

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Лазерная техника и технология»

А.С. Козерук

# ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Курс лекций  
для студентов специальности  
1-38 01 02 «Оптико-электронные  
и лазерные приборы и системы»

Минск  
БНТУ  
2011

УДК 681.7.02(075.8)

ББК 34.96я7

К 59

Рецензенты:

*Л.Д. Ковалев, Т.В. Колонтаева*

**Козерук, А.С.**

К 59

Технология оптического приборостроения: курс лекций для студентов специальности 1-38 01 02 «Оптико-электронные и лазерные приборы и системы» / А.С. Козерук. – Минск: БНТУ, 2011. – 103 с.

ISBN 978-985-525-410-3.

Рассмотрена общая характеристика материалов, применяемых в оптическом приборостроении. Изложены различные методы обработки деталей из металла и пластмасс: механической и высокоэнергетической штамповкой, прессованием, резанием, ультразвуком, электрохимическим, электроэрозионным и другими видами воздействий. Приведен перечень технологического оборудования и режущего инструмента, используемых при механообработке конструкционных материалов. Обсуждаются физико-механические процессы образования стружки, нароста и вибрации при резании металлов и особенности обработки пластмасс.

УДК 681.7.02(075.8)

ББК 34.96я7

ISBN 978-985-525-410-3

© Козерук А.С., 2011

© БНТУ, 2011

# ЧАСТЬ 1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### О МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

### ИЗ МЕТАЛЛА И ПЛАСТМАСС

#### 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ

#### ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ

##### 1.1. Общая характеристика материалов, применяемых в приборостроении

Детали приборов в зависимости от назначения изготавливают из черных и цветных металлов и их сплавов, а также из пластмасс и стекла.

Алюминиевые сплавы используют для производства каркасов и обшивок приборов и для изготовления деталей из отливок. Из сплавов цинка делают детали, работающие на трение, а из магниевых – детали с высокой демпфирующей способностью и звукопроводностью.

Широкое использование в приборостроительной промышленности находят минералокерамические детали типа плат, втулок, изготовленные из глинозема ( $Al_2O_3$ ).

Используемые в приборостроении стекла бывают *промышленные, технические и оптические*. Первые два из них состоят в основном из трех компонентов. Оптические стекла наиболее сложные, они содержат до десяти компонентов. Большое распространение получают *ситаллы*. Структура ситаллов – ориентированные микроскопические кристаллы стекла, сцементированные аморфным стеклом. Ситаллы термически и химически устойчивы и обладают высокой механической прочностью.

В приборостроении находят также применение стекла, меняющие цвет и электропроводность в зависимости от освещения или облучения.

##### 1.2. Особенности процесса штамповки и конструкции штампов

Штамповка представляет собой холодную обработку давлением. При этом получают как готовые детали, так и заготовки (полуфабрикат) под последующую обработку резанием.

Процесс обработки материалов давлением осуществляется на прессах различной конструкции.

Основными разновидностями процесса обработки материалов давлением являются *прокатка* (рис. 1.1, а), *прессование* (рис. 1.1, б), *волочение* (рис. 1.1, в), *ковка* (рис. 1.1, г), *листовая* (рис. 1.1, д) и *объемная* (рис. 1.1, е) *холодные штамповки*.

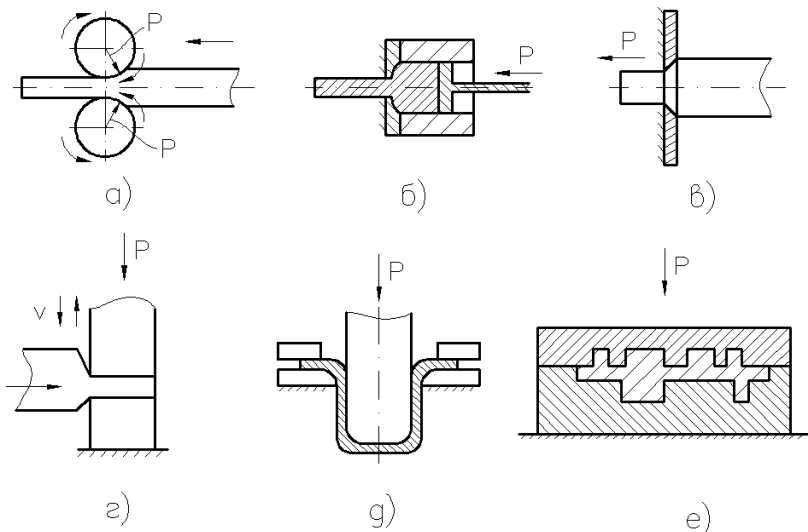


Рис. 1.1. Разновидности процесса обработки материалов давлением

Штампы, используемые при холодной штамповке, классифицируются по массе, а также по технологическому, конструктивному и эксплуатационному признакам. Штампы по массе разделяются на пять групп: мелкие (до 30 кг), малые (до 70 кг), средние (до 200 кг), крупные (до 500 кг) и особо крупные (до 5000 кг).

По технологическому признаку штампы подразделяются на: штампы деформирования с разделением материала (отрезка, вырубка, пробивка, обрезка и др.), штампы пластического деформирования без разделения материалов (гибка, вытяжка, формовка и др.) и комбинированные штампы.

По конструктивному признаку штампы бывают без направляющих и с направляющими устройствами. Штампы без направляющих устройств более просты в изготовлении, имеют сравнительно не-

большую массу и габаритные размеры, но неудобны при установке их на прессе и небезопасны в эксплуатации. Эти штампы применяются в основном в мелкосерийном производстве. Штампы с направляющими устройствами более надежны в эксплуатации, широко применяются в серийном и массовом производствах.

По степени совмещения операций (эксплуатационный признак) штампы бывают *простые*, выполняющие только одну операцию, и *комбинированные*, производящие по две и более операции. Комбинированные штампы в свою очередь разделяются по характеру совмещения операций на штампы последовательного, совмещенного и последовательно-совмещенного действий. У штампов последовательного действия изготовление детали производится за несколько переходов под различными пуансонами при последовательном перемещении штампуемой заготовки. У штампов совмещенного действия получение детали осуществляется за один ход пресса концентрично расположенными пуансонами при неизменном положении заготовки. У штампов последовательно-совмещенного действия изготовление детали происходит путем сочетания последовательной и совмещенной штамповок.

Наиболее ответственными элементами штампов для холодной штамповки являются матрица 6 (рис. 1.2) и пуансон 7, которые закрепляются соответственно на нижней плите 5 и в пуансонодержателе 9 штампа. Для правильного направления перемещения пуансона при работе штампа служат направляющие втулки 3 и колонки 4, крепление которых производится соответственно в верхней 1 и в нижней 5 плитах. Верхнюю часть штампа закрепляют в ползуне пресса (не показан) с помощью хвостовика 2. Для установки штампуемой заготовки на матрице предусмотрена специальная рамка 8 с фиксаторами, а для снятия детали имеется съемник 10.

Применяются также следующие высокоэнергетические методы штамповки: давлением ударной волны при взрыве взрывчатых веществ в воде (взрывная штамповка); действием высоковольтного электрического разряда в жидкости (электродинамическая штамповка); импульсами магнитного поля высокой напряженности (магнитно-импульсная штамповка).

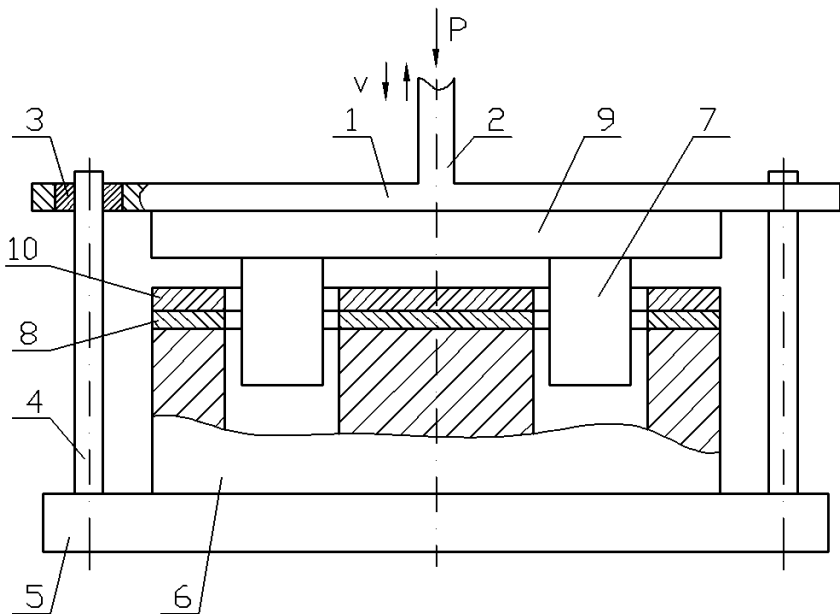


Рис. 1.2. Принципиальная конструкция штампа

Взрывная штамповка основана на деформации листовой заготовки 3 (рис. 1.3, а) давлением ударной волны, образующейся при взрыве взрывчатых веществ 2 в баке 7 с водой. Штампы для взрывной штамповки представляют собой матрицу 4, имеющую рабочую полость соответствующей формы с отверстием 5 для удаления воздуха.

При электрогидравлической штамповке энергия, необходимая для электрического разряда, накапливается в высоковольтной батарее. За счет этой энергии между электродами 7 (рис. 1.3, б) создается разряд длительностью 0,00004 с, вызывающий появление ударной волны в жидкости, которая деформирует заготовку 2, заставляя ее принять форму матрицы 3.

Сущность штамповки импульсным магнитным полем заключается в следующем: при импульсном разряде электрического тока высокого напряжения на катушку 7 (рис. 1.3, в) в ней образуется мощное магнитное поле, которое воздействует на заготовку 3. Возникающие на поверхности заготовки вихревые токи образуют свое магнитное поле, которое, взаимодействуя с первичным полем, вы-

зывает эффект «отталкивания» заготовки от витков катушки. Заготовка деформируется, принимая профиль матрицы 2.

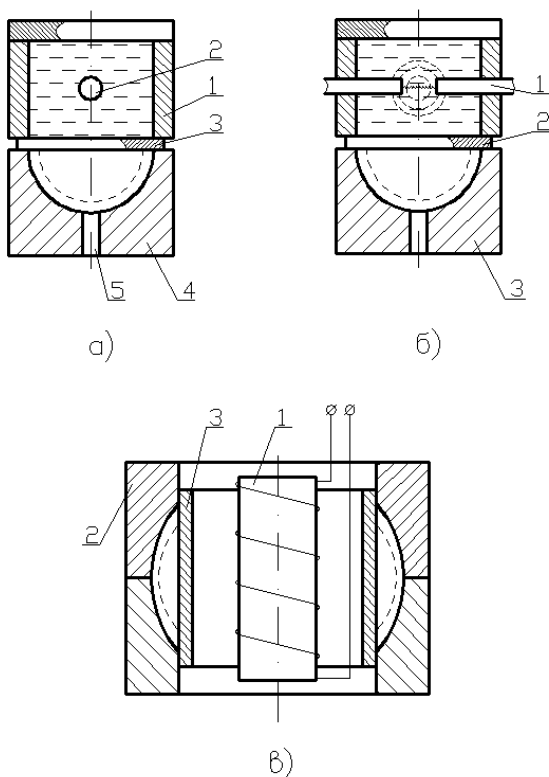


Рис. 1.3. Высокоэнергетические методы штамповки

### 1.3. Прессование и конструкции пресс-форм

Прессование относится к горячей обработке и является одним из наиболее экономичных способов получения заготовок и деталей приборов. Оно осуществляется в пресс-формах различной конструкции, которые устанавливаются на гидравлических прессах и машинах литья под давлением. Прессы-формы обычно снабжены электрическими терморегуляторами, автоматически поддерживающими заданную температуру.

Процесс изготовления детали при прессовании включает следующие переходы:

- смыкание пресс-формы;
- подпрессовка, т.е. кратковременное раскрытие пресс-формы для выпуска газов, образующихся при нагреве пластмассы;
- повторное смыкание пресс-формы и выдержка под давлением;
- раскрытие пресс-формы и выталкивание отпрессованных изделий.

Прессованием можно получать детали из пластмасс, резины, легкоплавких металлов и сплавов, порошкообразной фарфоровой, металлической и керамической масс и т.д.

Пресс-формы классифицируются по *технологическому* и *эксплуатационному* признакам.

По технологическому признаку пресс-формы подразделяются на три основные группы: *прямого прессования*, *литьевого прессования*, *литья под давлением*. Первые две предназначены для прессования деталей из реактопластов, третья – из термопластов. Когда изделия из реактопластов извлекаются из пресс-форм, последние обычно не охлаждаются, а для получения изделий из термопластичных материалов пресс-формы частично охлаждаются для затвердевания изделия.

По эксплуатационному признаку различают пресс-формы *стационарные*, *полустационарные* и *съёмные*. Части стационарных пресс-форм при их работе прикрепляются неподвижно к ползуну и столу пресса, а съёмные пресс-формы после запрессовки снимаются для извлечения из них готовых изделий.

Стационарные пресс-формы, как более производительные и удобные в работе, эксплуатируются в автоматическом и полуавтоматическом режимах, а поэтому применяются в крупносерийном производстве. Плиты 1 и 4 стационарных пресс-форм (рис. 1.4) оснащаются системой обогрева 2. Удаление из пресс-формы готовых изделий 3 производится с помощью выталкивателя (штока) 5.

Полустационарные пресс-формы закрепляются на прессе, однако при их разбеге снимается кассета, из которой извлекаются изделия. Полустационарная пресс-форма может использоваться для изготовления нескольких различных изделий. В таких случаях применяются съёмные элементы (вкладыши или кассеты) с унифицированными посадочными местами. Такая универсальность особенно выгодна при мелкосерийном производстве, поскольку для перехода на новое изделие достаточно изготовить сменный оформляющий вкладыш.



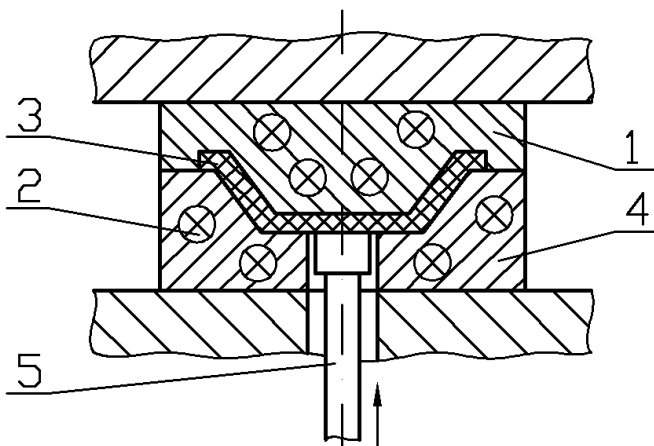


Рис. 1.4. Стационарная пресс-форма

Пресс-формы классифицируются также по направлению плоскости разъема и по конструкции загрузочной камеры. Они бывают с *вертикальной* и *горизонтальной плоскостями разъема*, а по конструкции – *открытого*, *закрытого* и *полузакрытого* типов. Пресс-формы открытого типа (рис. 1.5, *а*) не имеют специальной загрузочной камеры. Перед началом прессования материал загружается в оформляющую полость нижней части формы, лишний материал вытекает по плоскости стыка обеих частей пресс-формы. В пресс-формах закрытого типа (рис. 1.5, *б*) загрузочная камера является продолжением оформляющей полости. Более широко применяются пресс-формы полузакрытого типа (рис. 1.5, *в*), загрузочная камера которых имеет простую форму, излишки материалов при прессовании вытекают, как и во втором случае, по каналам, предусмотренным в обеих частях формы.

Точность изготовления пластмассовых изделий зависит от точности оформляющих деталей пресс-формы. Допуски на изготовление этих деталей принимаются более жесткими, чем допуск на пластмассовое изделие. Рабочие детали пресс-форм испытывают большие механические нагрузки и нагреваются до 200 °С, а поэтому подвергаются интенсивному истиранию и коррозии, особенно при переработке пластмасс с наполнителем, что необходимо учитывать при конструировании пресс-форм.

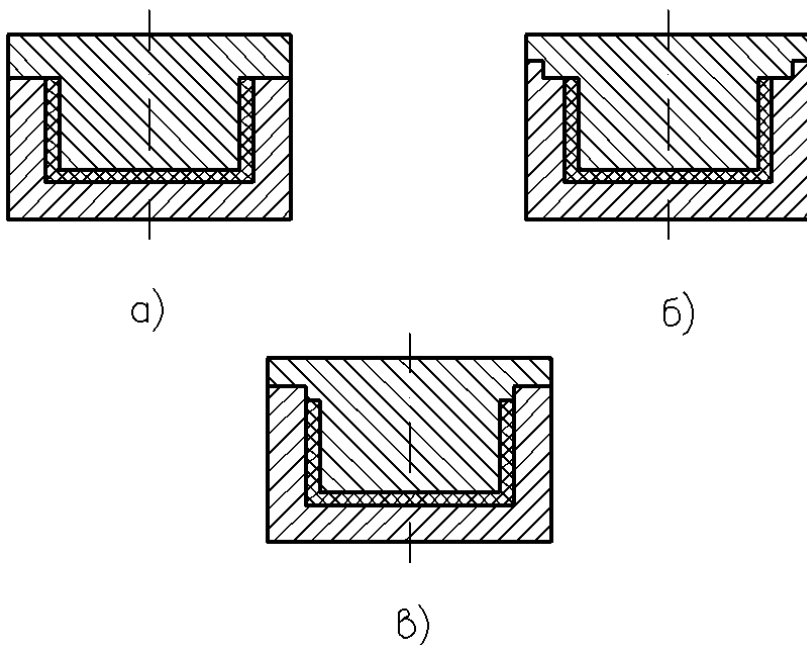


Рис. 1.5. Классификация пресс-форм по конструкции загрузочной камеры

Для предотвращения прилипания прессуемой пластмассы некоторых марок к стенкам пресс-форм и повышения износостойкости последних необходимо подвергать их полированию и электролитическому хромированию.

## 2. ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

### 2.1. Методы обработки резанием

При изготовлении деталей приборов широко применяется обработка материалов резанием, когда режущим инструментом с заготовки срезается слой материала для получения требуемых геометрической формы, точности размеров и шероховатости поверхности детали. На рис. 2.1 дана классификация методов обработки материалов резанием на металлорежущих станках и вручную.

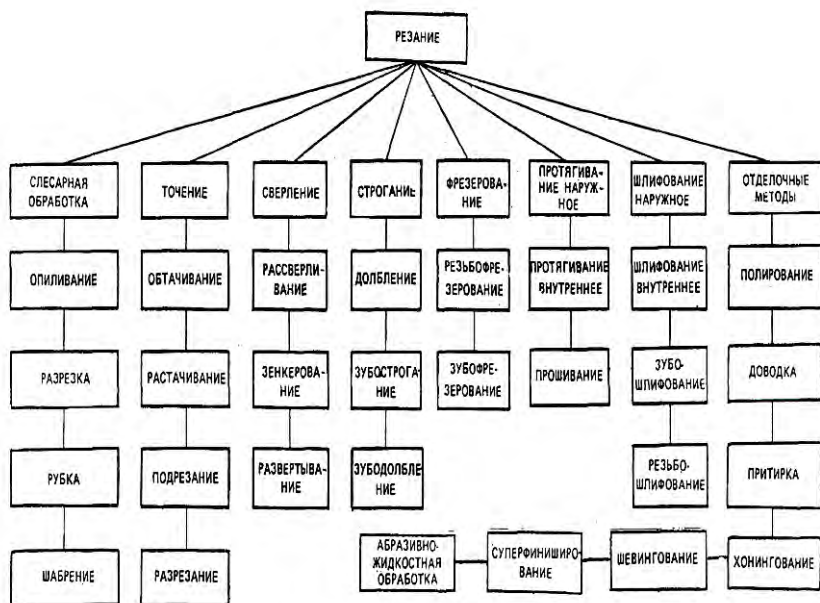


Рис. 2.1. Классификация методов обработки деталей резанием

*Полирование* – преимущественно безразмерная обработка, представляющая собой высокоточную отделку поверхностей.

*Притирка* (доводка) – высокоточная размерная обработка поверхностей. Притиркой достигают 11–14-го классов чистоты поверхности и 6-го и ниже квалитетов точности, выдерживаются допуски диаметральных размеров до  $\pm 0,5$  мкм, непараллельность плоскостей до  $\pm 1,0$  мкм, а при особо тонкой доводке (плоскопараллельные плиты) – до 0,05 мкм.

Наиболее часто применяют ручную и машинно-ручную притирку.

*Ручную* притирку назначают обычно при изготовлении измерительных инструментов, ее выполняют на притирочных плитах.

*Машинно-ручную* притирку производят на станках, вращающих притиры или детали, все остальные движения выполняют вручную. Притиры для этого вида притирки изготовляют в виде раздвижных колец, пробок и брусков.

*Хонингование* – точная обработка отверстий с помощью мелкозернистых абразивных кругов, закрепленных на хонинговальной головке, совершающей вращательное возвратно-поступательное движения вдоль оси.

При хонинговании в резании участвует большое количество абразивных зерен, что обеспечивает высокую производительность, низкие давление и температуру в зоне резания (50–150 °С) и, как следствие, сохранение исходной структуры поверхностного слоя.

Хонингование почти не изменяет первоначального положения оси отверстия, так как режущий инструмент самоустанавливается по обрабатываемому отверстию, что достигается шарнирным креплением инструмента.

*Суперфиниширование* (виброшлифование) – доводочная операция, выполняемая вибрирующими абразивными инструментами (брусками) для удаления микронеровностей на наружных поверхностях деталей. Достигаются наивысшие точность (5-й квалитет и ниже) и чистота поверхности.

*Шевингование* – чистовая обработка зубчатых колес. При шевинговании зубьев инструментом является шевер, представляющий собой зубчатое колесо или зубчатую рейку, у которых для образования режущих кромок зубья прорезаны поперечными канавками. Шевер скоблит металл, снимая тончайшую стружку. При шевинговании прямозубых колес применяют косозубые шеверы, а при шевинговании косозубых колес – прямозубые шеверы. Оси шевингуемого колеса и шевера устанавливают под углом скрещивания, в результате чего инструмент и деталь находятся в точечном контакте.

## **2.2. Движения рабочих органов станка и элементы режима резания**

При обработке деталей резанием заготовка и режущий инструмент перемещаются относительно друг друга и инструмент снимает стружку с поверхности заготовки. Для этой цели каждый металлорежущий станок имеет рабочие органы (шпиндель, суппорт, заднюю бабку, стол и т.д.), которым сообщаются следующие движения: резания, установочные и вспомогательные.

Движения, при которых с обрабатываемой заготовки срезается слой металла, называются *движениями резания*. К ним относятся

главное движение и движение подачи. По виду эти движения могут быть непрерывными и прерывистыми, а по характеру – вращательными, поступательными, возвратно-поступательными и т.д.

На рис. 2.2 показаны различные схемы обработки наружных поверхностей. В зависимости от вида обработки и типа применяемого инструмента различают продольную  $S_{np}$  (рис. 2.2, а) и поперечную  $S_{поп}$  (рис. 2.2, б) подачи инструмента или обрабатываемой детали.

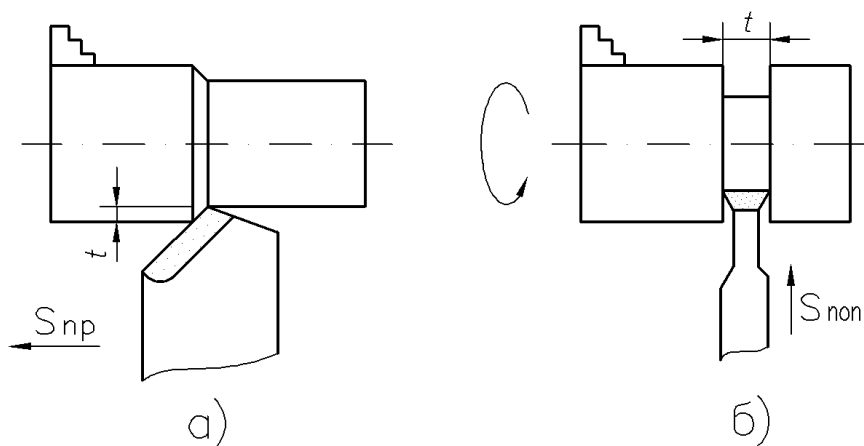


Рис. 2.2. Схемы обработки наружных поверхностей

Движения рабочих органов станка, обеспечивающие такое положение инструмента относительно заготовки, при котором с нее срезается слой материала определенной толщины, называют *установочными*.

Движения рабочих органов станка, которые не относятся к процессу резания, а служат для перемещения (транспортировки) и закрепления заготовки или инструмента, быстрых перемещений рабочих органов, изменения частоты вращения и подачи, называют *вспомогательными*.

Элементами режима резания являются скорость резания  $v$  (м/мин), подача  $S$  (мм/об) и глубина резания  $t$  (мм) (рис. 2.3).

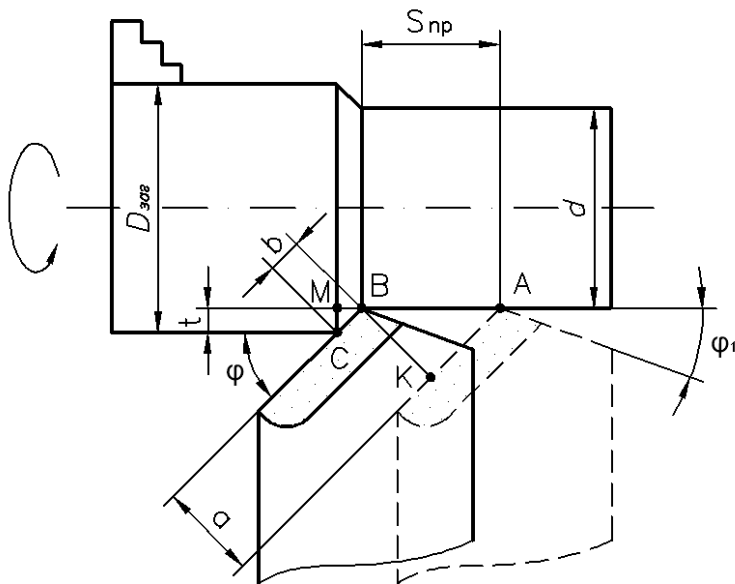


Рис. 2.3. Элементы режима резания

Скорость резания при токарной обработке определяется по формуле

$$v = \pi D_{\text{заг}} n / 1000,$$

где  $D_{\text{заг}}$  – наибольший диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм;

$n$  – частота вращения заготовки, об/мин.

Подача  $S$  – путь инструмента относительно заготовки за один оборот последней.

Глубина резания  $t$  – это расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней.

При точении

$$t = (D_{\text{заг}} - d) / 2,$$

где  $d$  – диаметр обработанной цилиндрической поверхности, мм.

При рассмотрении процесса резания материалов используются понятия толщины  $a$  и ширины  $b$  срезаемого слоя материала. Толщина срезаемого слоя  $a$  – расстояние, измеренное по нормали к поверхности резания между двумя последовательными положениями инструмента за время одного оборота заготовки (рис. 2.3). Ширина срезаемого слоя  $b$  – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по поверхности резания.

Рассматривая прямоугольные треугольники  $ABK$  и  $BCM$  (рис. 2.3), можно найти соотношения между толщиной среза  $a$  и подачей  $S$ , а также между  $b$  и  $t$ :

$$a = S_{\text{пр}} \sin \varphi \text{ и } b = t / \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  – главный угол в плане резца.

### 2.3. Конструктивные элементы инструментов

Все режущие инструменты можно подразделить на три класса: *призматические, хвостовые, насадные*. На рис. 2.4 в качестве примера приведены представители указанных классов инструментов: проходной резец (рис. 2.4, *а*), сверло (рис. 2.4, *б*) и дисковая фреза (рис. 2.4, *в*). Указанные инструменты, несмотря на конструктивные отличительные особенности, имеют общие составные части. Каждый из инструментов содержит рабочую часть, снабженную одним или несколькими режущими лезвиями. Рабочая часть в свою очередь состоит из двух элементов: режущего, которым осуществляется снятие стружки, и направляющего, служащего для зачистки обработанной поверхности и направления инструмента в процессе резания.

Другая часть инструмента является соединительной: у резца – это державка, у сверла – цилиндрический или конический хвостовик, а у дисковой фрезы – цилиндрическое отверстие. Соединительные части инструментов предназначены для закрепления их на станке и передачи крутящего момента резания.

Закрепление инструментов на станках осуществляется в резцедержателях, с помощью цанговых и сверлильных патронов, переходных втулок, оправок, быстросменных державок и других устройств.

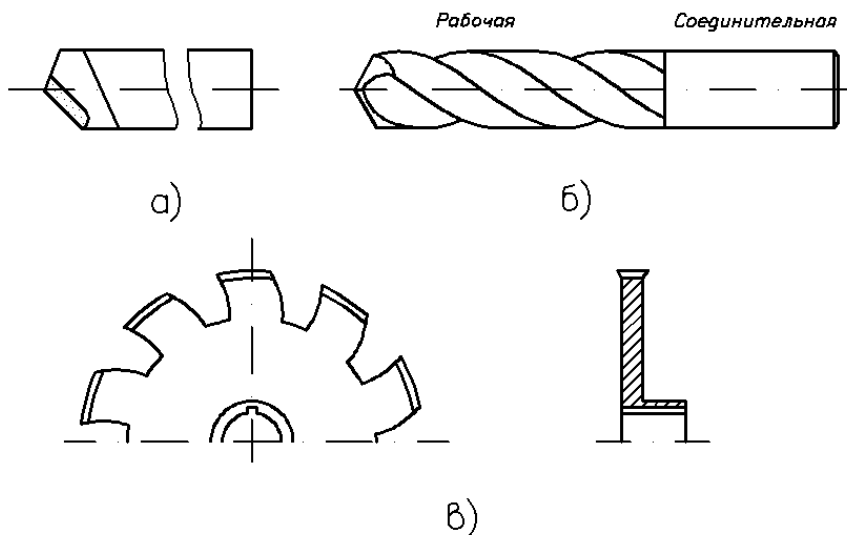


Рис. 2.4. Классы режущих инструментов

Многолезвийные инструменты (сверла, развертки, фрезы, протяжки, метчики и т.д.) имеют зубья в виде режущего клина и те же конструктивные элементы, что и обычный резец.

Рассмотрим конструктивные элементы многолезвийных инструментов на примере проходного резца (рис. 2.5), который состоит из головки / и державки //. Последняя имеет сечение квадратной, прямоугольной или круглой формы и служит для закрепления резца в резцедержателе станка.

Головка резца выполняет работу резания. Ее элементами являются передняя поверхность 1, служащая для схода стружки, главная задняя поверхность 2, вспомогательная задняя поверхность 3, главное режущее лезвие 4, вспомогательное режущее лезвие 5, вершина резца 6.

Указанные элементы присущи не только резцам, но и всем другим одно- и многолезвийным режущим инструментам, зубья которых в сечении имеют форму клина.



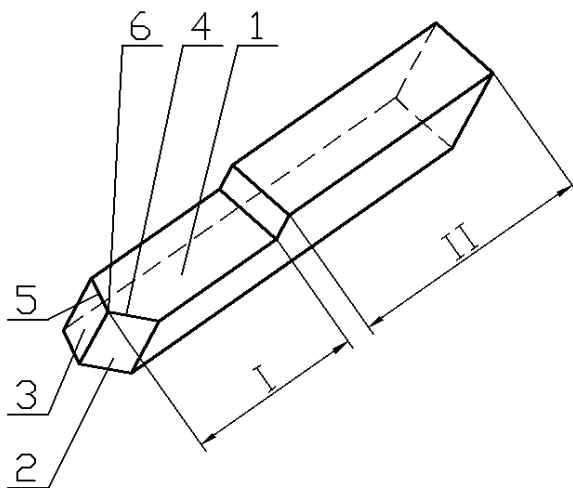


Рис. 2.5. Конструктивные элементы резца

#### 2.4. Классификация инструментов

Режущие инструменты подразделяются по конструкции и по виду обрабатываемых поверхностей.

*По конструкции* инструменты классифицируются на следующие подгруппы:

1. Резцы общего назначения и фасонные для различных работ на токарных и строгальных станках.
2. Сверла для получения и рассверливания отверстий.
3. Зенкеры для увеличения диаметра отверстий (снятия фаски) и получения фасонных отверстий.
4. Развертки для чистовой обработки отверстий.
5. Напильники, рашпили и надфили разнообразной формы в виде стержней и дисков с множеством мелких режущих зубьев.
6. Протяжки и прошивки в виде стержня или плиты с поперечными зубьями, размеры которых увеличиваются по направлению к заднему хвостовику. Они используются для обработки внутренних и наружных поверхностей.
7. Фрезы общего назначения и специальные (борфрезы, гравировальные, червячные и др.), представляющие собой тела вращения с множеством зубьев на образующей.

8. Метчики для получения резьбы в отверстиях.
9. Плашки, резьбообразующие ролики и головки для нарезания и накатывания наружной резьбы.
10. Долбяки для зубодолбления зубчатых колес, шлицев валов и т.д.
11. Шеверы для чистовой обработки колес малых модулей ( $m < 3-4$  мм) методом «скобления».
12. Комбинированные инструменты, представляющие сочетание нескольких одно- или разнотипных инструментов.
13. Инструменты для автоматизированного оборудования и для станков с ЧПУ, включающие режущие бесподналадочные и быстросменные инструменты, а также приспособления для настройки и контроля работы режущих инструментов.
14. Абразивные, алмазные, эльборовые и другие инструменты из связанных порошкообразных материалов, используемые в виде кругов, брусков, а также порошок и отдельные крупные зерна или кристаллы для чистовой обработки деталей.

*По видам обрабатываемых поверхностей* различают режущие инструменты:

- 1) для обработки плоскостей, а также наружных фасонных и цилиндрических поверхностей тел вращения (резцы, фрезы, протяжки, напильники, шлифовальные круги и т.д.);
- 2) для обработки отверстий (сверла, расточные резцы, зенкеры, развертки, протяжки и т.д.);
- 3) для получения резьбы (резьбовые фрезы и резцы, метчики, резьбонарезные и резьбонакатные плашки и головки, накатные ролики и т.д.);
- 4) для обработки поверхностей зубьев колес или шлицевых валов.

В частности, для обработки цилиндрических зубчатых колес методом копирования применяются дисковые фрезы, а методом обкатки – червячные фрезы, долбяки, обкаточные резцы, шеверы и шлифовальные круги. Конические прямозубые колеса нарезают зубострогальными резцами, фрезами и протяжками.

Кроме того, инструменты подразделяются на цельные и составные (с неподвижным присоединением режущих пластинок и с механическим их креплением), а также (по виду закрепления на станке) на хвостовые, насадные и призматические. Кроме того, различают стандартные и специальные инструменты.

## 2.5. Инструментальные материалы

Применяемые инструментальные материалы подразделяются на следующие группы:

- 1) инструментальные стали (углеродистая и легированная);
- 2) быстрорежущая сталь;
- 3) твердый спеченный сплав;
- 4) минералокерамика и керметы;
- 5) синтетические сверхтвердые материалы (абразивы, алмаз, эльбор, рубин, лейкосапфир).

Углеродистые инструментальные стали – это высококачественные стали марок У7А–У13А с содержанием углерода 0,7–1,3 %, примесей серы – до 0,02 % и фосфора – до 0,03 %. Применяются углеродистые стали сравнительно редко и главным образом для инструментов, работающих при скоростях резания до 3–5 м/мин.

Теплостойкость углеродистых инструментальных сталей может быть повышена с 200 до 250–350 °С за счет введения в их состав хрома, ванадия, молибдена, марганца, кремния и особенно вольфрама. Допускаемая скорость резания инструментов из этих сталей – 10–15 м/мин.

Легированные инструментальные стали подразделяются на стали неглубокой и глубокой прокаливаемости. К сталям первой подгруппы относятся вольфрамовая В1 и хромовольфрамовая (алмазная) ХВ5 стали, которые иногда применяются для изготовления измерительного инструмента, метчиков и разверток. Вследствие повышенной твердости (HRC 72) алмазная сталь может рекомендоваться для изготовления инструмента, применяемого при обработке твердых материалов с низкими скоростями резания.

Из сталей второй подгруппы (глубокой прокаливаемости) для изготовления режущего инструмента применяются хромокремнистая 9ХС и хромовольфрамомарганцовистая ХВГ, а высокохромистые стали Х12, Х12Ф1 и Х12ТФ используют для изготовления накатного инструмента и рабочих деталей штампов и пресс-форм.

Быстрорежущие стали повышенной производительности содержат кобальт и ванадий. Они применяются при обработке жаропрочных сталей и сплавов. Повышение стойкости быстрорежущих сталей некоторых марок обеспечивается за счет насыщения их азотом (0,06–0,09 %).

Значительное повышение стойкости твердых спеченных сплавов (почти в 3 раза) обеспечивается за счет покрытия их слоем карбидов TiC и нитридов TiN титана толщиной в 5 мкм.

Обычная минералокерамика ЦМ332 состоит из окиси алюминия  $Al_2O_3$  и окиси магния MgO. Ее теплостойкость 1200 °С. Прочность инструментов из минералокерамики повышают покрытием их окисью меди или железа.

Получила применение белая керамика ВШ, состоящая из окиси алюминия. Она используется при обработке чугуна и бронзы. Хорошо зарекомендовала себя черная керамика марки В-3 (60 %  $Al_2O_3$  + 40 % карбидов тугоплавких металлов) при чистовом точении стали и высокопрочного чугуна.

Керметы являются улучшенной разновидностью минералокерамики и состоят из окиси алюминия  $Al_2O_3$  и карбидов вольфрама и молибдена.

При чистовой обработке черных металлов применяют лейкосапфир, а цветных металлов – рубин или электрокорунд ( $Al_2O_3$  – 97,8 %,  $Cr_2O_3$  – 2,2 %). При чистовой обработке закаленных стальных и неметаллических изделий (например, из керамики) используют лезвийные инструменты, оснащенные кристаллами эльбора и алмаза.

### **3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТАНКАХ**

#### **3.1. Классификация металлорежущих станков**

В зависимости от характера производимых работ и применяемых режущих инструментов металлообрабатывающие станки подразделяются на 10 групп (табл. 3.1). Каждая из этих групп разбивается на десять типов. Нулевая группа и нулевой тип станков являются резервными.

Такая классификация позволяет присваивать каждому станку серийного производства индекс – условное обозначение типа и модели. Индекс состоит из числа, первая цифра которого указывает группу, вторая – тип станка в пределах данной группы, третья и четвертая – характеризуют один из размеров станка или обрабатываемой детали. Прописная буква после первой цифры указывает на модернизацию (расширение технических возможностей) станка. Буква, стоящая после всех цифр, обозначает модификацию (видо-

изменение) базовой модели станка. Например, расшифруем обозначение станка мод. 3740. Цифра 3 означает, что станок относится к группе шлифовальных; цифра 7 указывает его тип – плоскошлифовальный с круглым столом; последние две цифры обозначают диаметр стола – 400 мм. Станок мод. 2135: цифра 2 означает, что станок второй группы (сверлильный); цифра 1 – вертикальный; 35 – максимально допустимый диаметр сверления в стали средней прочности. Модель 2Н135 – модернизированный станок.

Для обозначения моделей специализированных и специальных станков каждому станкостроительному заводу присвоен индекс из одной или двух букв. К этим буквам добавляется число, указывающее порядковый номер выпускаемого специального станка (например, МА – Минский завод автоматических линий; МП – Минский станкостроительный завод им. Кирова; МК – Московский станкостроительный завод «Красный пролетарий» и др.).

По степени универсальности и специализации различают станки:

1) универсальные, или общего назначения, на которых выполняются различные операции по обработке деталей (токарно-винторезные, револьверные и др.);

2) специализированные – для обработки деталей, сходных по конфигурации, но имеющих различные размеры;

3) специальные – для обработки одной детали или деталей одного типоразмера.

В зависимости от массы металлорежущие станки делят на категории: легкие – до 1 т, средние – до 10 т, тяжелые – свыше 10 т, а последние в свою очередь – на крупные – 10–30 т, собственно тяжелые – 30–100 т и особо тяжелые (уникальные) – более 100 т.

По степени точности различают классы станков: нормальной точности – Н; повышенной точности – П; высокой точности – В (прецизионные); особо высокой точности – А и особо точные – С («мастер»-станки, изготавливаемые индивидуально).

Станки с программным управлением могут быть с системами циклового программного управления (ЦПУ) или с системами числового программного управления (ЧПУ).

Для оценки качества станка пользуются системой технико-экономических показателей. К числу таких показателей относятся: производительность, точность обработки, степень автоматизации, технологичность, металлоемкость, занимаемая площадь, стоимость.

## Классификация станков

Станки	Группы	Типы (разновидности) станков									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Резервные	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Токарные	1	–	Автоматы и полуавтоматы		Револьверные	Сверлильно-отрезные	Карусельные	Токарные и лобовые	Многорезцовые	Специализированные для фасонных деталей (сферотокарные и др.)	Разные токарные
			Одношпиндельные	Многошпиндельные							
Сверлильные и расточные	2	–	Вертикально-сверлильные	Одношпиндельные полуавтоматы	Многошпиндельные полуавтоматы	Координатно-расточные одностоечные	Радиально-сверлильные	Расточные	Алмазно-расточные	Горизонтально-сверлильные и центральные	Разные сверлильные и расточные
Шлифовальные, полировальные и доводочные	3	–	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные шлифовальные	–	Заточные	Плоскошлифовальные с прямоугольным или круглым столом	Притирочные и полировальные, хонинговальные	Разные станки, работающие абразивным инструментом
Комбинированные; станки для электрофизико-химической обработки	4	–	Универсальные	Полуавтоматы	Автоматы	Электрохимические	Электроискровые	–	Электроэрозионные, ультразвуковые	Анодно-механические	–

Окончание табл. 3.2

Станки	Группы	Типы (разновидности) станков									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	–	Зубострогальные для цилиндрических зубчатых колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валиков	Зубофрезерные для червячных колес	Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Фрезерные	6	–	Вертикально-фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	–	Копировальные и гравировальные	Вертикальные бесконсольные	Продольные	Широкоуниверсальные	Горизонтальные консольные	Разные фрезерные
Строгальные, долбежные и протяжные	7	–	Продольно-строгальные одно-стоечные	Продольно-строгальные двух-стоечные	Поперечно-строгальные	Долбежные	Протяжные горизонтальные	Протяжные вертикальные для внутреннего протягивания	Протяжные вертикальные для наружного протягивания	–	Разные строгальные
Разрезные	8	–	Отрезные, работающие токарным резцом	Отрезные, работающие абразивным кругом	Отрезные, работающие фрикционным диском	Правильно-отрезные	Пилы ленточные	Пилы дисковые	Пилы ножовочные	–	–
Разные	9	–	Муфто- и трубообрабатывающие	Пилонасекательные	Правильно- и бесцентровообдирочные	–	Для испытания инструмента	Для испытания инструмента	Балансировочные	–	–

### 3.2. Типы приводов и передач станков. Кинематические схемы и цепи

*Приводом станка* называется совокупность устройств, получающих энергию извне и сообщающих движение рабочим органам станка. Станок получает энергию движения от одного или нескольких электродвигателей. В последнем случае различают привод главного движения, привод подачи, привод быстрых перемещений и т.д.

В зависимости от расположения электродвигателя относительно станка приводы бывают следующих типов: с приставным, фланцевым и встроенным электродвигателем. В настоящее время широкое распространение получили *асинхронные* электродвигатели. Применяются также электродвигатели постоянного тока и шаговые.

Применение нескольких электродвигателей позволяет упростить кинематическую схему, упрощает механическую часть привода станка и открывает возможность простыми средствами автоматизировать его работу. Приводы бывают со ступенчатым и бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя и подачи. Приводы со ступенчатым регулированием выполняются в виде коробок передач, они просты по конструкции и надежны в эксплуатации, однако не всегда позволяют получить оптимальные режимы резания.

В приводах станков применяются ременные, цепные, зубчатые, речные, винтовые, червячные и другие передачи.

Кинематическая схема станка – условное изображение в одной плоскости всех механизмов станка в их совокупности.

Кинематической цепью называется совокупность звеньев станка, расположенных в определенной последовательности и предназначенных для передачи движения (рис. 3.1).

Кроме условного изображения передач, на схеме кинематической цепи указываются число зубьев звездочек  $Z_3, Z_4$ , зубчатых  $Z_1, Z_2$  и червячных  $Z$  колес и их модуль  $m$ , число заходов червяков  $k$  и винтов  $Z_{\text{зах}}$ , шаг винтов  $P_{\text{х.в}}$  и направление резьбы, диаметры шкивов  $d_1, d_2$ , мощность  $N$  и частота вращения  $n$  двигателей.

Валы нумеруют римскими цифрами, остальные элементы – арабскими. Порядковый номер элемента проставляют на полке линии-выноски. Под полкой линии-выноски указывают основные характеристики и параметры кинематического элемента. Правила выполнения кинематических и пневмогидравлических схем регламентиру-



ются ГОСТ 2.701–76, ГОСТ 2.703–68, ГОСТ 2.704–76, а условные обозначения элементов кинематических и гидравлических схем – ГОСТ 2.770–68, ГОСТ 2.780–68–ГОСТ 2.782–68.

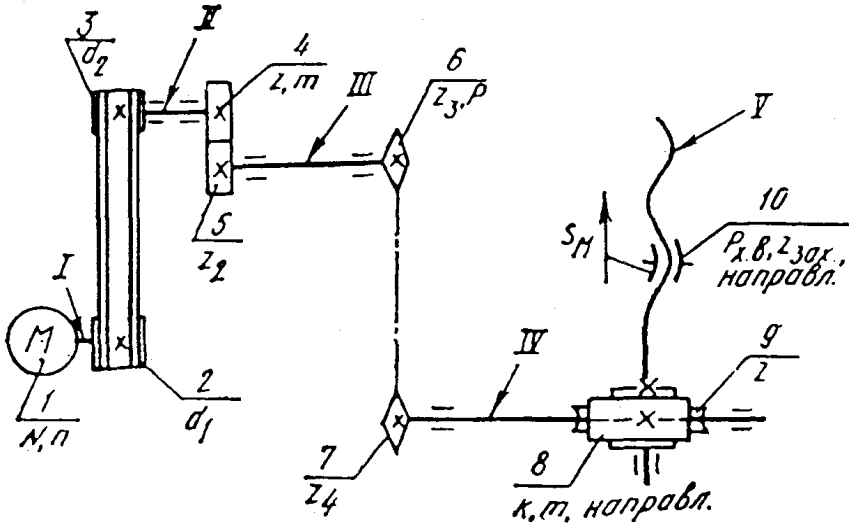


Рис. 3.1. Пример кинематической цепи

## 4. ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

### 4.1. Общие понятия о процессе резания

Обработка резанием может производиться различными режущими инструментами: резцами, сверлами, фрезами, протяжками и т.д. Однако для всех их характерна единая форма режущей части в виде режущего клина.

При внедрении в материал режущего инструмента (клина) на его переднюю А и заднюю Б поверхности действуют нормальные силы  $N_1, N_2$  и силы трения  $F_1, F_2$  (рис. 4.1). Общая равнодействующая сила  $P$  является силой сопротивления резанию, а равная ей по величине и противоположно направленная – сила резания.

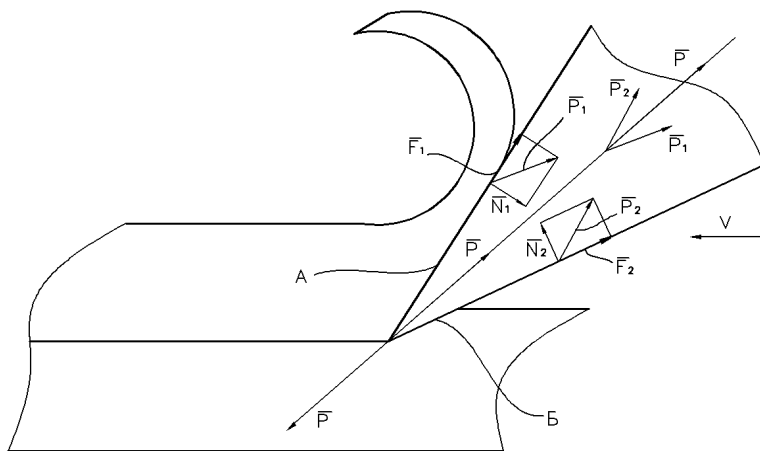


Рис. 4.1. Схема действия сил на режущий клин

Под действием этой силы происходит деформирование и разрушение срезаемого слоя материала, что сопровождается следующими физическими явлениями:

1) в деформированном приповерхностном слое детали возникают упругие и пластические деформации, а на обработанной поверхности образуются неровности;

2) в зоне резания возникает неоднородное температурное поле;

3) на передней поверхности режущего клина может появиться слоистое металлическое образование, называемое наростом;

4) наблюдаются различные виды изнашивания режущего клина: абразивный, адгезионный, диффузионный и другие;

5) при соприкосновении смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) с нагретыми поверхностями инструмента и заготовки в них происходят сложные физико-химические процессы;

6) в системе «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД) могут возникать вынужденные колебания и автоколебания.

## 4.2. Процесс образования стружки и ее типы

При резании металлов образуется стружка четырех типов: сливная (рис. 4.2, а), суставчатая (рис. 4.2, б), элементная (рис. 4.2, в) и надлома (рис. 4.2, г).

В случае небольшой толщины срезаемого слоя  $a$ , высокой скорости резания  $v$  и значительном переднем угле инструмента  $\gamma$  при обработке вязких и пластичных материалов образуется сливная стружка, основным признаком которой является ее непрерывность. Контактная поверхность  $1$  такой стружки сравнительно гладкая, а поверхность  $2$  покрыта мелкими зазубринками (насечкой).

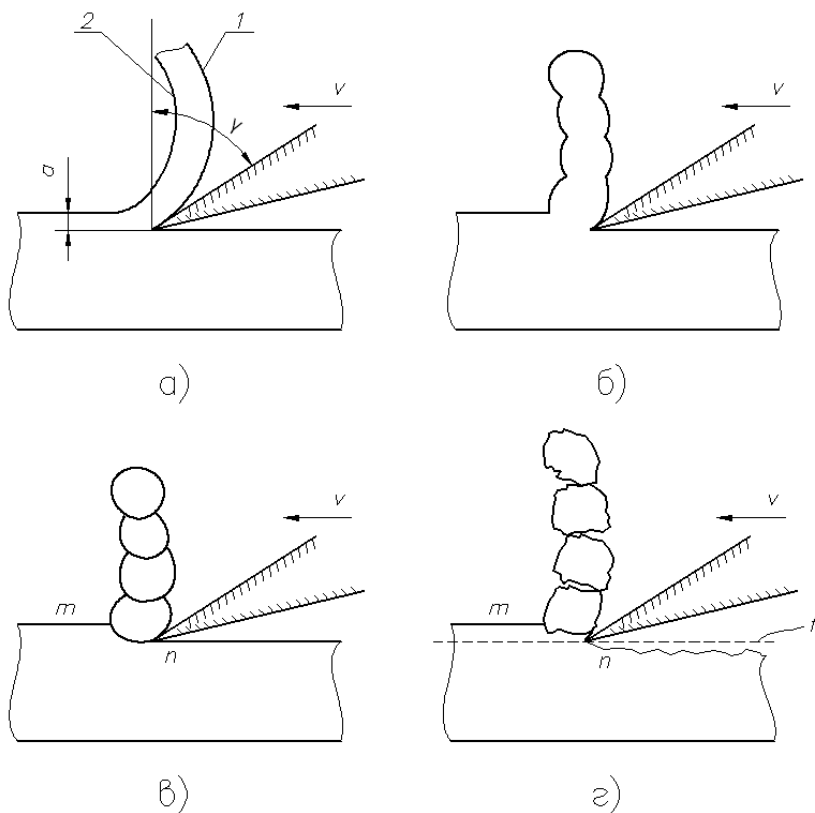


Рис. 4.2. Типы стружки

По мере увеличения твердости, прочности и хрупкости обрабатываемого материала сливная стружка переходит в суставчатую, а затем в элементную или даже надлома. При этом элементная стружка обычно состоит из отдельных «элементов», слабо связанных друг с другом. Границу  $mn$ , отделяющую образовавшийся эле-

мент стружки от срезаемого слоя материала, называют *поверхностью скалывания*. В случае стружки надлома происходит вырывание или откалывание режущей частью инструмента крупных частиц неправильной формы из поверхностного слоя заготовки. Образование этой стружки сопровождается появлением металлической пыли, а начало поверхности скалывания  $mn$  может располагаться даже ниже поверхности резания  $f$ .

### 4.3. Образование нароста при резании

При образовании сливной стружки обрабатываемый материал часто задерживается на передней поверхности инструмента около главного режущего лезвия, образуя наслоение. Это наслоение называется *наростом*. Наиболее вероятной гипотезой о причинах его возникновения можно считать торможение и схватывание тонких контактных слоев стружки на шероховатой передней поверхности инструмента. Слои наращиваются друг на друга, пока нарост не достигнет размеров, максимально возможных при данных условиях обработки. Твердость нароста в 2,5–3,5 раза больше твердости исходного вещества, и он принимает на себя функции режущего клина. Однако нарост не стабилен. Достигнув максимальных размеров, он разрушается. Частота срывов нароста доходит до нескольких сотен в минуту.

Наростообразование оказывает следующее влияние на процесс резания:

- 1) уменьшается угол резания, в результате чего изменяются сопротивление резанию и условия трения;
- 2) увеличиваются микронеровности на обработанной поверхности;
- 3) при наростообразовании не обеспечивается требуемая точность обработки деталей;
- 4) периодические срывы нароста приводят к возникновению вибраций, ухудшающих качество обработанной поверхности, поэтому нарост недопустим при чистовой обработке;
- 5) в зоне наростообразования передняя и задняя поверхности режущего клина инструмента защищаются от разрушения;
- 6) для каждого материала имеется диапазон скоростей резания, при которых размеры нароста максимальны.

Диапазон скоростей резания при обработке, например, стали 40 можно разделить на четыре зоны с разной интенсивностью образо-

вания нароста. При  $v < 3$  м/мин нароста почти нет, а при  $v = 3-50$  м/мин нарост появляется и постепенно увеличивается. При  $v = 50-80$  м/мин нарост уменьшается, а при скоростях резания  $v = 80-120$  м/мин и больше нароста не образуется.

#### 4.4. Вибрация при резании материалов

В процессе резания в системе СПИД могут возникать колебания (вибрации). Колебания инструмента относительно обрабатываемой детали (или наоборот) вызывают изменение толщины срезаемого слоя и силы резания. При этом ухудшается качество обработанной поверхности (появляется волнистость) и снижается стойкость режущего инструмента.

В зависимости от условий обработки при резании имеют место как вынужденные колебания, так и автоколебания.

Вынужденные колебания при резании могут быть вызваны дисбалансом вращающихся частей станка, обрабатываемой детали и инструмента.

Источником автоколебаний является, в основном, непостоянство размеров нароста при резании, что приводит к изменению переднего угла инструмента и силы резания.

В металлорежущем станке обычно рассматривают две основные колебательные системы: систему заготовки (заготовка, шпиндель, пиноль) и систему инструмента (инструмент, резцедержатель, суппорт). Обе системы имеют различную частоту собственных колебаний. В связи с этим вибрации при резании подразделяются на два вида:

– вибрации I рода – низкочастотные (50–300 Гц) колебания заготовки, которые вызывают появление звука низкого тона и создают грубую волнистость обработанной поверхности;

– вибрации II рода – высокочастотные (800–3000 Гц) колебания инструмента, сопровождающиеся звуком высокого тона (свист) и создающие мелкую рябь на обработанной поверхности.

Основными методами борьбы с вибрациями являются:

1. Балансировка инструментов, вращающихся с большими скоростями (например, абразивных кругов), заготовок, виброизоляция фундаментов станков.

2. Выбор рациональных геометрических параметров режущего инструмента. Например, при увеличении переднего угла резца ф

с 30 до 80° обеспечивается снижение вибраций, что дает возможность существенно повысить глубину резания.

3. Улучшение динамических свойств системы СПИД путем применения различных виброгасителей. Повышать демпфирующую способность колебательной системы СПИД можно также за счет установки в узлах станков демпфирующих прокладок, изготовления корпусов инструментов из материалов с большим декрементом затухания, например, державок резцов из чугуна, хвостовиков сверл из пластмассы.

4. Повышение жесткости системы СПИД. При этом повышается собственная частота вибраций и снижается вероятность их возникновения. Жесткость системы СПИД можно повысить использованием коротких и более жестких инструментов, жестких приспособлений и оснастки (оправок и державок), а также за счет уменьшения биения шпинделя и ликвидации зазоров в суппорте станка.

## 5. ТОЧЕНИЕ

### 5.1. Разновидности обработки и режимы резания при точении

При обработке поверхностей заготовок точением имеют место следующие движения: вращение заготовки (скорость резания  $v$ ) и поступательное движение режущего инструмента (подача  $S$ ).

Основными разновидностями процесса точения являются: обтачивание наружных (рис. 5.1, а) и растачивание внутренних (рис. 5.1, б) поверхностей, протачивание канавок (рис. 5.1, в), отрезка (рис. 5.1, г), подрезание торцов, нарезка резьб, разрезка, и т.д., т.е. обработка тел вращения.

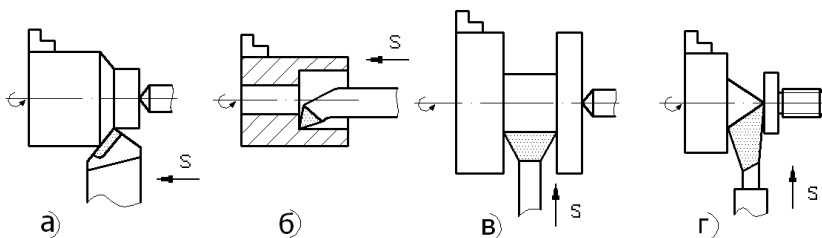


Рис. 5.1. Разновидности процесса точения

При точении режимы резания назначают в зависимости от требуемой точности детали, свойств обрабатываемого материала, материала режущей части резца, а также применяемых СОЖ. Эти сведения приведены в справочных таблицах.

## 5.2. Классификация резцов общего назначения

Резцы классифицируют:

1. По применению на станках – токарные, автоматные, револьверные, строгальные, долбежные, для станков с ЧПУ и автоматических линий и т.д. Наиболее распространенными являются *токарные*. Резцы для токарных автоматов и полуавтоматов отличаются от обычных токарных резцов размерами и конструкцией. Они имеют меньшее поперечное сечение державки, их рабочая часть (режущая пластинка) несколько длиннее обычной, что повышает срок службы этих резцов.

2. По виду обработки – проходные (рис. 5.2, а, б), подрезные (рис. 5.2, в), отрезные (рис. 5.2, г), расточные (рис. 5.2, д), резьбонарезные (рис. 5.2, е) и т.д.

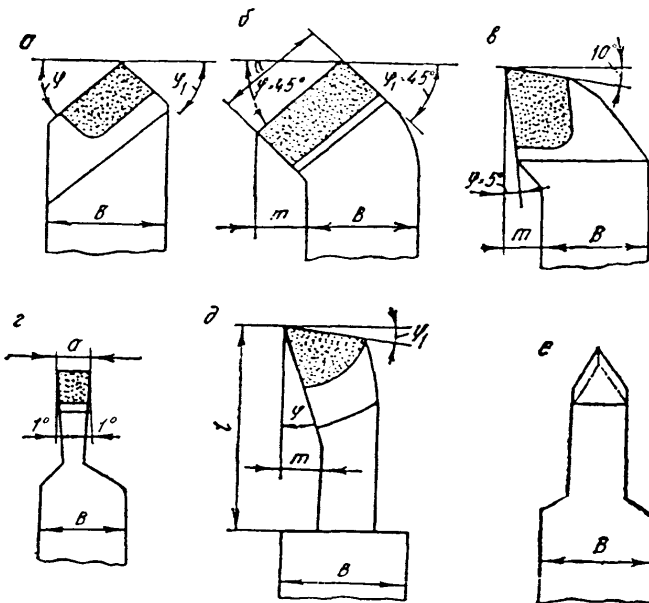


Рис. 5.2. Типы токарных резцов

3. По роду материала, из которого изготовлена рабочая часть, – быстрорежущие, твердосплавные, резцы из инструментальной стали, алмазные, эльборовые, рубиновые, лейкосапфировые и другие резцы с креплением кристаллов зачеканкой, запрессовкой и механическим способом.

### 5.3. Общие сведения о токарных станках

Основными техническими характеристиками токарного станка являются *наибольшие диаметр* и *длина* заготовки, которая может быть обработана на нем.

Токарные станки подразделяются на собственно токарные, не имеющие ходового винта для нарезания резьбы резцами, токарно-винторезные, токарно-револьверные, токарно-карусельные, токарно-лобовые, токарно-арматурные и резьботокарные.

В токарных станках главными движениями являются вращение шпинделя с закрепленной в нем заготовкой и движение подачи – перемещение суппорта с резцом в продольном и поперечном направлениях. Все остальные движения – вспомогательные.

Лобовые и карусельные токарные станки предназначены для обработки деталей больших диаметров и сравнительно небольшой длины. Лобовые станки вместо кулачкового патрона имеют планшайбу большого диаметра и не имеют задней бабки. На карусельных станках шпиндель расположен вертикально и на нем закреплена планшайба (вместо кулачкового патрона). По компоновке они бывают одностоечными и двухстоечными (портального типа).

На токарно-револьверных станках обрабатываются детали небольших и средних размеров сложной формы из пруткового материала (прутковые) или штучных заготовок (патронные), когда для их изготовления требуется применять несколько инструментов: при обработке наружных поверхностей – резцы, отверстий – сверла, зенкеры, развертки, метчики и т.д. Эти станки, в отличие от токарно-винторезных, не имеют задней бабки и ходового винта, а имеют револьверную головку, в гнездах которой устанавливаются различные инструменты.

Токарно-арматурные станки используются при изготовлении точных оправ для крепления оптических деталей и при завальцовке линз в оправы.



## 5.4. Обработка эксцентриковых деталей

*Эксцентриковыми* называются детали с двумя и более поверхностями вращения, оси которых параллельны друг другу. Такими деталями являются эксцентрики (рис. 5.3, а, б) и эксцентриковые валики (рис. 5.3, в).

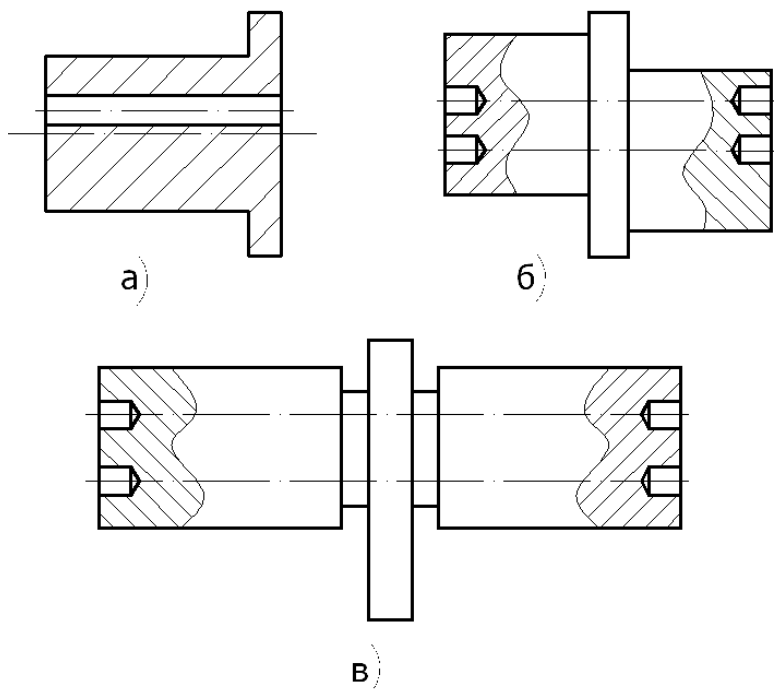


Рис. 5.3. Эксцентриковые детали

Эксцентриковые детали в большинстве случаев обтачивают в центрах. При величине эксцентриситета более 10 мм сверлят по разметке или по кондуктору на торцах заготовки по два центровых отверстия, смещенных одно относительно другого на величину эксцентриситета. Базируясь то на одни, то на другие центровые отверстия, обрабатывают различные цилиндрические поверхности.

При эксцентриситете вала меньше 10 мм заготовку берут длиннее на две длины центровых отверстий, сверлят по одному центро-

вому отверстию в каждом торце заготовки и обтачивают поверхности, расположенные на оси этих центровых отверстий. Затем срезают с двух сторон участки с центровыми отверстиями, сверлят по кондуктору или по разметке новые центровые отверстия, смещенные от оси заготовки на эксцентриситет, и обтачивают поверхности, симметричные относительно новой оси заготовки.

Высокую точность обработки эксцентриковых деталей получают в четырехкулачковом патроне. Заготовку сначала обрабатывают как цилиндр в трехкулачковом патроне, после чего закрепляют ее в четырехкулачковом патроне следующим образом. Кулачки патрона устанавливают на равном расстоянии от центра в соответствии с диаметром заготовки. Затем один из кулачков смещают от центра на величину эксцентриситета, устанавливают по нему заготовку, поджимают противоположный кулачок, а за ним поочередно два остальных.

Получение эксцентриковых деталей в трехкулачковом патроне может быть достигнуто установкой мерной пластинки между заготовкой и одним из кулачков патрона. Толщина  $t$  пластинки определяется по формуле

$$t = 1,5e \left( 1 + \frac{e}{2D} \right),$$

где  $e$  – эксцентриситет, мм;

$D$  – диаметр заготовки, зажимаемой в кулачках патрона.

## 6. СТРОГАНИЕ, ДОЛБЛЕНИЕ, ОПИЛИВАНИЕ

### 6.1. Особенности обработки строганием и долблением

При строгании и долблении имеют место два вида движений: возвратно-поступательное главное движение со скоростью  $v$  и прерывистое движение подачи  $S$  в направлении, перпендикулярном главному движению.

При обработке на поперечно-строгальных станках резец 1 (рис. 6.1, а) совершает возвратно-поступательное движение со скоростью  $v$ , а заготовка 2 – движение поперечной подачи  $S$ . На продольно-строгальных станках, наоборот, заготовка 2 (рис. 6.1, б) со-

вершает возвратно-поступательное движение со скоростью  $v$ , а режущий инструмент  $1$  – движение поперечной подачи  $S$ .

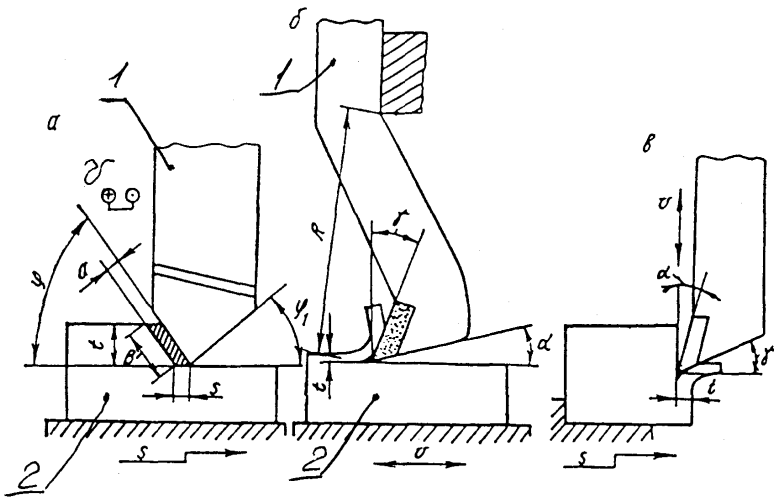


Рис. 6.1. Схема работы строгальных и долбежных резцов

Разновидностью строгания является *долбление* (рис. 6.1, в), которое осуществляется на долбежных станках, где резец совершает возвратно-поступательное движение со скоростью  $v$  в вертикальной плоскости, а заготовка имеет прерывистое движение подачи  $S$  в горизонтальной плоскости. Долблением на деталях получают пазы и шлицы, в том числе внутренние.

Прерывистость движения подачи при строгании и долблении способствует охлаждению инструмента во время обратного хода, однако при обработке возникают динамические нагрузки на режущий инструмент, т.к. он при врезании и на выходе испытывает удар. Поэтому строгание и долбление производятся на сравнительно невысоких скоростях резания (не более 50 м/мин).

## 6.2. Опиливание. Слесарные инструменты

Для обработки опилением вручную и на опилочных станках применяются *напильники*.

Напильники предназначены для съема слоя металла или неметаллического материала толщиной 0,01–1,0 мм и больше и подразделяются на *слесарные обыкновенные* и *специальные (машинные), рашпили* и *надфили*. Они бывают трехгранными, ромбическими, квадратными и круглыми. Специальные напильники выполняются в виде вращающихся дисков с насечкой и цельных лент.

Рашпили имеют крупную насечку и применяются для обработки мягких металлов, пластмасс, дерева, резины и других неметаллических материалов.

Надфили используются для отделочных работ при изготовлении малогабаритных деталей приборов точной механики и лекальных работ. Рабочая часть надфиля делается профильного сечения с мелкой насечкой.

По крупности насечки напильники бывают *драчевые, личные, бархатные* и подразделяются на шесть классов в зависимости от количества насечки на 1 см<sup>2</sup>. Драчевые напильники (1-й класс) имеют на 1 см<sup>2</sup> небольшое число насечек и крупный зуб, а личные (2-й класс) и бархатные (3–6-й классы) большее количество насечек и более мелкий зуб.

Драчевые напильники применяются для грубой черновой опилки, личные – для чистовой (последние из-за засаливания не рекомендуется использовать при обработке цветных металлов). Бархатные напильники применяются для отделки.

Напильники в зависимости от их конструкции, режимов и других условий опиливания изготавливают из инструментальной углеродистой, хромистой, быстрорежущей сталей, а также из твердых сплавов.

Для обработки особо точных плоскостей деталей из чугуна и других металлов применяют шаберы, рабочая часть которых изготовлена из инструментальной стали или твердого сплава. При шабрении под воздействием силы, прилагаемой вручную к шаберу, происходит соскабливание отдельных выступающих участков обрабатываемой поверхности. Процесс продолжается до получения относительно плоской поверхности, что проверяется точной плитой или широкой линейкой, на которые наносят краску. Эту операцию повторяют до тех пор, пока на обрабатываемой поверхности не будут равномерно распределены пятна краски, число и размер которых на 1 см<sup>2</sup> задают в зависимости от необходимой степени сопряжения контактируемых поверхностей деталей.

При разрезке различных металлов применяют ножовочные полотна, которые подразделяются на *станочные* и *ручные*. Первые имеют длину 350–600 мм и толщину 1,2–2,5 мм, используются при разрезке материалов на станках, а вторые (длиной 250–300 мм и толщиной 0,6–0,8 мм) – при работе вручную.

## 7. СВЕРЛЕНИЕ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ

### 7.1. Устройства для крепления осевых инструментов

Получение точных отверстий (7-го качества) с малой шероховатостью поверхностей ( $R_a = 1,25–0,32$  мкм) связано с большими трудностями. Не всегда удается избежать биения инструментов и обеспечить нужное направление при их работе. Сверлением можно получить отверстия 10–11-го качества точности при шероховатости поверхности  $R_a = 5,0–2,5$  мкм. Получение более точных отверстий с малой шероховатостью обеспечивается зенкерованием с последующим развертыванием.

Точность обработанных отверстий зависит от метода закрепления осевых инструментов и точности станка. Крепление инструментов в зависимости от типа станка производится в его шпинделе через разрезные переходные втулки, а также цанговые, кулачковые, быстросменные, качающиеся и плавающие патроны.

Разрезные переходные втулки (рис. 7.1, а) обеспечивают достаточно точное центрирование даже мелкогабаритного осевого инструмента диаметром 2–3 мм.

Для закрепления сверл малого диаметра (до 1 мм) широко используются цанговые патроны (рис. 7.1, б), состоящие из корпуса 1 с хвостовиком, цанги 2 и гайки 3. Цанга располагается в отверстии корпуса и конусом сопрягается с его конусной фаской. При завинчивании гайки цанга смещается вдоль оси. Действием конусной фаски отверстия корпуса лепестки цанги сжимаются и закрепляют сверло 4, установленное в посадочное отверстие.

Сверлильный кулачковый патрон является более универсальным зажимным инструментом, чем втулки и цанги, т.к. в нем можно закреплять инструменты с диаметром от 0,5 до 16 мм. Сверлильный кулачковый патрон (рис. 7.1, в) состоит из корпуса 2, втулки 3, кулачков 6 и кольца 4.

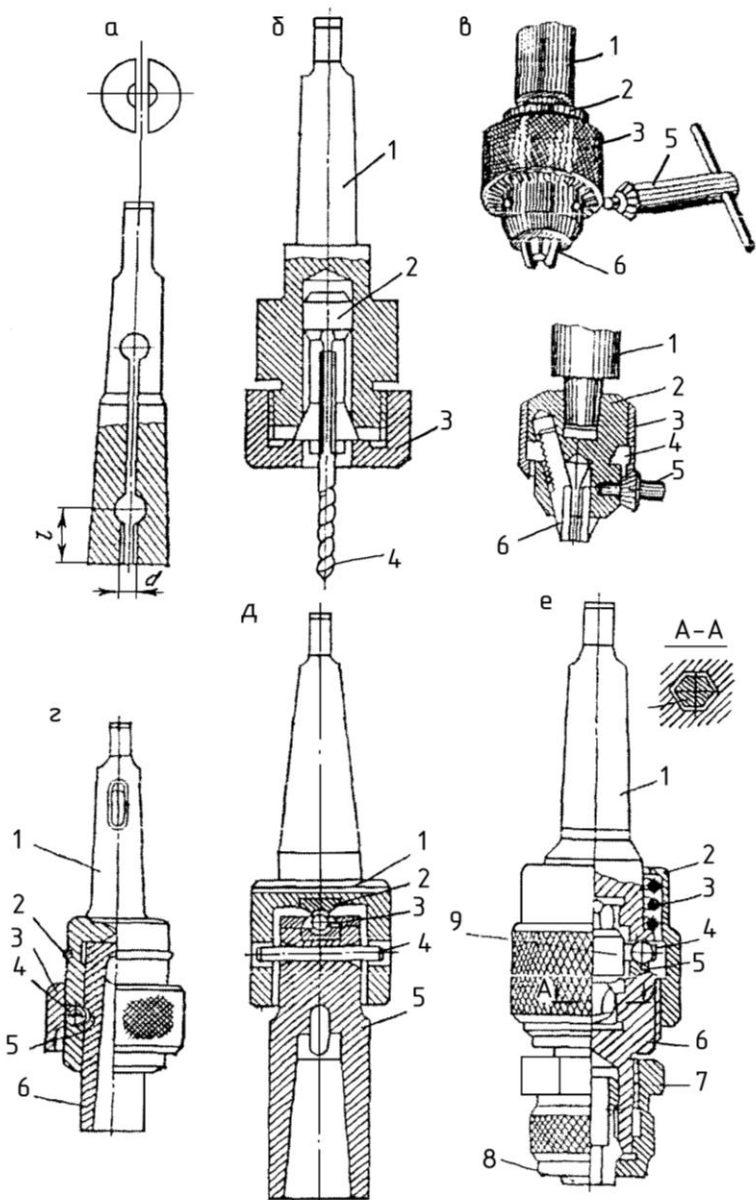


Рис. 7.1. Устройства крепления осевых инструментов

На верхней части кулачков нарезана резьба, сопрягающаяся с наклонной резьбой на кольце 4, которое запрессовано во втулку 3. При закреплении сверла в патроне втулка сначала вращается вручную, а затем с помощью шестеренки ключом 5. С поворотом втулки 3 вместе с ней вращается кольцо 4, которое также навинчивается на кулачки 6 и перемещает их в наклонных пазах в корпусе 2. При этом сверло центрируется и зажимается. Для установки в шпиндель станка кулачковые патроны снабжены коническим хвостовиком или гнездом.

Для пооперационной обработки отверстий несколькими инструментами (сверло – зенкер – развертка; сверло – метчик) последние закрепляются в быстросменных патронах (рис. 7.1, *з*). Корпус 1 патрона устанавливается в шпинделе станка с помощью хвостовика. В цилиндрическое гнездо патрона вставляется сменная втулка 6 с коническим гнездом под инструмент. Вращение от корпуса патрона передается втулке через два шарика 4. Для замены втулки с установленным инструментом необходимо поднять обойму 3 вверх до упора в разрезное пружинное кольцо 2, находящееся на корпусе патрона. При этом шарики выйдут из углублений 5 втулки 6, и ее вместе с инструментом можно извлечь из гнезда патрона.

При обработке точных отверстий (7-го качества) развертками используют качающиеся (рис. 7.1, *д*) и плавающие (рис. 7.1, *е*) самоустанавливающиеся патроны. В цилиндрическое гнездо корпуса 1 качающегося патрона на штифте 4 установлена с зазором втулка 5 с коническим гнездом под хвостовик развертки. Втулка имеет осевую опору в виде шарика 3 и подпятника 2. При развертывании отверстий втулка может качаться в двух плоскостях.

Между торцами хвостовика 1 и втулки 6 плавающего патрона на шайбе 5 установлены в сепараторе 4 шарики, через которые втулка воспринимает от хвостовика осевую силу резания при обработке отверстия. Крутящий момент от хвостовика к втулке передается через поводок 9, имеющий по концам закругленные шестигранные выступы, позволяющие втулке с инструментом свободно наклоняться относительно хвостовика. Верхний выступ поводка входит в шестигранное отверстие хвостовика, а нижний – в аналогичное отверстие втулки 6. Поджим втулки 6 к хвостовику 1 выполняется пружиной 3, которая действует на фланец гайки 2, связанной резьбой со втулкой 6. Инстру-

мент в патроне закрепляется с помощью гайки 7, которая при вращении по резьбе втулки 6 смещает в осевом направлении цангу 8.

## 7.2. Типы, геометрические параметры и конструктивные элементы сверл

Сверла классифицируются как по размерам, так и по конструкции. Для получения отверстий малого диаметра (до 3,0 мм) используются мелкоразмерные сверла. Они бывают следующих типов (видов): стержневые с одной или двумя лысками (площадками) (рис. 7.2, а, б), перовые (рис. 7.2, в-д), спиральные (рис. 7.2, е-к) и твердосплавные (рис. 7.2, л-н).

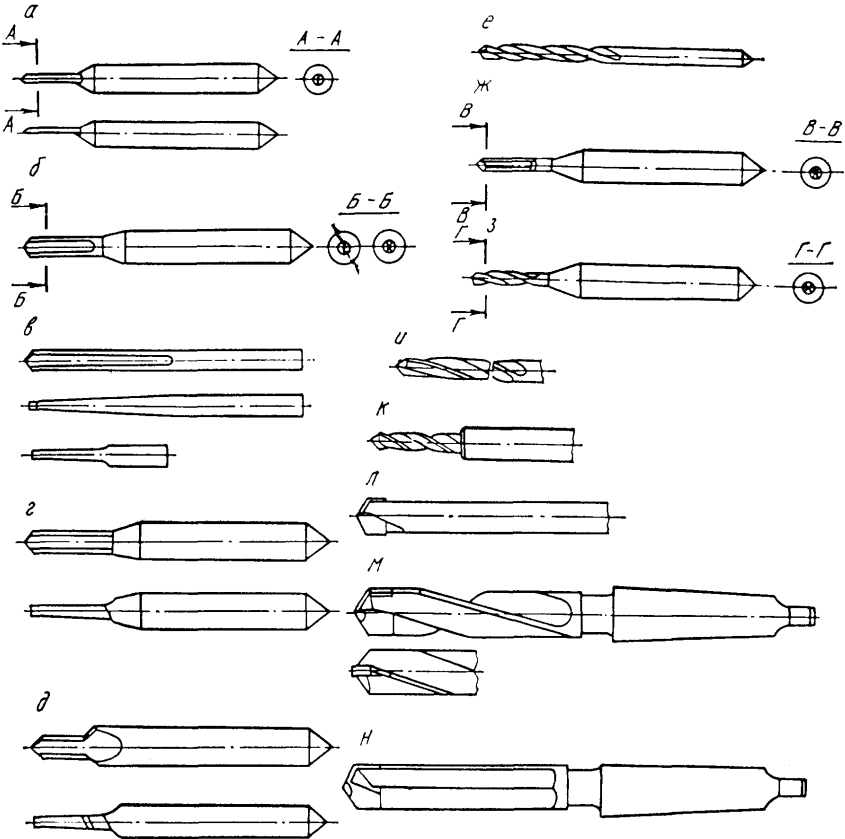




Рис. 7.2. Типы мелкогабаритных быстрорежущих (а-з) и твердосплавных (и-н) сверл

При сверлении отверстий диаметром более 3 мм применяются как обычные перовые и спиральные сверла, так и специальные. Например, при сверлении отверстий в стекле используют трубчатые алмазные сверла, рабочая часть которых имеет форму пустотелого цилиндра.

Геометрические параметры и конструктивные элементы сверл рассмотрим на примере спирального сверла (рис. 7.3). Сверло в общем случае состоит из следующих параметров: рабочей части  $l_1$ , шейки  $l_3$  и хвостовика  $l_4$ , последний из которых может иметь цилиндрическую или конусную форму. В свою очередь рабочая часть сверла состоит из режущего  $l_2$  и направляющего  $l_2'$  участков.

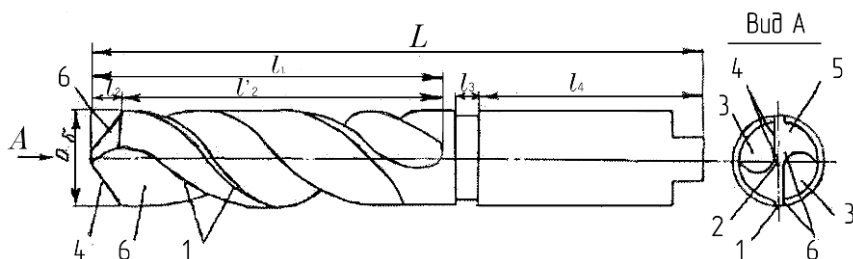


Рис. 7.3. Конструктивные элементы спирального сверла

Рабочая часть имеет следующие конструктивные элементы: 1 – вспомогательные режущие лезвия; 2 – поперечное режущее лезвие; 3 – стружечные канавки; 4 – два главных режущих лезвия; 5, 6 – задняя и передняя поверхности зубьев.

### 7.3. Конструкции разверток

*Развертки* применяются для чистовой обработки точных отверстий. Припуск на сторону под развертывание обычно не превышает 0,01–0,5 мм. При этом зубьями разверток срезаются относительно тонкие и широкие стружки.

Развертки разделяют:

- 1) в зависимости от назначения – на ручные и машинные;
- 2) по форме обработанных отверстий – на цилиндрические и конические;
- 3) по конструкции зубьев – на цельные, сварные (или припайные) и с механическим креплением зубьев.

Мелкоразмерные развертки диаметром до 3 мм бывают с поперечным сечением рабочей части в виде полукруга (рис. 7.4, *a, б*) или правильного многогранника (рис. 7.4, *в-е*). Режущие лезвия с полукруглым сечением рабочей части просты в изготовлении и обеспечивают удовлетворительные условия резания. Недостатком является увод разверток в отверстия и малая их прочность.

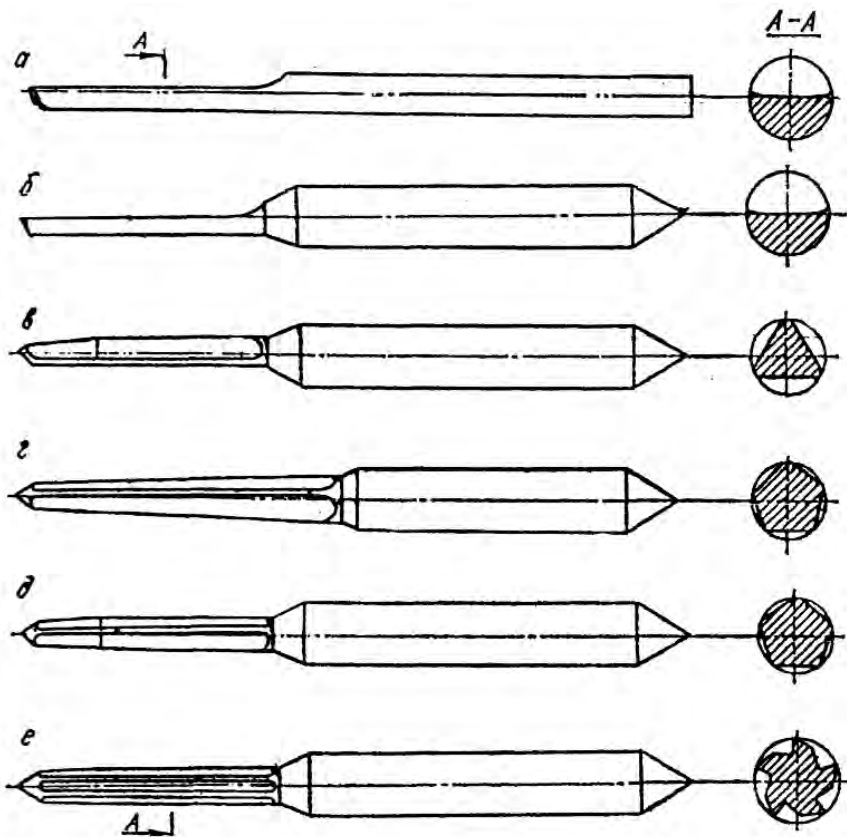


Рис. 7.4. Развертки для обработки отверстий диаметром 0,1–3 мм:  
*a, б* – строжневые с обычным и утолщенным хвостовиками;  
*в, д* – трех- и пятигранные цилиндрические; *г* – конические пятигранные;  
*е* – цилиндрические пятиканавочные

Развертки трех- и особенно пятигранного поперечного сечения (рис. 7.4, *в–д*) имеют большую прочность рабочей части и широко применяются в приборостроении. Однако наибольшее использование при обработке отверстий диаметром 1,5–3 мм имеют пятизубые (пятиканавочные) развертки (рис. 7.4, *е*). Конические развертки применяются для получения отверстий с различной конусностью.

#### **7.4. Особенности инструментов для станков с ЧПУ и автоматических линий**

Инструментальная оснастка для автоматизированного оборудования включает собственно режущий инструмент, инструментальные оправки, а также различные приспособления для автоматической подналадки режущего инструмента, контроля размеров деталей при обработке, автоматической смены инструмента и других операций.

На сравнительно простых станках-автоматах (вертикально-сверлильных, вертикально- и продольно-фрезерных, а также токарных автоматах) автоматическая смена инструментов производится с помощью револьверных головок. При большом количестве инструментов (100 и более) применяются инструментальные магазины различной конструкции.

К режущим инструментам для автоматизированного оборудования, кроме таких общих требований, как обеспечение необходимой формы, размеров и шероховатости обработанной детали, предъявляются следующие дополнительные требования: обеспечение размерной стойкости инструмента, стабильность его работы на различных режимах, быстросменность и взаимозаменяемость.

Для уменьшения времени обработки деталей на автоматизированном оборудовании следует сокращать время на установку и закрепление инструмента на станке.

При разработке инструмента для автоматизированного оборудования необходимо учитывать следующее:

1. Инструмент по возможности делается сборным с механическим креплением режущих пластин или с их напайкой.

2. Применение бесподналадочного инструмента, настраиваемого на требуемый размер вне станка, исключает потери времени на настройку последнего.

3. Повышение размерной стойкости инструмента осуществляется за счет периодического или непрерывного обновления его лезвий.

4. Автоматическая подналадка установки инструмента с целью компенсации его износа и погрешностей размеров заготовки повышает размерную стойкость инструмента.

Для обеспечения повышенной стойкости инструмента для автоматизированных станков его изготавливают из более износостойких и прочных инструментальных материалов. При этом в стандартный инструмент вносят необходимые конструктивные изменения, связанные с быстросменностью, взаимозаменяемостью, возможностью подналадки и т.д.

Производительной является обработка ротационными резцами и фрезами, оснащенными круглыми вращательными пластинками.

Другим способом увеличения размерной стойкости инструмента является использование автоматического подналадчика, который контролирует размер детали и перемещает инструмент в целях компенсации его износа.

## **8. ПРОТЯГИВАНИЕ, ПРОШИВАНИЕ И ФРЕЗЕРОВАНИЕ**

### **8.1. Обработка внутренних и наружных поверхностей протягиванием и прошиванием**

*Протягивание* является высокопроизводительным и сравнительно точным методом обработки материалов резанием. Оно применяется при получении отверстий и наружных поверхностей различной формы 6–8-го квалитетов точности и шероховатости  $R_a = 0,1–0,2$  мкм.

Различают операции *протягивания* и *прошивания*. При протягивании инструмент, представляющий собой длинный стержень или плиту с постепенно увеличивающимися по высоте зубьями (рис. 8.1, *а*), работает на растяжение, а прошивка проталкивается через отверстие и работает на сжатие и изгиб (рис. 8.1, *б*). Прошив-

ка обычно короче протяжки, имеет меньшие технологические возможности и реже применяется.

Протяжки и прошивки подразделяются по форме получаемых отверстий на круглые, квадратные, шлицевые, многогранные, профильные и др. Они могут быть цельные, с напайными пластинками твердого сплава, со вставными зубьями и наборные.

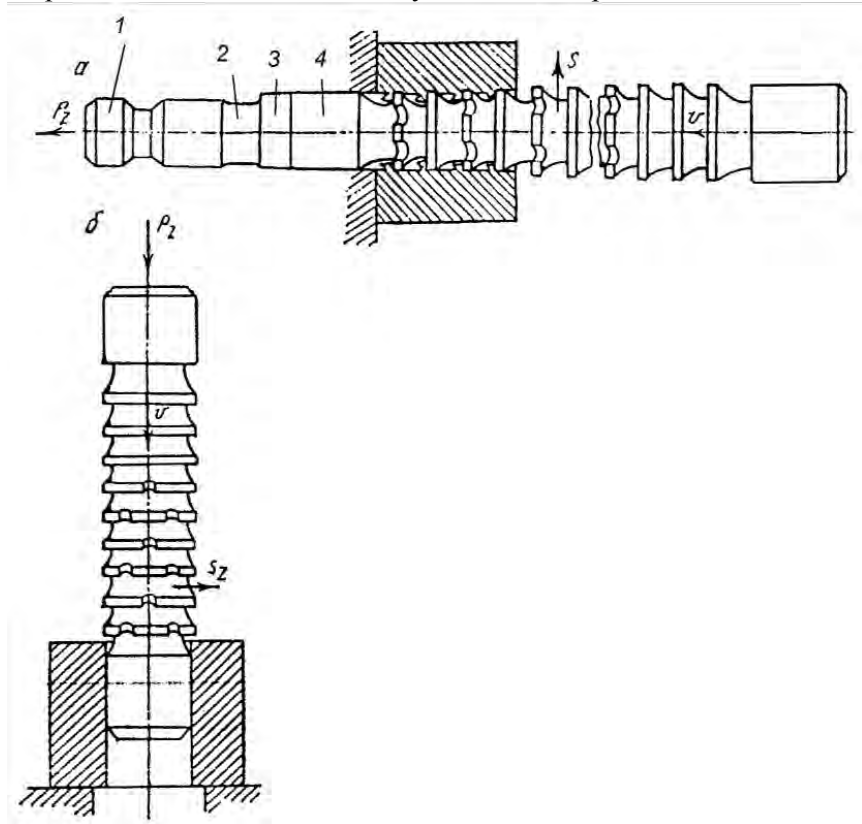


Рис. 8.1. Схема работы протяжки (а) и прошивки (б)

Протяжка состоит из рабочей и вспомогательной частей. Последняя включает хвостовик 1, шейку 2, переходной конус 3 и переднюю направляющую часть 4, которая обеспечивает центрирование и направление протяжки при вхождении режущих зубьев в контакт с обрабатываемой заготовкой.

Рабочая часть протяжки может иметь черновые, переходные и чистовые режущие, а также калибрующие и выглаживающие зубья. Черновыми зубьями срезается основная часть припуска под протягивание. Подъем на секцию из двух–пяти черновых зубьев принимается в пределах  $S_{\text{черн}} = 0,3\text{--}1,2$  мм (подача) в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Чистовые зубья имеют подъем  $S_{\text{чист}} = 0,005\text{--}0,05$  мм, что обеспечивает малую шероховатость протянутой поверхности.

## 8.2. Виды и особенности процесса фрезерования

Фрезерование является одним из высокопроизводительных процессов резания металлов и неметаллических материалов при обработке плоских и фасонных поверхностей, пазов, шлицев, зубьев колес и т.д. Процессом фрезерования можно получать детали с поверхностями 8–11-го квалитетов точности и  $R_a = 1\text{--}2$  мкм. На рис. 8.2 показаны работы, выполняемые на фрезерных станках. Они производятся фрезами различной конструкции. Фрезы являются многозубыми инструментами, каждый зуб которых представляет собой резец (или режущий клин) с присущими ему конструктивными элементами и геометрическими параметрами резца.

Фрезы можно классифицировать по следующим признакам:

- 1) по материалу рабочей части – быстрорежущие, твердосплавные, алмазные;
- 2) по способу крепления – насадные и хвостовые;
- 3) по форме зубьев – с прямыми, винтовыми и угловыми зубьями;
- 4) по конструкции зубьев – с остrokонечными (острозаточенными) и с затылованными зубьями;
- 5) по характеру работы – отрезные, пазовые, угловые, фасонные.

Крепление фрез на станках производится с помощью переходных втулок, цанговых и специальных патронов и оправок.

Главное движение при фрезеровании – это вращение фрезы, а движение подачи – перемещение заготовки. Несмотря на большое разнообразие фрез, схема их работы соответствует или цилиндрическому (рис. 8.2, *а*), или торцевому (рис. 8.2, *б*) видам фрезерования. При цилиндрическом фрезеровании обработка производится зубьями, находящимися на цилиндрической поверхности фрезы, ось которой параллельна обрабатываемой поверхности, а при торцевом –

зубьями, расположенными на боковой поверхности фрезы, ось которой перпендикулярна к обрабатываемой поверхности.

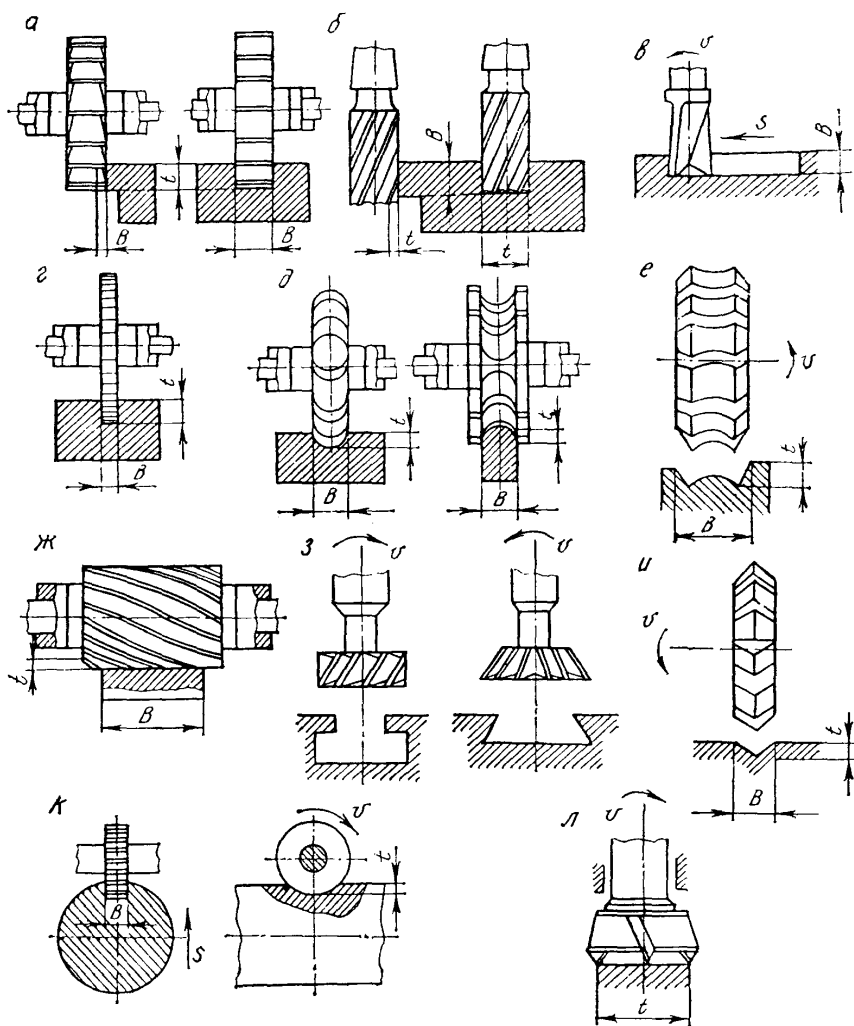


Рис. 8.2. Виды работ, выполняемых на фрезерных станках

## 9. РЕЗЬБООБРАЗОВАНИЕ И АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА

### 9.1. Способы получения резьб и применяемые инструменты

Образование резьбы на деталях в зависимости от ее вида, размера и точности производится *нарезанием* или *накатыванием*. Для нарезания внутренней резьбы применяются метчики, наружной – резьбонарезные резцы, фрезы, плашки и резьбонарезные головки. При накатывании резьбы используются накатные плашки и ролики, а также резьбонакатные головки.

Для повышения точности предварительно нарезанных или накатанных резьб выполняют резьбошлифование. Режущим инструментом для шлифования резьб служат одно- или многониточные абразивные круги (рис. 9.1, *а, б*). Последние обеспечивают большую производительность, но меньшую точность резьбы.

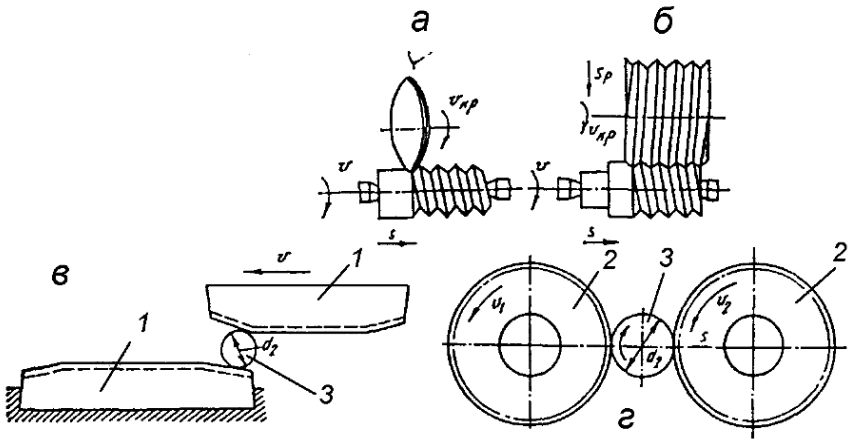


Рис. 9.1. Методы получения резьб

Получение резьбы накатными инструментами происходит за счет пластической деформации вращающейся заготовки при воздействии на нее накатных плашек 1 (рис. 9.1, *в*) и роликов 2 (рис. 9.1, *з*), которые имеют соответственно поступательное  $v$  и вращательное  $v_1$  и  $v_2$  движения (на рис. 9.1 *з* – деталь).



## 9.2. Абразивная обработка

Абразивный метод окончательной обработки включает операции предварительного и чистового шлифования, а также отделочные операции, такие как хонингование, суперфиниширование, притирку, доводку и полирование. Полирование осуществляется в основном для уменьшения шероховатости обработанной поверхности, а все остальные виды абразивной обработки являются размерными, т.е. при их применении обеспечивается требуемая точность размеров и формы. При чистовой обработке получают детали 6–7-го квалитетов точности с шероховатостью  $R_a = 0,02$  мкм.

*Абразивная обработка* – процесс резания металлов и неметаллических материалов с помощью абразивных, алмазных, эльборовых и других зерен, которые обладают высокой твердостью и теплоустойчивостью и имеют режущие грани. Зерна соединены специальным связующим веществом в шлифовальные круги, головки, сегменты, бруски или наклеены на ленты. При абразивной обработке применяются также пасты и порошки.

В реальном процессе шлифования примерно 85–90 % зерен абразивного инструмента не режет, а деформирует и наклепывает поверхностный обрабатываемый слой.

Поскольку абразивные зерна расположены в теле круга хаотически, то при его вращении форма режущего контура непрерывно изменяется, что приводит к получению сравнительно малой шероховатости поверхности, которая принимает признаки полированной. Полирующий эффект оказывает также и связка абразивного круга.

Применяются следующие методы шлифования:

- 1) наружное (рис. 9.2, *a*) и внутреннее (рис. 9.2, *б*) круглое с продольной  $S$  и поперечной  $S_n$  подачами;
- 2) бесцентровое (рис. 9.2, *в*);
- 3) плоское периферией (рис. 9.2, *з*) и торцом (рис. 9.2, *д*) круга;
- 4) специальное (фасонное, резьбошлифование).

Припуск на сторону при шлифовании (0,15–0,7 мм) назначается в зависимости от длины и диаметра заготовки, требуемой шероховатости и точности предшествующей обработки. Припуск на предварительное шлифование составляет 60–80 % общего припуска.

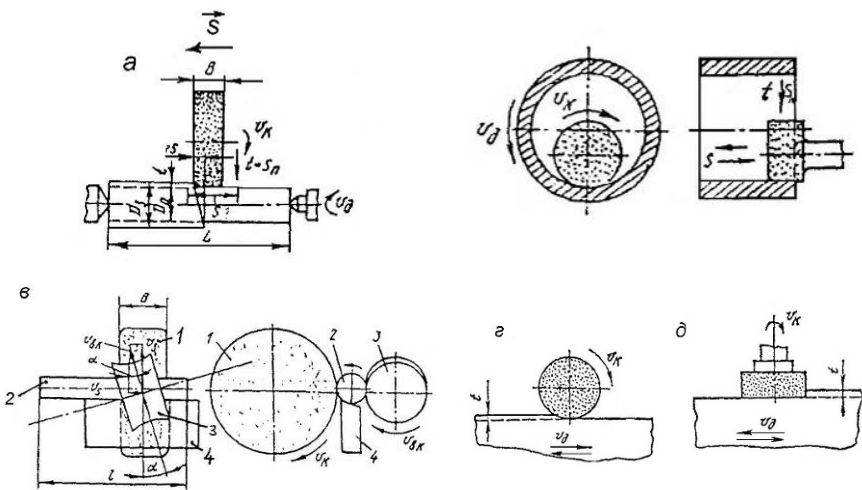


Рис. 9.2. Методы шлифования абразивным кругом

Окружные скорости шлифовальных кругов на керамической связке не превышают 30–35, а на бакелитовой – 35–40 м/с. Круги на специальной высокопрочной связке допускают скоростное шлифование ( $v = 50$  м/с и выше).

Внутреннее круглое шлифование протекает в более тяжелых условиях, чем наружное. Это связано с малой жесткостью шпинделя и недостаточным проникновением СОЖ в зону резания. Поэтому внутреннее шлифование производится с параметрами режимов резания в два раза меньшими, чем наружное.

При бесцентровом наружном шлифовании (рис. 9.2, в) обрабатываемая заготовка 2, опираясь на упор 4, проходит между шлифующим 1 и ведущим 3 кругами. Продольная подача заготовки вдоль ее оси обеспечивается за счет установки ведущего круга под углом  $\alpha = 1^\circ$ . Линейная скорость ведущего круга  $v_{вк}$  раскладывается на скорость  $v_s$  вращения заготовки и скорость  $v_s$  продольной подачи.

При плоском шлифовании периферией шлифовальный круг вращается, а заготовка (стол) совершает возвратно-поступательное движение. Если ширина круга меньше ширины обрабатываемой поверхности, то шлифовальный круг или стол имеют также поперечную подачу  $S$ .

Значительное повышение производительности процесса шлифования (в 1,5–2 раза) обеспечивается за счет увеличения скоростей резания до 50–80 м/с. При этом абразивное зерно круга в единицу времени успевает нанести на шлифуемую поверхность большее количество резов (царапин) и каждый последующий раз снимает меньший объем металла. В связи с этим силы, действующие на каждое зерно, уменьшаются, что позволяет догрузить их за счет увеличения глубины шлифования, подачи и скорости вращения детали. При скоростном шлифовании уменьшается шероховатость обработанной поверхности и снижается расход шлифовальных кругов в среднем на 40 %.

## **10. ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ ПЛАСТМАСС**

### **10.1. Физические основы резания пластмасс**

При обработке пластмасс на режущий клин инструмента действуют силы, приложенные, как и при обработке металлов, к передней и задней его поверхностям. Однако соотношение этих сил иное, чем при обработке металлов. Вследствие увеличенного упругого последействия пластмасс сила, действующая на заднюю поверхность зуба инструмента, превосходит силу на передней поверхности. В целом же силы резания при обработке пластмасс в 10–20 раз меньше, чем при обработке металлов.

Эти силы зависят от свойств материала инструмента и его геометрических параметров. Уменьшение силы резания в 2–5 раз наблюдается при точении алмазными резцами по сравнению с твердосплавными. Сила резания уменьшается также с увеличением переднего угла  $\gamma$  (см. рис. 4.1).

При обработке резанием пластмасс, как и при обработке металлов, выделяется теплота. Однако при обработке пластмасс основная часть теплоты (до 90 %) из-за низкой их теплопроводности переходит в инструмент, только 8 % в деталь и около 2 % отводится со стружкой. В связи с этим при обработке пластмасс инструмент интенсивно нагревается, поэтому он должен быть изготовлен из более тепло- и износостойкого инструментального материала (твердый сплав, алмаз). При температуре 70–100 °С на поверхностях термопластичных пластмасс уже происходит оплавление обработанной

поверхности и налипание стружки на зубья инструмента. В результате обработанная поверхность получается с задирами и с искаженной формой и размерами.

Снижение температуры в зоне резания может быть достигнуто:

1) полированием рабочей части инструмента, что уменьшает силы трения между его поверхностями и обрабатываемым материалом;

2) использованием алмазных инструментов, имеющих уменьшенный коэффициент трения с обрабатываемым материалом;

3) выбором инструментов с оптимальным передним и увеличенным задним углами;

4) подбором параметров режима резания с учетом того, что наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает скорость резания и меньшее – подача и глубина резания;

5) охлаждением зоны резания сжатым воздухом или СОЖ.

В качестве инструментального материала при обработке пластмасс применяются быстрорежущая сталь, твердый сплав, алмаз и рубин.

При затуплении инструмента увеличивается высота микронеровностей, появляются сколы и трещины, а также нарушается точность размеров детали.

## **10.2. Обработка пластмасс резанием лезвийными инструментами**

### ***10.2.1. Разрезка и точение пластмасс***

Для производства деталей из пластмасс применяются заготовки в виде листов, прутков и отливок различной формы. Листы малой толщины (до 3 мм) разрезаются ножовкой, дисковой и ленточной пилами, рычажными и гильотинными ножницами, абразивными или алмазными кругами. При разрезке используются также струя воды под давлением, ультразвуковой и тепловой методы. В последних двух случаях применяются ультразвуковой вибратор и струя нагретого воздуха.

Разрезку толстых листов и круглых заготовок можно производить на металло- и деревообрабатывающих станках.

При точении обработка осуществляется либо на токарных станках, либо на специализированных станках. Параметры режима резания при точении устанавливаются в зависимости от материала режущей части резцов. Резцами из быстрорежущей стали пластмас-

сы обрабатывают на сравнительно низких скоростях резания, алмазными резцами – на высоких (до 50–70 м/мин).

Токарные резцы для обработки пластмасс по сравнению с обычными резцами имеют большие передний и задний углы, а также меньшую шероховатость рабочей поверхности.

### 10.2.2. Обработка пластмасс фрезерованием

При фрезеровании пластмассовых деталей во избежание расслаивания, появления сколов и разлохмачивания пластмасс направление вращения фрезы должно совпадать с направлением подачи заготовки.

Для фрезерования термопластичных пластмасс применяются отрезные фрезы из быстрорежущей стали (рис. 10.1, а), а для терморезистивных – фрезы, оснащенные пластинками 1 твердого сплава, которые припаяны к сухарям 2 (рис. 10.1, б). Быстрорежущая фреза отличается от обычной большим диаметром, меньшей толщиной и большим числом зубьев.

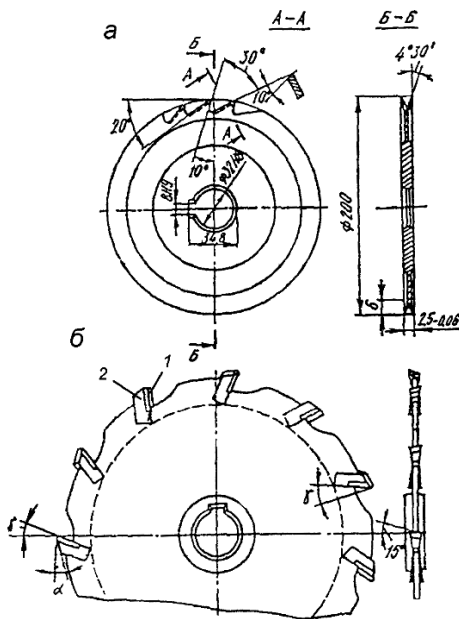


Рис. 10.1. Дисковые фрезы

При обработке сравнительно широких поверхностей деталей из органического стекла и слоистых пластмасс применяются цилиндрические быстрорежущие (рис. 10.2, а), твердосплавные цельные (рис. 10.2, б) и сборные твердосплавные фрезы (рис. 10.2, в).

Для фрезерования уступов и пазов применяются хвостовые фрезы (см. рис. 8.2).

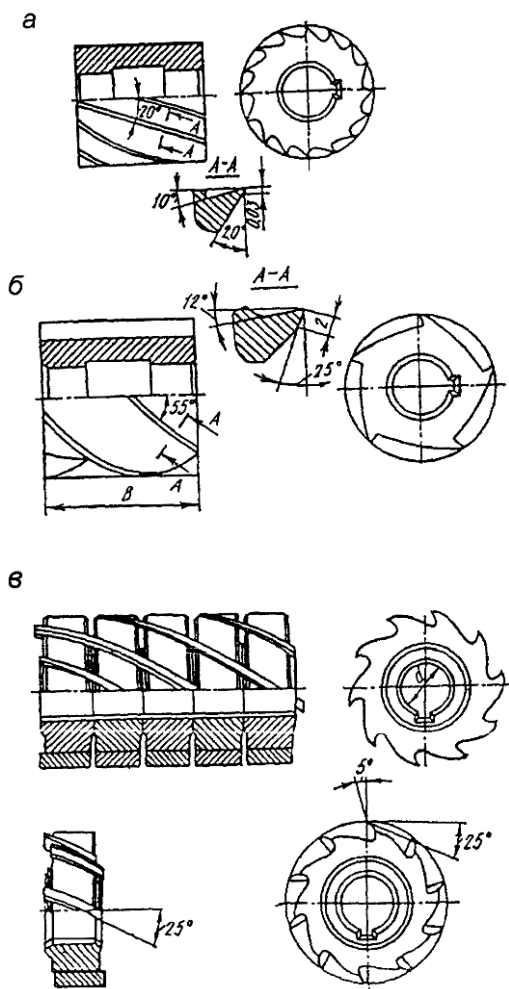


Рис. 10.2. Фрезы для обработки широких поверхностей деталей

### **10.2.3. Сверление отверстий и нарезание резьбы в пластмассовых деталях**

Отверстия в пластмассах обрабатывают специальными сверлами различной конструкции, изготовленными из быстрорежущей стали, твердого сплава и алмазов. Режимы резания при сверлении пластмасс, а также конструкция, геометрические параметры и заточка сверл принимаются в зависимости от условий обработки и приведены в специальных таблицах. Сверла малых диаметров имеют уменьшенный по сравнению со сверлами для обработки металлов угол заборного конуса, что позволяет избежать образования сколов пластмасс на выходе сверла.

Образование резьбы на пластмассовых деталях осуществляется не только прессованием, но и режущими инструментами (резцами, метчиками, плашками, абразивными кругами и т.д.). В связи с чувствительностью некоторых пластмасс к концентрации напряжений, профиль резьбы во впадинах должен иметь небольшое округление.

Для снижения сил трения при нарезания резьбы в пластмассовых деталях метчики имеют следующие отличительные особенности по сравнению с метчиками для нарезания резьбы в металлических деталях:

- 1) увеличенные по объему и полированные стружечные канавки;
- 2) шлифованный профиль резьбы;
- 3) меньшее число зубьев;
- 4) увеличенный на 0,05–0,13 мм диаметр.

## **11. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РАЗМЕРНЫЕ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

### **11.1. Электроэрозионная обработка**

Данный метод используется при изготовлении деталей из твердых сплавов, жаропрочных, хрупких и других токопроводящих материалов, обработка которых на металлорежущих станках затруднена, а иногда невозможна.

При электроэрозионной обработке разрушение материала происходит не за счет резания, а путем электрической эрозии, которая представляет собой направленный выброс металла под действием электрического разряда.

В процессе электроэрозионной обработки (электроискровой метод) используют как профилированный (рис. 11,1, а), так и непрофилированный (в виде проволоки, рис. 11,1, б) инструменты. При обработке больших заготовок обычно применяют медную проволоку диаметром 50–100 мкм, а для изготовления прецизионных деталей – вольфрамовую диаметром менее 6 мкм.

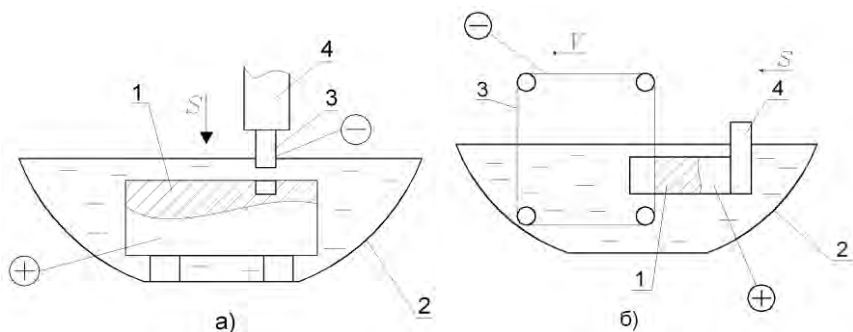


Рис. 11.1. Электроэрозионная обработка

Принцип обработки обоими инструментами заключается в следующем. Электрод-инструмент 3 закрепляется в приспособлении 4. Обрабатываемая деталь 1 помещается в изолированную ванну 2, заполненную жидкостью, не проводящей ток (керосин, промышленные масла). Под действием электронов, вырывающихся с поверхности катода (инструмента), происходит постепенное разрушение анода (детали). При этом мгновенная температура разряда – до 10 000 °С.

На основе электрической эрозии разработана анодно-механическая обработка, которая применяется при разрезке заготовок из труднообрабатываемых материалов (нержавеющих, кислотостойких и высоколегированных сталей), при безабразивном затачивании твердосплавного инструмента, а также для шлифования и хонингования. В данном случае (рис. 11.2) обработка ведется в проводящей ток жидкой среде, называемой *электролитом*. Подаваемый в пространство между инструментом 1 (катодом) и заготовкой 2 (анодом) электролит 3 растворяет металл (*электролитическая эрозия*), образуя на его поверхности тонкую оксидную пленку небольшой прочности. Эта пленка легко удаляется инструментом, которому сообщается главное движение  $v$  и движение подачи  $S$ . На месте удален-



ной пленки вновь образуется пленка, которая удаляется при дальнейшем движении инструмента. При удалении пленки в местах неровностей (выступов) происходят искровые дуговые разряды (*электрическая эрозия*), ускоряющие процесс резания. Таким образом, в данном случае имеет место комбинация электрофизического и электрохимического процессов.

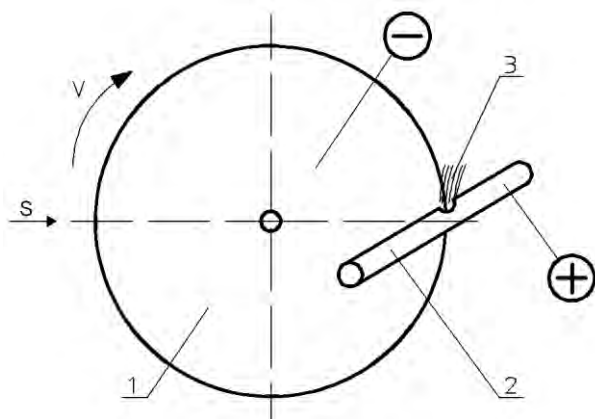


Рис. 11.2. Анодно-механическая обработка

## 11.2. Ультразвуковая обработка

*Ультразвуковой метод обработки*, в отличие от электроэрозионного, пригодного для обработки только токопроводящих материалов, может быть использован также для получения деталей из непроводящих ток хрупких и твердых материалов (кварца, стекла, алмаза, кремния, фарфора, рубина, спеченных твердых сплавов и др.). Пластичные материалы (свинец и др.) ультразвуковым методом практически не обрабатываются. Метод основан на ударном воздействии абразивных частиц, получающих кинетическую энергию от ультразвуковых колебаний инструмента.

Существует две разновидности ультразвуковой обработки. В первом случае обработка детали производится в абразивной суспензии (вода с карбидом бора), которой сообщаются ультразвуковые колебания. Этот метод используется обычно при декоративном шлифовании и снятии заусенцев.

Более перспективной является *размерная* (вторая разновидность) ультразвуковая обработка. При ее использовании движения абразивным зернам сообщаются торцом инструмента 2 (рис. 11.3), который через концентратор 3 жестко связан с преобразователем (вибратором) 4. Сердечник преобразователя изготовлен из пакета пластин, материал которых изменяет свои размеры в переменном магнитном поле (магнитострикционный эффект). Этим свойством обладают железо, кобальт, никель и их сплавы. На катушку преобразователя подают от генератора 5 электрические колебания ультразвуковой частоты 16–30 кГц, которые преобразуются в механические колебания инструмента той же частоты. Колебательная система прикреплена к шпинделю, который вместе с инструментом 2 перемещается по стрелке А в сторону обрабатываемой заготовки 1. В зону обработки через сопло 6 насосом подается абразивная суспензия.

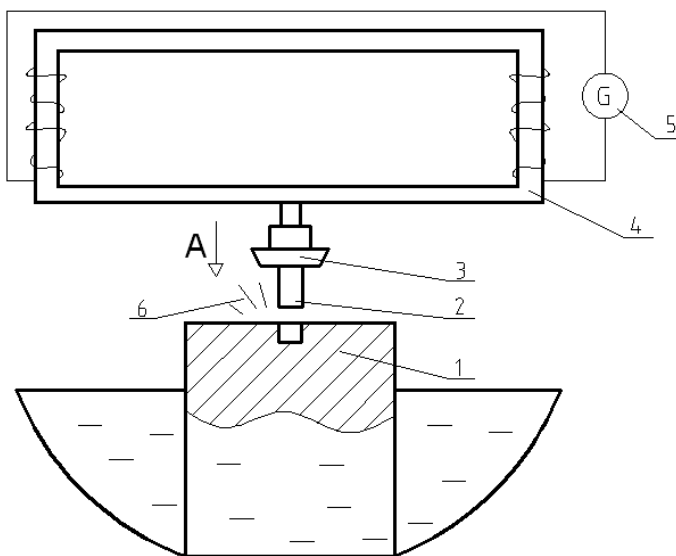


Рис. 11.3. Размерная ультразвуковая обработка

Ультразвуковая обработка обеспечивает получение размеров 7–8-го квалитетов точности с шероховатостью обработанных поверхностей  $R_a = 0,8-0,2$  мкм.

### 11.3. Электрохимическая обработка (ЭХО)

ЭХО позволяет обрабатывать (полировать) электропроводные материалы практически любой твердости, при этом отсутствует вредное действие тепла на поверхность детали и инструмента и не образуется наклепа.

Сущность ЭХО заключается в том, что при протекании постоянного тока между электродами, погруженными в электролит, происходит процесс анодного растворения, т.е. переход металла анода в раствор. В качестве анода при этой обработке принимается деталь, а в качестве катодов – токопроводящие материалы, не поддающиеся разрушению электролитом (нержавеющая сталь, медь, свинец).

В ЭХ полировании металлический катод-инструмент 1 (рис. 11.4) с неэлектропроводными притирами 2 устанавливают над анодом-заготовкой 3. При протекании тока между инструментом и заготовкой, помещенными в электролит, на поверхности последней образуется хрупкая пленка, замедляющая процесс растворения. Для удаления пленки в раствор вводят мелкодисперсный абразив 4 (электрокорунд, окись хрома), шаржирующий эластичные неэлектропроводные притиры (из резины или другого пористого материала). Такое полирование называют еще анодно-абразивным.

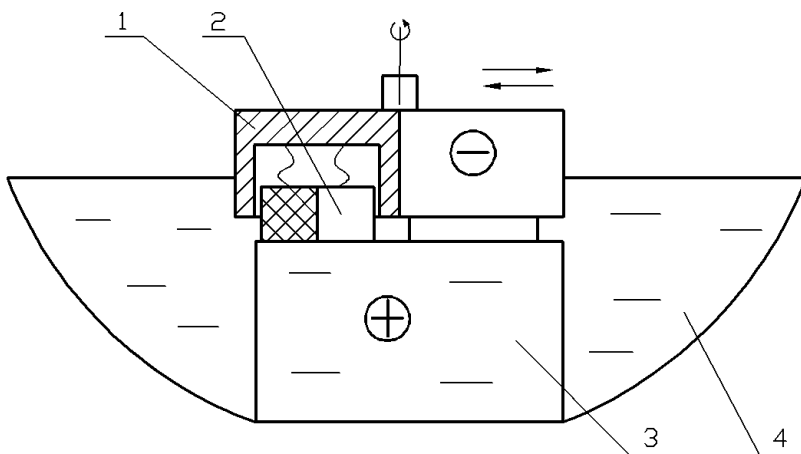


Рис. 11.4. Электрохимическое полирование

При электронно-лучевой обработке изделие помещают в герметичную камеру и обеспечивают в ней вакуум. Специальное устройство (электронная пушка) создает остро сфокусированный пучок электронов, который ускоряется в вакууме до скорости порядка 100 км/с. Кинетическая энергия электронов, соударяющихся с деталью, превращается в теплоту, при этом в зоне обработки температура достигает  $\sim 6000$  °С и металл испаряется.

Обработка излучением лазера целесообразна при диаметре отверстия (ширине щели) от нескольких микрометров до 0,5 мм, когда другие методы неприемлемы или недостаточно производительны. Процесс изготовления отверстия можно рассматривать как удаление материала за счет его испарения из зоны, на которой сфокусировано излучение оптического квантового генератора (ОКГ).

Применяются также магнитно-абразивная и магнитно-реологическая обработки.

## ЧАСТЬ 2 ОБРАБОТКА ТИПОВЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

### 12. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

#### 12.1. Конструктивно-технологическая характеристика

Корпусные детали в оптических приборах выполняют функцию базирующих элементов. С их помощью соединяются и взаимно располагаются в пределах заданной точности все звенья прибора.

Наряду с требованием точности к обработке корпусных деталей предъявляются требования сохранения этой точности в течение всего периода эксплуатации прибора.

Условно корпусные детали можно разбить на следующие группы: коробчатые, рамочные, П-образные, Г-образные (кронштейны), трубчатые и др.

Характерной особенностью корпусных деталей является наличие точно расположенных относительно друг друга отверстий и базовой поверхности.

#### *Материалы корпусных деталей*

Большинство корпусных деталей оптических приборов изготовляют из сплавов на основе термообработанного алюминия (Д1Т, Д16Т), титана, магния и др. Кроме того, корпусные детали изготовляют из сталей и чугуна, а для неотчетливых корпусных деталей применяют пластмассы.

Заготовки для корпусов получают различными способами литья, прессованием, сваркой или пайкой, комбинированным способом, когда отдельные элементы заготовки корпуса отливают, а затем их сваривают или соединяют пайкой.

#### *Технологичность корпусных деталей*

Трудоемкость изготовления корпусных деталей существенно зависит от технологичности их конструкции, т.е. от правильного выбора материала детали, назначения конструкторских баз, простановки размеров, формы поверхностей и их расположения, заданной точности размеров и т.д.

При проектировании корпусных деталей рекомендуется обеспечить следующие технологические требования:

1. Корпусная деталь должна быть жесткой и прочной, чтобы при закреплении заготовки и в процессе ее обработки под воздействием силы резания не возникали деформации, вызывающие погрешности обработки.

2. В корпусных деталях нерабочие поверхности желательно, где это возможно, оставлять без механической обработки (во избежание вскрытия раковин), ограничиваясь для получения товарного внешнего вида только обдувкой песком.

3. Следует избегать наклонного расположения обрабатываемых поверхностей (особенно под разными углами).

4. Базовые поверхности корпусной детали должны иметь достаточный размер, обеспечивающий устойчивость закрепляемых на них деталей.

5. Обрабатываемые поверхности должны быть открыты и доступны для подхода режущего инструмента при врезании и на выходе.

6. Отверстия в корпусной детали должны иметь по возможности простую геометрическую форму без кольцевых канавок и фасок.

7. Основные отверстия должны быть сквозными, по возможности без пересечения с другими отверстиями и окнами.

8. Точные отверстия должны быть только во внешних стенках корпусных деталей. Наличие точных отверстий в промежуточных перегородках нежелательно.

9. Крепежные отверстия корпусной детали должны быть стандартными, а их номенклатура (по диаметру) – минимальной.

## **12.2. Изготовление заготовок корпусных деталей**

Литье является основным способом получения заготовок корпусов, при этом их форму и размеры максимально приближают к готовым деталям, что уменьшает последующую механическую обработку.

Для изготовления заготовок (отливок) корпусных деталей применяют литье в землю, литье по выплавляемым моделям и литье под давлением.

Литье в землю применяют главным образом для изготовления небольших серий крупногабаритных корпусов из сталей, чугунов и алюминиевых сплавов.

Литье по выплавляемым моделям применяют для получения деталей сложной конфигурации из сталей и цветных сплавов.

Процесс литья под давлением заключается в том, что расплавленный металл заливают в камеру литьевой машины, соединенную литниковыми каналами с замкнутой формирующей полостью разъемной металлической формы. Под действием поршня металл с камеры машины принудительно перегоняется в полость формы, заполняет ее, затвердевает и образует отливку. При раскрытии формы отливку удаляют.

### **12.3. Механическая обработка корпусных деталей**

Трудоемкость механической обработки корпусных деталей вызвана необходимостью обеспечения их высокой точности и стабильности размеров. Высокие требования к точности обязывают вести обработку поверхностей и основных отверстий в несколько этапов и на стадии окончательной обработки использовать точные станки и инструмент. Разделение механической обработки на черновые и чистовые операции обусловлено необходимостью уменьшить влияние деформаций заготовки:

- 1) на точность детали и износ прецизионного оборудования;
- 2) на перераспределение внутренних напряжений в самом корпусе.

Одним из наиболее сложных и важных вопросов, решаемых при проектировании технологического процесса обработки корпусных деталей, является назначение базирующих поверхностей. От решения этого вопроса зависят точность выполнения размеров, конструкция приспособлений и инструментов, а также общая трудоемкость обработки. При выборе базирующих поверхностей желательно совмещать технологические и измерительные базы с основными базами детали, т.е. осуществлять принцип единства баз.

При жестких требованиях к плоскостности после обработки на станках детали шабруют, а если помимо плоскостности необходимо обеспечить высокое качество поверхности (чистоту), их подвергают доводке.

Шабрением достигается плоскостность до 0,001 мм на длине 300 мм. С эксплуатационной точки зрения шабрение обеспечивает лучшее по сравнению со шлифованием прилегание поверхностей.

Доводкой достигается плоскостность 0,0006 мм на длине 300 мм. Доводку плоских поверхностей производят на притирочных плитах

с помощью суспензии абразивного или алмазного порошков, а также пасты на их основе.

Обработка основных отверстий является наиболее сложной и трудоемкой частью технологического процесса изготовления корпусов. Эта обработка делится на черновую, чистовую и отделочную.

Для обработки отверстий в корпусах используют токарные, фрезерные, сверлильные и координатно-расточные станки.

#### **12.4. Стабилизирующая термическая обработка корпусных деталей**

Термическая обработка заготовок корпусных деталей обеспечивает стабильность размеров и формы в условиях длительной эксплуатации при переменной температуре.

Самопроизвольное изменение размеров механических деталей происходит из-за двух факторов:

1) нестабильности кристаллической решетки (решетки бывают следующей формы: центрированный куб, куб с центрированными гранями, гексагональная и др.) и структурного состояния материала (в зависимости от содержания углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие структурные составляющие, которые могут переходить друг в друга: аустенит, ледебурит, перлит, феррит и цементит, фосфидная эвтектика, графит);

2) релаксации (выравнивания) остаточных внутренних напряжений, возникающих в деталях в процессе различных операций горячей и холодной обработки, а также при механосборочных работах.

Для обеспечения стабильности размеров деталей последние подвергают термической стабилизации. С этой целью вводят такие термические операции, как:

- 1) термическая обработка;
- 2) обработка холодом;
- 3) термоциклическая обработка;
- 4) нагрев под напряжением.

Термическую обработку в зависимости от требований к точности корпусной детали производят:

- 1) после получения заготовки (отливки, поковки и т.д.);
- 2) после предварительной (черновой) и чистовой обработок;
- 3) после окончательной обработки детали.



Первый вид термической обработки применяется с целью обеспечить однородные механические свойства и стабильное структурное состояние. Второй – снизить остаточные напряжения во всем объеме детали, а третий вид применяют только для высокоточных корпусных деталей.

Обработка холодом применяется для стальных корпусных деталей с целью понижения содержания аустенита в закаленной стали и производится после закалки перед отпуском на требуемую твердость. Интервал температур обработки холодом – 50–80 °С.

Термоциклическая обработка заключается в чередовании нагрева и охлаждения и применяется для стабилизации размеров деталей, материал которых содержит фазы (структурные составляющие) с резко отличающимися коэффициентами теплового расширения.

## 12.5. Контроль корпусных деталей

### *12.5.1. Контроль механическими методами*

В корпусных деталях контролируют точность диаметров отверстий и линейные размеры, а также точность формы и расположения поверхностей.

Выбор методов и средств контроля производят с учетом точности изготовления детали, ее размеров и конфигурации, а также количества контролируемых элементов.

Диаметральные и линейные размеры, выполненные с высокой точностью, контролируют гладкими калибрами или микрометрическими инструментами. Аналогичные размеры, обработанные менее точно, контролируют шаблонами «на просвет» или универсальными измерительными инструментами (штангенциркулями, штангенрейсмусами и т.д.). Калибры и шаблоны позволяют оценить лишь соответствие размера его заданным предельным значениям без определения действительного размера.

Точность обработки резьбовых поверхностей также контролируют резьбовыми калибрами (пробками и скобами).

Наиболее простым способом контроля отклонения формы плоскостей (неплоскостности и непрямолинейности) является контроль при помощи поверочных линеек и плит. Поверочные линейки выпускают различных типов длиной от 80 до 500 мм двух классов точности (0 и

1-го). Поверочные плиты выпускают пяти классов точности (01, 0, 1, 2 и 3) размерами от 250×250 мм до 400×1600 мм. Плиты изготавливают из чугуна с шаброванными рабочими поверхностями.

Сущность контроля прямолинейности и плоскостности линейками и плитами заключается в том, что контролируемую поверхность детали сравнивают с рабочей поверхностью плиты или линейки, которую принимают за эталонную плоскость или прямую. Это сравнение можно производить «на просвет» при контроле поверочными линейками и «на краску» при контроле плитами.

При контроле «на просвет» линейку рабочим углом устанавливают на контролируемую поверхность и на глаз оценивают просвет между ними. Невооруженный глаз способен обнаружить просвет до 2 мкм. Линейку устанавливают на контролируемую поверхность в диагональном и нескольких продольных и поперечных ее сечениях.

При проверке плоскостности «на краску» поверхность образцовой плиты покрывают тонким слоем краски и приводят в соприкосновение с контролируемой поверхностью. По распределению окрашенных пятен на контролируемой поверхности можно судить о расположении на ней «бугров» и «ям», но оценить величину неплоскостности нельзя.

Для контроля формы отверстий корпусных деталей в осевом сечении часто используют координатно-расточные станки. Для этого ось вращения вспомогательного поворотного стола, закрепленного на главном столе станка, совмещают с осью шпинделя. На поворотном столе закрепляют деталь в положении, при котором ось контролируемого отверстия точно совмещается с осью шпинделя. Затем поворотный стол поворачивают на некоторый заданный угловой шаг и в каждом положении стола с помощью индикаторного центроискателя, укрепленного на шпинделе станка, измеряют разность  $\Delta R$  между значением радиуса отверстия в начале и вдоль его оси. По найденным значениям  $\Delta R$  можно построить профиль отверстия в контролируемом сечении. Данный метод малопродуктивный, но универсальный и не требует специальных вспомогательных устройств и приспособлений.

На рис. 12.1 показаны схемы контроля отклонений от параллельности и перпендикулярности поверхностей с использованием индикаторов. Для контроля неперпендикулярности плоскостей деталь базовой поверхностью устанавливают на поверочную плиту, а кон-

тролируемой плоскостью прижимают к двум упорам приспособления (рис. 12.1, а), один из которых неподвижен, а другой является наконечником индикатора. Настройку индикатора осуществляют по эталонному угольнику. Разность показаний индикатора  $\Delta x$  при его настройке и контроле детали позволяет определить угол неперпендикулярности  $\alpha$  плоскостей, измеренной на длине  $L$ :

$$\alpha = \Delta x / L.$$

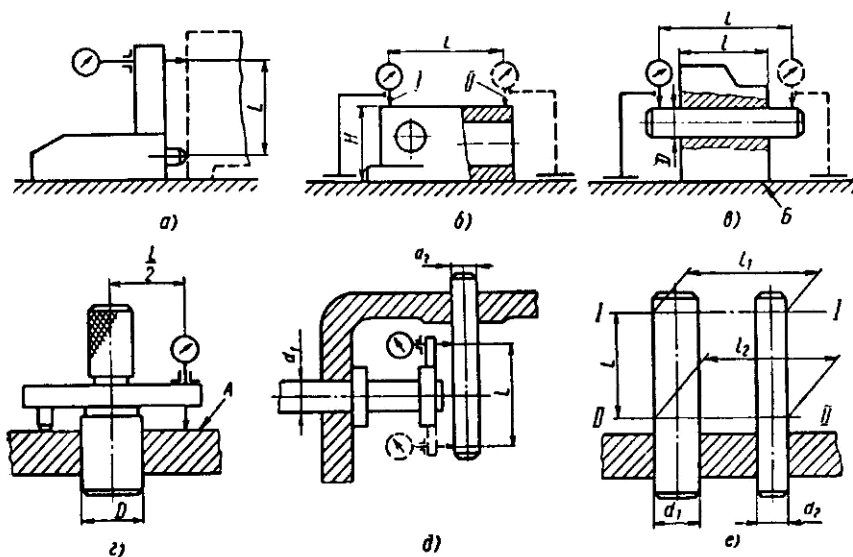


Рис. 12.1. Схемы контроля параллельности и перпендикулярности

Схема контроля отклонения от параллельности плоскостей корпусной детали на поверочной плите показана на рис. 12.1, б. Контроль сводится к измерению с помощью индикатора, укрепленного на стойке, разности высот детали  $H$  в точках / и //. Разность показаний индикатора равна непараллельности плоскостей детали на длине  $L$  в линейной мере.

По аналогичной схеме (рис. 12.1, в) контролируют непараллельность оси отверстия диаметром  $D$  плоскости  $B$ . На трех последних схемах рис. 12.1 положения осей контролируемых отверстий опре-

деляются специальными оправками, установленными в отверстия с минимальными зазорами.

Контроль соосности отверстий крупногабаритных деталей можно вести по схеме, показанной на рис. 12.2, а с использованием двух оправок и индикаторной насадки. Детали средних размеров удобнее контролировать по схеме, приведенной на рис. 12.2, б. Деталь 1 закрепляют в приспособлении на пальце 2 и вращают ее вокруг оси базового отверстия  $d_1$ . При этом индикатором определяют биение отверстия диаметром  $d_2$  относительно оси отверстия диаметром  $d_1$ . Несоосность контролируемых отверстий равна половине измеренного биения. Это приспособление позволяет проконтролировать и перпендикулярность торцов А и Б оси базового отверстия  $d_1$ .

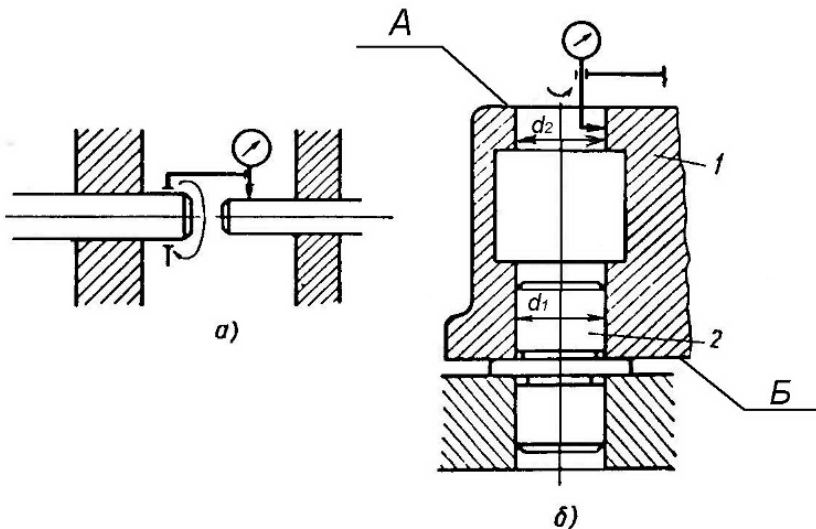


Рис. 12.2. Схемы контроля соосности отверстий корпусных деталей

### 12.5.2. Контроль оптическими методами

Контроль точности расположения поверхностей деталей с помощью автоколлиматоров осуществляется двумя методами:

- а) методом сравнения с эталоном;
- б) разностным методом.

Контроль параллельности плоскостей детали методом сравнения с эталоном показан на схеме А1 (табл. 12.1).

На поверочную плиту *ПП* устанавливают эталон, представляющий собой накладное зеркало  $HЗ_2$ , установочная поверхность которого параллельна отражающей поверхности зеркала (на схеме последняя показана утолщенной линией). Автоколлиматор *А*, укрепленный на стойке, располагают перпендикулярно отражающей поверхности зеркала  $HЗ_2$  путем его наклона и разворота. Установку автоколлиматора контролируют по совмещению автоколлимационного изображения сетки с центром самой сетки.

Затем на место эталона на поверочную плиту базовой плоскостью устанавливают деталь *КД*. На контролируемую поверхность помещают накладное зеркало  $HЗ_1$ , к которому предъявляются те же требования, что и к эталону.

Если контролируемые плоскости детали непараллельны между собой на угол  $\varphi$ , то это приведет к наклону  $HЗ_1$  относительно отражающей поверхности эталона. В результате автоколлимационное изображение сетки автоколлиматора от  $HЗ_1$  сместится от центра этой сетки на величину, пропорциональную углу  $\varphi$ , который определяется непосредственно по самой сетке.

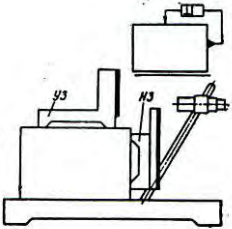
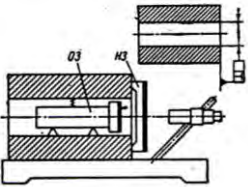
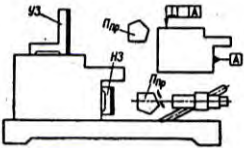
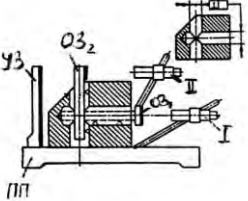
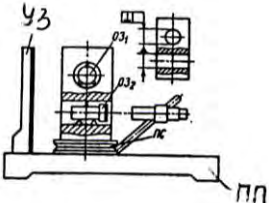
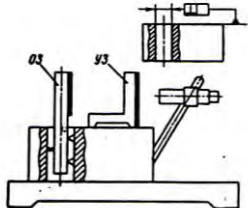
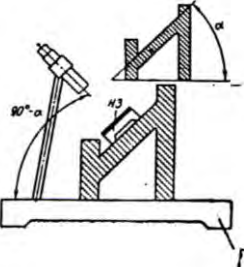
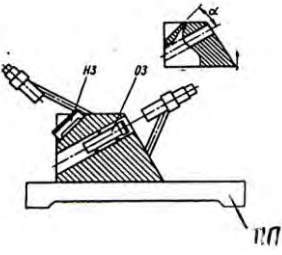
Контроль параллельности плоскостей *А* и *Б* разностным методом представлен на схеме А2 (табл. 12.1). Деталь произвольно устанавливают на любую устойчивую опору (массивный стол, поверочную плиту, стол станка и т.п.). На одной из контролируемых плоскостей укрепляют накладное зеркало  $HЗ_1$ . Автоколлиматор *А* выставляют так, чтобы автоколлимационное изображение сетки от отражающей поверхности  $HЗ_1$  находилось в поле зрения автоколлиматора. В этом положении по отсчетной сетке снимают первый отсчет  $\varphi_1$ . Затем на другой контролируемой поверхности укрепляют  $HЗ_2$  и по автоколлиматору снимают второй отсчет  $\varphi_2$ . Величина непараллельности  $\varphi$  (в угловой мере) равна разности отсчетов  $\varphi_2 - \varphi_1$ .

Схема А4 отличается от схемы А2 лишь тем, что накладные зеркала заменены зеркальными угольниками  $УЗ_1$  и  $УЗ_2$ , у которых установочная поверхность перпендикулярна отражающей поверхности зеркала.

Таблица 12.1

Схемы контроля точности расположения поверхностей корпусных деталей автоколлимационным методом

Обозначение схемы	Схема	Обозначение схемы	Схема
А. Контроль отклонения от параллельности			
А1		А4	
А2		А5	
А3		А6	
Б. Контроль отклонения от перпендикулярности			
Б1		Б5	

Обозначение схемы	Схема	Обозначение схемы	Схема
Б2		Б6	
Б3		Б7	
Б4		Б8	
В. Контроль угловых размеров			
В1		В3	

Обозначение схемы	Схема	Обозначение схемы	Схема
В2		В4	
Г. Контроль отклонения от соосности			
Г1		Г2	

Для контроля параллельности оси нижнего отверстия базовой плоскости детали (схема А5) последнюю устанавливают на поверочную плиту, на которую помещают эталонный зеркальный угольник  $УЗ$  и перпендикулярно ему выставляют автоколлиматор. Затем в отверстие детали вставляют зеркальную оправку  $ОЗ_1$  и по углу наклона зеркала этой оправки, измеренной по автоколлиматору, определяют величину непараллельности. Для оценки параллельности осей отверстий детали необходимо, сняв отсчет по автоколлиматору от  $ОЗ_1$ , переместить автоколлиматор в верхнее положение, выставить его перпендикулярно эталону  $УЗ$ , установить в отверстие оправку  $ОЗ_2$  и снять 2-й отсчет. Разность отсчетов (в угловой мере) равна углу между осями контролируемых отверстий.

На схеме В4 для контроля перпендикулярности осей перекрещивающихся отверстий кроме эталонного угольника и зеркальных оправок используют поворотный стол  $ПС$ . Деталь помещают на поворотный стол, автоколлиматор устанавливают против нижнего отверстия и выставляют перпендикулярно эталону  $УЗ$ . Затем в отверстие вставляют оправку  $ОЗ_2$  и поворотом стола добиваются совме-



щения автоколлимационного изображения сетки с центром самой сетки. В данном положении по угломерному устройству поворотного стола снимают первый отсчет  $\varphi_1$ . После этого стол разворачивают на угол примерно  $90^\circ$ , автоколлиматор поднимают на высоту верхнего отверстия и вновь выставляют по эталону. В отверстие вставляют оправку, повторяют предыдущую операцию и находят второй отсчет  $\varphi_2$ . Величину неперпендикулярности  $\Delta\varphi$  отверстий вычисляют по формуле

$$\Delta\varphi = 90^\circ - (\varphi_2 - \varphi_1).$$

Контроль углов между поверхностями деталей (схемы В1, В2, В3) производят одним или двумя автоколлиматорами. В этих случаях автоколлиматоры с помощью эталонов предварительно устанавливают на величину контролируемых углов  $\alpha$ . В качестве эталонов могут быть использованы набор угловых мер, синусный стол, теодолит, делительная головка, точная призма и т.п. После настройки автоколлиматоров устанавливают контролируемую деталь с накладными зеркалами, а дальше контроль проводят описанными выше способами.

Проверку точности углов  $\alpha$  между отверстиями (схема В4) выполняют с помощью двух автоколлиматоров, зеркальной оправки  $ОЗ$ , поворотного стола  $ПС$  и точной многогранной (по числу отверстий в детали) призмы  $Э$ . Стол используют только для поворота детали. При этом точность поворота контролируют с помощью верхнего автоколлиматора и многогранной призмы, а точность угла между осями отверстий оценивают по нижнему автоколлиматору и оправке  $ОЗ$ , которую последовательно устанавливают в контролируемые отверстия.

Контроль соосности отверстий (схема Г1) проводят с помощью двух зеркальных оправок. В одно из контролируемых отверстий детали вставляют зеркальную оправку  $ОЗ_1$  и по ней выставляют автоколлиматор. Затем оправку вынимают, а вместо нее сразу в оба отверстия вставляют оправку  $ОЗ_2$  и определяют угол наклона  $\alpha$  оправки относительно оси выставленного автоколлиматора. Изменив этот угол, величину несоосности  $\Delta$  вычисляют по формуле

$$\Delta = L \operatorname{tg}\alpha,$$

где  $L$  – расстояние между средними сечениями контролируемых отверстий.

Контроль соосности валов (схема Г2) осуществляют аналогичным образом, только вместо зеркальных оправок используют зеркальные мостики  $MЗ_1$  и  $MЗ_2$ , имеющие призматические установочные поверхности.

Автоколлимационные методы контроля имеют следующие *достоинства*:

- 1) высокая точность контроля;
- 2) контроль осуществляется бесконтактным способом;
- 3) при контроле деталей разностным методом не требуется точных поверочных плит, можно использовать любую устойчивую опору;
- 4) контрольные приспособления просты по конструкции и универсальны, поскольку автоколлиматоры, накладные зеркала, мостики, плиты могут быть использованы для контроля различных деталей;
- 5) автоколлимационные методы позволяют контролировать детали в любом удобном для контроля положении.

К *недостаткам* методов можно отнести:

- 1) необходимость использования сравнительно дорогих автоколлиматоров;
- 2) необходимость изготовления специальных вспомогательных зеркальных приспособлений (эталонов, оправок и т.п.).

## **13. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПРАВ, КОЛЕЦ И ТУБУСОВ**

### **13.1. Конструктивно-технологическая характеристика деталей**

Оправы обычно представляют собой сложные по конструкции тонкостенные (0,5–5 мм) втулки различных диаметров и длин. Они предназначены для крепления оптических деталей.

Внутренние поверхности оправ снабжены гладкими цилиндрическими посадочными поверхностями, которые являются базами для установки в них круглых оптических деталей. Для закрепления оптических деталей на внутренних поверхностях оправ выполняют специальные проточки (при закреплении разрезным пружинным кольцом), нарезают резьбу (при закреплении резьбовым кольцом) или формируют кольцевую кромку (при креплении оптических деталей завальцовкой).

Для уменьшения отражения света от внутренних стенок оправ на них делают рифления в виде кольцевых или винтовых канавок с шагом 0,35–0,5 мм и углом профиля 60°.

Наружные поверхности оправ имеют цилиндрическую посадочную поверхность или резьбу, необходимые для соединения оправ с тубусами.

С целью обеспечения центрирования оптических систем внутренние и наружные поверхности оправ делают соосными, однако в отдельных случаях эти поверхности обрабатывают с некоторым эксцентриситетом. Такие эксцентриковые оправы часто используют в бинокулярных оптических приборах для юстировки взаимного положения визирных осей.

Тубусы являются несущими силовыми деталями и имеют жесткую конструкцию. В тубусах закрепляют элементы оптической системы, механизмы их перемещения, диафрагмы. Рабочая поверхность тубусов обычно внутренняя. На ней обрабатывают одну или несколько соосных посадочных цилиндрических и резьбовых поверхностей, необходимых для установки и закрепления оправ. Кроме того, в конструкции тубуса предусматривают установочные и крепежные наружные поверхности для закрепления его в корпусе прибора.

На сопрягаемых оправках и тубусах иногда нарезают многозаходную окулярную резьбу, обеспечивающую значительные осевые перемещения оправ при небольшом угле их поворота, а также выполняют пазы, лыски, проточки и т.д.

На наружных поверхностях оправ и тубусов часто делают накатку для поворота их рукой. В приборах с автоматическим управлением на оправках и тубусах изготавливают зубчатые секторы.

Конструкции оправ и тубусов приведены на рис. 13.1, *а, в*.

Кольца представляют собой короткие втулки с гладкими, рифлеными или резьбовыми цилиндрическими и коническими поверхностями (рис. 13.1, *з*). У резьбовых колец на торцах имеются шлицы или отверстия под ключ. Пружинные кольца имеют пазы на боковых поверхностях.

При изготовлении оправ, колец и тубусов применяют алюминиевые сплавы марок Д16, Д16-Т, латуни и реже бронзу. Стальные оправы встречаются редко, их изготавливают из сталей марок 20, 45, 50 или легированных сталей. В отдельных случаях для изготовления оправ используют титановые сплавы.

При изготовлении оправ, тубусов и колец в качестве заготовок используют прутки и трубы, а также получают их литьем под давлением и холодной штамповкой.

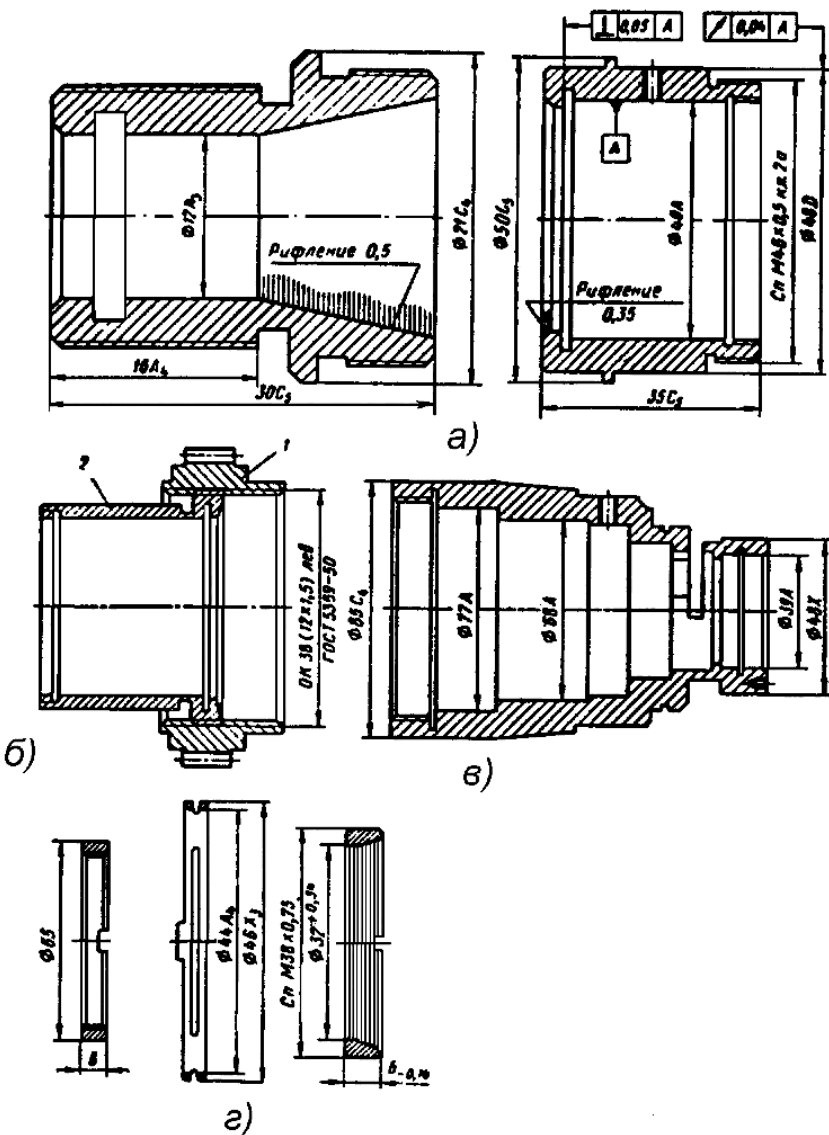


Рис. 13.1. Детали крепления круглой оптики:  
*a* – оправы; *b* – оправы 1, 2 в сборе по окулярной резьбе ОК 38 (12×1,5);  
*в* – тубус; *г* – кольца

### 13.2. Типовой технологический процесс изготовления оправ, колец и тубусов

Данный технологический процесс для оправ и тубусов состоит из следующих основных этапов:

1. Предварительная токарная обработка заготовок, при которой удаляют большую часть припуска с посадочных поверхностей (линейные и диаметральные размеры этих поверхностей обрабатывают по 11–12-му квалитетам точности), осуществляют нарезание крепежных резьб и рифлений, делают накатку.

2. Окончательная обработка посадочных поверхностей, в процессе которой обеспечивается требуемая точность размеров.

3. Обработка вспомогательных поверхностей (отверстий, пазов, шлицев и т.д.).

4. Нанесение шкал, товарных знаков, номеров и т.п. на поверхностях оправ и тубусов.

5. Отделка деталей, нанесение покрытий.

На различных стадиях обработки оправ и тубусов в технологический процесс часто вводят операции термической обработки и контрольные операции.

Предварительную токарную обработку оправ и тубусов из прутков, труб и штучных заготовок осуществляют на токарно-револьверных станках и револьверных автоматах с использованием универсальных приспособлений и нормализованного режущего инструмента.

Окончательную обработку посадочных поверхностей оправ и тубусов ведут на высокоточных токарных и шлифовальных станках. Точность размеров деталей достигается здесь посредством их обработки на настроенном станке (если станок может обеспечить требуемую точность). В противном случае обработку ведут методом пробных проходов и промеров.

Точность расположения поверхностей достигается путем их обработки за один установ, использования точных центрирующих приспособлений и соблюдения принципа совмещения баз.

Термическую обработку вводят в технологический процесс с целью снятия внутренних напряжений в материале заготовки, которые

оказывают существенное влияние на стабильность размеров детали, а также для улучшения механических свойств (твердости, износостойкости, прочности) ее материала.

Отделка поверхностей (например, алмазное точение) и нанесение покрытий являются заключительными операциями обработки оправ и тубусов.

Контроль линейных и диаметральных размеров оправ и тубусов в процессе их механической обработки осуществляют на рабочем месте с помощью калибров, шаблонов или универсальных измерительных инструментов. Такой контроль является составной частью операции механической обработки. В самостоятельную контрольную операцию выделяют контроль форм и расположения поверхностей, требующий специальных контрольных приспособлений.

Технологический процесс изготовления колец включает в себя токарные, фрезерные и сверлильные операции. На токарных операциях осуществляют обработку цилиндрических поверхностей, крепежных резьб и рифлений. Обработку выступов на торцах оправ, колец и тубусов и прорезей на боковых поверхностях пружинных колец производят на фрезерных станках.

### **13.3. Проектирование операций обработки оправ на токарно-револьверных станках**

Данное проектирование заключается в назначении последовательности обработки поверхностей тел вращения, выборе режущего и вспомогательного инструментов и определении режимов резания. Принятую последовательность обработки детали и выбранный инструмент изображают графически в виде схемы.

Для токарно-револьверных станков схема обработки представляет собой эскиз револьверной головки (рис. 13.2), оснащенной режущим и вспомогательным инструментом, с эскизами заготовки на каждом переходе. На эскизах режущий инструмент показывают в конечном положении, обрабатываемые поверхности выделяют жирными линиями, иногда проставляют получаемые размеры. На каждом переходе по оси детали условными обозначениями (табл. 13.1) указывают фиксацию револьверной головки и ее движения.

При составлении схемы обработки учитывают следующие рекомендации.

1. Холоднотянутые и шлифованные прутки следует закреплять в цанговых патронах, а штучные заготовки и горячекатаные прутки – в кулачковых патронах.

2. Отверстия диаметром более 10 мм, имеющие небольшую глубину (отношение глубины к диаметру для сталей не более 3 и для цветных сплавов не более 5), можно сверлить без предварительной центровки.

3. При обработке ступенчатых отверстий диаметров до 35 мм сначала сверлят отверстие большего диаметра, что сокращает время выполнения операции. Если обрабатывается отверстие диаметром более 35 мм, то рекомендуется предварительно просверлить отверстие малого диаметра, чтобы исключить участие перемычки сверла (поперечного режущего лезвия) в процессе резания.

4. Подрезку торца лучше выполнять после сверления отверстия, при этом сокращается основное время и не требуется точной установки резца по оси шпинделя.

5. При обработке отверстий в тонкостенных деталях сверлом или разверткой происходит увеличение диаметра наружной поверхности, поэтому чистовую обточку в этих случаях выполняют после обработки отверстия.

6. Следует стремиться к максимальному совмещению переходов, т.е. вести одновременно обработку несколькими инструментами, при этом уменьшается основное время обработки. Одновременно работающие резцы располагают так, чтобы возникающие при их работе усилия резания взаимно уравновешивались.

7. Режимы резания назначают с учетом материалов заготовки и режущего инструмента, заданного качества обработки, конструкции детали, применяемых смазочно-охлаждающих жидкостей и т.п. При одновременной обработке детали несколькими инструментами (рис. 13.3) число оборотов  $n$  шпинделя вычисляют по допустимой в данном случае нормативной скорости резания  $v$  для наибольшего обрабатываемого диаметра  $d_2$ :

$$n = \frac{1000v}{\pi d_2} \text{ об/мин,}$$

а возможность сверления отверстия диаметром  $d_3$  при таких оборотах заготовки оценивают сравнением величины

$$v' = \frac{\pi d_3 n}{1000}$$

с допустимым значением скорости резания при сверлении отверстия диаметром  $d_3$ , определяемой по соответствующим таблицам.



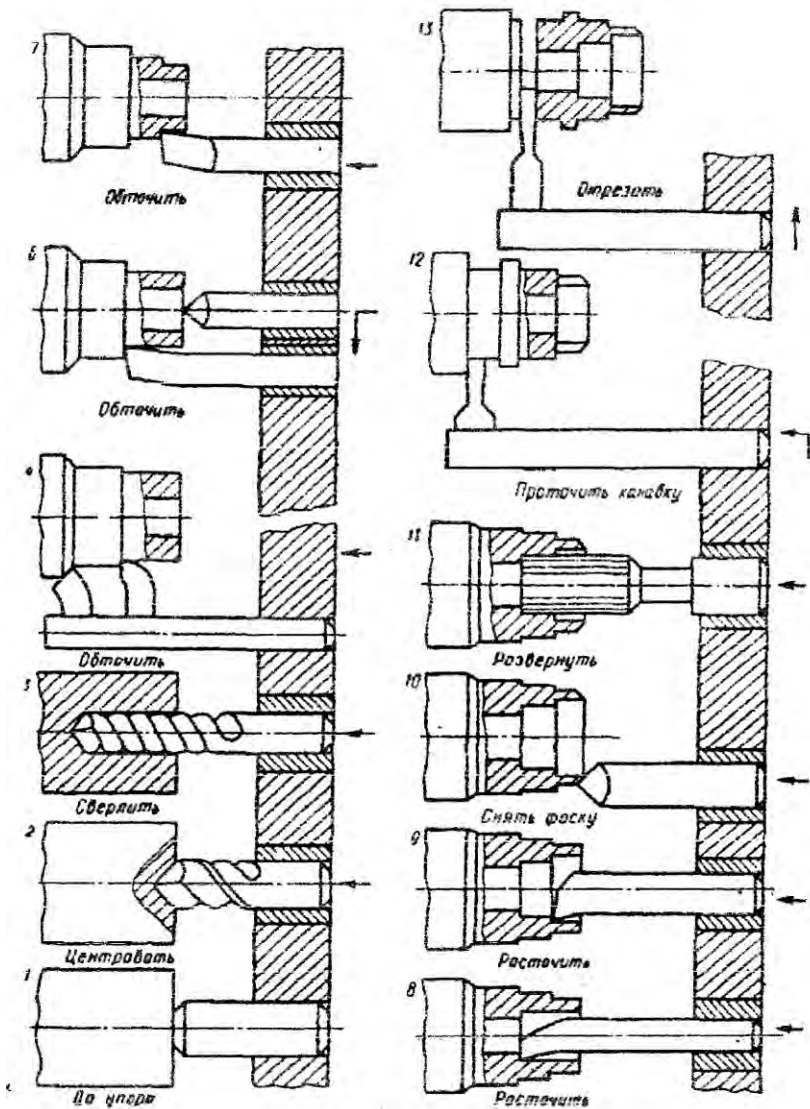


Рис. 13.2. Схема обработки оправы на токарно-револьверном станке

Таблица 13.1

Условные обозначения, применяемые при построении плана обработки на револьверных станках

с горизонтальной осью поворота головки

Условное обозначение	Наименование обозначений
	Продольный упор револьверной головки
	Продольный боковой упор
	Поперечный упор револьверной головки
	Револьверная головка зафиксирована
	Фиксатор револьверной головки выключен, револьверная головка отключена
	Продольная обработка по делениям
	Поперечная обработка по делениям
	Рабочее движение револьверной головки вперед
	Рабочее движение револьверной головки назад
	Рабочее движение револьверной головки на себя
	Рабочее движение револьверной головки от себя
	Холостое движение револьверной головки
	Продольная обработка с зафиксированной револьверной головкой
	Продольная обработка на поперечном упоре
	Обработка по копиру

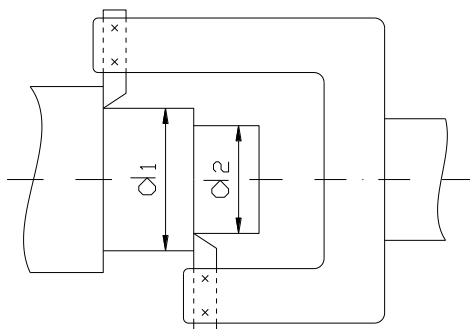


Рис. 13.3. Одновременная обработка детали несколькими инструментами  
 13.4. **Окончательная токарная обработка оправ и тубусов**

Необходимость выделения окончательной токарной обработки в отдельную операцию обусловлена следующим:

1) не всегда удается обеспечить требуемую точность размеров в процессе предварительной обработки;

2) после предварительной обработки под действием остаточных напряжений детали деформируются с образованием погрешности формы и расположения поверхностей.

Для уменьшения остаточных напряжений перед окончательной обработкой детали подвергают термическому воздействию.

Обработку двух и более внутренних соосных поверхностей и перпендикулярных к ним торцов необходимо вести с одной установки. В этом случае деталь закрепляют по наиболее точной и протяженной наружной поверхности. Если посадочные поверхности должны быть расположены соосно с резьбовыми поверхностями, то рекомендуется обрабатывать резьбу одновременно с посадочными поверхностями. Если резьба получена при предварительной обработке, ее можно использовать в качестве базы для установки и закрепления детали с помощью дополнительной резьбовой оправки (обработка от резьбы).

В случае необходимости обеспечить соосность внутренних и наружных посадочных поверхностей оправ обработку целесообразно вести «от отверстия», т.е. сначала обработать внутреннюю поверхность, а затем, базирясь на обработанное отверстие, следует точить наружную поверхность.

При обработке оправ и тубусов, к посадочным поверхностям которых предъявляются повышенные требования в отношении точности формы, сила их закрепления на станке должна быть минимальной, но обеспечивающей надежное фиксирование детали. Для уменьшения колебания величины погрешности формы в пределах партии оправ следует при их закреплении обеспечивать постоянное усилие зажима (например, тарированными ключами).

Погрешность формы оправ зависит не только от количества зажимных кулачков, но также от их формы и размеров. Радиус поверхности кулачков, контактирующей с деталью, должен быть равен радиусу поверхности детали, по которой она закрепляется. Этим обеспечивается равномерное распределение усилия по поверхности детали, что уменьшает ее деформацию.

Для минимизации погрешности формы при закреплении труб их свободную сторону поджимают вращающимся центром.

### 13.5. Обработка вспомогательных поверхностей

Вспомогательные поверхности (отверстия, пазы, лыски и т.п.) служат для прикрепления оправ и тубусов к корпусу прибора, установки стопорных винтов, штифтов, для монтажа диафрагм и т.п. Вспомогательные отверстия бывают осевые и радиальные, глухие и сквозные, гладкие и резьбовые.

Обработку классных резьбовых отверстий ведут в следующей последовательности: сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы.

Для сверления отверстий в оправках или тубусах иногда используют кондукторы, позволяющие получать отверстия на одинаковом расстоянии от базовой поверхности всей партии деталей.

Отверстия зенкуют для образования конической поверхности под винт с потайной (конической) головкой и для снятия фасок перед нарезанием резьбы. Обработку ведут специальными зенковками, а иногда заточенными под соответствующие углы сверлами диаметром большим, чем диаметр отверстия.

Зенковкой специальной конструкции можно получить также неглубокое цилиндрическое отверстие несколько большего диаметра, чем основное отверстие, и соосно ему расположенное (например, под головку болта или винта с цилиндрической головкой).

Пазы на торцах и боковых поверхностях оправ обрабатывают на фрезерных станках.

Сквозные пазы (шлицы) на торцах фрезеруют дисковыми фрезами (паз 1, рис. 13.4) на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках, а несквозной паз 2 – на вертикально-фрезерном станке концевой фрезой.

Обработку криволинейных пазов обычно ведут на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами. В частности, радиусный концентричный паз 3 (рис. 13.4) получают при круговой подаче детали в поворотном приспособлении, установленном на столе станка. При этом ось оправы совмещают с осью вращения приспособления, а фрезу располагают на расстоянии  $R$  от оси приспособления. Угол  $\varphi$  выдерживают по предварительно установленным упорам или по угломерной шкале приспособления. Аналогичным способом ведут обработку паза 4, но в поворотном приспособлении оправу

устанавливают так, чтобы ее ось симметрии  $C$  была смещена от оси вращения  $O$  поворотного приспособления (или поворотного стола) на величину  $h$ . Криволинейные пазы произвольной формы (паз 5) обрабатывают по копии.

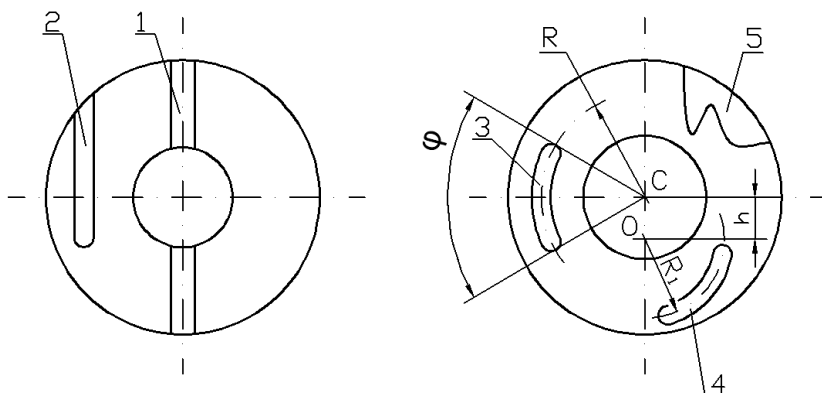


Рис. 13.4. Детали с пазами

Пазы на боковой поверхности оправ и тубусов обрабатывают на вертикально-фрезерных станках, оснащенных делительными головками.

Зубчатые секторы на оправках обрабатывают зубофрезерованием или зубодолблением.

### 13.6. Обработка окулярной резьбы

Окулярная резьба имеет укороченный профиль с углом  $60^\circ$  и применяется в оправках объективов и окуляров для обеспечения значительных осевых перемещений оправ при небольших углах их поворота. Параметры окулярной резьбы и допуски на ее размеры даны в ГОСТ 5359–77.

Рекомендуемое число заходов окулярной резьбы 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, однако на практике часто применяют резьбы с нечетным числом заходов 3, 5, 7, 11. Для многозаходной резьбы действительно соотношение:

$$P_n = Pn,$$

где  $P_n$  – ход резьбы;

$P$  – шаг резьбы;

$n$  – число заходов.

Установлены условные обозначения окулярной резьбы на чертежах. Например, правая одиннадцатизаходная окулярная резьба диаметром 55 мм и шагом 1,5 мм обозначается: Ок 55×16,5 (P1,5) ГОСТ 5359–77; левая восьмизаходная резьба диаметром 40 и шагом 1,5 мм – Ок 40×12 (P1,5) LH ГОСТ 5359–77, а правая однозаходная резьба диаметром 12 мм и шагом 1,5 мм – Ок 12×1,5 (P1,5) ГОСТ 5359–77Z.

К окулярной резьбе часто предъявляются жесткие требования соосности (порядка 0,01–0,05 мм) с цилиндрическими поверхностями детали. После окончательной обработки резьбы и сборки пары оправ «винт – гайка» резьбовое соединение должно удовлетворять заданным допускам по осевой и радиальной качке. Например, после притирки окулярной резьбы (рис. 13.5) оправы 1 («винт») с оправой 2 («гайка») для трех значений величины  $A$  должны удовлетворяться некоторые требования (табл. 13.2).

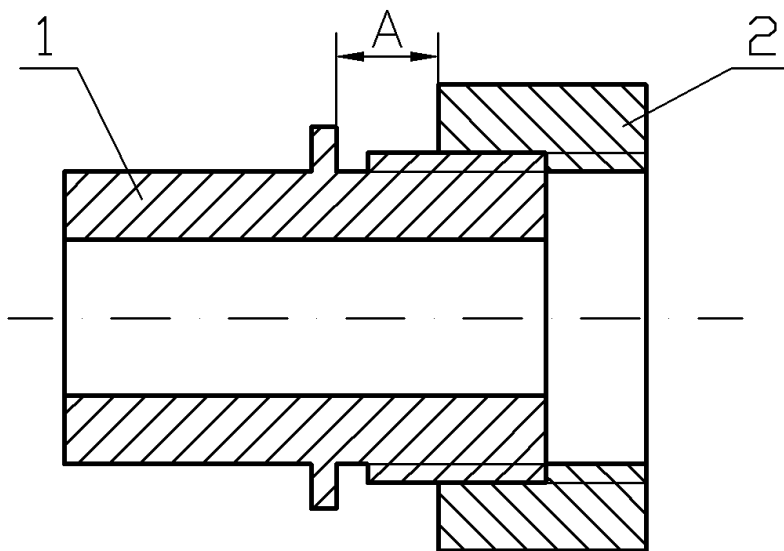


Рис.13.5. Пара оправ «винт – гайка»

Таблица 13.2

Допустимая качка окулярной резьбы

Расстояние, А, мм	Допустимая качка, мм	
	осевая	радиальная
1	0,02	0,04
5	0,025	0,05
10	0,03	0,06

Порядок обработки оправ с окулярной резьбой следующий. Сначала обрабатывают партию оправ, имеющих внутреннюю резьбу («гайки»). Контроль нарезанной резьбы осуществляют резьбовыми калибрами – пробками. Затем нарезают резьбу на «винтах». При этом «винты» обрабатывают по «гайкам», которые используют как «калибры». Операцию продолжают до тех пор, пока «гайка» не будет навинчиваться на «винт» с определенным усилием, для чего на «винте» оставляют припуск порядка 0,01–0,015 мм.

Для требуемой плавности хода в окулярной резьбе на нее не наносят защитных покрытий. Поэтому окулярные резьбы нарезают после нанесения покрытий. Окулярную резьбу нарезают с помощью резцов на токарно-винторезных, револьверных станках и специализированных полуавтоматах.

После отмеченной обработки пары оправ с окулярной резьбой их притирают для достижения требуемых эксплуатационных характеристик соединения (плавного хода, отсутствия превышающей допуск радиальной и осевой качки), которые не могут быть получены при механической обработке резьб.

Процесс притирки окулярных резьб заключается в следующем. На резьбовую поверхность скомплектованной пары оправ «винт – гайка» наносят пасту ГОИ, детали свинчивают и сообщают им относительный проворот попеременно в одну и другую сторону, т.е. осуществляют их периодическое свинчивание и развинчивание. Данную операцию выполняют либо вручную, либо на станках, но с использованием ручного труда. Это связано с тем, что необходимое время обработки различных участков резьбы неодинаково и оно зависит от многих факторов (неравномерности припуска, оставленного на притирку, погрешностей формы деталей и т.п.). При ручной притирке время окончания обработки отдельных участков резьбы рабочий определяет по величине крутящего момента, который он прикладывает для относительного проворота оправ («по чувству»).

### **13.7. Особенности обработки корпусов-труб**

Корпуса-трубы имеют сравнительно тонкие стенки (2–5 мм) и значительную длину. Обычно с обеих сторон корпусов-труб обрабатывают точные соосные наружные и внутренние посадочные и вспомогательные поверхности.

Рассмотрим последовательность выполнения операций при изготовлении корпуса зрительной трубы (рис. 13.6). У заготовки, полученной литьем под давлением, удаляют следы литника и приливов от плоскости разъема формы.

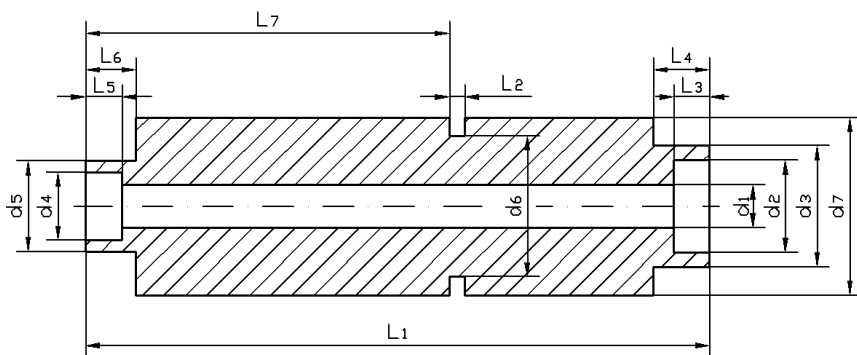


Рис. 13.6. Корпус зрительной трубы

Для последующей токарной обработки деталь по внутренней необработанной поверхности (черновой базе) диаметром  $d_1$  одной стороной устанавливают на разжимной оправке, которую закрепляют в патроне токарного станка, а вторую сторону детали поджимают вращающимся центром. На этой операции подрезают торцы в размер  $L_1$ , обтачивают поверхности диаметрами  $d_7$  и  $d_3$ , а также протачивают канавку диаметром  $d_6$ . Затем производят расточку отверстия диаметром  $d_2$ . Для этого деталь по обработанной поверхности диаметром  $d_7$  закрепляют в кулачковом патроне станка, а поверхностью диаметром  $d_3$  вставляют в точно обработанное (внутренняя и наружная поверхности соосны) и выставленное в люнете кольцо. Это кольцо является дополнительной опорой, которая повышает жесткость детали, что позволяет обеспечить соосность поверхностей диаметрами  $d_2$  и  $d_3$ .

Аналогичным образом закрепляют деталь при обработке поверхностей диаметрами  $d_4$  и  $d_5$  с той разницей, что деталь фиксируют в



кулачковом патроне станка по поверхности диаметром  $d_3$ , а люнетное кольцо устанавливают на поверхность диаметром  $d_1$ .

### 13.8. Контроль оправ и тубусов

Точность обработки посадочных внутренних и наружных поверхностей оправ и тубусов контролируют с помощью предельных калибров (проходных и непроходных скоб и пробок), микрометрических инструментов (микрометров, микрометрических нутромеров и т.д.), штангенциркулей, штангенрейсмусов, индикаторов часового типа.

При этом часто используют специальные и переналаживаемые контрольные приспособления. На рис. 13.7, *а* показано переналаживаемое приспособление, настроенное на контроль размера  $15,5^{+0,019}$  детали, изображенной на рис. 13.7, *б*. В корпусе 1 установлена сменная вставка 2. Индикатор 3, укрепленный в корпусе, настраивается по набору концевых мер или эталонной детали на контролируемый размер. Для контроля детали приспособление помещают в отверстие оправы. Опорные поверхности *A* и *B* корпуса и вставки упираются в торцы *A'* и *B'* оправы. При этом показания индикатора для годной детали должны находиться в пределах допуска.

Приспособление для контроля высоты *H* детали (рис. 13.8) состоит из корпуса 1, подвижного упора 2 и пружины 3. На верхней части подвижного упора 2 имеются две горизонтальные риски, расстояние между которыми равно допуску  $\delta$  на контролируемый размер. Приспособление устанавливают на деталь и подвижный упор пальцем прижимают к верхней ее поверхности. Деталь считается годной, если нижняя риска подвижного упора 2 располагается ниже торца *A* корпуса, а верхняя – выше.

Резьбу на оправах контролируют резьбовыми калибрами. Рабочие резьбовые калибры применяют для контроля резьб в процессе их изготовления. Приемные резьбовые калибры предназначены для проверки резьбы в ОТК.

Контроль внутренней резьбы осуществляют следующими калибрами: проходной и непроходной резьбовыми пробками и предельными гладкими пробками для проверки внутреннего диаметра резьбы.

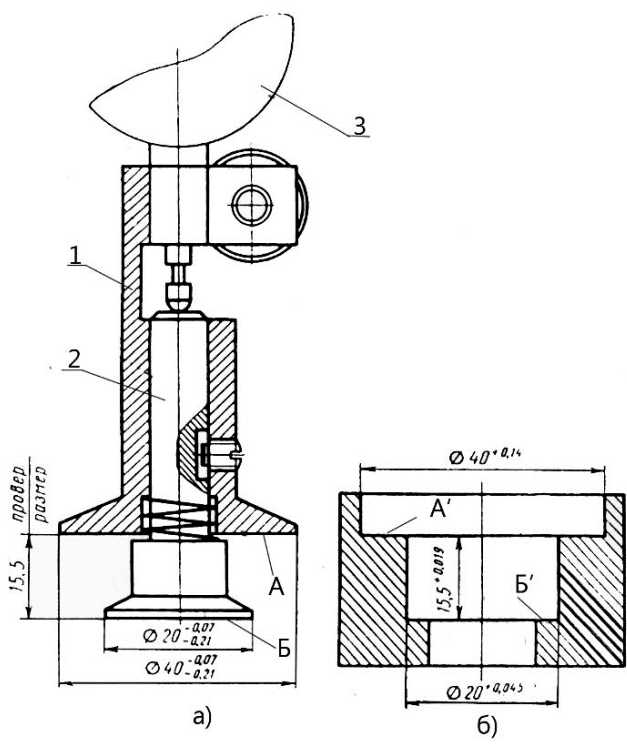


Рис. 13.7. Перенастраиваемое приспособление (а) для контроля линейных размеров оправы (б)

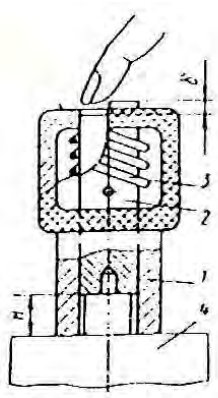


Рис. 13.8. Приспособление для контроля линейных размеров

Для проверки наружной резьбы используют проходное и непроходное резьбовые кольца и предельные гладкие скобы для наружного диаметра резьбы.

На рис. 13.9 показано приспособление для проверки качки в окулярной резьбе. Скомплектованную пару оправ («винт – гайка») закрепляют в сменной втулке 1. Индикатор 2, имеющий возможность перемещаться в вертикальном и горизонтальном направлениях, выставляют до соприкосновения с торцом «винта» (на рисунке не показан), покачивая который по индикатору определяют величину осевой и радиальной качки. Контроль осуществляют при различной длине свинчивания оправ.

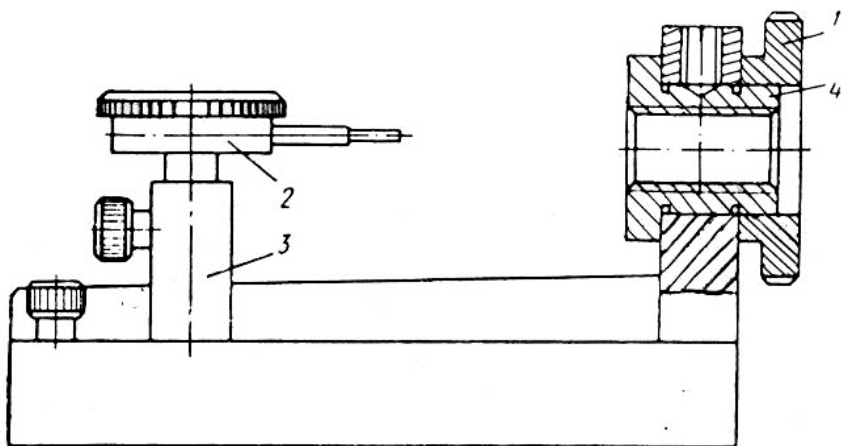


Рис. 13.9. Приспособление для контроля «качки» в окулярной резьбе

На рис. 13.10 приведена схема контроля параллельности торцов *A* и *B* оправы, которая торцом *A* устанавливается на поверочную плиту, а с торцом *B* приводится в контакт ножка индикатора, закрепленного в стойке. Разность показаний индикатора при вращении оправы должна быть в пределах допуска на непараллельность. Аналогичным образом можно проверить параллельность торцов *B* и *Г* торцу *A*.

Контроль биения наружных цилиндрических поверхностей и торцов относительно оси сквозного отверстия можно вести по схеме, показанной на рис. 13.11. Оправу 1 устанавливают на точной оправке 2, которую закрепляют в соосных центрах 3. При вращении оправ-

ки 2 с деталью 1 индикаторы показывают величины радиального и осевого биений поверхностей *A* и *B* относительно оси отверстия *B*.

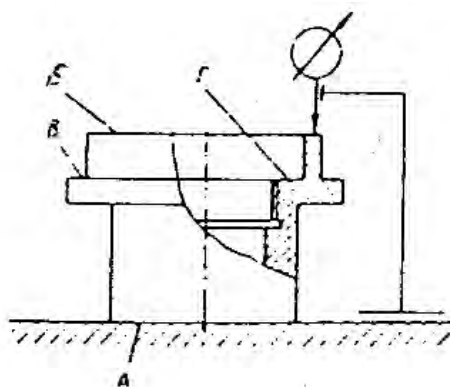


Рис. 13.10. Схема контроля параллельности торцов

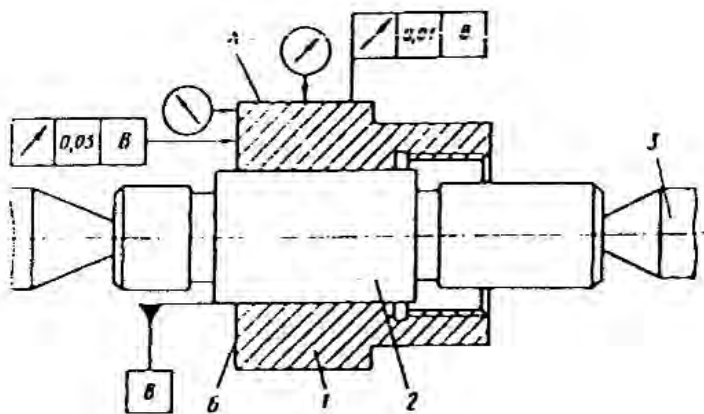


Рис. 13.11. Схема контроля биения поверхностей оправы

На рис. 13.12 показан калибр для контроля несоосности резьбы  $Sp\ M24 \times 0,5$  и отверстия  $\varnothing 13,972_{-0,003}$  оправы 4. Гайку 1 с втулкой 2 навинчивают на резьбу оправы 4 и в отверстие  $\varnothing 13,972$  вводят пробку 3. Деталь считают годной, если пробка входит в отверстие втулки 2.

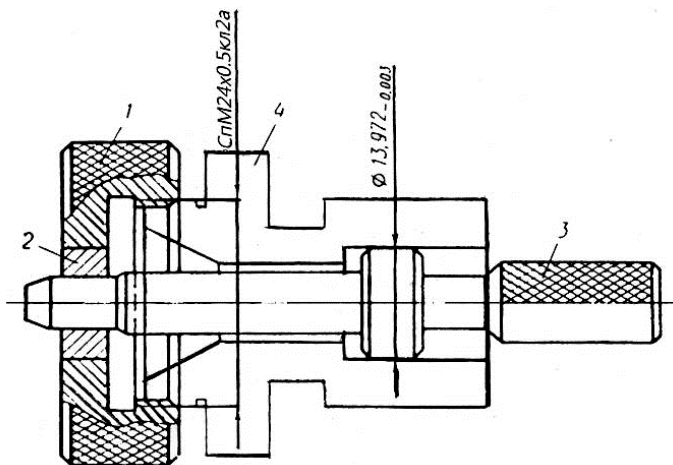


Рис. 13.12. Калибр положения для контроля биения поверхностей оправы

## 14. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И РЕЕК

### 14.1. Методы нарезания зубьев зубчатых колес

Зубья мелко модульных колес невысокой степени точности (9–10) нарезают методом копирования дисковыми модульными фрезами (рис. 14.1, *а*), а более точные колеса – обкаткой червячными фрезами (рис. 14.1, *б*) и хвостовыми долбьяками (рис. 14.1, *в*). Обкатка является более производительной и точной среди других методов.

При использовании дисковой фрезы ее выбирают по модулю зубьев колеса. Нарезание зубьев производится на универсально-фрезерных станках с использованием делительных приспособлений. Дисковая фреза 1 прорезает сначала одну межзубную впадину, после чего заготовка 2 поворачивается на один окружной шаг (на один зуб) и прорезается следующая межзубная впадина. Основные параметры процесса зубофрезерования – скорость резания  $v$ , глубина резания  $t$  и подача  $S$ .

При обработке зубчатых колес по методу обкатки червячная фреза 1 (рис. 14.1, *б*) совершает вращение вокруг своей оси со скоростью  $v$  и поступательное движение (подача  $S$ ) в направлении оси нарезаемого зубчатого колеса 2, вращающегося вокруг своей оси (круговая подача  $S_{кр}$ ).

При нарезании зубьев колес хвостовым долбяком 1 (рис. 14.1, в) последний совершает возвратно-поступательное движение, движение подачи  $S$  и вращается вокруг своей оси со скоростью  $v$ . Заготовка 2 вращается со скоростью круговой подачи  $S_{кр}$ .

Нарезание конических колес производится двумя зубострогальными резцами, совершающими встречное возвратно-поступательное движение.

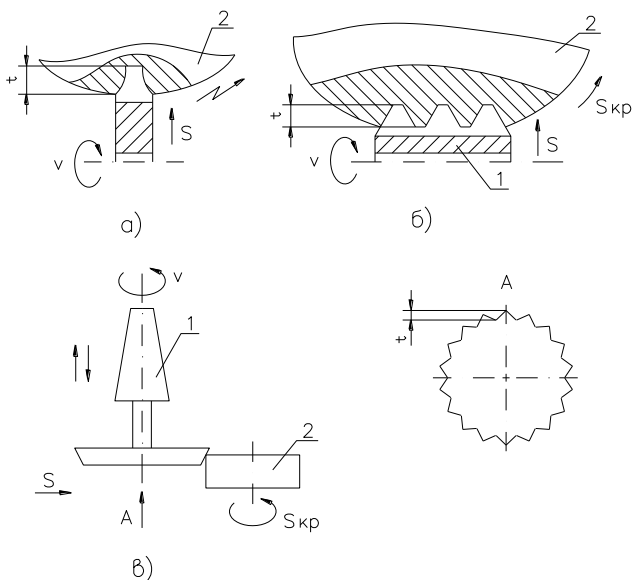


Рис. 14.1. Нарезка зубьев фрезами (а, б) и хвостовым долбяком (в)

## 14.2. Получение зубчатых колес литьем, холодной штамповкой и накатыванием

Ряд зубчатых колес из мягких (цинковых и алюминиевых) сплавов в условиях массового и крупносерийного производства изготавливают литьем под давлением. Этим методом можно получать небольшие по размеру и специальные по форме зубчатые колеса и трибы невысокой степени точности. Литье под давлением часто заменяют методом холодной штамповки. Этот метод дает существенную экономию металла и более высокое качество колес.

Существует два вида процессов изготовления зубчатых колес холодной штамповкой:

а) зубчатое колесо штампуют совместно с зубчатым венцом непосредственно из полосы (ленты);

б) заготовку (диск) получают механической обработкой, а штампуют только зубчатый венец.

Предпочтение следует отдать первому виду. Холодная штамповка может быть рекомендована для изготовления мелко модульных зубчатых колес толщиной для цветных сплавов до 1,5 мм, конструкционной стали до 1 мм и легированной стали до 0,9 мм.

Сущность холодного накатывания заключается в пластическом деформировании заготовки в процессе ее обкатывания зубьями инструмента.

Накатыванием изготавливают зубчатые колеса из деформируемых алюминиевых и медных сплавов, а также из малоуглеродистых и нержавеющей сталей. Накатывание производят на токарном станке с использованием специального приспособления.

Достоинства процесса зубонакатывания следующие: высокая производительность (в 5–10 раз выше, чем при обработке резанием), хорошее качество рабочих поверхностей зубьев и достаточно высокая точность геометрических параметров зубчатых колес, повышается износостойкость зубьев, происходит экономия материала (диаметр заготовки под накатывание меньше, чем под обработку резанием).

### 14.3. Чистовая обработка цилиндрических зубчатых колес и термообработка

Назначение чистовой обработки зубчатых колес состоит в улучшении качества поверхности зубьев, повышении точности элементов зубчатого венца и обеспечении плавности работы передачи. Для чистовой обработки закаленных стальных зубчатых колес применяют зубошлифование, притирку и зубополирование, а для незакаленных колес – шевингование, зубообкатывание и приработку.

При *зубошлифовании* в качестве инструмента применяют абразивный шлифовальный круг, заправленный в виде червяка. Достоинствами зубошлифования абразивным червяком являются относительно высокая точность, высокий класс шероховатости поверхности зубьев (до 10-го) и высокая производительность, а

недостатками – низкая стойкость абразивных червячных кругов и трудность их изготовления.

*Притирка* осуществляется как при параллельных осях притира и колеса, так и при их скрещивающихся осях. Притирка по второй схеме более совершенна. Рабочим инструментом являются зубчатые колеса – притиры. Число притиров может быть от одного до трех. Притиры изготавливают из серого чугуна.

Диаметр притира должен быть по возможности большим, число зубьев не кратным числу зубьев притираемого колеса. Зубья у притиров выполняют утоненными на 0,05 мм. Ширина притира больше ширины венца обрабатываемого колеса.

Для притирки в качестве абразивного материала используют пасту ГОИ и пасту на основе электрокорунда.

*Зубополирование* используют для отделки закаленных колес с числом зубьев менее 20 (трибов). Сущность процесса зубополирования состоит в относительном скольжении червячного диска, смазанного полировальной пастой, и зуба зубчатого колеса. В результате зубополирования происходит сглаживание микронеровностей и повышается качество поверхности зуба.

Полировальные диски изготавливают из бука, капронита или сплава свинца (87 %), олова (4 %) и сурьмы (9 %).

*Шевингование* применяют для окончательной отделки зубьев цилиндрических колес. Применяют шевингование в основном для колес, к которым предъявляются высокие требования в отношении плавности зацепления и бесшумности, но которые не предназначены для точного углового отсчета.

*Зубообкатывание* сводится к зацеплению обрабатываемого колеса с закаленным эталонным колесом (обкатником). Обрабатываемое колесо прижимается к обкатнику с определенным усилием. При обкатке происходит смятие поверхностных неровностей (гребешков), оставшихся после зубофрезерования, что позволяет повысить класс шероховатости и поверхностную твердость зубьев.

*Приработка* сводится к взаимному обкатыванию работающих в паре колес после их сборки или до сборки на специальных установках. Приработку производят с использованием абразивного материала, но более часто без абразива. Зубчатые колеса после приработки должны быть тщательно промыты в бензине. В результате приработки точность элементов колес не повышается, имеет место даже неко-



торое ухудшение профиля, но плавность зацепления и качество поверхности зубьев повышаются, а шум в передаче уменьшается.

В тех случаях, когда заготовки зубчатых колес получают посредством давления (горячей или холодной штамповкой), перед обработкой резанием проводят термообработку с целью снятия внутренних напряжений, а при изготовлении из прутка – с целью получения однородной структуры материала.

При использовании заготовок из листового материала для снятия внутренних напряжений и стабилизации размеров их также подвергают термообработке.

Полностью изготовленные зубчатые колеса при необходимости подвергаются химико-термической обработке (цианированию, цементации, азотированию или закалке с последующим отпуском).

#### 14.4. Зубчатые колеса из пластмасс

Колеса из пластмасс имеют малый вес, работают бесшумно в условиях ограниченной смазки и без нее, а в агрессивных и абразивных средах обладают высокими антифрикционными свойствами, компенсируют неточности изготовления и монтажа за счет упругой податливости, просты в изготовлении. Недостатками зубчатых колес из пластмасс являются сравнительно небольшая нагрузочная способность и размерная нестабильность в температурно-влажностных средах.

При необходимости отвода тепла из зоны контакта зубчатых колес применяют металлополимерные зубчатые передачи: малое колесо из стали, а большое из пластмассы. Использовать для зубчатых пар сочетание «цветные металлы – пластмассы» не рекомендуется вследствие быстрого износа зубчатой передачи. Особенно интенсивен износ в зубчатых передачах, в которых одно из колес изготовлено из алюминиевого сплава, а другое из пластмассы.

Пластмассовые колеса бывают неармированные и армированные. В последнем случае армирующие элементы выполняют в виде накладных шайб, ступиц-втулок, валов с выступами и т.д.

Для получения заготовок зубчатых колес из пластмассы применяют прямое прессование, литьевое прессование и литье под давлением. Прямое и литьевое прессование применяют при переработке терморезистивных материалов, а литье под давлением – при переработке термопластов.

Предварительную механическую обработку заготовок зубчатых колес из пластмасс проводят на токарном станке. В процессе этой обработки помимо удаления литников и облоя производят обточку наружной поверхности и подрезку торцов. Для снятия внутренних напряжений, образования однородной кристаллической структуры, повышения твердости и уменьшения гигроскопичности заготовки после предварительной токарной обработки подвергают термической обработке, режимы которой устанавливают экспериментально. Затем следует окончательная обработка заготовок на токарном станке, после чего – нарезание зубьев.

#### **14.5. Изготовление зубчатых реек**

Рейки бывают косозубые и прямозубые преимущественно с прямолинейным профилем зуба.

Технологический процесс изготовления реек включает следующие этапы: получение заготовок, изготовление поверхностей и отверстий крепления, фрезерование зубьев.

Заготовками для реек в зависимости от масштаба производства и размеров рейки могут быть холоднотянутые (волоченные) и горячекатаные прутки требуемого поперечного сечения; полосы, отрезанные от листа и обработанные после отрезки, а также специальные (литые) заготовки.

Изготовление поверхностей и отверстий крепления включает фрезерование плоскостей, сверление отверстий и нарезание в них резьбы. Нарезание зубьев при отсутствии специального оборудования осуществляется на обычных фрезерных станках дисковыми фрезами. Нарезаемую заготовку располагают поперек стола станка. После прорезки одной впадины путем продольной подачи стола последний возвращают в исходное положение и поперечным его перемещением нарезаемую заготовку смещают на один шаг; так последовательно нарезают все зубья рейки. Если нарезают косозубую рейку, стол станка поворачивают на угол наклона зубьев. С целью повышения производительности труда при нарезании зубьев на столе станка закрепляют несколько заготовок реек или на шпинделе устанавливают несколько фрез на расстоянии, кратном шагу рейки, т.е. одновременно нарезают несколько зубьев.

В условиях серийного и массового производства нарезание коротких реек производят специальными кольцевыми фрезами, позволяющими нарезать все зубья одновременно, или используют специальные зубореечные полуавтоматы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корсаков, В.С. Основы конструирования приспособлений / В.С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1983. – 227 с.
2. Режимы резания металлов: справочник / под ред. Ю.В. Барановского. – М.: Машиностроение, 1972. – 407 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.
5. Станочные приспособления: справочник: в 2 т. / под ред. Б.Н. Вардашкина, А.А. Шатилова. – М.: Машиностроение, 1984. – Т. 1. – 592 с.
6. Станочные приспособления: справочник: в 2 т. / под ред. Б.Н. Вардашкина, В.В. Данилевского. – М.: Машиностроение, 1984. – Т. 2. – 656 с.
7. Горохов, В.А. Проектирование и расчет приспособлений / В.А. Горохов. – Минск: Выш. школа, 1986. – 283 с.
8. Горохов, В.А. Проектирование технической связи / В.А. Горохов. – Минск: Бервита, 1997. – 343 с.
9. Горошкин, А.К. приспособления для металлорежущих станков / А.К. Горошкин. – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с.
10. Микитянский, В.В. Точность приспособлений в машиностроении / В.В. Микитянский. – М.: Машиностроение, 1984. – 128 с.
11. Детали машин в примерах и задачах / под общ. ред. С.М. Башеева. – Минск: Выш. школа, 1970. – 488 с.
12. Биргер, И.А. Расчет на прочность деталей машин: справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.

13. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев [и др.]; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
14. Андерс, А.А. Проектирование заводов и механосборочных цехов в автотракторной промышленности / А.А. Андерс, Н.М. Потапов, А.В. Шулешкин. – М.: Машиностроение, 1982. – 271 с.
15. Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. – Минск: Выш. школа, 1983. – 256 с.
16. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках: в 2 ч. – М.: Машиностроение, 1974. – Ч. 1: Станки токарные, карусельные, токарно-револьверные, автоматнo-расточные, сверлильные, строгальные, долбежные, фрезерные. – 415 с.
17. Виды и комплектность конструкторских документов: ГОСТ 2.102–68.
18. Основные надписи: ГОСТ 2.104–68.
19. Спецификация: ГОСТ 2.108–68.
20. Основные требования к чертежам: ГОСТ 2.109–73.
21. Нормоконтроль: ГОСТ 2.111–68.
22. Технические условия. Правила построения, изложения и оформления: ГОСТ 2.114–70.
23. Эскизный проект: ГОСТ 2.119–73.
24. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений: ГОСТ 2.312–72.
25. Изображение, виды, разрезы, сечения: ГОСТ 2.305–68.
26. Методические указания. Цепи размерные: РД 50-635–87.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ЧАСТЬ 1

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕТАЛЛА И ПЛАСТМАСС..... 3

#### 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ..... 3

- 1.1. Общая характеристика материалов, применяемых в приборостроении ..... 3
- 1.2. Особенности процесса штамповки и конструкции штампов..... 3
- 1.3. Прессование и конструкции пресс-форм ..... 7

#### 2. ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ..... 10

- 2.1. Методы обработки резанием ..... 10
- 2.2. Движения рабочих органов станка и элементы режима резания ..... 12
- 2.3. Конструктивные элементы инструментов ..... 15
- 2.4. Классификация инструментов ..... 17
- 2.5. Инструментальные материалы ..... 19

#### 3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТАНКАХ..... 20

- 3.1. Классификация металлорежущих станков ..... 20
- 3.2. Типы приводов и передач станков. Кинематические схемы и цепи ..... 24

#### 4. ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ..... 25

- 4.1. Общие понятия о процессе резания..... 25
- 4.2. Процесс образования стружки и ее типы..... 26
- 4.3. Образование нароста при резании ..... 28
- 4.4. Вибрация при резании материалов..... 29

#### 5. ТОЧЕНИЕ..... 30

- 5.1. Разновидности обработки и режимы резания при точении..... 30
- 5.2. Классификация резцов общего назначения ..... 31

5.3. Общие сведения о токарных станках .....	32
5.4. Обработка эксцентриковых деталей.....	33
6. СТРОГАНИЕ, ДОЛБЛЕНИЕ, ОПИЛИВАНИЕ.....	34
6.1. Особенности обработки строганием и долблением.....	34
6.2. Опиливание. Слесарные инструменты.....	35
7. СВЕРЛЕНИЕ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ.....	37
7.1. Устройства для крепления осевых инструментов.....	37
7.2. Типы, геометрические параметры и конструктивные элементы сверл.....	40
7.3. Конструкции разверток.....	41
7.4. Особенности инструментов для станков с ЧПУ и автоматических линий.....	43
8. ПРОТЯГИВАНИЕ, ПРОШИВАНИЕ И ФРЕЗЕРОВАНИЕ.....	44
8.1. Обработка внутренних и наружных поверхностей протягиванием и прошиванием.....	44
8.2. Виды и особенности процесса фрезерования.....	46
9. РЕЗЬБООБРАЗОВАНИЕ И АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА.....	48
9.1. Способы получения резьб и применяемые инструменты.....	48
9.2. Абразивная обработка.....	49
10. ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ ПЛАСТМАСС.....	51
10.1. Физические основы резания пластмасс.....	51
10.2. Обработка пластмасс резанием лезвийными инструментами.....	52
10.2.1. Разрезка и точение пластмасс.....	52
10.2.2. Обработка пластмасс фрезерованием.....	53
10.2.3. Сверление отверстий и нарезание резьбы в пластмассовых деталях.....	55
11. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РАЗМЕРНЫЕ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.....	55
11.1. Электроэрозионная обработка.....	55
11.2. Ультразвуковая обработка.....	57
11.3. Электрохимическая обработка (ЭХО).....	59

**ЧАСТЬ 2**  
**ОБРАБОТКА ТИПОВЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ**  
**ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ..... 61**

12. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	61
12.1. Конструктивно-технологическая характеристика.....	61
12.2. Изготовление заготовок корпусных деталей .....	62
12.3. Механическая обработка корпусных деталей .....	63
12.4. Стабилизирующая термическая обработка корпусных деталей .....	64
12.5. Контроль корпусных деталей.....	65
12.5.1. Контроль механическими методами .....	65
12.5.2. Контроль оптическими методами.....	68
13. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОПРАВ, КОЛЕЦ И ТУБУСОВ .....	74
13.1. Конструктивно-технологическая характеристика деталей.....	74
13.2. Типовой технологический процесс изготовления оправ, колец и тубусов.....	77
13.3. Проектирование операций обработки оправ на токарно-револьверных станках .....	78
13.4. Окончательная токарная обработка оправ и тубусов.....	82
13.5. Обработка вспомогательных поверхностей.....	84
13.6. Обработка окулярной резьбы .....	85
13.7. Особенности обработки корпусов-труб .....	87
13.8. Контроль оправ и тубусов .....	89
14. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И РЕЕК .....	93
14.1. Методы нарезания зубьев зубчатых колес.....	93
14.2. Получение зубчатых колес литьем, холодной штамповкой и накатыванием .....	94
14.3. Чистовая обработка цилиндрических зубчатых колес и термообработка .....	95
14.4. Зубчатые колеса из пластмасс.....	97
14.5. Изготовление зубчатых реек .....	98

**ЛИТЕРАТУРА ..... 99**

Учебное издание

КОЗЕРУК Альбин Степанович

# ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Курс лекций  
для студентов специальности  
1-38 01 02 «Оптико-электронные  
и лазерные приборы и системы»

Редактор Т.А. Подолякова  
Компьютерная верстка Д.А. Исаева

---

Подписано в печать 08.01.2011.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 5,99. Уч.-изд. л. 4,68. Тираж 50. Заказ 581.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.