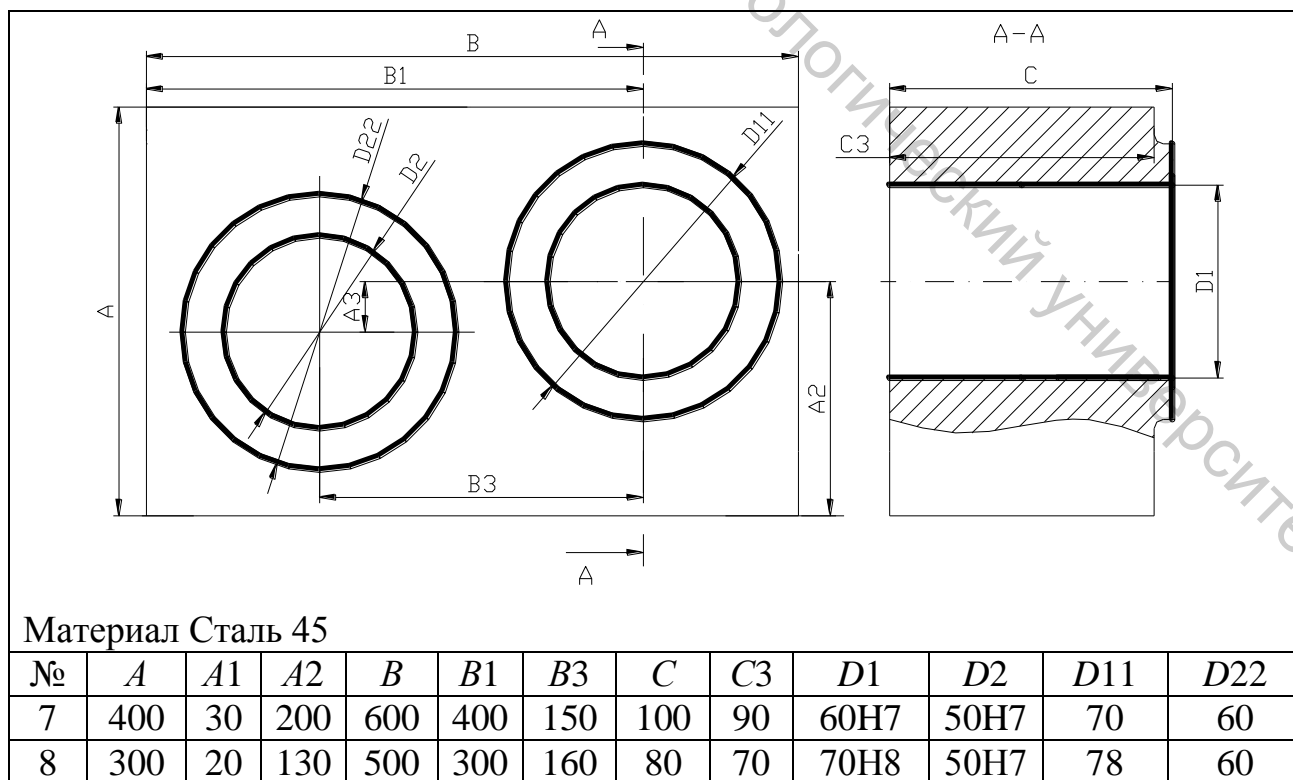
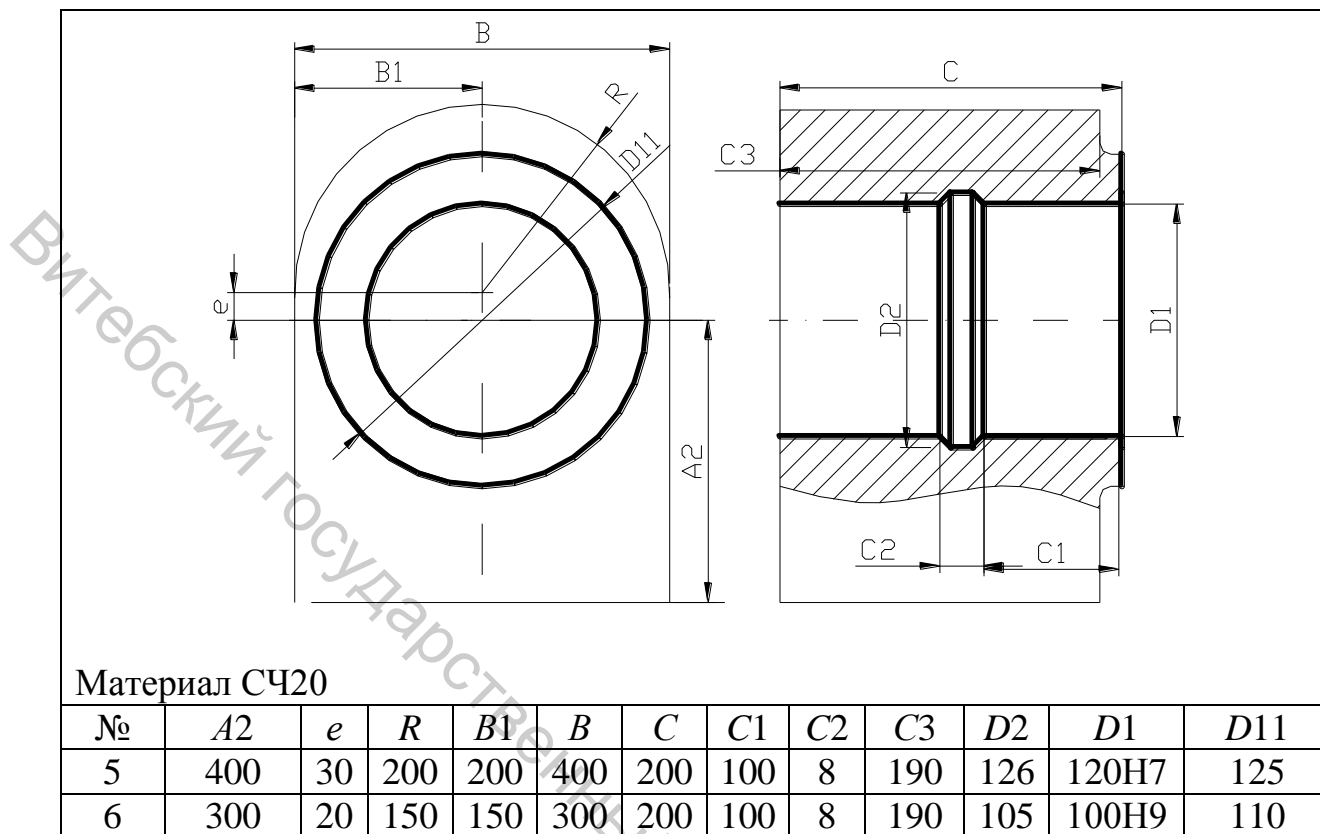
№	A	A1	A2	B	B1	B2	B3	C	C1	C2	C3	D1	D2	D11	f
1	400	30	200	400	200	480	240	400	150	50	390	100H7	103H12	160	2
2	300	30	130	300	150	360	180	200	90	40	190	80H9	82H12	100	2

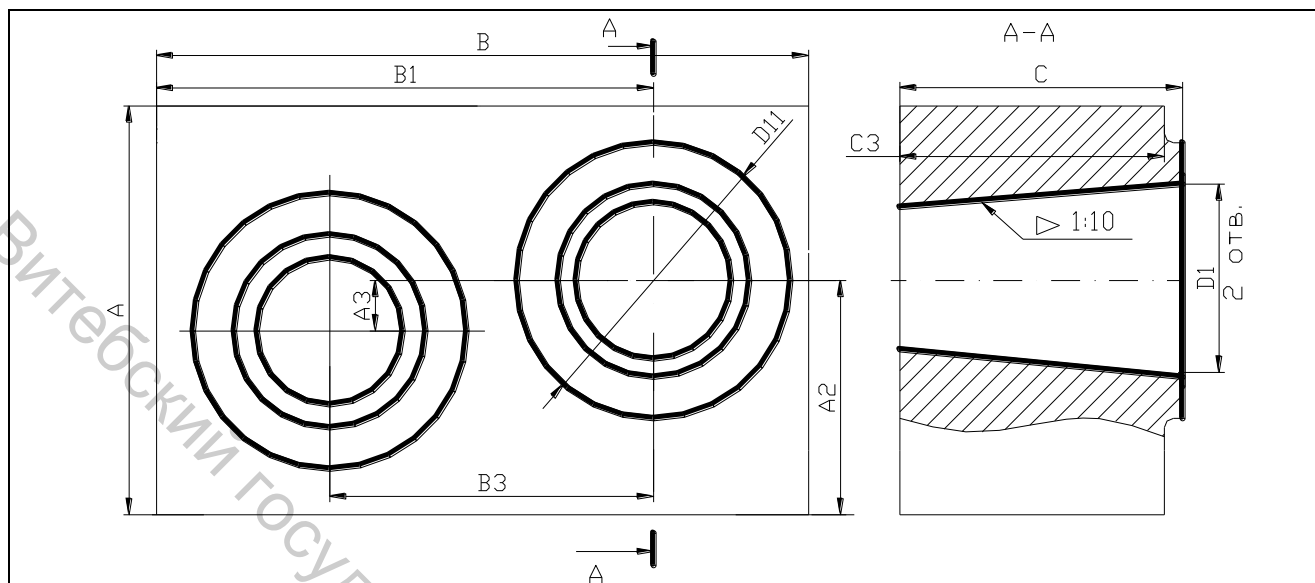


Материал СЧ20

№	A	A1	A2	B	B1	B2	B3	B4	C	C1	C2	C3	C5
3	400	60	200	400	200	480	460	30	400	100	5	10	380
4	300	30	130	300	150	360	380	40	200	60	5	10	180

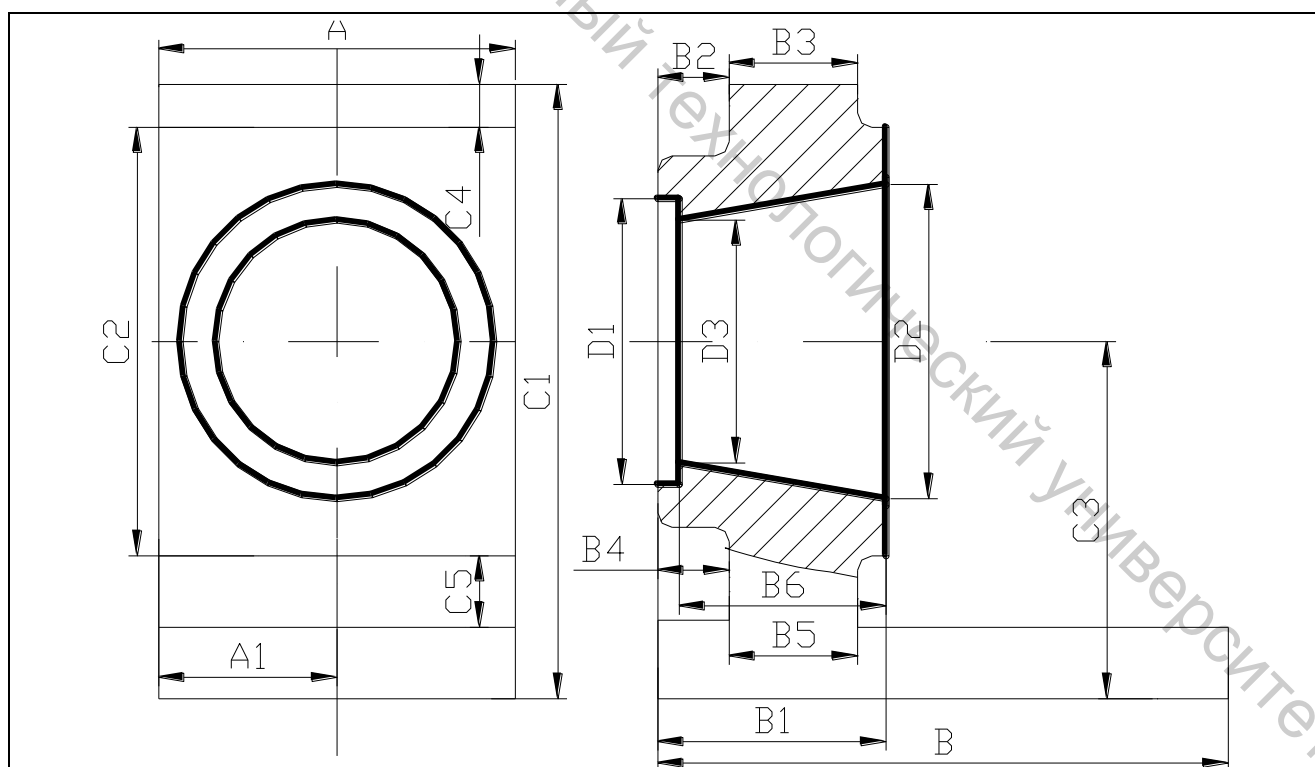
№	C4	D1	D2	D3	D11	d1	f
3	200	100H7	90H9	106	120	20	2
4	100	80H9	70H9	106	90	10	2





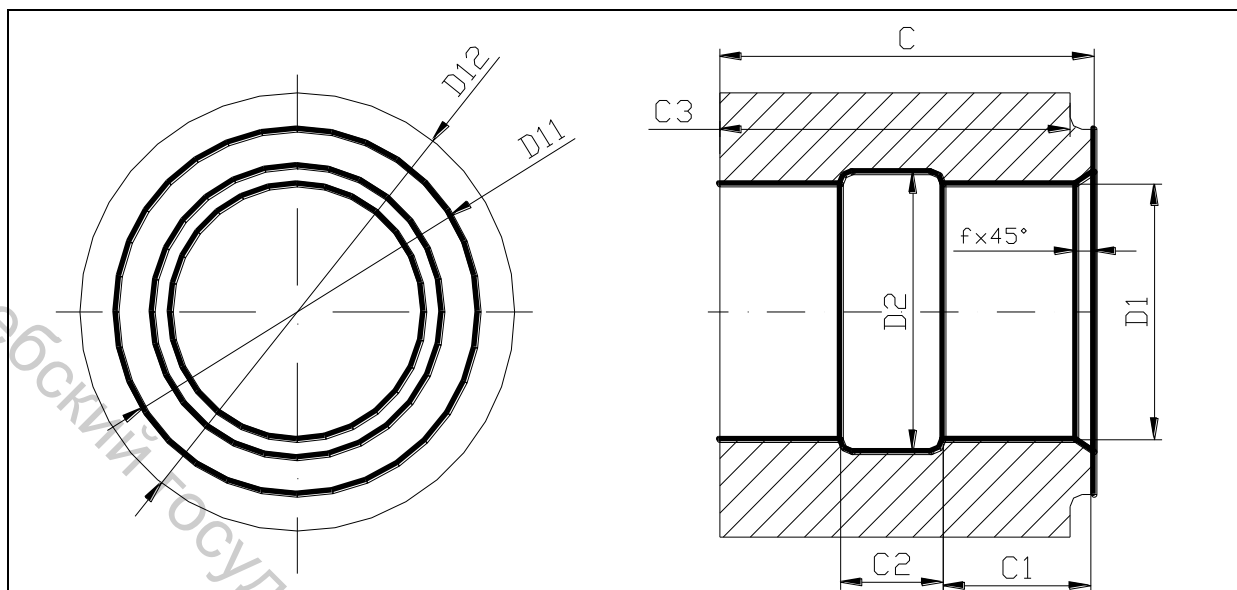
Материал СЧ20

№	A	A1	A2	B	B1	B3	C	C3	D1	D11	D22
9	400	30	200	600	400	150	100	90	60H7	70	60
10	300	20	130	500	300	160	80	70	70H8	78	60



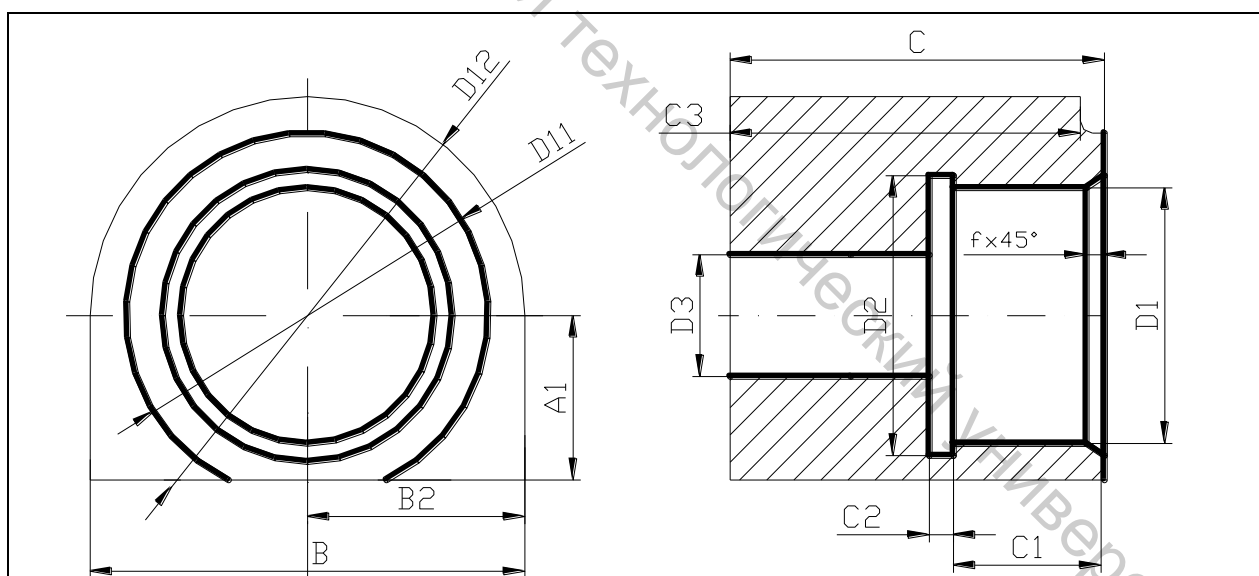
Материал Сталь 45

№	A	A1	B	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3
11	400	200	400	100	20	60	25	70	80	300	260	150	10	10	100H9	100H7	60H7
12	300	150	300	100	20	70	30	60	70	280	240	140	10	10	90H9	100H7	70H7



Материал СЧ20

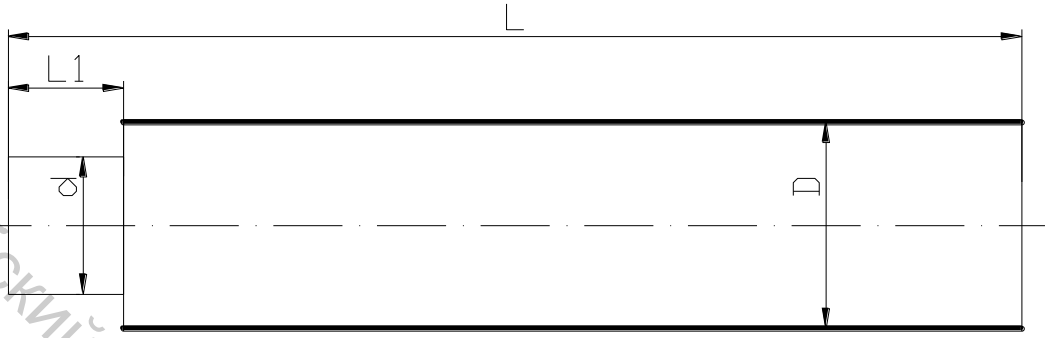
№	C	C1	C2	C3	D1	D2	D11	D12	f
13	400	150	50	390	100H7	103H12	160	200	2
14	200	90	40	190	80H9	82H12	100	150	2

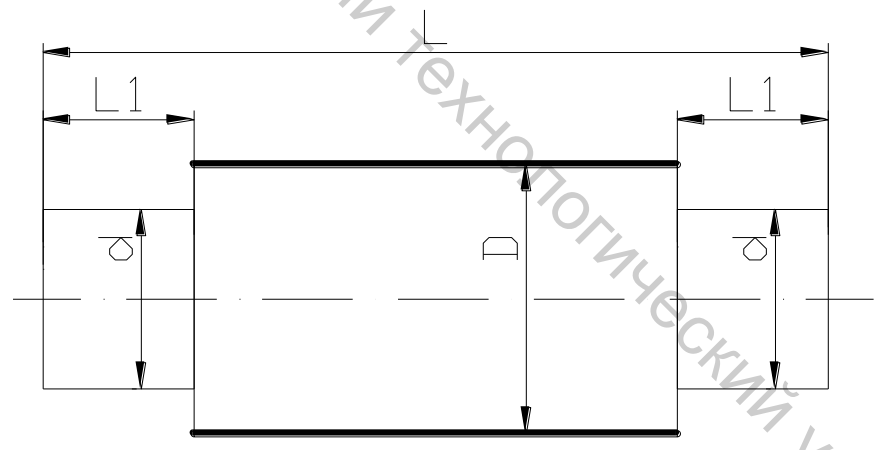


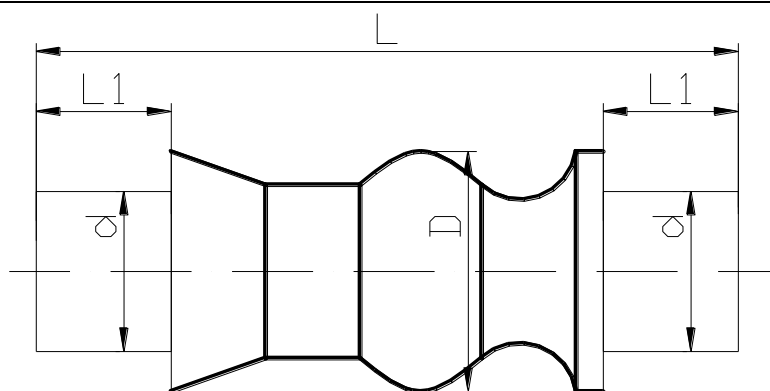
Материал Сталь 45

№	C	C1	C2	C3	B	B1	D1	D2	D3	D11	D12	f
15	400	150	5	390	200	100	100H7	103H12	70H7	160	200	2
16	200	90	6	190	150	75	80H9	82H12	60H7	100	150	2

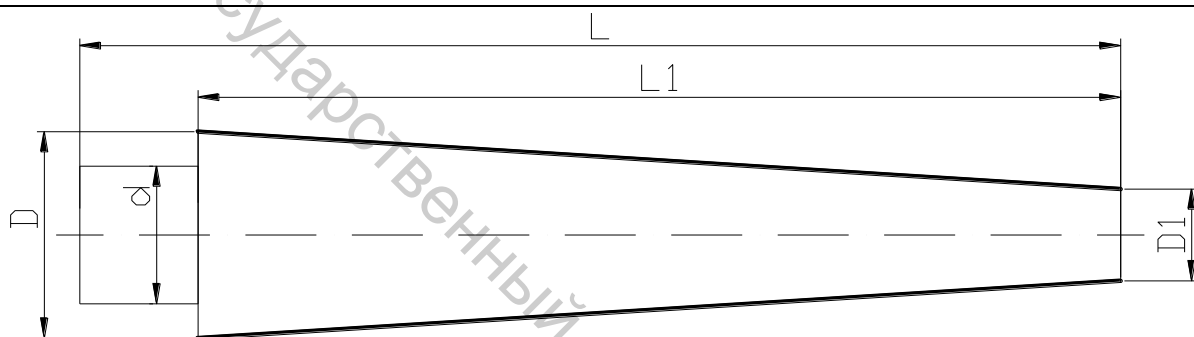
Задания по проектированию операций обработки на шлифовальных станках

								
№	D	Ra	HRC	М-ал	Припуск	d	L	$L1$
1	50h7	0,63	40	Сталь50	1	30	300	50
2	50h6	1,25	34	Сталь 30ХС	1,5	20	180	20
3	100h8	0,8	60	Сталь 18ХГТ	2	80	200	40

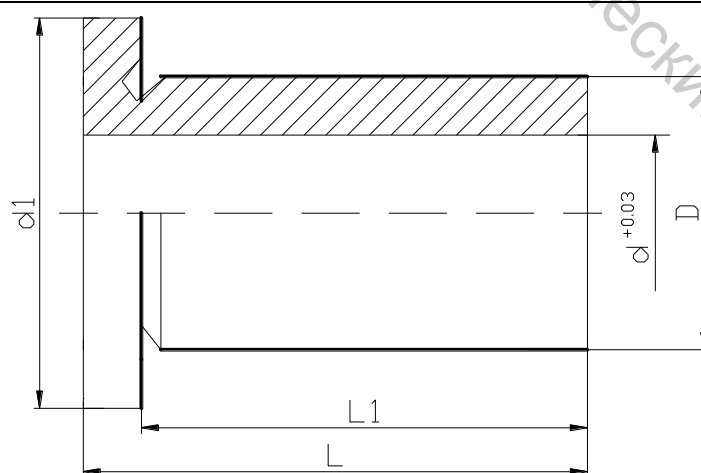
								
№	D	Ra	HRC	М-ал	Припуск	d	L	$L1$
4	50h7	1,25	40	Сталь50	1	30	150	50
5	50h6	0,63	34	Сталь 30ХС	1,5	20	180	50
6	80h7	0,8	60	Сталь 18ХГТ	2	80	120	40



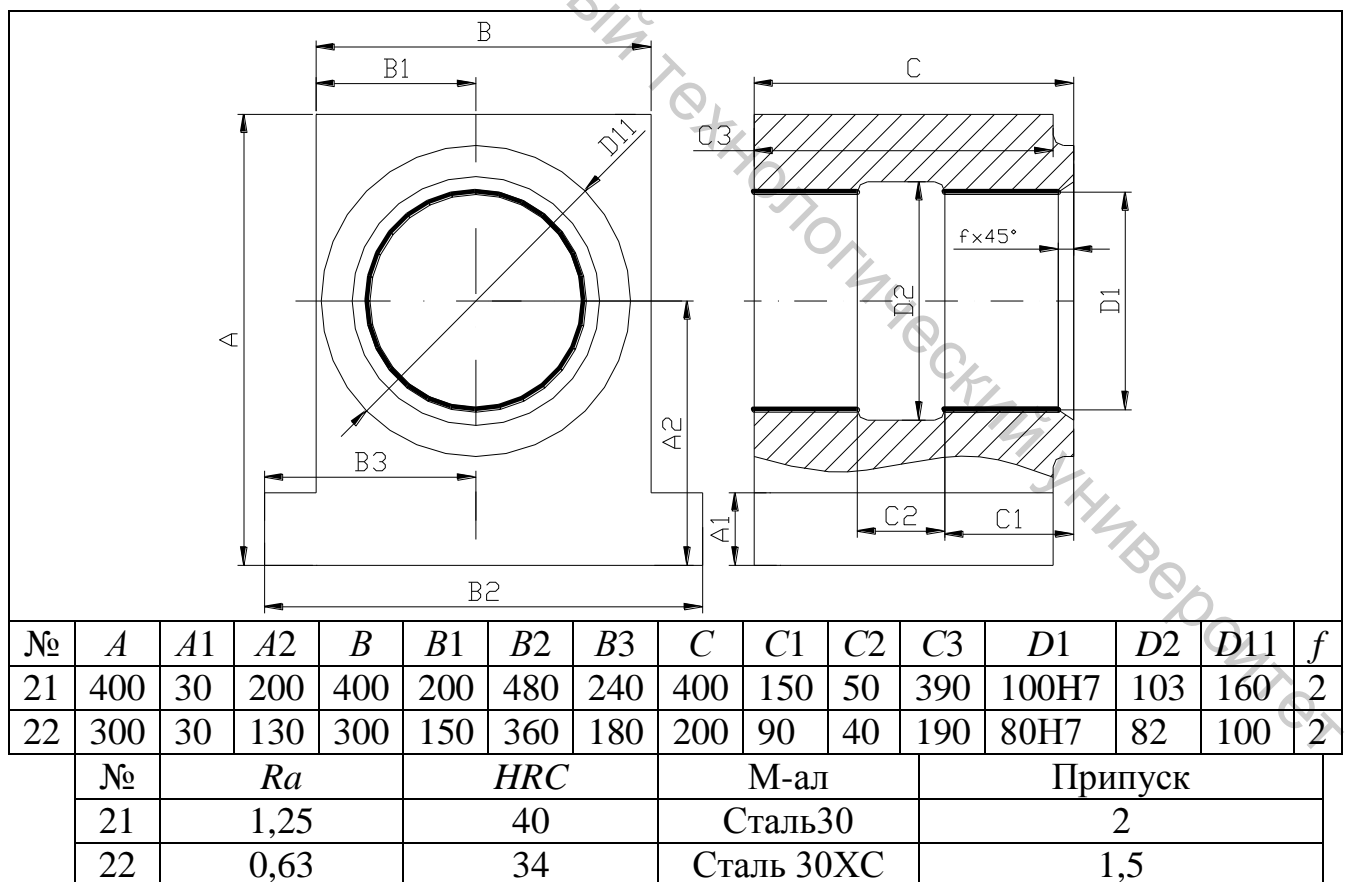
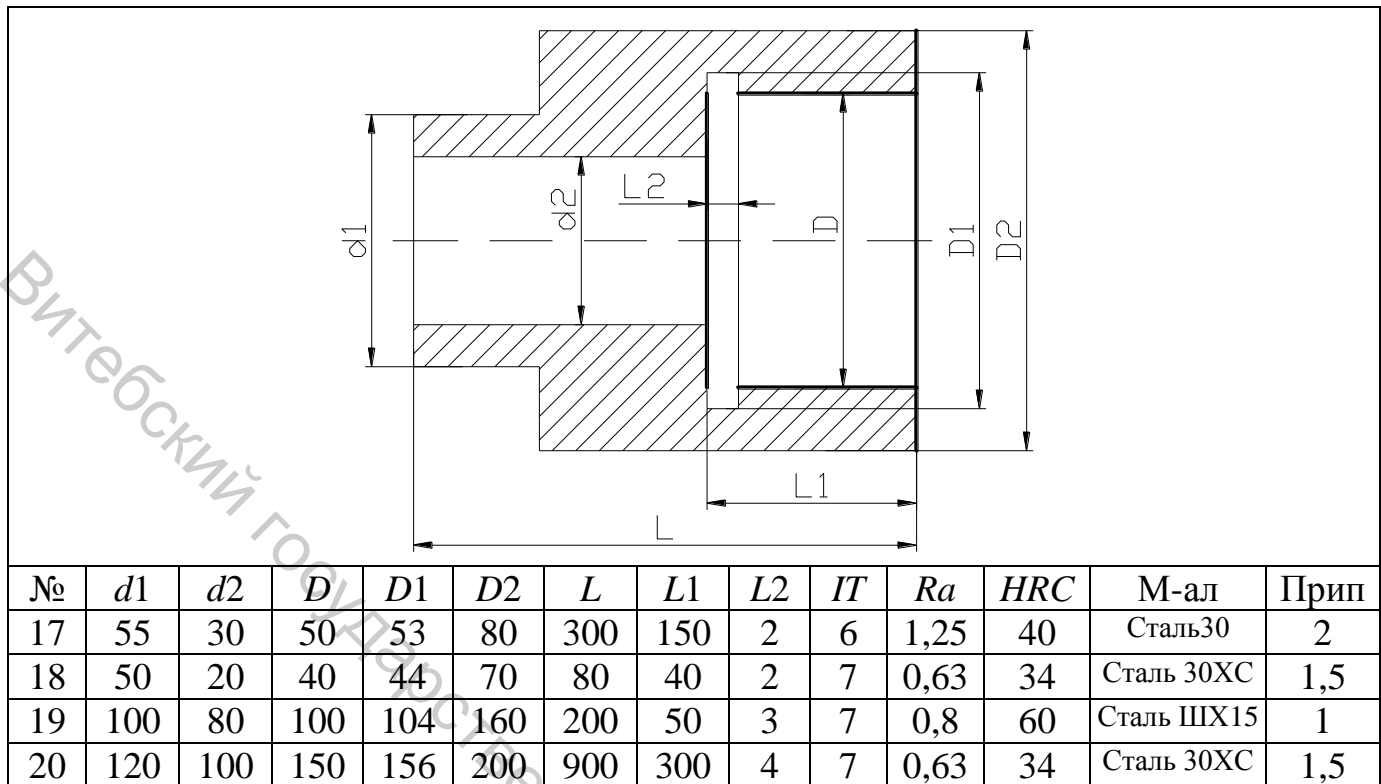
№	D	Ra	HRC	М-ал	Припуск	d	L	$L1$
7	50h7	1,25	40	Сталь50	1	30	150	50
8	50h6	0,63	34	Сталь 30ХС	1,5	20	180	50
9	80h7	0,8	60	Сталь 18ХГТ	2	80	120	40

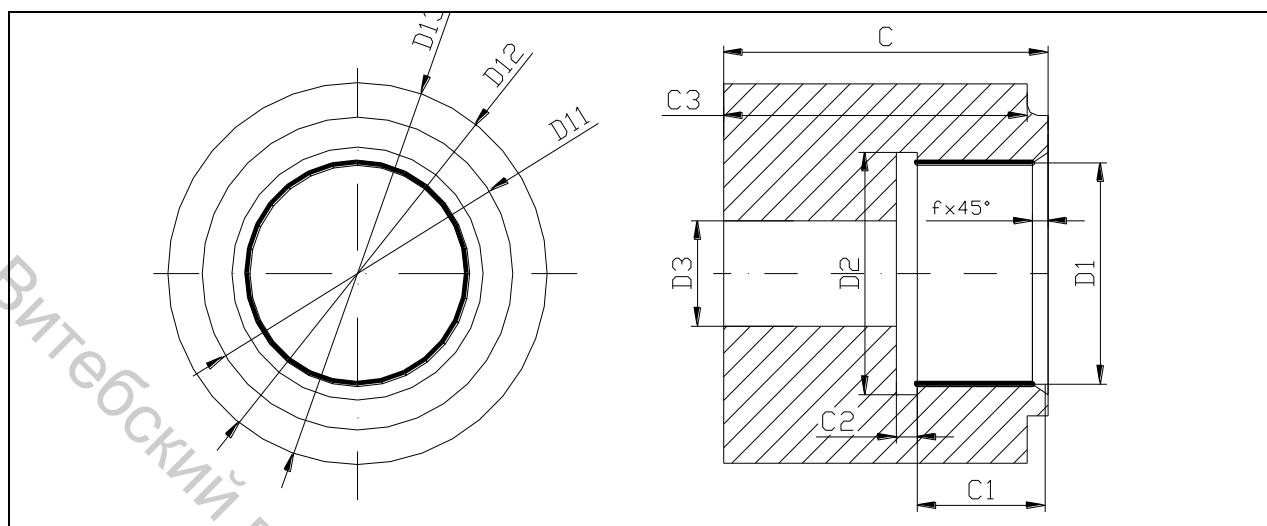


№	D	IT	Ra	HRC	М-ал	Припуск	d	$D1$	L	$L1$
10	47	6	1,25	40	Сталь35	2	30	30	300	250
11	50	7	0,63	60	Сталь 50Г	1,5	20	20	80	60
12	100	7	0,8	35	Сталь 18ХГТ	1	80	80	200	160

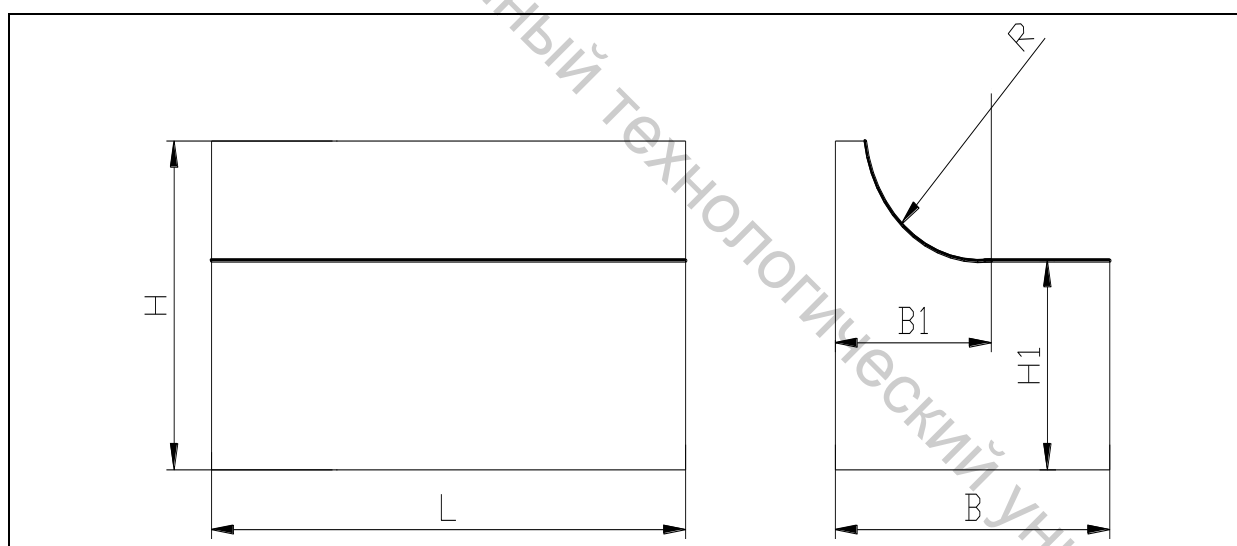


№	D	IT	Ra	HRC	М-ал	Припуск	d	$d1$	L	$L1$
13	55	6	1,25	40	Сталь40	2	30	60	300	250
14	50	7	0,63	34	Сталь 45ХН	1,5	20	69	80	30
15	100	7	0,8	60	Сталь 18ХГТ	1	80	120	100	35
16	120	7	0,63	34	Сталь 30ХС	1,5	100	140	400	300

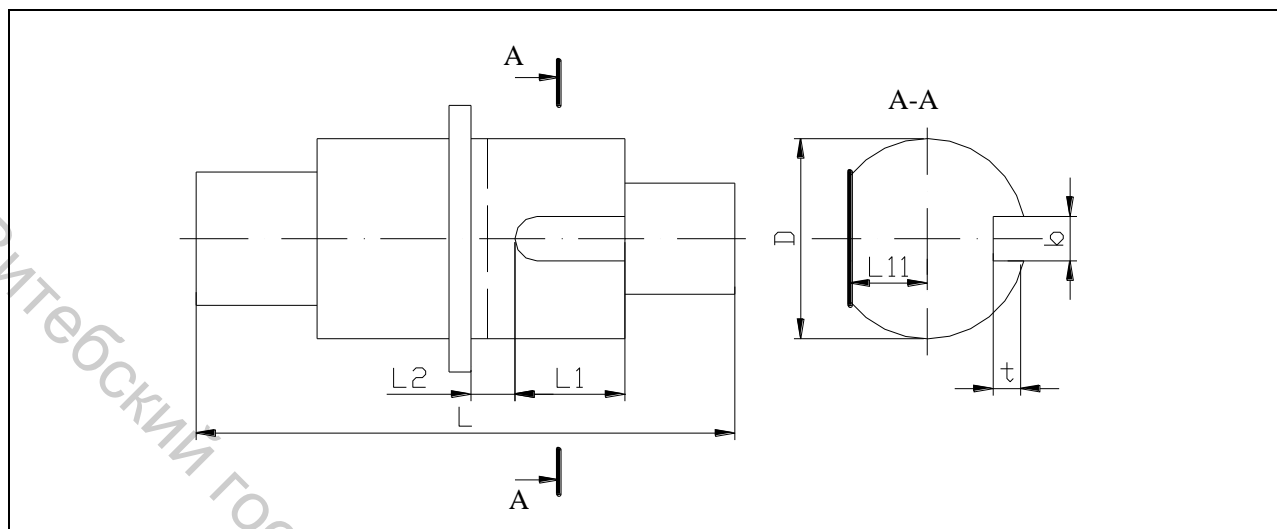




№	C	C1	C2	C3	B	B1	D1	D2	D3	D11	D12	f
23	400	150	5	390	200	100	100H7	103H12	70H7	160	200	2
24	200	50	6	190	150	75	50H8	82H12	60H7	100	150	2
	№	Ra		HRC			М-ал		Припуск			
	23	1,25		40			Сталь50		1			
	24	0,63		34			Сталь 30XC		1,5			

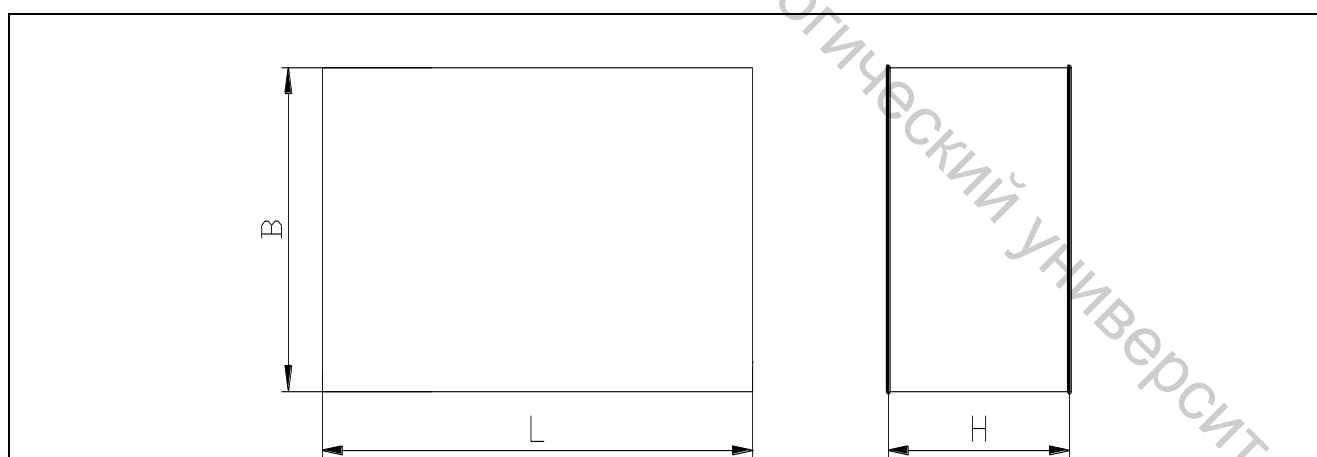


№	H	B	L	H1	B1	R	Ra
25	40	60	240	35	30	25	12,5
26	50	85	280	40	55	30	12,5
27	60	90	300	52	50	40	6,3
28	80	120	350	60	80	50	2,5
№	IT	Ra		HRC	М-ал		При- пуск
25	6	1,25		40	Сталь30		2
26	7	0,63		34	Сталь 30XC		1,5
27	7	0,8		60	Сталь ШХ15		1
28	7	0,63		34	Сталь 30XC		1,5



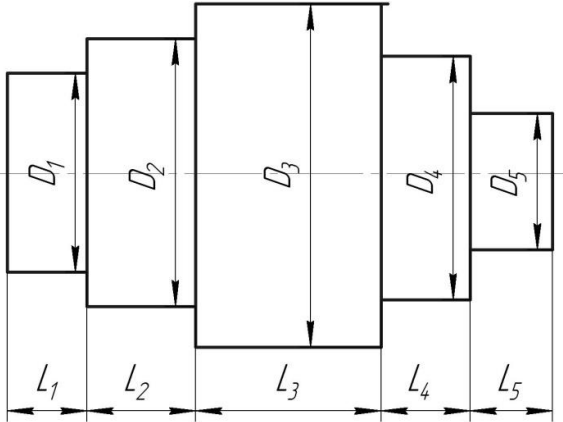
№	L	$L2$	$L1$	$L11$	D	b	t
29	260	2	20	11	25	6	3,8
30	300	3	25	10	30	8	4,5
31	400	5	30	20	45	12	5,2
32	500	5	40	25	60	16	6,5

№	IT	Ra	HRC	М-ал	Припуск
29	7	1,25	40	Сталь30	2
30	8	0,63	34	Сталь 30ХС	1,5
31	6	01,25	60	Сталь ШХ15	1
32	7	0,63	34	Сталь 30ХС	1,5



№	L	B	H	Ra	IT	Ra	HRC	М-ал	Припуск
33	250	120	120	12,5	7	1,25	40	Сталь30	2
34	300	180	160	6,3	8	0,63	34	Сталь 30ХС	1,5
35	360	100	180	3,2	6	01,25	60	Сталь ШХ15	1
36	400	200	120	2,5	7	0,63	34	Сталь 30ХС	1,5

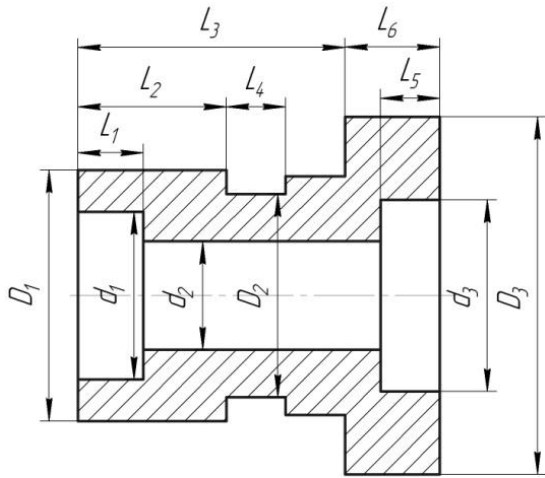
Задания по проектированию операций обработки ППД

Вариант	Материал	ТО или ХТО	Ra , мкм	Значения и точность размеров, мм	Чертеж детали
1	2	3	4	5	6
1	Сталь У10	ТО, 62HRC ₃	0,2	$D_1 = 40h7; L_1 = 68 \pm 0,2$	
2	Сталь 20Х	ХТО, 60HRC ₃	0,4	$D_2 = 50h7; L_1 = 52 \pm 0,1$	
3	Сталь 45	ТО, 45HRC ₃	0,2	$D_3 = 60h7; L_1 = 45 \pm 0,15$	
4	Сталь 60Г2	Без ТО	0,3	$D_4 = 45h6; L_1 = 48 \pm 0,12$	
5	Сталь 12Х18Н10Т	Без ТО	0,45	$D_5 = 25h6; L_1 = 35 \pm 0,1$	
6	Латунь Л63	Без ТО	0,15	$D_1 = 30f6; L_1 = 25 \pm 0,18$	
7	Бронза БрОС8-12	Без ТО	0,2	$D_2 = 38k7; L_2 = 72 \pm 0,15$	
8	Титановый сплав ОТ4	Без ТО	0,35	$D_3 = 42n8; L_3 = 72 \pm 0,15$	
9	Алюминиевый сплав	Без ТО	0,22	$D_4 = 35n7; L_4 = 44 \pm 0,05$	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
10	Сталь 45	Без ТО	Поверх- ность Л 0,2	$S = 48_{-0,1}; L = 122_{-0,4}; B = 80_{-0,2}$	
11	Сталь 20ХН	Без ТО	0,1	$d_1 = 5H6; l_1 = 19 \pm 0,1; l_2 = 22 \pm 0,12;$ $S = 20_{-0,1}$	
12	Сталь 45Х	Без ТО	0,12	$d_2 = 3H7; l_3 = 114 \pm 0,1; l_4 = 28 \pm 0,12;$ $S = 20_{-0,1}$	
13	Чугун Сч20	Без ТО	0,2	$d_3 = 5H8; l_5 = 25 \pm 0,1; l_6 = 48 \pm 0,15;$ $S = 18_{-0,1}$	
14	Сталь У12А	ТО, 64HRCэ	0,15	$d_4 = 20H7; l_3 = 114 \pm 0,1; l_7 = 97 \pm 0,05;$ $S = 60_{-0,2}$	
15	Сталь ХВГ	ТО, 64HRCэ	0,1	$d_1 = 32H5; l_1 = 40 \pm 0,1; l_2 = 48 \pm 0,2;$ $S = 80_{-0,4}$	
16	Сталь 15ХН	ХТО, 62HRCэ	0,3	$d_3 = 24H7; l_5 = 66 \pm 0,2; l_6 = 50 \pm 0,1;$ $S = 48_{-0,2}$	
17	Сталь 40Х	Без ТО	0,25	$d_5 = 6H6; l_{10} = 28 \pm 0,2; l_{11} = 66 \pm 0,05;$ $S = 25_{-0,1}$	
18	Бронза Бр ОЦС4-4-25	Без ТО	0,2	$d_6 = 45H5; l_8 = 28 \pm 0,1; l_9 = 30 \pm 0,15;$ $S = 15_{-0,1}$	
19	Латунь Л80	Без ТО	0,1	$D_3 = 49H7; l_5 = 20 \pm 0,1; l_6 = 22 \pm 0,2;$ $S = 15_{-0,2}$	
20	Бронза Бр ОЦС6-6-3	Без ТО	0,28	$d_4 = 60H6; l_3 = 188 \pm 0,1; l_7 = 95 \pm 0,2;$ $S = 72_{-0,2}$	
21	Латунь Л70	Без ТО	0,42	$d_5 = 7H7; l_{10} = 33 \pm 0,2; l_{11} = 63 \pm 0,4;$ $S = 21_{-0,15}$	
22	Никелевый сплав ХН67ВМТ10	Без ТО	0,2	$d_6 = 8H6; l_8 = 88 \pm 0,4; l_9 = 48 \pm 0,2;$ $S = 24_{-0,1}$	

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
23	Сталь 20	ТО, 64HRC ₃	0,6	$D_1 = 88k6; L_3 = 112 \pm 0,4$	
24	Сталь 20	Без ТО	0,45	$D_3 = 114f7; L_4 = 66 \pm 0,5$	
25	Сталь У8	ТО, 62HRC ₃	0,1	$d_1 = 75H7; L_1 = 28 \pm 0,08$	
26	Сталь У9	Без ТО	0,5	$d_2 = 60H8; L_3 = 128 \pm 0,21$ $L_1 = 28 \pm 0,08$	
27	Сталь 40ХН	ТО, 49HRC ₃	0,4	$d_3 = 70H6; L_5 = 30 \pm 0,1$	
28	Алюминиевый сплав Д16	Без ТО	0,35	$D_2 = 79K6; D_1 = 95K11;$ $L_2 = 90 \pm 0,2; L_4 = 21H6;$	
29	Латунь Л68	Без ТО	То- рец К 0,2	$d_3 = 60H6; D_3 = 100h8;$ $L_6 = 55h14$	
30	Сталь 12X18H10T	Без ТО	0,1	$d_2 = 10H6; L_3 = 84; L_6 = 42;$ $L_1 = L_5 = 16;$	

Вариант	Заготовка		Обработка ППД		Параметры режима обработки			Исследуемые параметры					
	Материал	Диаметр D_3 , мм	Способ	Инструмент	P , Н	S , мм/об	n , мин ⁻¹	ΔD , мм	R_z , R , мкм	R_a , мкм	h , мкм	F_H , %	HV
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Сталь 45	75	Накатывание	Шар	10- 40 (через 10)	ПРМР 0,05	315	+	+				+
2						ЧРМР 0,8	40	+		+			+
3								+			+		+
4								+				+	+
5	Сталь У7	70	Выглаживание	Алмазный наконечник	10- 40 (через 10)	ПРМР 0,06	400	+	+				+
6						ЧРМР 0,7	50	+		+			+
7								+				+	+
8								+			+		+
9	Алюминиевый Сплав Д1	65	Вибронакатывание	Профильный ролик	5-20 (через 5)	ПРМР 0,75	500	+		+			+
10						ЧРМР 2,0	31,5	+	+				+
11								+			+		+
12								+				+	+
13	Медный сплав Л63	60	Накатывание	Ролик	7-28 (через 5)	ПРМР 0,09	600	+		+			+
14						ЧРМР 1,0	63	+	+				+
15								+				+	+
16								+			+		+
17	Сталь 12Х18Н10Т	40	Вибровыглаживание	Алмазный наконечник	10-30 (через 5)	ПРМР 0,5	240	+					
18						ЧРМР 1,0	50	+					
19								+					
20								+					

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
21	Никелевый сплав ХН67ВИТ10	48	Вибро- на- катыва- ние	Про- филь- ный си- нусои- дальный ролик	5-20 (через 5)	ПРМР 0,5	600	+		+			+
22								+	+				+
23						ЧРМР 1,5	28	+				+	+
24								+			+		+
25	Чугун СЧ20	50	Накаты- вание	Шар	10-30 (через 5)	ПРМР 0,5	400	+	+				+
26								+		+			+
27						ЧРМР 2,5	28	+			+		+
28								+				+	+
29	Титановый сплав ВТЗ- 1	55	Вибро- на- катыва- ние	Про- филь- ный ко- синусо- идадь- ный ро- лик	15- 35 (через 5)	ПРМР 0,2	700	+		+			+
30								+	+				+
31						ЧРМР 2,1	80	+				+	+
32								+			+		+

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акимов, В. Л. Внутреннее шлифование / В. Л. Акимов, В. А. Иванов. – Ленинград : Машиностроение, 1980. – 128 с.
2. Беляков, Н. В. Формализация синтеза технологических процессов механической обработки заготовок корпусных деталей машин / Н. В. Беляков // Материалы, технологии, инструменты. – 2006. – № 4. – С. 32–38.
3. Беляков, Н. В. Алгоритмическое обеспечение САПР технологических процессов изготовления корпусных деталей на станкостроительных предприятиях / Н. В. Беляков, В. И. Ольшанский, Ю. Е. Махаринский, Н. Н. Попок // Вестник Витебского государственного технологического университета / УО «ВГТУ»; гл. ред. В. С. Башметов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2011. – Вып. 21. – С. 19 – 28.
4. Богданов, А. В. Расточное дело / А. В. Богданов. – Москва : Машгиз, 1960. – 232 с.
5. Горохов, В. А. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов : учебник для ВУЗов : в 2-х ч. / В. А. Горохов [и др.] ; под ред. В. А. Горохова. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – Ч. 1. – 496 с.
6. Горохов, В. А. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов : учебник для ВУЗов : в 2-х ч. / В. А. Горохов [и др.] ; под ред. В. А. Горохова. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – Ч. 2. – 576 с.
7. Горохов, В. А. Технология обработки материалов : учебное пособие для ВУЗов / В. А. Горохов. – Минск : Беларуская навука, 2000. – 439 с.
8. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения : учеб. для машиностроит. спец. вузов / И. М. Колесов. – Москва : Высшая школа, 1999. – 591 с.
9. Комлев, А. П. Справочник молодого фрезеровщика / А. П. Комлев. – Минск : Высшая школа, 1981. – 288 с.
10. Контрольно-измерительные приборы и инструменты : учебник для нач. проф. образования / С. А. Зайцев [и др.]. – Москва : Издательский центр «Академия», 2005. – 464 с.
11. Копылов, Р. Б. Работа на строгальных и долбежных станках / Р. Б. Копылов. – Ленинград : Лениздат, 1975. – 392 с.
12. Краткий справочник металлиста / под. общ. ред. П. М. Орлова, Е. А. Скороходова. – Москва : Машиностроение, 1987. – 960 с.
13. Крюк, В. А. Книга молодого строгальщика / В. А. Крюк. – Минск : Беларусь, 1973. – 223 с.
14. Крюк, В. А. Справочник строгальщика / В. А. Крюк, В. Л. Радьков. – Минск : Беларусь, 1966. – 296 с.
15. Лоскутов, В. В. Шлифование металлов / В. В. Лоскутов. – Москва : Машиностроение, 1975. – 305 с.
16. Лоскутов, В. В. Сверлильные и расточные станки / В. В. Лоскутов. – Москва : Машиностроение, 1981. – 151 с.

17. Маталин, А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 464 с.
18. Махаринский, Е. И. Методика синтеза индивидуальных технологических процессов изготовления корпусных деталей машин / Е. И. Махаринский, Н. В. Беляков // Вестник машиностроения. – № 2. – 2005. – С. 57-65.
19. Махаринский, Е. И. О теории базирования при механической обработке / Е. И. Махаринский, Ю. Е. Махаринский, Н. В. Беляков // СТИН. – № 4. – 2005. – С. 29-32.
20. Махаринский Е. И. Основы технологии машиностроения : учебник / Е. И. Махаринский, В. А. Горохов. – Минск : Вышэйшая школа, 1997. – 423 с.
21. Махаринский, Е. И. Технологические основы управления процессом шлифования / Е. И. Махаринский. – Москва : СНИО, 1990. – 52 с.
22. Медведев, А. И. Сборник практических работ по технологии машиностроения : учеб. пособие / А. И. Медведев [и др.] ; под ред. И. П. Филонова. – Минск : БНТУ, 2003. – 486 с.
23. Ничков, А. Г. Фрезерные станки / А. Г. Ничков. – Москва : Машиностроение, 1984. – 160 с.
24. Обработка деталей машин на расточных станках / под ред. А. Н. Оглобина. – Москва : Машгиз, 1958. – 340 с.
25. Проектирование технологии : учебн. для вузов / И. М. Баранчукова [и др.] ; под ред. Ю. Б. Соломенцева. – Москва : Машиностроение, 1990. – 416 с.
26. Проектирование технологических процессов в машиностроении : учебное пособие для вузов / И. П. Филонов [и др.]. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
27. Пузанов, А. В. Приемы работы строгальщика / А. В. Пузанов. – Москва : Московский рабочий, 1975. – 134 с.
28. Похоровский, А. Д. Наладка и эксплуатация координатно-расточных станков / А. Д. Похоровский. – Москва : Машиностроение, 1978. – 51 с.
29. Режимы резания металлов : справочник / под ред. Ю. В. Барановского. – Москва : Машиностроение, 1972. – 408 с.
30. Справочник металлиста : В 5-ти т. Т.4. / под ред. М. П. Новикова и П. М. Орлова. – Москва : Машиностроение, 1977. – 720 с.
31. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. I / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1986. – 656 с.
32. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. II / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1986. – 496 с.
33. Технология машиностроения. Основы технологии машиностроения : учеб. пособ. для вузов: В 2 кн. Кн. 1 / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. – Москва : Высшая школа, 2003. – 278 с.

34. Технология машиностроения : учеб. для вузов. В 2-х т. Т. 1 / В. М. Бурцев [и др.] ; под ред. А. М. Дальского. – Москва : Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 1997. – 564 с.

35. Технологическая оснастка : учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов / М. Ф. Пашкевич [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2002. – 320 с.

36. Технологические основы гибких производственных систем : учеб. для машиностроит. спец. вузов / В. А. Медведев [и др.] ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. – Москва : Высшая школа, 2000. – 255 с.

37. Фещенко, В. Н. Токарная обработка / В. Н. Фещенко, Р. Х. Махмутов. – Москва : Высшая школа, 1996. – 230 с.

38. Филимонов, Л. Н. Плоское шлифование / Л. Н. Филимонов. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 256 с.

39. Холмогорцев, Ю. П. Оптимизация процессов обработки отверстий / Ю. П. Холмогорцев. – Москва : Машиностроение, 1984. – 184 с.

40. Шлифование металлов / под. ред. Л. М. Кожуро. – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 352 с.

41. Эльянов, В. Д. Шлифование в автоматическом цикле / В. Д. Эльянов. – Москва : Машиностроение, 1980. – 101с.

Учебное издание

**Беляков Николай Владимирович
Горохов Вадим Андреевич
Махаринский Юрий Ефимович**

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Редактор *Н.В. Путеев*
Корректор *Е.М. Богачёва*
Технический редактор *А.А. Угольников*
Компьютерная верстка *Н.В. Беляков*

Подписано к печати _____. Формат 60х84 $\frac{1}{16}$ Бумага офсетная № 1.
Гарнитура «Таймс». Усл. печ. листов _____. Уч.-изд. листов _____.
Тираж _____ экз. Заказ № _____.

Учреждение образования «Витебский государственный
технологический университет» 210035, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный технологический университет».
Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.