

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

МЕХАНИЧЕСКАЯ  
ОБРАБОТКА  
МАТЕРИАЛОВ





# **МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ**

**Допущено Министерством высшего  
и среднего специального образования СССР  
в качестве учебника для студентов вузов,  
обучающихся по специальности  
„Автоматизация и комплексная механизация  
машиностроения“**



**МОСКВА • МАШИНОСТРОЕНИЕ • 1981 •**

ББК 34.5

М55

УДК 621.9.002.3 (075)

Авторы: *А. М. Дальский, В. С. Гаврилюк, Л. Н. Бухаркин,  
В. П. Каширцев, Н. И. Ляпунов, О. Ф. Полтавец, Е. А. Соколов*

Рецензенты:

Кафедра технологии материалов Челябинского  
политехнического института и инж. И. Б. Колтунов

**Механическая обработка материалов/А. М. Дальский,  
М55 В. С. Гаврилюк, Л. Н. Бухаркин и др.: Учебник для вузов.—  
М.: Машиностроение, 1981. — 263 с., ил.**

В пер.: 95 к.

М  $\frac{31200-044}{038(01)-81}$  44-81 2704000000

ББК 34.5  
6П4

© Издательство «Машиностроение», 1981 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предметом изучения курса «Механическая обработка материалов» являются рациональные, распространенные в промышленности методы формообразования деталей машин, в основном обработкой резанием. При этом также обращается внимание на качество производимой продукции. Начиная с этого курса, студенты специальностей, связанных с автоматизацией и комплексной механизацией машиностроения, познают технологические особенности производства. Значение технологических дисциплин становится в этом случае особенно важным потому, что именно технологический процесс изготовления деталей или их сборки является основой создания отдельных автоматов или автоматических комплексов.

Особенности технологических методов и процессов влияют на конструкцию, кинематические данные и прочность отдельных механизмов автоматических машин. Как механизмы, удерживающие заготовку, так и механизмы, удерживающие инструмент, komponуют в соответствии с принятыми методами обработки заготовок. Вариантность технологических процессов изготовления одной и той же детали предполагает создание совершенно различных конструкций и принципов работы автоматических линий. Станки с программным управлением, в основе работы которых лежит использование сложных электрических систем, или станки с механическими системами управления могут работать по автоматическому циклу. Однако всегда работа системы управления подчиняется принятому технологическому процессу.

Сказанное в полной мере относится и к автоматическим линиям. Инженеры, проектирующие автоматические линии как комплексы основного, вспомогательного и подъемно-транспортного оборудования, сталкиваются с решением весьма сложных задач создания электронных,

электромеханических, механических, гидравлических, пневматических и других элементов оборудования. Во всех этих случаях инженеры неизменно обращаются к технологическому процессу, для обеспечения которого и проектируется данная линия.

При обеспечении комплексной автоматизации объединяются различные по своей сущности технологические методы, например: литье, сварка, обработка давлением или резанием, термическая обработка, сборка, упаковка, контроль и пр. В этом случае задача еще больше усложняется потому, что конструктор должен подчинить единой идее автоматизации машины различного технологического назначения. Одна общая автоматическая система может представлять собой комплекс автоматических линий, работающих последовательно или одновременно. Но каким бы сложным ни был технологический процесс, выполняемый на таком комплексе, основным элементом процесса является принятый метод обработки.

Данный учебник предназначен для ознакомления студентов с методами обработки заготовок из различных материалов. Основное внимание в учебнике уделено обработке заготовок резанием для получения готовых деталей, поступающих на сборку. Изготовление заготовок и деталей методами литья, обработки давлением и сваркой имеет подчиненное значение. Вместе с тем знакомство с заготовительными процессами крайне необходимо для полного представления о технологических комплексах, решения вопросов установки заготовок, их закрепления при обработке резанием.

Учебник написан коллективом преподавателей МВТУ им. Баумана. Разделы учебника написаны: А—канд. техн. наук доц. В. С. Гаврилюком, Н. И. Ляпуновым, Е. А. Соколовым; Б—д-ром техн. наук проф. А. М. Дальским, канд. техн. наук доц. Л. Н. Бухаркиным, О. Ф. Полтавцом, В—канд. техн. наук доц. В. П. Каширцевым.

Детали машин получают литьем, обработкой давлением, а также обработкой резанием. В процессе резания можно получить детали, поверхности которых характеризуются высокой точностью геометрических размеров, малой шероховатостью и другими необходимыми свойствами.

Резание является одним из основных технологических процессов машиностроительного производства.

Вместе с этим обработку резанием нельзя рассматривать в отрыве от вида заготовок, которые чаще всего получают давлением, литьем или сваркой. Рациональный выбор заготовки обусловлен необходимостью экономии металлов. Заготовки, выполненные из материала, выбранного в соответствии с назначением деталей, должны приближаться к ним по своей конфигурации. Изготовление заготовок и получение из них деталей методом резания представляют единый технологический процесс, части которого органически связаны между собой.

Повышение производительности труда определяется созданием таких машин, для которых характерны быстроходность, прочность, а также уменьшение массы, что чаще всего зависит от увеличения геометрической точности и улучшения качества поверхностей деталей. Роль обработки резанием при этом является решающей. На практике, как правило, невозможно получение механизмов и машин сочетанием деталей, не прошедших обработку на металлорежущих станках. Контактное необработанных поверхностей деталей и их относительное перемещение приведут в этом случае к огромному износу и очень большим давлениям.

Изучение различных методов обработки началось сравнительно давно. При этом всегда обращали внимание на свойства материала заготовки и возможность использования этих свойств для улучшения

эксплуатационных характеристик деталей. Особое внимание следует обращать на кристаллическую природу металлических материалов. Особенности и характерные дефекты строения кристаллов определяют возможность получения качественных заготовок литьем, давлением или сваркой и последующую обработку резанием.

Литье еще в древности использовали для изготовления металлических изделий из меди и бронзы, затем из чугуна, а позже из стали и других сплавов. В XV в. в Москве был построен пушечно-литейный завод («пушечная изба») по производству бронзовых отливок. Бурный рост литейного производства начался после Великой Октябрьской социалистической революции. Основными процессами получения отливок являются плавка металла, изготовление литейных форм, заливка расплавленного металла и охлаждение, выбивка, обрубка отливок и контроль их качества. Технологические процессы изготовления отливок механизированы и автоматизированы.

Обработка давлением была также известна в древности, когда использовали свойства материалов пластически деформироваться в холодном или горячем состоянии. Этот метод широко применяли при изготовлении оружия, в кораблестроении и т. д. В настоящее время в СССР обработке давлением подвергают заготовки из стали, цветных металлов и сплавов, а также из пластических масс и других неметаллических материалов. Листовая штамповка позволяет получать детали, идущие непосредственно на сборку. Разновидности метода обработки давлением обеспечивают изготовление сложных фасонных профилей с малой шероховатостью поверхностей. Особенно широкое применение находит круглый прокат и прутковый материал.

Процессы сварки впервые были осуществлены в России в конце XIX в. Широко применять сварку в нашей стране стали после Великой Октябрьской социали-

стической революции, что позволило существенно экономить металл. В тридцатые годы стали использовать автоматическую дуговую сварку под слоем флюса. В настоящее время метод сварки используют при получении неразъемных соединений. Особое значение приобретает выбор метода сварки в зависимости от назначения изготавливаемой детали. Различные заготовки, полученные методами сварки, можно обрабатывать на металлорежущих станках. Сваркой также получают заготовки, состоящие из разнородных материалов.

Наиболее древним является метод обработки резанием. Еще до того, как человек узнал металлы, он уже умел обтачивать дерево и кость. Эти же принципы обработки впоследствии были перенесены на обработку заготовок из металлов. Уже в XVII в. в Москве было создано предприятие («ствольная мельница») по изготовлению резанием пушечных стволов. С течением времени был накоплен большой опыт обработки заготовок на металлорежущих станках, использования различных инструментов и оснастки. В отечественной промышленности обработка резанием занимает одно из главных мест.

Исключительно большое внимание в нашей стране уделяется автоматизации технологических процессов обработки резанием. Процесс автоматизации требует глубокого анализа структуры технологической операции. Процесс автоматизации металлорежущих станков связан с выполнением самой машиной относительных движений заготовки и инструмента в процессе резания, а также с совершенством различных вспомогательных движений. Какой бы сложной ни была автоматическая машина или система машин, базой ее создания является метод обработки, поэтому совершенствование известных технологических методов обработки и создание новых необходимо для дальнейшей автоматизации производственных процессов.

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ****ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
МЕТОДЫ  
ПОЛУЧЕНИЯ  
ЗАГОТОВОК**

Детали машин чрезвычайно разнообразны и для их изготовления необходимы материалы с самыми различными свойствами. Требования к материалам особенно возросли в эпоху научно-технического прогресса. В некоторых случаях для изготовления изделий необходимы материалы с повышенной коррозионной стойкостью, теплопроводностью и электропроводностью, особыми магнитными свойствами, тугоплавкостью, сверхпроводимостью и т. п. Для правильного использования имеющихся материалов, также как и для обработки деталей из них, важно иметь представление об их структуре, так как это даст возможность учитывать влияние режимов эксплуатации или обработки на те или иные характеристики изделия.

Металлические и большинство неметаллических твердых материалов имеют кристаллическое строение. Характерными признаками кристаллических тел являются способность сохранять свою форму и оставаться твердыми при нагреве вплоть до критической температуры, при которой они дискретно переходят в жидкое состояние. Переход кристаллических тел из твердого в жидкое состояние и наоборот совершается изотермически, т. е. при определенной температуре, называемой температурой плавления.

Элементарные частицы, из которых состоят кристаллические тела (атомы, ионы, молекулы) расположены в пространстве упорядоченно и образуют кристаллические решетки. В кристаллической решетке можно выделить элементарный объем, многократно повторяющийся и состоящий из минимального количества элементарных частиц, — элементарную

ячейку; совокупность этих ячеек характеризует особенности строения кристаллического тела данного типа. Элементарные частицы в кристаллической решетке находятся во взаимодействии, определяемом их электронным строением. От характера этого взаимодействия зависят электрические, магнитные, тепловые и оптические свойства материала, его температуры плавления и испарения, модуль упругости и другие свойства.

Все кристаллические тела образуют семь разновидностей кристаллических решеток, из которых для металлов наиболее характерны объемно-центрированная кубическая (ОЦК), гранецентрированная кубическая (ГЦК) и гексагональная плотноупакованная (ГПУ) (рис. 1). Для характеристики формы и размера элементарной ячейки кристаллической решетки используют шесть основных параметров: расстояния по осям координат —  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , называемые периодом решетки, и три угла —  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  между этими отрезками. Кроме основных параметров в кристаллографии приняты еще другие, дополнительно характеризующие кристаллическую решетку.

Свойства кристалла определяются не только типом кристаллической решетки, но и характером взаимодействия атомов, ионов и электронов между собой. При переходе паров металла в жидкое состояние, а затем в твердое состояние его атомы сближаются настолько, что валентные электроны получают возможность переходить от одного атома к другому и свободно перемещаться таким образом по всему объему металла, обеспечивая высокую электро- и теплопроводность. Между электронами и положительными ионами возникают силы электрического взаимодействия.

В зависимости от температуры и давления многие металлы могут образовывать различные типы кристаллических решеток. Это способность металлов носит название полиморфизма или аллотропии. Полиморфные превращения свойственны таким широко применяемым в машиностроении металлам, как Fe, Ti, Mn, Co, Sn. Полиморфные модификации элементов обычно обозначают, начиная с наиболее низкотемпературной, буквами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  и т. д. Так например: железо при нагреве до температуры  $910^\circ\text{C}$  образует

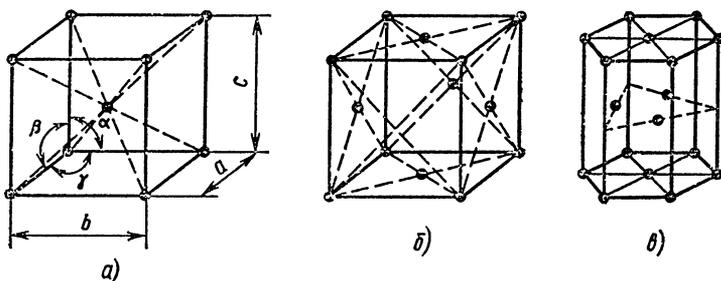


Рис. 1. Схемы кристаллических решеток:

$a$  — объемно-центрированная кубическая;  $b$  — гранецентрированная плотноупакованная;  $v$  — гексагональная плотноупакованная

модификацию  $\alpha$ Fe с ОЦК-решеткой, в интервале 910—1400 °C —  $\gamma$ Fe с ГЦК-решеткой и свыше 1400 °C —  $\delta$ Fe с решеткой ОЦК. При этом происходит существенное изменение свойств материала. Это явление широко используют в технике для улучшения обрабатываемости металлов, при их термообработке и других процессах.

Всем кристаллам присуща анизотропия, т. е. неравномерность свойств по направлениям, определяемая различными расстояниями между атомами в кристаллической ячейке. Наиболее сильно анизотропия выражена у металлов, имеющих асимметричное кристаллическое строение. От направления действия сил в кристалле существенно зависят такие показатели физических свойств, как прочностные характеристики, модуль упругости, термический коэффициент расширения, коэффициенты тепло- и электропроводности, показатель светового преломления и др. Анизотропия характерна и для поверхностных слоев кристаллов. Такие свойства, как поверхностное натяжение, электронные потенциалы, адсорбционная способность, химическая активность, существенно различны у различных граней кристалла.

Строение и свойства реальных кристаллов отличаются от идеальных, представленных на рис. 1, вследствие наличия в них дефектов, которые подразделяют на поверхностные и внутренние. Реальный единичный кристалл обладает свободной (наружной) поверхностью, на которой уже вследствие поверхностного натяжения решетка будет искажена. Это искажение может распространяться и на прилегающую к поверхности зону.

Дефекты внутреннего строения подразделяют на нульмерные (точечные), одномерные — линейные и двумерные, т. е. развитые в двух направлениях. К точечным дефектам относятся: вакансии в случае, когда отдельные узлы кристаллической решетки не заняты атомами; дислоцированные атомы, когда отдельные атомы оказываются в междузлиях, или примесные атомы, количество которых даже в чистых металлах весьма велико. Около таких дефектов решетка будет упругоискаженной на расстоянии одного-двух ее периодов (рис. 2, а). Хотя относительная концентрация точечных дефектов может быть невелика, они вызывают чрезвычайно большие изменения физических свойств кристалла. Например, тысячные доли атомного процента примесей к чистым полупроводниковым кристаллам изменяют их электрическое сопротивление в  $10^5$ — $10^6$  раз.

Линейные дефекты малы в двух измерениях кристаллической решетки и достаточно велики в третьем. К таким дефектам относятся смещения атомных плоскостей или дислокации и цепочки вакансий (рис. 2, б). Важнейшим свойством таких дефектов является их подвижность внутри кристалла и активное взаимодействие между собой и с другими дефектами.

Плотность дислокаций в кристаллах велика: в недеформированных кристаллах их количество на 1 см<sup>2</sup> достигает  $10^8$ — $10^9$ ; при

пластической деформации происходит возникновение новых дислокаций, и это число увеличивается в тысячи раз. Двухмерные дефекты характерны для поликристаллических материалов, т. е. для материалов, состоящих из большого количества мелких кристаллов, различно ориентированных в пространстве.

Граница сросшихся при затвердевании кристаллов представляет собой тонкую, до 10 атомных диаметров, зону с нарушением порядка в расположении атомов. В поликристаллическом теле границы отдельных кристаллов имеют криволинейные поверхности разделов, а сами кристаллы — неправильную форму. Поэтому их в отличие от правильно ограниченных кристаллов называют кристаллитами или зернами. Зерна поликристалла при затвердевании растут из различных центров кристаллизации и ориентация осей кристаллических решеток соседних зерен различна. Зерно металла состоит из отдельных блоков, ориентированных один по отношению к другому под небольшим углом. Границы между ними представляют собой обычно скопления дислокаций (рис. 2, в). Поверхностные дефекты малы только в одном направлении; в двух других они могут достигать размера кристаллита.

Влияние дефектов строения на свойства материалов огромно. Например, прочность реальных кристаллов на сдвиг из-за наличия дефектов строения уменьшается на три-четыре порядка по сравнению с той же характеристикой идеального кристалла. Влияние дефектов строения на прочностные характеристики металлов не однозначно. Из представленной на рис. 3 зависимости видно, что прочность практически бездефектных кристаллов (так называемых «усов») очень высока. Увеличение количества  $n$  дефектов строения в  $1 \text{ см}^3$  приводит к резкому снижению прочности (ветвь А). Точка  $P_k$  характеризует прочность металлов, которые принято называть «чистыми». Дальнейшее увеличение дефектов, например, введением

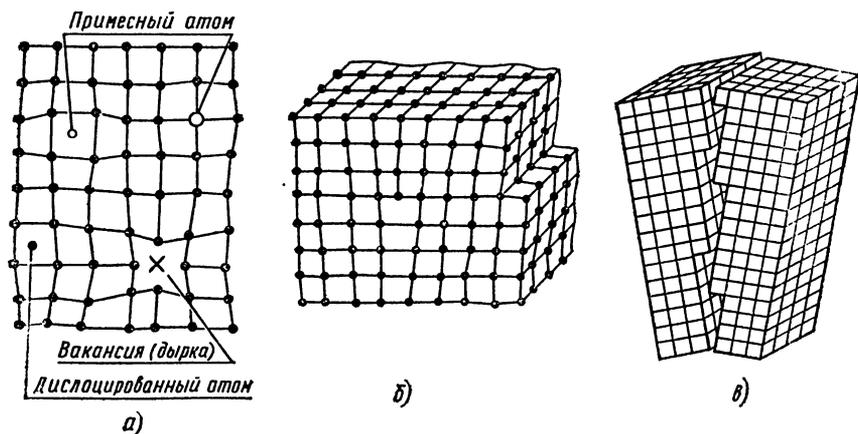


Рис. 2. Дефекты кристаллической решетки:

а — точечные; б — линейные; в — двухмерные (плоскостные)

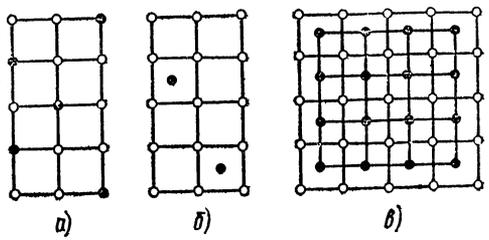
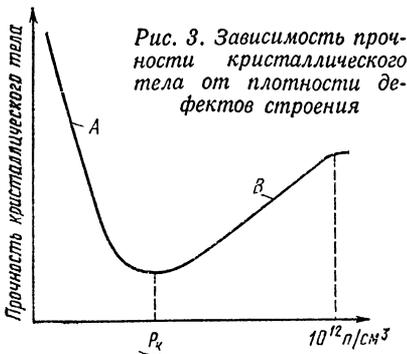


Рис. 4. Виды кристаллических решеток сплавов:

а — твердый раствор замещения; б — твердый раствор внедрения; в — химическое соединение

легирующих примесей или методами специального искажения кристаллической решетки повышает реальную прочность металлов (ветвь В). Для создания наиболее прочных материалов стараются получить оптимальное количество дефектов. Наибольшее упрочнение достигается при плотности дислокаций  $10^{12}$ — $10^{13}$  на  $1 \text{ см}^3$ .

Кроме влияния на прочностные характеристики дефекты решетки играют большую роль в процессах диффузии и самодиффузии, которые во многом определяют скорости протекания химических реакций в твердом теле, а также ионную проводимость кристаллов. Дефекты кристаллической решетки, распределенные необходимым образом по объему кристалла, позволяют создавать в одном образце области с различными типами проводимости, что является необходимым при изготовлении некоторых полупроводниковых элементов.

В технике значительно чаще применяют не чистые металлы, а сплавы, состоящие из двух или нескольких элементов, называемых компонентами. В качестве компонентов сплавов могут быть как чистые элементы, так и химические соединения. Широкое применение сплавов в качестве машиностроительных материалов можно объяснить тем, что они обладают разнообразным комплексом свойств, которые могут быть направленно изменены в зависи-

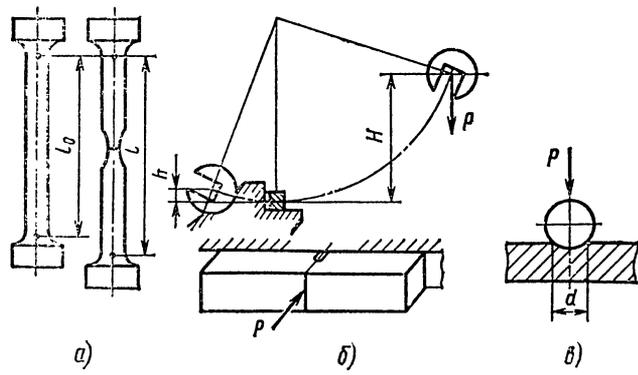


Рис. 5. Испытания для определения механических характеристик:

а — предела прочности и пластических характеристик; б — ударной вязкости; в — твердости (по Бринеллю)

мости от количества и вида компонентов, а также с помощью термической или других видов обработки. При сплавлении компоненты образуют в сплаве фазы — однородные объемы, разограниченные друг от друга поверхностями раздела — границами, при переходе через которые свойства могут изменяться скачкообразно. В сплавах образуются следующие основные фазы: твердые растворы, химические соединения и механические смеси.

Твердые растворы являются наиболее распространенной фазой в металлических сплавах. Характерной особенностью их строения является сохранение кристаллической решетки металла-растворителя. Растворенные металлы могут быть распределены в ней в виде твердого раствора замещения (рис. 4, а) в том случае, если у обоих компонентов однотипные решетки, достаточно близкие атомные радиусы и физико-химические свойства, или в виде твердого раствора внедрения (рис. 4, б), если атомный радиус растворенного компонента достаточно мал.

Химические соединения обычно образуются между металлами и неметаллами и обладают свойствами неметаллических включений, а также между металлами. При этом образуется новый тип кристаллической решетки, отличной от решеток составляющих компонентов и обладающий другими свойствами (рис. 4, в). При сплавлении компонентов с весьма различными атомными радиусами и электрохимическими свойствами взаимная растворимость практически отсутствует. В этом случае образуется механическая смесь кристаллов компонентов.

Форма кристаллов, в виде которых находятся разные фазы в сплаве, определяет структуру сплава. Как правило, в многокомпонентных металлических сплавах можно одновременно встретить три вида фаз. Вероятность появления дефектов кристаллического строения у сплавов существенно выше, чем у однородного металла. Направленным изменением сочетания компонентов в сплавах можно изменять количество дефектов строения и, следовательно, управлять физико-механическими характеристиками.

При выборе материала для конструкции исходят из комплекса свойств, которые подразделяют на механические, физико-химические, технологические и эксплуатационные. К основным механическим свойствам относят прочность, пластичность, ударную вязкость, усталостную прочность, ползучесть, твердость и износостойкость.

Под *прочностью* понимают способность материала сопротивляться деформации или разрушению под действием статических или динамических нагрузок. При статических нагрузках производят испытания на растяжение, сжатие, изгиб и кручение. Показателем прочности является предел прочности (рис. 5, а).

$$\sigma_B = \frac{P}{F_0},$$

где  $P$  — нагрузка, необходимая для разрушения стандартного образца, МН;  $F_0$  — площадь поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>.

Прочность при динамических нагрузках определяют по данным испытаний: на ударную вязкость — разрушением ударом стандартного образца на копре, на усталостную прочность — определяя способность материала выдерживать, не разрушаясь, большое число повторно-переменных нагрузок, на ползучесть — определяя способность нагретого материала медленно и непрерывно деформироваться при постоянных нагрузках. Наиболее часто применяют испытания на ударную вязкость, показателем которой является (рис. 5, б)

$$a_k = \frac{A}{F},$$

где  $A$  — работа, затраченная на разрушение образца, МН·м;  $A = PH - Ph$ , здесь  $P$  — вес маятника, МН;  $F$  — поперечное сечение разрушаемого образца, м<sup>2</sup>.

*Пластичность* — это свойство твердых материалов изменять без разрушения форму и размеры под влиянием нагрузки или напряжений, устойчиво сохраняя образовавшуюся форму и размеры после прекращения этого влияния. Пластичность определяется максимальным относительным удлинением  $\delta$  образца при разрыве:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} 100\%,$$

где  $l$  — длина образца после разрыва,  $l_0$  — первоначальная длина образца (рис. 5, а).

*Твердость* — это способность материала сопротивляться проникновению в него другого тела, например, стального шарика при испытании на твердость по Бринелю ( $HB$ ). Показателем твердости является (рис. 5, в)

$$HB = \frac{P}{F},$$

где  $P$  — нагрузка на шарик, МН;  $F$  — площадь отпечатка, полученного на материале, м<sup>2</sup>.

*Износостойкость* — способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

К физико-химическим свойствам материалов относятся температура плавления, плотность, электро- и теплопроводность, коэффициенты линейного и объемного расширения, способность к химическому взаимодействию с агрессивными средами, а также антикоррозионные свойства. Перечисленные свойства во многом определяются химическим составом компонентов сплава и их структурой.

Технологические свойства металлов и сплавов характеризуют их способность поддаваться различным методам горячей и холодной обработки. К основным из них относят литейные свойства, ковкость, свариваемость и обрабатываемость режущим инструментом.

Литейные свойства характеризуют способность металла или сплава заполнять литейную форму, обеспечивать получение отливки заданных размеров и конфигурации без пор и трещин во всех ее частях.

*Ковкость* — это способность металла или сплава деформироваться с минимальным сопротивлением под влиянием внешней приложенной нагрузки и принимать заданную форму. Ковкость зависит от многих внешних факторов, в частности, от температуры нагрева и схемы напряженного состояния.

*Свариваемостью* называют способность материала образовывать неразъемные соединения с комплексом свойств, обеспечивающих работоспособность конструкции. По степени свариваемости материалы подразделяют на хорошо и ограниченно свариваемые. Свариваемость зависит как от материала свариваемых заготовок, так и от выбранного технологического процесса сварки.

*Обрабатываемостью* называют свойство металла поддаваться обработке резанием. Критериями обрабатываемости являются режимы резания и качество обработанной поверхности.

Технологические свойства часто определяют выбор материала для конструкции. Разрабатываемые материалы могут быть внедрены в производство только в том случае, если их технологические свойства удовлетворяют необходимым требованиям. Показатели технологических свойств определяют специальными испытаниями на ковкость, обрабатываемость, свариваемость, а также литейными пробами.

Работоспособность конструкции определяется эксплуатационными или служебными характеристиками материалов, применяемых для их изготовления. В зависимости от условий эксплуатации и рабочей среды к машиностроительным материалам помимо прочностных характеристик можно предъявлять требования жаропрочности, т. е. сохранения высоких механических характеристик при высоких температурах; коррозионной стойкости при работе в различных агрессивных средах; повышенной износостойкости, необходимой, если детали в процессе работы подвергаются истиранию, и т. п. В некоторых случаях материалы должны обладать способностью образовывать неразъемные соединения с помощью сварки либо пайки с другими материалами, в частности, с керамикой, графитом и др.

Следовательно, при выборе материала для создания технологичной конструкции необходимо комплексно учитывать его прочностные, технологические и эксплуатационные характеристики.

## ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Литейное производство — отрасль машиностроения, изготавливающая заготовки или детали (отливки) заливкой расплавленного металла заданного химического состава в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки или детали. При охлаждении залитый металл затвердевает и сохраняет конфигурацию полости формы. Заготовки (отливки) в дальнейшем подвергаются механической обработке.

Литейное производство позволяет получать разнообразные по конфигурации и свойствам фасонные отливки из чугуна, стали и из сплавов цветных металлов. Высокие механические и эксплуатационные свойства отливок обуславливают их широкое применение в различных отраслях промышленности. Литьем изготавливают отливки как простой, так и сложной формы, которые нельзя получить другими технологическими методами. Например, корпусные детали приборов и машин чаще всего изготавливают литьем.

Важной задачей литейного производства является получение отливок, по форме и размерам приближающихся к готовой детали, что существенно сокращает обработку резанием.

### § 1. Получение литых деталей и заготовок

**Литейные сплавы и их применение.** Литейные сплавы получают сплавлением двух или нескольких металлов и неметаллов. Такие сплавы должны обладать хорошей электро- и теплопроводностью, повышенной пластичностью и др. Практическое значение литейных сплавов определяет то, что они по некоторым свойствам (прочности, твердости, способности воспроизводить очертания литейных форм, обрабатываемости режущим инструментом и др.) превосходят чистые металлы. Важное место в литейном производстве занимают сплавы с особыми физическими свойствами (например, электропроводностью, магнитной проницаемостью и др.).

Сплавы в зависимости от химического состава отличаются друг от друга температурой плавления, химической активностью, вязкостью в расплавленном состоянии, прочностью, пластичностью и другими свойствами. Для производства фасонных отливок применяют серые, высокопрочные, ковкие и другие чугуны, углеродистые и легированные стали, сплавы алюминия, магния, меди, титана и др.

Серый чугун (состав в %: 2,8—3,5 C; 1,8—2,5 Si; 0,5—0,8 Mn; до 0,6 P и до 0,12 S) имеет достаточно высокую прочность, высокую циклическую вязкость, легко обрабатываем и дешев. Недостатком серого чугуна является низкая ударная вязкость и хрупкость. Прочность серых чугунов (рис. 6, а) обусловлена пластинчатой

формой графитовых включений и прочностью металлической основы, которая носит название ферритной, перлитной, ферритно-перлитной. Наименьшую прочность имеет ферритная структура, а наибольшую — перлитная. В марках серого чугуна (СЧ 15-32, СЧ 18-36, СЧ 21-40 и др.) буквы СЧ показывают принадлежность данного материала к серым чугунам, первые две цифры — минимальное значение предела прочности чугуна на растяжение, даН/мм<sup>2</sup>, вторые — минимальное значение предела прочности чугуна на изгиб, даН/мм<sup>2</sup>. Из серого чугуна изготавливают станины станков, корпуса и крышки редукторов, шкивы и другие отливки.

Высокопрочный чугун (состав в %: 3,2—3,6 С; 1,6—2,9 Si; 0,4—0,9 Mn; не более 0,15 P; не более 0,02 S; не менее 0,04 Mg) обладает высокой прочностью, пластичностью, хорошо обрабатывается. Высокие механические свойства этих чугунов получают обработкой расплавленного чугуна магнием или церием, при которой графит принимает шаровидную форму (рис. 6, б). Высокопрочные чугуны (ВЧ 40-10, ВЧ 45-5, ВЧ 60-2 и др.) имеют различную структуру металлической основы: чугун ВЧ 40-10 — ферритную, ВЧ 45-5 — ферритно-перлитную, а у ВЧ 60-2 — перлитную, что и обусловило их различную прочность. В марках высокопрочного чугуна буквы ВЧ показывают принадлежность данного материала к высокопрочным чугунам, первые две цифры — мини-

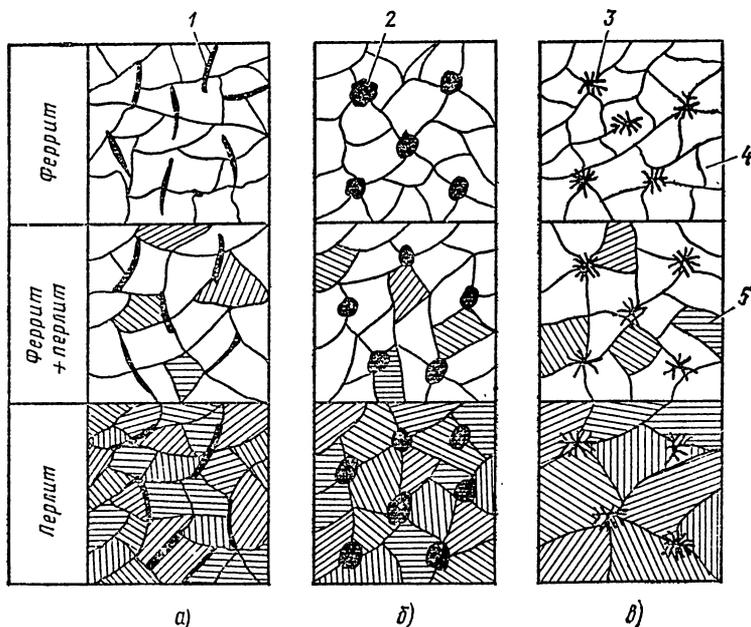


Рис. 6. Схемы микроструктур чугуна:

а — серого; б — высокопрочного; в — ковкого; 1 — пластинчатый графит; 2 — шаровидный графит; 3 — хлопьевидный графит; 4 — феррит; 5 — перлит

мальное значение предела прочности на растяжение, даН/мм<sup>2</sup>, а вторая — минимальное относительное удлинение, %. Из высокопрочного чугуна получают ответственные тяжело нагруженные детали: коленчатые валы, барабаны шахтных вагонеток, шатуны и др.

Ковкий чугун (состав в %: 2,4—2,8 С; 0,8—1,4 Si; менее 1 Mn; не менее 0,2 P; не менее 0,1 S) по прочности превосходит серые чугуны и имеет высокую пластичность. Получают ковкий чугун при отжиге отливок из белого чугуна (в белом чугуне углерод почти полностью находится в связанном состоянии в виде Fe<sub>3</sub>C) в течение 30—60 ч при температуре 900—1050 °С. При отжиге образуется графит в виде хлопьев (рис. 6, в). В зависимости от условий отжига ковкий чугун может быть ферритным (КЧ 37-12), ферритно-перлитным (КЧ 45-6) и перлитным (КЧ 63-2). Ковкий чугун маркируют так же, как и высокопрочный чугун. Ковкий чугун используют для производства корпусов пневматического инструмента, ступиц, кронштейнов, звеньев цепей и других деталей.

Углеродистые стали (состав в %: 0,12—0,6 С; 0,2—0,5 Si; 0,5—0,8 Mn; до 0,05 P и до 0,05 S) имеют более высокие механические свойства, чем серый и ковкий чугуны. Структура литой стали состоит из перлита и феррита. Чем больше в ней перлита, тем выше прочность и ниже вязкость. Углеродистые стали применяют для изготовления различных цилиндров, станин прокатных станов, зубчатых колес и других изделий.

Легированные стали отличаются от углеродистых составом легирующих, т. е. дополнительно добавленных элементов (хром, никель, молибден, титан и др.) или повышенным содержанием марганца и кремния. Легирующие элементы придают стали высокую коррозионную стойкость, жаропрочность и другие специальные свойства. Из легированных сталей получают турбинные лопатки, коллекторы выхлопных систем, различную арматуру и прочие подобные детали.

Алюминиевые сплавы обладают малой плотностью, высокой прочностью и пластичностью, их легко обрабатывать. Наиболее распространены сплавы алюминия с кремнием (силумины), которые обладают повышенной коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью и другими свойствами. Алюминиевые сплавы применяют при производстве блоков цилиндров, корпусов приборов и инструментов и т. п.

Магниеые сплавы обладают малой плотностью, высокой прочностью, хорошей обрабатываемостью. Недостатком магниевых сплавов является низкая коррозионная стойкость. Для повышения механических свойств практически все магниевые сплавы обрабатывают (модифицируют) гексахлорэтаном, мелом и другими веществами. Из магниевых сплавов изготавливают корпуса насосов, приборов и инструментов и другие детали.

Медные сплавы (бронзы и латуни) имеют сравнительно высокие механические и антифрикционные свойства, высокую кор-

розионную стойкость, хорошей обрабатываемостью. Для изготовления отливок применяют оловянные и безоловянные бронзы и латуни. Безоловянные бронзы используют как заменители оловянных бронз.

По механическим, коррозионным и антифрикционным свойствам безоловянные бронзы превосходят оловянистые. Медные сплавы применяют при производстве арматуры, подшипников, гребных винтов, зубчатых колес и др.

Алюминиевые, магниевые и медные сплавы широко применяют в приборостроении.

**Приготовление литейных сплавов.** Приготовление литейных сплавов связано с процессом плавления различных материалов. *Плавление* — это переход из кристаллического состояния в аморфное. При этом нарушается устойчивость кристаллических решеток, увеличиваются колебательные движения атомов, и кристаллическое тело, проходя через область неустойчивых состояний, превращается в жидкое. При плавлении твердые кристаллические тела теряют постоянство формы, объема, а также изменяются их физические свойства. Для получения заданного химического состава и определенных свойств в сплав при приготовлении вводят в жидком или в твердом состоянии специальные (легирующие) элементы, в качестве которых используют Cu, Ni, Mn, Ti, Mg, Mo и др.

Для размельчения структурных составляющих и равномерного их распределения по всему объему литого металла в сплавы вводят малые добавки различных элементов (модификаторов), в качестве которых используют Na, Zn, Mg, Ti, Zr и другие элементы.

Для выплавления чугуна и стали в качестве исходных материалов (шихты) используют литейные или передельные доменные чугуны, чугунный и стальной лом, отходы собственного производства и ферросплавы. Для понижения температуры плавления образующихся шлаков используют флюсы — известняк, доломит и др.

Для выплавления цветных сплавов используют как первичные (полученные на металлургических заводах), так и вторичные (после переплавки цветного лома) металлы и сплавы, кроме того, применяют лигатуры (специально приготовленные сплавы из двух или нескольких металлов) и флюсы (обычно хлористые и фтористые соли щелочных и щелочноземельных металлов).

Для плавления стали и чугуна широко применяют индукционные высокочастотные печи (рис. 7, а), позволяющие нагревать металл до высокой температуры, регулировать состав газовой атмосферы, создавать вакуум для получения металла высокого качества с минимальными затратами. Для размещения расплава 1 предназначен тигель 2, выполненный из кварца или магнезита с последующим спеканием. Нагрев производится при помощи медного или алюминиевого водоохлаждаемого индуктора 3. При пропускании тока высокой частоты через индуктор в шихте, загруженной в тигель, наводятся вихревые токи, выделяется боль-

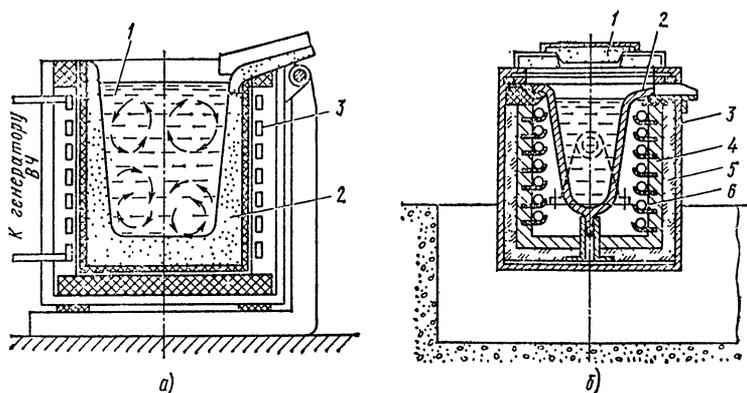


Рис. 7. Схемы устройства плавильных печей:  
 а — индукционной высокочастотной; б — сопротивления

шое количество теплоты, расплавляющей шихту и нагревающей расплав до нужной температуры.

Для плавления цветных сплавов широко применяют индукционные печи промышленной частоты, электрические печи сопротивления (рис. 7, б) и др. Электрическая печь сопротивления выполнена в виде сварного цилиндрического кожуха 3, облицованного (футерованного) шамотным кирпичом 4. Между кожухом и футеровкой предусмотрена теплоизоляционная набивка 5 из легковесных материалов и асбестовых листов. В качестве нагревателей 6 используют нихромовые спирали. Сплав готовят в литом тигле 2 из жаропрочного чугуна. Сверху печь закрывается крышкой 1.

**Литейные свойства сплавов.** Не все сплавы в одинаковой степени пригодны для изготовления фасонных отливок. Из одних сплавов (серого чугуна, силумина) можно легко изготовить отливку сложной конфигурации, а из других (титановых сплавов, легированных сталей и др.) получение отливок сопряжено с определенными трудностями. Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов. К основным литейным свойствам сплавов относят жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение и ликвацию.

**Жидкотекучесть** — способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки. При высокой жидкотекучести литейные сплавы заполняют все элементы литейной формы, при низкой — полость формы заполняется частично, в узких сечениях образуются недоливы. Жидкотекучесть сплавов определяют по специальным пробам. За меру жидкотекучести принимают длину заполненной спирали в литейной форме.

Жидкотекучесть сплавов зависит от многих факторов; например, повышение температуры заливки увеличивает жидкотекучесть всех сплавов. Чем выше теплопроводность материала формы, тем быстрее отводится тепло от залитого металла, тем ниже жидкотекучесть. Неметаллические включения снижают жидкотекучесть сплавов. На жидкотекучесть влияет химический состав сплавов: с увеличением в исходном материале содержания серы, кислорода и хрома жидкотекучесть снижается, а с повышением содержания фосфора, кремния, алюминия и углерода — увеличивается.

В зависимости от жидкотекучести сплава выбирают минимальную толщину стенок отливок. Например, при изготовлении мелких отливок из серого чугуна в песчаных формах минимальная толщина стенок составляет 3—4 мм, для средних — 8—10 мм, а для крупных — 12—15 мм; для стальных отливок — 5—7, 10—12, 15—20 мм соответственно.

*Усадка* — процесс уменьшения объема отливки при охлаждении, начиная с некоторой температуры жидкого металла в литейной форме до температуры окружающей среды. Усадка протекает в жидком состоянии, при затвердевании в процессе кристаллизации и в твердом состоянии. Различают линейную и объемную усадки, которые определяют в процентах. Величина усадки сплавов зависит от их химического состава, температуры заливки, конфигурации отливки и других факторов. Наименьшую линейную усадку имеют серый чугун (0,9—1,3%), алюминиевые сплавы — силумины (0,9—1,3%). Стали и некоторые сплавы имеют усадку 1,8—2,5%. Изготавливать отливки из сплавов с повышенной усадкой сложно, так как в массивных частях отливки образуются усадочные раковины и усадочная пористость. Для предупреждения образования усадочных раковин предусматривают установку прибылей — дополнительных резервуаров с расплавленным металлом для питания отливок в процессе их затвердевания.

Напряжения в отливках возникают вследствие неравномерного их охлаждения и механического торможения усадки. Они характерны для отливок с различной толщиной стенок. При затвердевании температура отливки в массивных частях выше, чем снаружи или в тонких сечениях. Поэтому усадка в отдельных местах по величине различна, но так как части одной и той же отливки не могут изменять свои размеры независимо друг от друга, то в ней возникают напряжения, которые могут вызывать образование трещин или коробление. Для предупреждения образования больших напряжений и трещин необходимо в конструкции литой детали предусматривать равномерную толщину стенок, плавные переходы и устранять элементы, затрудняющие усадку сплава, а также использовать литейные формы и стержни повышенной податливости. Трещины довольно часто образуются в отливках из углеродистых и легированных сталей, сплавов магния и многих алюминиевых сплавов.

*Газопоглощение* — способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. Степень растворимости газов зависит от состояния сплава: с повышением температуры твердого сплава она увеличивается незначительно, несколько возрастает при плавлении и резко повышается при перегреве расплава. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается и в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры. Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы. Для уменьшения газонасыщенности сплавов применяют плавление в вакууме или в среде инертных газов и другие методы.

*Ликвация* — неоднородность химического состава в различных частях отливки. Различают ликвации зональную и дендритную (внутризерненную). Зональная ликвация — это химическая неоднородность в объеме всей затвердевшей литой детали. Дендритная ликвация — химическая неоднородность в пределах одного зерна (дендрита) сплава. Ликвация зависит от химического состава сплава, конфигурации отливки, скорости охлаждения и других факторов.

## § 2. Способы изготовления отливок

Основными способами изготовления отливок является литье в песчаные формы, по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, в кокиль, под давлением и центробежное. Указанными способами можно изготавливать отливки в разовые формы (литье в песчаные формы, по выплавляемым моделям и в оболочковые формы) и в металлические формы (литье в кокиль, под давлением и центробежное).

**Изготовление отливок в разовых формах.** Сущность способа литья в *песчаные формы* заключается в получении отливок из расплавленного металла, затвердевшего в формах, изготовленных из формовочных смесей путем уплотнения с использованием модельного комплекта. После затвердевания залитого металла и охлаждения отливки производят ее выбивку, очистку и обрубку.

Литейная форма (рис. 8, а) представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, в которую заливают расплавленный металл. Литейная форма обычно состоит из верхней 2 и нижней 1 полуформ, которые изготавливают в литейных опоках 7 — приспособлениях для удержания формовочной смеси. Верхнюю и нижнюю полуформы взаимно ориентируют при помощи металлических штырей 4, которые вставляют в отверстия приливов у опок. Для образования полостей, отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни 3, которые фиксируют при помощи выступов, входящих в соответствующие впадины в полости формы. Для подвода расплавленного металла в полость литейной формы, обеспечения ее заполнения

и питания отливки при затвердевании изготавливают литниковую систему 5 и 6.

Формовочные и стержневые смеси используют для изготовления литейных форм. В качестве исходных формовочных материалов используют формовочный кварцевый песок различной зернистости, литейные формовочные глины и вспомогательные материалы (мазут, графит, тальк, древесную муку и др.). Формовочные смеси представляют собой многокомпонентное сочетание материалов, соответствующее условиям технологического процесса изготовления литейных форм. Их подразделяют на смеси для стальных, чугуновых и цветных сплавов. Для изготовления отливок используют облицовочные, наполнительные и единые смеси.

Облицовочной называют смесь, из которой изготавливают рабочий слой формы. Рабочим называют слой, соприкасающийся с расплавленным металлом, и его наносят на литейную модель слоем толщиной 15—30 мм. Такая смесь содержит 50—90% свежих формовочных материалов, а остальные 50—10% — оборотная смесь, подготовленная для повторного употребления в качестве составляющей части формовочной смеси. Наполнительной называют смесь, используемую для наполнения формы после нанесения на поверхность модели облицовочного слоя. В состав наполнительной смеси обычно входит 90—98% оборотной смеси и 10—2% свежих формовочных материалов. Единой называют смесь, используемую одновременно в качестве облицовочной и наполнительной смесей. В состав этой смеси входит 85—90% оборотной смеси и 15—10% свежих формовочных материалов. Единую смесь используют при механизированном производстве отливок.

Стержневые смеси представляют собой многокомпонентное сочетание материалов, соответствующих условиям технологического процесса изготовления неметаллических литейных стержней.

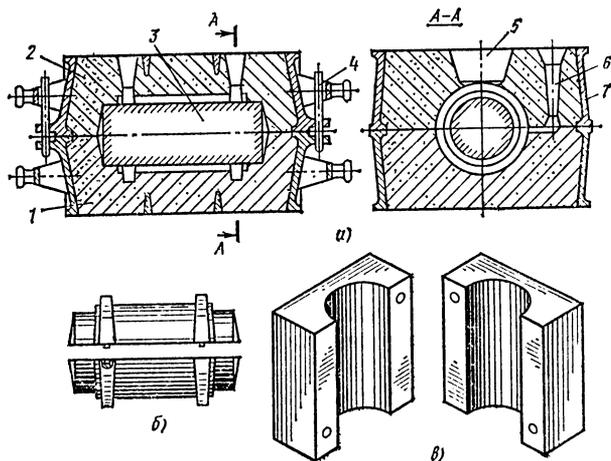


Рис. 8. Эскизы литейной формы и модельной оснастки:  
 а — литейной формы;  
 б — модели; в — стержневого ящика

Стержневые смеси для сложных стержней готовят из кварцевого песка с добавкой различных связующих материалов (олифы, сульфитно-спиртовой барды, синтетических смол и др.). Для простых крупных стержней используют кварцевый песок с добавкой глины. Чтобы стержень не пригорал к отливке, в смесь вводят уголь, графит, мазут, а для обеспечения податливости стержней — древесные опилки и торф.

Широко применяют жидкие самотвердеющие смеси, обладающие способностью течь после приготовления и самопроизвольно отвердевать и упрочняться по всему объему. Такие смеси в течение 8—12 мин после приготовления обладают подвижностью и через 30—50 мин после заполнения стержневого ящика затвердевают. Формовочные и стержневые смеси должны обладать достаточной прочностью, высокой газопроницаемостью, пластичностью, достаточной огнеупорностью и податливостью, пониженной газотворной способностью и другими свойствами.

При приготовлении формовочных и стержневых смесей сушат и просеивают кварцевые пески и формовочные глины, удаляют брызги металла и каркасы стержней из отработанной смеси, перемешивают составляющее в специальных смесителях с последующим выживанием в отстойниках для равномерного распределения влаги и последующего разрыхления.

Для образования рабочей полости литейной формы используют модельный комплект — приспособления, включающие литейную модель, стержневые ящики (один или несколько), модельные плиты, модели литниковой системы. Литейная модель (рис. 8, б) — приспособление, при помощи которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки. Модели бывают неразъемные, разъемные и специальные. Стержни нужных размеров и форм получают в стержневых ящиках (рис. 8, в). Рабочая полость ящика заполняется стержневой смесью. Стержневые ящики бывают неразъемные и разъемные. Модельная плита позволяет оформить разъем литейной формы. На ней располагают различные части модели, включая модели литниковой системы, и набивают одну из парных опок.

Каналы и элементы б (см. рис. 8, а), служащие для подвода расплавленного металла, называют литниковой системой, которая также питает отливки при затвердевании. Она состоит из литниковой чаши для приемки расплавленного металла и подачи его в форму, стояка в виде вертикального или наклонного канала для подачи металла из литниковой чаши непосредственно в рабочую полость формы или к другим элементам системы, шлакоуловителя для удержания шлака и других неметаллических примесей и питателя, через который расплавленный металл подводится в полость литейной формы. Для вывода газов, контроля заполнения формы расплавленным металлом и питания отливки при ее затвердевании служит выпор 5, который выполняют в верхней полуформе.

Изготовление литейных форм — формовка — сводится к уплотнению формовочной смеси для получения точного отпечатка модели в форме и придания ей необходимой прочности. В форме предусматривают вентиляционные каналы для выхода газов, образующихся при заливке расплавленного металла. После извлечения модели форму отделяют и производят сборку опоки. В зависимости от заливаемого металла, размеров и массы отливки применяют сырые, сухие и химически твердеющие формы, которые изготавливают вручную, на формовочных машинах и на автоматических линиях формовки.

Ручную формовку применяют в единичном и мелкосерийном производствах при изготовлении крупных отливок. В большинстве случаев песчаные разовые формы изготавливают в парных опоках по разъемной модели. Последовательность выполнения основных технологических операций формовки в парных опоках показана на рис. 9. Кроме того, в парных опоках производят формовку по неразъемной модели. Для крупных отливок массой в несколько десятков тонн формы изготавливают в специальных ямах (кессонах), дно которых находится ниже уровня пола цеха. Стенки и дно кессона, как правило, облицовывают бетоном или железобетоном.

Машинная формовка — основной метод изготовления литейных форм в парных опоках — осуществляется по модельным плитам. Машинная формовка позволяет механизировать уплотнение формовочной смеси в опоках и удаление модели из формы (самые трудоемкие операции), а также произвести вспомогательные опе-

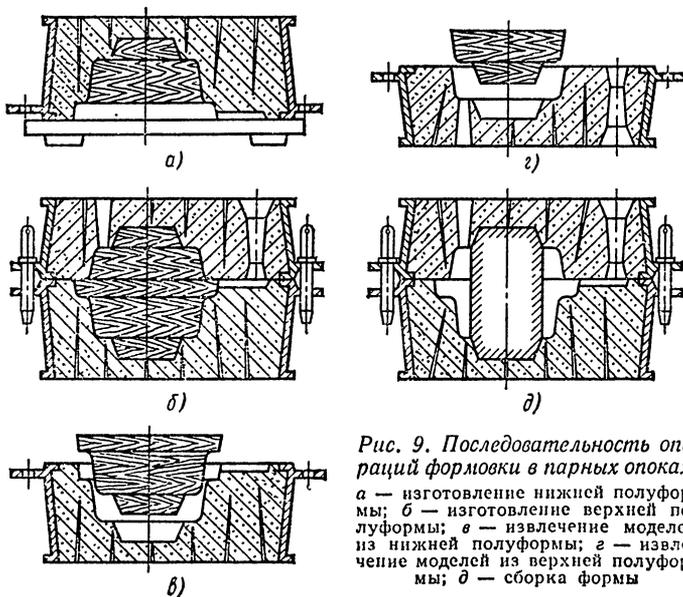


Рис. 9. Последовательность операций формовки в парных опоках: а — изготовление нижней полуформы; б — изготовление верхней полуформы; в — извлечение модели из нижней полуформы; г — извлечение модели из верхней полуформы; д — сборка формы

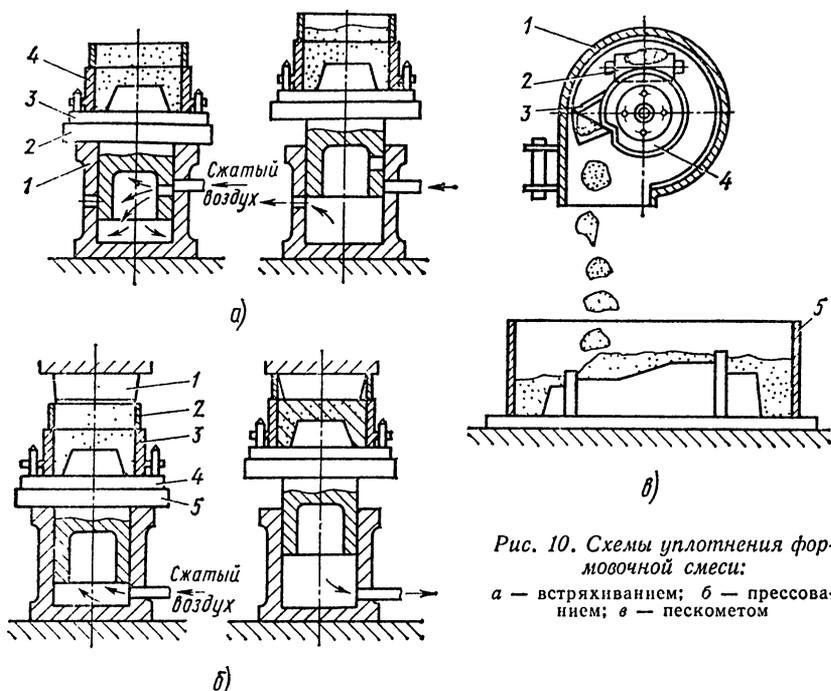


Рис. 10. Схемы уплотнения формовочной смеси:  
 а — встряхиванием; б — прессованием; в — пескометом

рации: поворот полуформ, устройство литниковых систем и др. При машинной формовке улучшается качество уплотнения форм, повышаются точность геометрических размеров отливок и производительность. Уплотнение формовочной смеси производят на встряхивающих и прессовых машинах, а также с помощью пескомета.

При уплотнении форм на встряхивающих машинах (рис. 10, а) стол 2 вместе с модельной плитой 3, опокой 4 и формовочной смесью поднимается сжатым воздухом на высоту 60—80 мм, а затем автоматически происходит выпуск воздуха из полости цилиндра в атмосферу и стол падает, ударяясь о станину 1. Под действием сил инерции лежащие выше слои давят на лежащие ниже и происходит уплотнение формовочной смеси. Встряхиванием можно уплотнять формовочную смесь в опоках любой высоты.

При уплотнении прессованием (рис. 10, б) прессовая колодка 1 давит на поверхность смеси, находящейся в опоке 3 и наполнительной рамке 2. В процессе прессования стол 5 поднимается вместе с модельной плитой 4, опокой и наполнительной рамкой навстречу прессовой колодке 1, которая входит внутрь наполнительной рамки. В результате прессования песчинки сближаются и прочно сцепляются между собой.

При уплотнении пескометом (рис. 10, в) формовочная смесь подается ленточным конвейером 2 в головку 1 и захватывается

ковшом 3, укрепленным на вращающемся роторе 4. Формовочная смесь в ковше выбрасывается в опоку 5. Уплотнение формовочной смеси происходит при помощи кинетической энергии движения порции смеси при падении ее на поверхность уплотняемой формы.

Извлечение моделей из форм при машинной формовке осуществляют с помощью специальных вытяжных и поворотных механизмов, что способствует получению более точных отливок.

Изготовление стержней заключается в формовании сырых стержней, их сушке, отделке и окраске. Для повышения прочности стержней в них закладывают каркасы, а для увеличения их газопроницаемости в них делают вентиляционные каналы. Сушку стержней производят на металлических сушильных плитах при температуре 200—280 °С в течение 2—12 ч. Изготавливают стержни в большинстве случаев на различных стержневых машинах: встряхивающих, прессовых и пескодувных, а также на установках с использованием жидкоподвижных самотвердеющих смесей.

Сборка литейных форм включает установку стержней, контроль точности размеров основных полостей формы, накрывание нижней полуформы верхней, скрепление полуформ перед заливкой.

Заливают формы расплавленным металлом из конических, барабанных и других ковшей, футерованных огнеупорным материалом и высушенных до полного удаления влаги. Температура заливки металла зависит от рода сплава, толщины стенок отливок, их конфигурации и т. п. Заливку форм ведут без перерыва, с полным заполнением литниковой чаши.

После заливки и охлаждения металла отливки выбивают из форм на вибрационных решетках и очищают от приставшей или пригоревшей формовочной смеси в очистных барабанах или дробе-метных устройствах камерного или барабанного типа. При очистке в дробе-метных устройствах отливки подвергаются ударному воздействию струи металлической дроби, выбрасываемой дробе-метным колесом со скоростью до 70 м/с. Обрубку и зачистку отливок от остатков питателей, заусенцев и заливок производят абразивными кругами или на обрезных прессах.

Для изготовления стальных отливок формовочную смесь готовят из высокоогнеупорных материалов с низкой влажностью. Поверхности литейных форм и стержней покрывают огнеупорными красками. Для уменьшения напряжений в отливках при охлаждении увеличивают податливость форм и стержней. Литниковая система должна обеспечивать спокойное заполнение формы, направленное затвердевание отливки и не препятствовать усадке. Для предупреждения усадочных раковин предусматривают установку прибылей — специальных питателей, в которых металл затвердевает в последнюю очередь, поэтому усадочная раковина образуется в прибылях, а не в отливке.

При изготовлении чугунных отливок для уменьшения пригара в формовочные смеси добавляют каменноугольную пыль. Рас-

плавленный чугун подводят в тонкие сечения отливок. При изготовлении отливок из высокопрочного и ковкого чугунов для предупреждения усадочных раковин также предусматривают установку прибылей или питающих бобышек. Чтобы в отливках не было трещин, формовочная смесь должна иметь повышенную податливость.

Для изготовления отливок из цветных сплавов формовочные и стержневые смеси готовят из мелкозернистых кварцевых песков. Влажность смесей должна быть не более 4% во избежание образования газовых раковин. Формовочная смесь должна обладать повышенной податливостью для предупреждения трещин в отливках.

При изготовлении магниевых отливок в формовочную смесь вводят фтористые добавки или другие вещества для предупреждения самовозгорания магния. Расплавленный металл в литейную форму подводят через горизонтальную, сифонную (нижнюю) или вертикально-щелевую литниковые системы с увеличенным поперечным сечением питателей, что позволяет уменьшить скорость истечения металла и обеспечить спокойное заполнение полости формы. Для предупреждения усадочных раковин применяют прибыли.

Механизация и автоматизация процессов литья в песчаные формы заменяет ручной труд машинным, повышает производительность труда, улучшает качество отливок. Для изготовления литейных форм используют различные высокопроизводительные автоматические машины и автоматические линии. Например, при изготовлении мелких (от 0,1 до 3 кг) отливок широко используют автоматические линии для безопочной формовки (рис. 11). Формовочная смесь (рис. 11, а) из бункера 2 сжатым воздухом перемещается в полость между поворотной плитой 1 и подвижной модельной плитой 3. Уплотняется формовочная смесь в результате перемещения модельной плиты 3 штоком 4. После уплотнения формовочной смеси поворотная модельная плита 1 отодвигается (рис. 11, б) специальным устройством. Модель извлекается и поднимается вверх, а готовая часть формы 5 штоком передвигается и плотно прижимается к ранее изготовленным (рис. 11, в). Шток 4 с подвижной плитой возвращается (рис. 11, г) в исходное положение.

После этого все операции по изготовлению литейных форм повторяются. Производительность такой автоматической установки до 240 форм в час.

В производстве широко применяют автоматические заливочные установки. Для создания хороших условий труда и повышения эффективности в литейных цехах применяют комплексную механизацию выбивки форм, очистки, обрубки и предварительной окраски отливок.

Сущность способа литья по *выплавляемым моделям* заключается в процессе получения отливок из расплавленного металла в фор-

мах, которые не требуют разъема, так как рабочая полость образуется в результате удаления (вытекания) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании. Выплавляемые модели изготовляют из модельных составов, состоящих из двух и более компонентов. Для изготовления моделей широко используют модельный состав Р-3, который содержит парафин, синтетический церезин, буроугольный воск и кубовый остаток. Этот состав хорошо заполняет полость пресс-формы, дает четкий и чистый отпечаток. Выплавляемые модели изготовляют в пресс-формах, состоящих из двух и более частей с вертикальным или горизонтальным разъемами. Для извлечения моделей из пресс-форм применяют специальные толкатели.

Модельный состав в пастообразном состоянии запрессовывают в пресс-формы (рис. 12, а) на автоматических установках или вручную. После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель выталкивается в ванну с холодной водой. Затем модели собирают в блоки (рис. 12, б) с общей литниковой системой, которая создается припаиванием, приклеиванием или механическим скреплением частей. В один блок объединяют от 2 до 100 моделей. Формы по выплавляемым моделям изготовляют из специальной огнеупорной смеси, состоящей из связующего, гидродиспергированного раствора этилсиликата, огнеупорного наполнителя — пылевидного кварца и других компонентов. Формы по выплавляемым моделям изготовляют многократным погружением разовой модели в огнеупорную смесь (рис. 12, в) с последующей обсыпкой (рис. 12, г) и отверждением на воздухе. Обсыпку обычно наносят в три-пять слоев.

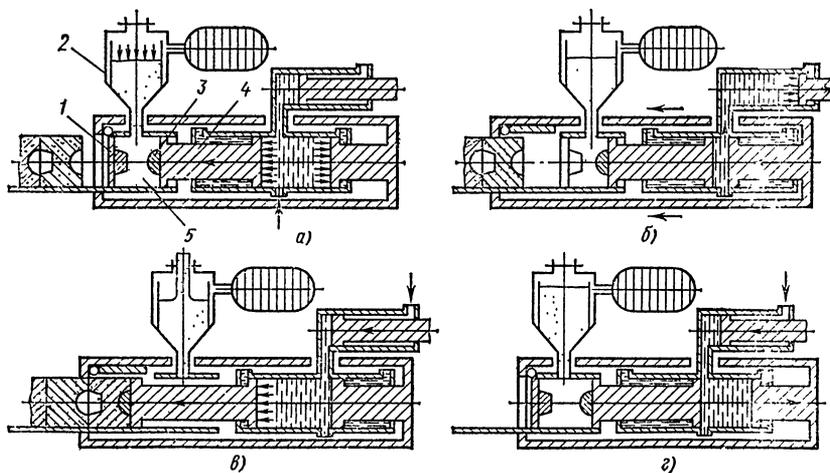


Рис. 11. Схема работы автоматической линии для безопасной формовки:  
а — вдув смеси и прессование; б — протяжка левой полумодели; в — проталкивание формы вперед; г — возврат прессовой плиты и закрытие камеры

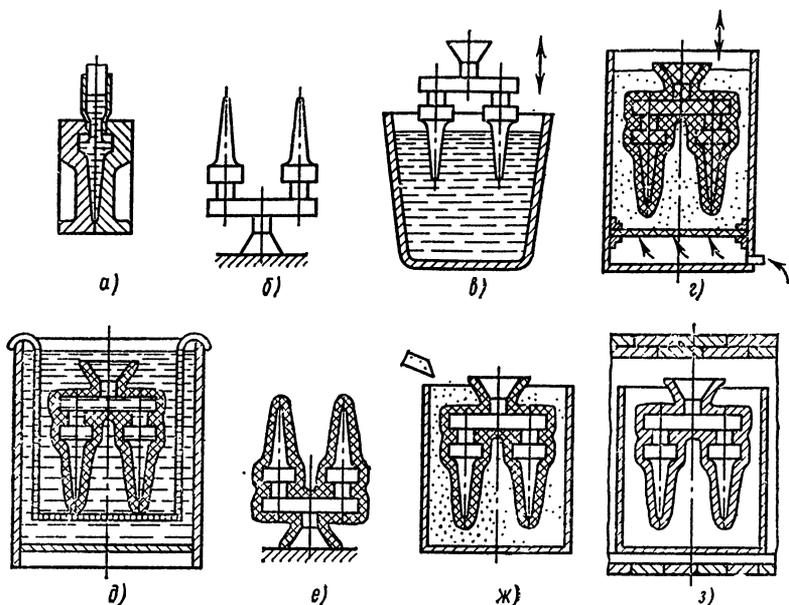


Рис. 12. Последовательность операций формовки при литье по выплавляемым моделям

Модели из форм удаляют выплавлением при нагреве (рис. 12, д, е) в горячей воде или паром. После удаления модельного состава тонкостенные литейные формы заформовывают в опоки (рис. 12, ж), а затем прокаливают в печи (рис. 12, з) в течение 6—8 ч при температуре 850—950 °С для удаления остатков модельного состава, продуктов неполного гидролиза, спекания частичек связующего с частичками огнеупорного материала, испарения воды и т. д.

Заливку форм по выплавляемым моделям производят в нагретом состоянии сразу же после прокалки. Заливка может быть свободной, под действием центробежных сил, в вакууме и т. п. После затвердевания расплавленного металла и охлаждения отливки удаляют из форм механическими, а также химическими методами, очищают, обрубают и, как правило, подвергают термической обработке.

Процесс изготовления заготовок литьем по выплавляемым моделям механизирован и автоматизирован. Литье по выплавляемым моделям обеспечивает получение точных и сложных отливок из любых сплавов, сокращает объем механической обработки, создает благоприятные условия для хорошего заполнения литейных форм, что позволяет получать отливки из сплавов с низкими литейными свойствами. Этим способом получают отливки массой 0,02—15 кг с отверстиями диаметром до 1 мм и толщиной стенок

до 0,5 мм. Литьем по выплавляемым моделям отливают многие детали и заготовки для приборостроительной, авиационной и других отраслей промышленности. Вместе с тем недостатком этого способа является сложность и длительность процесса изготовления отливок, применение специальной дорогостоящей оснастки.

Сущность литья в оболочковые формы заключается в получении отливок заливкой расплавленного металла в формы, изготовленные по горячей модельной оснастке из специальной смеси с термоактивными связующими материалами. Формовочную смесь готовят из мелкозернистого кварцевого песка или из цирконового перемешиванием с термоактивными связующими материалами, в частности, с пудвербакелитом (смола ПК104). В формовочную смесь добавляют увлажнители (керосин, глицерин), растворители (ацетон, этиловый спирт) и другие вещества.

При изготовлении оболочковых форм модельную плиту и модель нагревают в печи до 200—250 °С и пульверизатором наносят разделительную смазку для облегчения последующего съема оболочки, затем плиту 1 закрепляют на опрокидывающемся бункере 2 (рис. 13, а) с формовочной смесью 3 и поворачивают его на

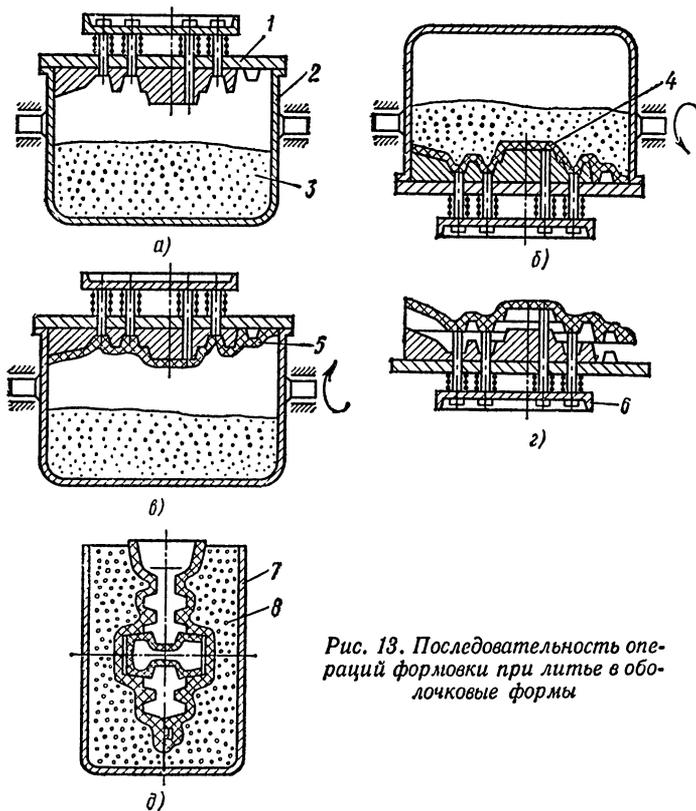


Рис. 13. Последовательность операций формовки при литье в оболочковые формы

180° (рис. 13, б). Формовочная смесь насыпается на модельную плиту и выдерживается 10—30 с. От теплоты модельной плиты термореактивная смола в пограничном слое расплавляется, склеивает песчинки и отвердевает с образованием песчано-смоляной оболочки 4 толщиной 5—15 мм в зависимости от времени выдержки. Бункер возвращается в исходное положение (рис. 13, в), излишки формовочной смеси сыпаются с готовой оболочки 5, модельная плита с оболочкой прокаливается в печи при температуре 300—350 °С, при этом смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка снимается с модели специальными выталкивателями 6 (рис. 13, г).

Кроме оболочковых форм этим способом изготовляют оболочковые стержни, при изготовлении которых используют нагреваемые металлические стержневые ящики. При сборке форм полуформы склеивают специальным клеем на прессах, что обеспечивает высокую прочность шва.

Заливка форм производится в вертикальном или горизонтальном положении оболочки. При заливке форм в вертикальном положении их помещают в опоку 7 и засыпают чугуной дробью 8 для предохранения от преждевременного разрушения (рис. 13, д).

Выбивку отливок проводят на вибрационных решетках или на специальных выбивных установках. При очистке отливок удаляют заусенцы, зачищают на наждачных станках места подвода питателей и подвергают отливки дробеструйной обработке.

В промышленность внедрены многопозиционные автоматические машины и автоматические линии изготовления оболочковых форм и стержней. Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую точность отливок, малую шероховатость поверхности, снижает расход формовочных материалов и объем механической обработки, повышает производительность труда. В оболочковых формах изготовляют отливки массой 0,20—50 кг и толщиной стенок 3—15 мм из всех литейных сплавов для приборов, автомобилей, тракторов, металлообрабатывающих станков и др.

**Изготовление отливок в металлических формах.** Сущность способа *литья в кокиль* заключается в получении отливок из расплавленного металла в металлических формах — кокилях. Формирование отливки происходит в условиях интенсивного отвода теплоты от расплавленного металла и от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю.

Отливки с простой конфигурацией изготовляют в вытряхных кокилях (рис. 14, а). Несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружных поверхностях изготовляют в кокилях с вертикальным разъемом (рис. 14, б). При изготовлении крупных, простых по конфигурации отливок используют кокили с горизонтальным разъемом (рис. 14, в). Кокили с комбинированным разъемом применяют при изготовлении сложных отливок. Полости в отливках оформлены песчаными или металлическими стержнями. Металлические стержни удаляют из отливки до извле-

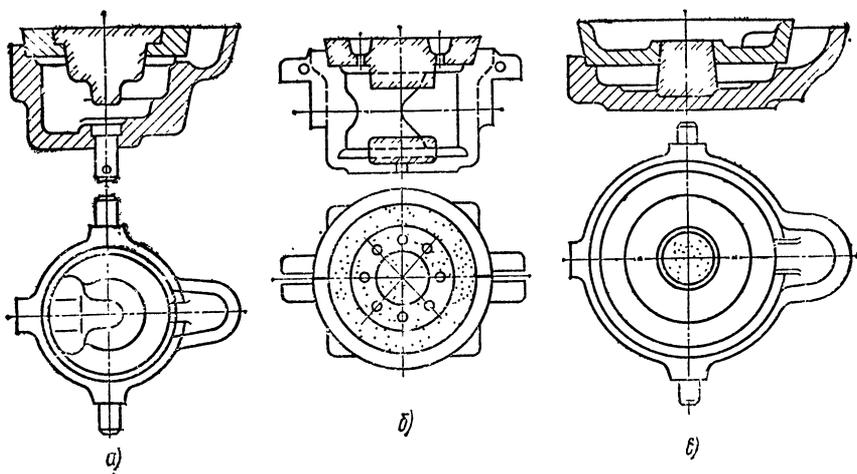


Рис. 14. Конструкции кокилей:

а — вытряхной кокиль; б — с вертикальным разъемом; в — с горизонтальным разъемом

чения ее из кокиля, после образования прочной корки в отливке.

Расплавленный металл в форму подводят сверху; если снизу — сифоном, сбоку — через щелевидный питатель или питатели, расположенные на нескольких уровнях. Для удаления воздуха и газов по плоскости разъема кокиля прорезают вентиляционные каналы. Отливки из полости кокиля извлекают выталкивателями. Заданный тепловой режим литья обеспечивает система подогрева и охлаждения кокиля. Кокили изготавливают из серого и высокопрочного чугунов, стали и алюминиевых сплавов литьем, механической обработкой и другими способами.

Технологический процесс изготовления отливок в кокиль включает нагрев кокиля до 150—300 °С, нанесение на рабочую поверхность слоя теплоизоляционного покрытия толщиной 0,3—0,8 мм, установку стержней, соединение и скрепление частей кокиля, заливку расплавленного металла, выдержку для затвердевания залитого металла и формирования отливки, раскрытие и выбивку отливки. Для уменьшения скорости затвердевания и охлаждения отливки, а также для повышения стойкости кокиля на его рабочую поверхность наносят теплоизоляционные покрытия, приготовленные из огнеупорных материалов (кварцевой муки, талька, графита и др.) и связующего материала (жидкого стекла).

Все операции технологического процесса механизированы и автоматизированы. Применяют однопозиционные и многопозиционные автоматические кокильные машины и автоматические кокильные линии изготовления отливок. Литье в кокиль позволяет сокращать, а во многих случаях полностью исключить расход формовочных и стержневых смесей, а также трудоемкие операции

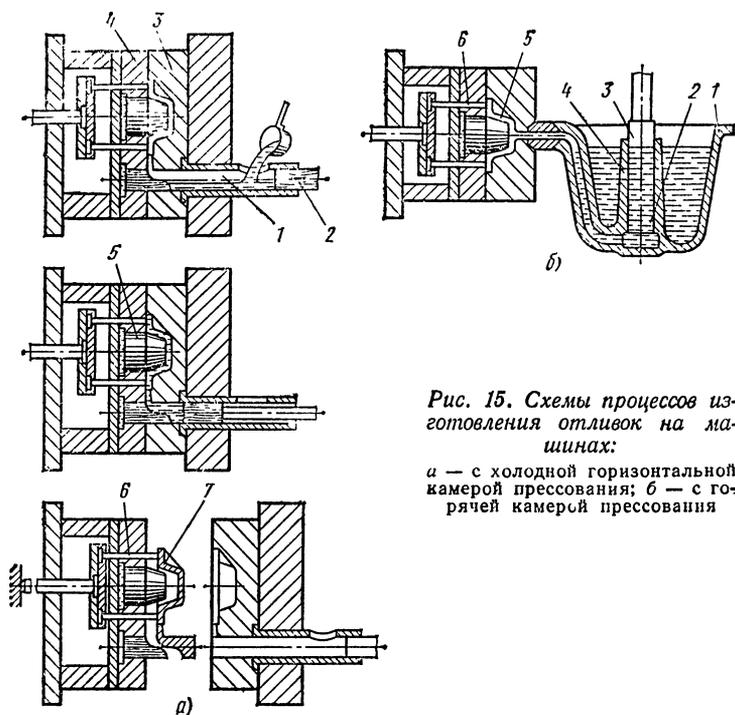


Рис. 15. Схемы процессов изготовления отливок на машинах:

а — с холодной горизонтальной камерой прессования; б — с горячей камерой прессования

формовки и выбивки форм, повысить точность размеров отливок и уменьшить шероховатость поверхности, снизить объем механической обработки отливок. Литье в кокиль позволяет получать разнообразные отливки с толщиной стенок 3—100 мм и массой от 0,1 до 500 кг. Литье в кокиль применяют при изготовлении корпусов приборов, деталей двигателей внутреннего сгорания и других деталей из чугуна, стали и сплавов цветных металлов.

*Литье под давлением* является процессом получения отливок в металлических формах (пресс-формах), при котором заливка расплавленного металла в форму и формирование отливки осуществляются под давлением в условиях интенсивного отвода теплоты от залитого металла и от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивной металлической пресс-форме. Изготавливают отливки на специальных машинах для литья под давлением с холодной или горячей камерами прессования.

При изготовлении отливок на машинах с холодной горизонтальной камерой прессования (рис. 15, а) порцию расплавленного металла заливают в камеру прессования 1. Пресс-форма состоит из подвижной 4 и неподвижной 3 полуформ, в которые металл подается плунжером 2. Полости в отливке получают металлическим стержнем 5. После затвердевания металла пресс-форма

раскрывается, и отливка 7 удаляется из полости выталкивателями 6. Машины с холодной камерой прессования применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг. Давление плунжера на расплавленный металл составляет от 50 до 200 МПа.

В машинах с горячей камерой прессования (рис. 15, б) камера прессования 2 расположена в обогреваемом тигле 1 с расплавленным металлом. При верхнем положении плунжера 3 через отверстие 4 сплав заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз отверстия перекрываются, сплав под давлением от 10 до 30 МПа заполняет полость пресс-формы 5. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла из канала сливаются в камеру прессования, а отливка удаляется из пресс-формы выталкивателями 6. Такие машины используют при изготовлении отливок из свинцово-сурьмянистых, цинковых и алюминиевых сплавов массой от нескольких граммов до 25 кг.

Литье под давлением является высокомеханизированным процессом. Автоматизируют заливку расплавленного металла, очистку рабочих поверхностей пресс-формы, нанесение смазки и т. д. Литье под давлением позволяет получать отливки, максимально приближающиеся по форме, массе и размерам к готовой детали, дает возможность изготавливать сложные тонкостенные отливки с толщиной стенки от 0,8 до 0,6 мм и отверстиями диаметром до 1 мм. Литьем под давлением изготавливают корпуса приборов, декоративные изделия, детали двигателей легковых автомобилей и др. Недостатком этого способа является высокая стоимость пресс-форм, сложность их изготовления, ограниченный срок их службы, опасность появления трещин в отливках.

Сущность *центробежного литья* заключается в получении отливок из расплавленного металла во вращающихся формах. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил на специальных машинах с горизонтальной или вертикальной осями вращения.

В машинах с горизонтальной осью вращения (рис. 16, а) расплавленный металл из ковша 1 заливают по специальному желобу 2 во вращающуюся форму 3 с частотой вращения от 200 до 1400 об/мин. Попадая на внутренние стенки формы, жидкий металл образует полулю цилиндрическую отливку 4, которую после затвердевания извлекают из формы. На таких машинах получают детали и заготовки типа труб, втулок, гильз.

В машинах с вертикальной осью вращения (рис. 16, б) расплавленный металл из ковша 1 заливают во вращающуюся форму 2 с частотой вращения от 160 до 500 об/мин. Растекаясь по дну формы, металл увлекается центробежными силами и прижимается к боковой цилиндрической стенке, образуя вокруг нее кольцевой слой 3. Форма вращается до полного затвердевания металла, после чего форму останавливают и из нее извлекают отливку. На таких

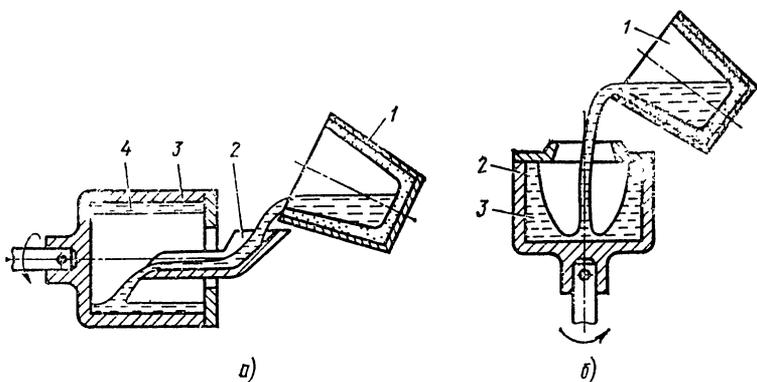


Рис. 16. Схемы изготовления отливок на центробежных машинах с осью вращения:

а — горизонтальной; б — вертикальной

машинах получают отливки небольшой высоты, но большого диаметра: кольца, венцы зубчатых колес и др. При вращении формы вокруг вертикальной оси внутренняя свободная поверхность расплавленного металла имеет форму параболоида вращения, что приводит к разности высоты отливки по высоте. Это снижает возможность применения таких машин. При центробежном литье исключаются затраты на изготовление стержней, уменьшается расход металла на литниковую систему, улучшается заполняемость форм металлом и повышается плотность отливок по сравнению с литьем в песчаные формы.

### § 3. Общие принципы конструирования литых деталей

Конструкция отливки должна отвечать служебным требованиям детали, технологии ее изготовления, технологии механической обработки и эстетическим требованиям. Внешние контуры литой детали должны представлять собой сочетание простых и прямолинейных контуров, сочленяемых плавными криволинейными переходами. Необходимо стремиться к уменьшению габаритных размеров и особенно высоты детали, устранению выступающих частей, больших тонких ребер, глубоких впадин и поднутрений, затрудняющих изготовление литейной формы.

Внутренние полости литых деталей следует конструировать открытыми, без поднутрений, что позволит изготовить отливку без применения стержней. Если при изготовлении отливки обойтись без стержней невозможно, то при конструировании литой детали необходимо предусматривать отверстия и окна максимальных размеров в достаточном числе для обеспечения устойчивости стержней в литейной форме, точности их установки, легкого удаления стержней и каркасов из отливки при ее очистке.

Стенка литой детали объединяет все ее рабочие элементы (гнезда подшипников, фланцы, поверхности скольжения и качения и др.), придает в значительной степени требуемую конфигурацию, жесткость и прочность. Выбор минимально допустимой толщины стенки отливки определяют размеры и сложность отливки, а также литейные свойства сплава.

Характерной особенностью многих отливок является сочетание массивных направляющих с относительно тонкими стенками, применение ребер жесткости и разветвленных внутренних полостей, разделенных перегородками. Для предупреждения возникновения усадочных раковин и трещин в отливках должны быть правильно выполнены переходы от одного сечения к другому (рис. 17). Ребра жесткости создают местные скопления металла, вызывающие образование усадочных раковин и трещин. Для устранения этого дефекта необходимо Х-образные сечения заменять Т-образными, а соединения ребер со стенками отливки

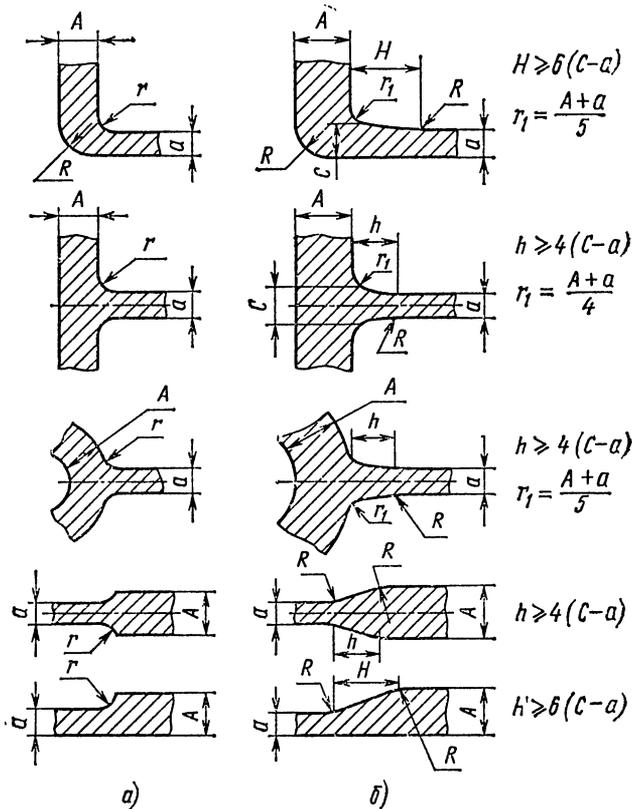


Рис. 17. Рекомендуемые переходы от массивных к тонким сечениям отливок:

а —  $A/a \leq 1,75$ ; б —  $A/a \geq 1,75$

располагать под прямым углом. При пересечении в одной точке нескольких ребер рекомендуется делать кольцевое ребро и присоединять к нему радиальные ребра на достаточном расстоянии друг от друга. Толщина ребер обычно составляет 0,8 толщины стенки отливки.

Для предупреждения усадочных раковин в массивных отливках из сплавов с повышенной усадкой при конструировании должен быть применен принцип направленного или одновременного затвердевания. При направленном затвердевании толщина стенки отливки плавно увеличивается снизу вверх. Кристаллизация металла происходит от тонких сечений отливки, расположенных в нижней части формы, к более массивным сечениям, расположенным в верхней части формы. При одновременном затвердевании сечения отливок имеют одинаковую толщину как в нижней, так и в верхней части детали.

Иногда бывает целесообразным крупные и сложные литые конструкции разделить на более простые элементы или детали с последующим соединением их между собой сваркой, болтовыми соединениями и другими способами. При этом рекомендуется упрощать наиболее сложные и крупные детали и усложнять наиболее простые из стыкуемых деталей. Выступающие части корпусных деталей делают съемными. Для повышения жесткости, уменьшения массы и сокращения объема механической обработки объединяют несколько простых деталей в одну.

Конструкция литой детали должна обеспечивать возможность получения ее габаритных размеров, сечений и массы с заданной точностью. Для этого необходимо предусматривать конструктивные уклоны на необрабатываемых поверхностях. Отдельные бобышки и приливы необходимо объединять в один общий прилив и доводить его до плоскости разъема или основания. Для облегчения пригонки сопрягаемых деталей в ее конструкции предусматривают пояски, отбортовку и т. п., что позволяет компенсировать допустимые отклонения в размерах отливки.

### *Глава III*

## **ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ**

Обработкой давлением называют процессы получения заготовок или деталей машин методами пластического деформирования материалов. Деформирование осуществляют силовым воздействием соответствующего инструмента на исходную заготовку из пластичного материала. В самой идее пластического деформирования, которая состоит в преобразовании заготовки простой формы в деталь более сложной формы того же объема, заложено экономное использование обрабатываемого материала. Обработкой давлением получают не только заданную форму и размеры, но и определяют требуемое качество изделий, надежность их работы. Вы-

сокая производительность процессов обработки давлением, низкая себестоимость и высокое качество продукции привели к широкому применению этих прогрессивных процессов.

## § 1. Виды обработки давлением и типы применяемого оборудования

В зависимости от материала заготовки, формы и размеров деталей, типа производства применяют следующие виды обработки давлением: прокатку, волочение, прессование, ковку, штамповку. Основная масса выплавляемой в сталеплавильных цехах стали поступает в прокатные цехи в виде слитков (рис. 18, а) квадратного или прямоугольного сечения.

*Прокатка* — деформирование металла вращающимися валками для изменения формы и размеров поперечного сечения и увеличения длины предварительно нагретых или холодных заготовок (рис. 18, б).

Валки бывают гладкие (для прокатки листов и лент) (рис. 18, з) и калиброванные, имеющие на рабочей поверхности вырезы (ручьи) в соответствии с требуемой формой (профилем) прокатываемого изделия (рис. 18, и). Совокупность двух ручьев пары валков образует калибр. Обычно прокатка производится за несколько пропусков заготовки между валками с постепенным приближением ее сечения к форме и размерам требуемого профиля. Необходимое число калибров и их правильную конфигурацию (калибровка

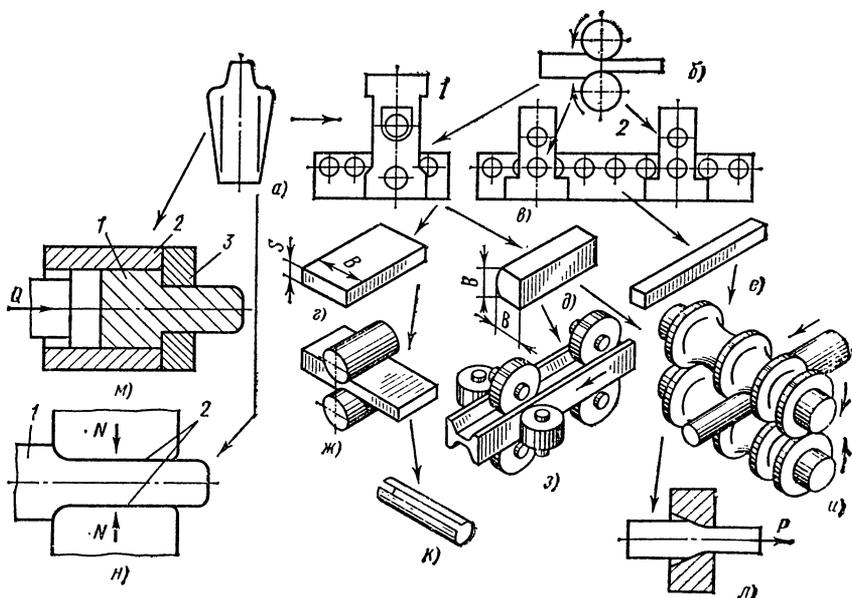


Рис. 18. Способы получения заготовок давлением

валков) устанавливают на основе анализа пластического течения металла при прокатке с учетом технико-экономических показателей процессов. Оптимальные варианты решений рассчитывают с помощью ЭВМ.

Прокатку слитков производят на мощных обжимных станах — слябингах и блюмингах 1 с валками диаметром 800—1400 мм, а более мелких заготовок — на заготовочных станах 2 (рис. 18, в). На блюмингах и слябингах после каждого пропуска (их бывает 12—18) верхний валок автоматически опускается на величину обжатия заготовки, производимого при следующем пропуске. Автоматическая схема управления блюмингом включает в себя электронное устройство для счета рабочих ходов металла через валки и следящую систему с датчиком положения верхнего валка и устройством для программирования обжатий заготовки.

Технологические процессы прокатки обычно состоят из прокатки слитка в полупродукт и прокатки полупродукта в готовый прокат. Полупродуктом являются слябы (рис. 18, г) с размерами  $S = 65 \div 300$  мм и  $B = 600 \div 1600$  мм, блюмы (рис. 18, д) с размерами  $B \times B = 200 \times 200 \div 450 \times 450$  мм, а также более мелкие заготовки (рис. 18, е), получаемые из блюмов на заготовочных станах. Готовый прокат, полученный из полупродукта, применяют либо непосредственно в конструкциях, либо в качестве заготовок для последующейковки, штамповки, сварки и для изготовления деталей обработкой резанием. Совокупность различных профилей проката разных размеров называется сортаментом. Сортамент прокатываемых профилей делят на четыре группы: листовой прокат, сортовой прокат, трубы и специальные виды проката.

Листовой прокат (рис. 18, ж) получают прокаткой слябов на листовых станах. Листы толщиной 4—160 мм относят к толстым листам, а толщиной 0,2—4 мм — к тонким. Листы толщиной менее 0,2 мм называют фольгой. Листовую сталь делят также в зависимости от ее назначения, например, на электротехническую, авто-тракторную, судостроительную и т. д. Листы из холоднокатаной стали имеют большую точность по толщине и лучшую поверхность, чем точность и поверхность листов из горячекатаной. В процессе высокоскоростной прокатки бесконтактные (например, радиоизотопные) приборы измеряют толщину полосы и подают соответствующие сигналы в систему ее автоматического регулирования.

Сортовой прокат — простой (в сечении квадрат, круг, прямоугольник, шестигранник) и сложной — фасонной формы (двутавровые балки, швеллеры, рельсы, уголки и т. п.) прокатывают на сортовых станах из блюмов или заготовок, пропуская их через ряд (9—15) соответствующих калибров (рис. 18, з, и). Чем сложнее профиль готового проката и чем больше его размеры отличаются от профиля и размеров исходной заготовки, тем больше калибров требуется.

Трубы получают сваркой заготовок (рис. 18, к), свернутых из полосы (сварные трубы диаметром 10—1420 мм), или прокаткой

на автоматических трубопрокатных станах из заготовок круглого сечения (бесшовные трубы диаметром 30—650 мм). Специальные виды проката: колеса и бандажи для железнодорожного транспорта, зубчатые колеса, шары, периодические профили (с периодически изменяющейся формой и площадью поперечного сечения вдоль оси заготовки) и т. д. получают на прокатных станах специальных конструкций.

Для прокатного производства характерны принципы непрерывности технологических операций, комплексная механизация и автоматизация на базе ЭВМ, позволяющих автоматически вести технологические процессы на наивыгоднейших режимах.

*Волочение* заключается в протягивании заготовки с усилием  $P$  (рис. 18, л) через сужающееся отверстие в инструменте, называемом волокой. Конфигурация отверстия определяет форму получаемого профиля. Исходными заготовками служат прокатанные или прессованные прутки и трубы. Волочением получают проволоку диаметром 0,002—10 мм, фасонные профили; калибруют трубы диаметром 0,3—200 мм и прутки диаметром 3—150 мм. Волочение производят в холодном состоянии, что обеспечивает высокую точность размеров и хорошее качество поверхности.

*Прессование* — это выдавливание усилием  $Q$  заготовки 1 (рис. 18, м) из контейнера 2 через отверстие в матрице 3, соответствующее сечению выдавливаемого профиля. Исходной заготовкой является слиток или прокат. Прессованием получают прутки диаметром 3—250 мм, трубы диаметром 20—400 мм со стенкой толщиной 1,5—12 мм и другие профили, сплошные и полые, с постоянным или переменным поперечным сечением. Точность и возможная сложность получаемых профилей больше, чем при прокатке.

*Ковка* — это деформирование усилием  $N$  нагретой заготовки 1 (рис. 18, н) рабочими поверхностями 2 универсального инструмента (бойка) при свободном течении металла в стороны. Исходными заготовками могут быть слитки, блюмы, сортовой прокат. Ковкой получают разнообразные по форме и размерам поковки массой до 300 т, которые служат заготовками для последующей обработки резанием.

*Штамповка* — это обработка заготовок из сортового и листового проката давлением с помощью специального инструмента — штампа. Ее широко применяют для серийного и массового производства заготовок и деталей в машиностроительной, приборостроительной, электростроительной, электротехнической и других отраслях промышленности. Многообразие машин для обработки давлением можно свести к нескольким основным типам в зависимости от характера воздействия рабочих частей машины на деформируемую заготовку.

*Молоты* — машины ударного действия со скоростью деформирования  $v_d$  до 9 м/с. Сжатый пар или воздух поступает поочередно в верхнюю полость рабочего цилиндра 1 (рис. 19, а) для нанесения удара верхним бойком или штампом 2 по заготовке 3, находя-

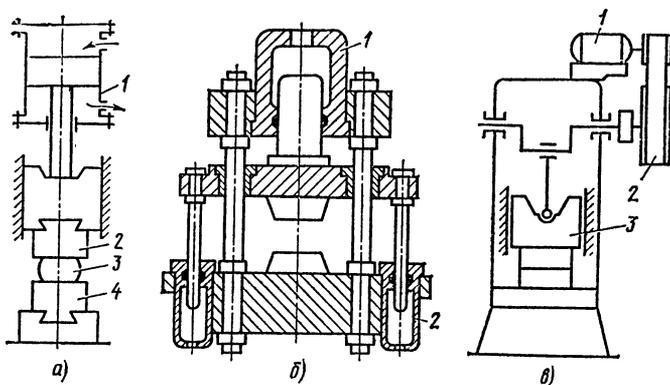


Рис. 19. Машины для обработки давлением

щейся на нижнем бойке или штампе 4, и затем в нижнюю полость для подъема рабочих (падающих) частей молота.

Гидравлические прессы — машины статического действия ( $v_d$  до 0,3 м/с). Усилие для деформирования заготовки создается рабочей жидкостью высокого давления (20—30 Мн/м<sup>2</sup>), поочередно поступающей в рабочие 1 и возвратные 2 цилиндры прессов для опускания и подъема рабочих частей прессы (рис. 19, б).

Механические прессы — машины статического действия ( $v_d$  до 0,5 м/с). Деформируют заготовку (рис. 19, в), используя энергию, накопленную массивным маховиком 2, который вращается электродвигателем 1. Преобразование вращательного движения в возвратно-поступательное движение ползуна 3 осуществляется кривошатуновым механизмом.

Ротационные машины деформируют заготовку вращающимся инструментом. К таким машинам относятся, например, прокатные станы. В зависимости от технологического назначения машины имеют характерные конструктивные особенности и, соответственно, их можно разделить на машины для холодной, горячей объемной штамповки, листовой штамповки и т. п. Машины должны иметь достаточно жесткую станину, развивать большие рабочие усилия, обеспечивать высокую производительность. Применяют высокоскоростные машины и установки ( $v_d$  до 300 м/с), использующие энергию гидравлического удара, взрыва, электрического разряда в жидкости и импульсного электромагнитного поля.

Машины для обработки давлением бывают как вертикального исполнения (молоты, большинство прессов), так и горизонтального (горизонтально-ковочные машины и др.). Машины для обработки давлением оснащают различными средствами механизации и автоматизации, программным управлением и телевизионным контролем параметров технологических процессов.

## § 2. Физико-механические основы обработки давлением

Для правильного выбора машин, проектирования технологических процессов и рациональной геометрии инструмента необходимо знание физико-механических основ обработки давлением. Обработка давлением основана на пластичности материалов, т. е. их способности получать пластические деформации. Как упругие, так и пластические деформации осуществляются в твердых телах в результате относительного смещения атомов. При упругих деформациях смещения атомов из положений равновесия небольшие и они увеличиваются пропорционально увеличению сил, вызвавших это смещение (закон Гука). С ростом величины упругих деформаций потенциальная энергия твердого тела возрастает до определенного предела, после чего атомы смещаются на расстояния, большие межатомных, и остаются в новых положениях устойчивого равновесия. Сумма таких смещений создает пластическую деформацию или же остаточное изменение формы и размеров твердого тела в результате действия внешних сил.

Величину формоизменения оценивают степенью деформации  $\epsilon$ . В простейшем случае для операции осадки (рис. 20, а) заготовки  $\epsilon = \frac{H_{заг} - H}{H_{заг}} 100\%$ , где  $H_{заг}$  и  $H$  — высота заготовки соответственно до и после осадки.

Силы взаимосвязи атомов противостоят действию внешних сил, и поэтому твердое тело оказывает сопротивление деформированию. Последнее характеризуют величиной удельного усилия (напряжения  $\sigma$ ), вызывающего пластическую деформацию при данных условиях деформирования.

Напряжения и деформации в объеме деформируемого тела распределены неравномерно. Напряжения на поверхностях контакта можно рассчитать методами, известными из теории обработки давлением. Если нормальное напряжение  $\sigma_n$  (направленное перпендикулярно к контактной поверхности) постоянно по всей поверхности контакта заготовки 1 с инструментом 2 (рис. 20, а) или заменено его средней величиной  $\sigma_{ср}$  в случае неравномерного распределения  $\sigma_n$  по контактной поверхности (рис. 20, б), то деформирующее усилие  $P = \sigma F$  или  $P = \sigma_{ср} F$ , где  $F$  — площадь

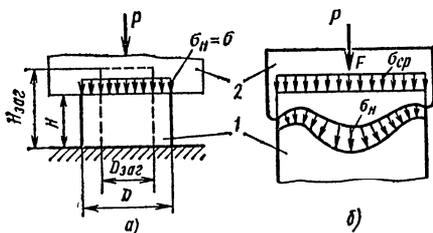


Рис. 20. Напряжения и деформации при обработке давлением

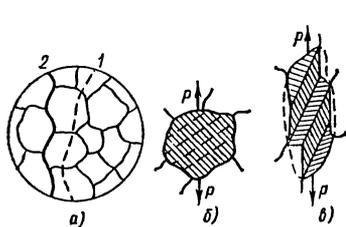


Рис. 21. Схемы деформирования зерен материала

проекции контактной поверхности на плоскость, перпендикулярную к направлению деформирующего усилия. Определение деформирующего усилия требуется для выбора машин для обработки давлением и для расчета инструмента на прочность.

Сопротивление деформированию и пластичность металла зависят от его химического состава, температуры, скорости деформации и схемы нагружения. Так, с повышением содержания углерода и легирующих элементов в стали ее пластичность понижается, а сопротивление деформированию растет. Повышение температуры приводит к увеличению пластичности металла и снижению его сопротивления деформированию, что часто используют, применяя нагрев заготовок перед обработкой давлением. Повышение скорости деформации (изменение степени деформации в единицу времени) снижает пластичность и увеличивает сопротивление деформированию, однако при очень высоких скоростях (например, при электромагнитной и взрывной штамповке) для многих металлов допустимы чрезвычайно большие степени деформации без разрушения. Схема нагружения, создающая всестороннее неравномерное сжатие заготовки, способствует повышению пластичности металла и его сопротивления деформированию. Поэтому, например, в процессах пресования металл проявляет большую способность к пластической деформации, чем при волочении.

Пластичность, а следовательно, и технологические возможности обработки давлением следует рассматривать не как неизменное свойство какого-либо материала, а как его состояние, зависящее от условий обработки. Следует создавать комплекс условий (мелкозернистая структура металла, соответствующие температура и скорость деформации), в которых некоторые металлы переходят в состояние сверхпластичности.

Процессы обработки давлением в состоянии сверхпластичности, позволяя осуществлять огромные деформации металлов и сплавов при пониженном сопротивлении их деформированию. При этом несколько технологических операций совмещают в одной операции и для обработки давлением используют менее мощное оборудование. Дальнейшее совершенствование технологии обработки давлением базируется на глубоком изучении природы пластической деформации.

*Холодная пластическая деформация* металлов возникает в результате изменения формы и размеров зерен (внутрикристаллитная деформация) и их относительного перемещения (межкристаллитная деформация). В первом случае деформирование проходит по самим зернам (след 1 на рис. 21, а), во втором — по границам зерен (след 2). Основную роль в процессах пластического формообразования играет внутрикристаллитная деформация, так как при межкристаллитной холодной деформации возникают повреждения и трещины на границах зерен.

Внутрикристаллитное деформирование происходит в большинстве случаев скольжением. При действии на зерно силы  $P$

(рис. 21, б) на плоскостях, наклоненных к направлению этой силы, возникают касательные напряжения, стремящиеся сдвинуть части зерна относительно друг друга. При достижении критической величины касательного напряжения произойдет скольжение — параллельное смещение тонких слоев кристаллита относительно смежных слоев по плоскостям скольжения (рис. 21, в), которые наблюдаются на поверхности деформированного металла в виде тонких линий. Более глубоко процесс скольжения можно объяснить с помощью теории дислокаций.

Межкристаллитное деформирование — это смещение и взаимный поворот зерен относительно друг друга без нарушения сплошности металла. В результате холодного деформирования зерна металла дробятся и вытягиваются в направлении пластического течения металла, образуя полосчатую микроструктуру. Вместе с зернами вытягиваются и неметаллические включения на их границах, образуя волокнистое строение металла. Искажение кристаллической решетки приводит к возникновению напряжений в металле, изменению механических и физико-химических свойств металла, называемому упрочнением (наклепом). При наклепе возрастает прочность и твердость, снижается пластичность, меняется электропроводность, магнитная проницаемость металла и т. д.

При нагреве холоддеформированного металла и деформировании нагретого металла в нем происходят разупрочняющие процессы, называемые возвратом и рекристаллизацией. Возврат для чистых металлов проявляется при температуре выше  $0,3T_{пл}$  и выше. Увеличение амплитуды тепловых колебаний атомов искаженной кристаллической решетки позволяет им вернуться в положение устойчивого равновесия, и остаточные напряжения в металле снимаются. При этом несколько увеличивается пластичность, а полосчатая и волокнистая структура металла не меняется.

Рекристаллизация происходит при увеличении температуры до  $0,4T_{пл}$  для чистых металлов. При этом подвижность атомов достаточна для их перегруппировок, приводящих к возникновению и росту новых равноосных зерен с неискаженной кристаллической структурой взамен деформированных. Наклеп полностью снимается, полосчатая структура переходит в равноосную, а волокнистая структура сохраняется, так как вытянутые неметаллические включения не подвергаются рекристаллизации. Если в процессе деформирования рекристаллизация успевает полностью произойти, деформацию называют горячей.

Обработка давлением существенно влияет на свойства материала. Она позволяет улучшить качество литого металла, так как литая дендритная структура преобразуется в относительно мелкое равноосное зерно. При горячей деформации ликвидируются пустоты и микротрещины внутри слитка, уменьшается его ликвация (неоднородность химического состава) вследствие значительных

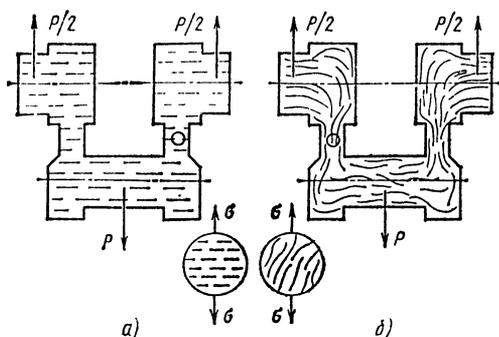


Рис. 22. Макроструктура коленчатого вала

ее эксплуатации. На рис. 22 показана макроструктура и нагружение силами при работе коленчатого вала, изготовленного из заготовки только обработкой резанием (а) и штамповкой (б). Прочность вала, полученного штамповкой, на 10—15% выше прочности вала, полученного обработкой резанием. Для некоторых изделий волокнистость нежелательна. В таких случаях ее устраняют частично или полностью многократным изменением направления течения металла в процессе его деформирования (например, прокаткой листов в продольном, поперечном направлении и по диагонали).

Наклеп при холодной деформации в 1,5—2 раза увеличивает прочность и твердость металла при одновременном снижении его пластичности, поэтому в некоторых случаях изделия специально подвергают упрочняющему деформированию. Учитывая явления, оказывающие влияние на качество металла при пластическом деформировании и сознательно управляя ими, можно создавать такие условия обработки давлением, при которых получаемые детали будут обладать наилучшими служебными качествами.

### § 3. Холодная штамповка

*Холодная штамповка* — это формообразование деталей в штампах холодной пластической деформацией металла заготовки при комнатной температуре. Холодная штамповка является одним из наиболее прогрессивных методов получения качественных заготовок в машиностроительной, приборостроительной, электротехнической и других отраслях промышленности. Она обеспечивает достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности заготовок при малых отходах металла и низкой трудоемкости и себестоимости их изготовления. Производительность автоматической холодной штамповки достигает нескольких сотен заготовок в минуту.

Возможность осуществления процессов холодной штамповки и качество готовых заготовок во многом определяет качество

перемещений слоев металла.

Волокнистое строение деформированного металла приводит к анизотропии его свойств (прочность и ударная вязкость металла вдоль его волокон выше, чем поперек), поэтому течение металла при обработке давлением следует направлять так, чтобы волокна совпадали с направлением наибольших напряжений в детали при

исходного материала. В металлургических процессах выплавки металла нужно обеспечить его необходимый химический состав и отсутствие загрязнений металла. Технологические режимы прокатки и термообработки заготовок должны способствовать получению равномерной мелкозернистой структуры металла. Нужно обеспечить правильные условия хранения металла на складе и каждую новую партию металла проверить на штампуемость. Чем больше штампуемость металла, тем более сложные изделия и с наименьшими трудностями можно получить из него холодной штамповкой.

Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок: удаление окалины, загрязнений и поверхностных дефектов. Заготовки обычно смазывают для снижения усилий штамповки, повышения стойкости инструмента, обеспечения качества поверхности и предотвращения трещин и других дефектов деталей. Для создания прочного разделительного слоя между инструментом и заготовкой поверхность последней покрывают промежуточным слоем (например, фосфатирование, омеднение, цинкование и др.).

В процессах холодной штамповки непрерывно меняется не только форма, но и структура металла и его физико-механические характеристики. Возникающий при этом наклеп металла в некоторых случаях ограничивает возможности формообразования, поэтому процессы холодной штамповки часто выполняют за несколько технологических переходов с постепенным приближением к окончательной форме и размерам готовых деталей и с промежуточным отжигом для восстановления пластических свойств металла.

В зависимости от характера деформирования и конструкции штампов, которые определяют тип штампуемой заготовки, холодную штамповку делят на объемную (сортового металла) и листовую (листового металла). Объемную штамповку выполняют на прессах или специальных холодноштамповочных автоматах. Ее основными разновидностями являются: высадка, выдавливание и объемная формовка.

*Высадка* — это осадка части заготовки, т. е. образование местных утолщений требуемой формы, например, головок болтов, винтов и заклепок. Можно высаживать утолщения, концентричные и эксцентричные относительно оси стержня, как на концевых, так и на срединных участках заготовок. Заготовкой обычно служит холоднотянутый материал в виде проволоки или прутка диаметром 0,5—50 мм из черных и цветных металлов. Высадкой изготовляют стандартные и специальные крепежные детали, а также другие детали массового производства, например, кулачки и зубчатые колеса заодно с валом, детали электронной аппаратуры, электрические контакты и т. п. При высадке за один удар отношение длины высаживаемой части заготовки к ее диаметру  $l/d$  должно быть не более 2,5—2,8. В противном случае возможен изгиб,

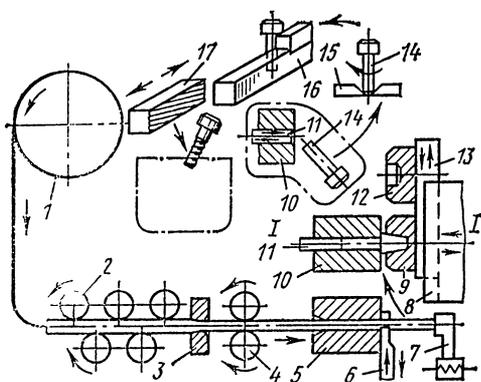


Рис. 23. Технологическая схема штамповки на холодновысадочном автомате

и затем калибруется протягиванием через фильеру 3 для получения более точного диаметра и улучшения качества поверхности. Затем она смазывается и валками 4 подается через отрезную матрицу 5 до упора 7. Нож 6 отрезает заготовку требуемой длины, определяемой положением регулируемого упора 7, и переносит ее на линию высадки 1—1. Предварительный (черновой) инструмент — пуансон 9 заталкивает заготовку в матрицу 10 до упора и производит первую высадку (первый удар). Затем на линию высадки перемещается окончательный пуансон 12 и производит вторую высадку (второй удар), после чего выталкиватель 11 удаляет из матрицы 10 полуфабрикат 14. Рабочие ходы ползуна 8, перемещения пуансонов на салазках 13 и срабатывание выталкивателя 11 осуществляются механической системой валов, зубчатых передач и кулачковых механизмов. После высадки следует операция заострения — снятие фаски резами 15 и накатка резьбы плоской подвижной 17 и неподвижной 16 плашками. Канавки на плашках, точно соответствующие профилю резьбы, заполняются в результате пластического течения металла при внедрении резьбовых гребней плашек в поверхность заготовки. Получают резьбу повышенной прочности и достаточно точной при высокой производительности процесса и экономии металла. Также эффективно накаткой получают различные рифления, шлицы на валах, мелкие зубья и т. п. Подрезку торцов, заострение и накатку резьбы производят на отдельных станках или соответствующими операциями на автоматах-комбайнах, выпускающих окончательно обработанные детали. Шестигранные головки болтов получают обрезкой граней у круглых высаженных головок на обрезных автоматах или высадкой готовых шестигранников, однако из-за затрудненного течения металла в этом случае снижается стойкость инструмента и возможен брак.

**Выдавливание** — это формообразование сплошных или полых изделий вследствие пластического течения металла из полости

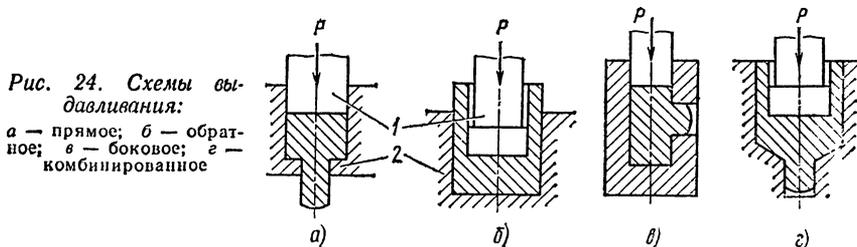
поломки заготовки или образования головки неправильной формы.

Высадку выполняют на холодновысадочных автоматах различных конструкций. Рассмотрим последовательность изготовления крепежных деталей на двухударном автомате с цельными матрицами — инструментами в виде углубленных форм (рис. 23). Проволока из бунта (мотка) 1 проходит через правильное устройство 2

штампа через отверстия соответствующей формы. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливания (рис. 24). При прямом выдавливании металл течет из матрицы 2 в направлении движения пуансона 1. При этом зазор между пуансоном и матрицей должен быть небольшим, чтобы в него не вытекал металл. В противном случае образуется торцовый заусенец, который нужно удалять дополнительной обработкой. Этим способом получают детали типа стержня с утолщением (например, клапаны), трубки или полые стаканы с фланцем.

При обратном выдавливании металл течет навстречу пуансону в кольцевой зазор между пуансоном 1 и матрицей 2 (для получения деталей с дном: экраны радиоламп, тубики и т. п.) или, реже, в отверстие в пуансоне (для получения деталей типа стержня с фланцем). Толщина стенки выдавленных стальных деталей обычно 1,5—5 мм, алюминиевых — более 0,08 мм. При боковом выдавливании металл течет в боковые отверстия матрицы под углом к направлению движения пуансона. Так получают детали с отростками типа тройников, крестовин и т. п. Для их удаления из штампов матрицу делают составной из двух половин с плоскостью разъема, проходящей через осевые линии исходной заготовки и получаемого отростка. При комбинированном выдавливании металл течет одновременно по нескольким направлениям. При этом возможны различные сочетания схем выдавливания, например, прямое и обратное выдавливание.

Заготовками для выдавливания служит проволока (катанка) и горячекатаный прутки нормальной точности. Иногда заготовки вырубает из листа. В этом случае требуется хорошее качество среза и устранение отжигом наклепа краев заготовки после вырубки, чтобы предотвратить разрывы кромок стаканов при выдавливании. Выдавливанием получают детали преимущественно цилиндрической или близкой к ней формы, реже — детали с неконцентричными участками в машиностроительной, приборостроительной, электротехнической и других отраслях промышленности; например, корпуса автомобильных свечей зажигания, конденсаторных батарей, генераторов, выключателей и т. п. Точность размеров и шероховатость поверхностей деталей соответствуют получаемым при обработке резанием.



При выдавливании металл деформируется в условиях неравномерного всестороннего сжатия и поэтому обладает лучшей пластичностью, чем при высадке. Это позволяет осуществлять большие изменения формы заготовок. При выдавливании скорость течения металла превышает скорость пуансона во столько раз, во сколько раз площадь сечения полученной детали меньше площади сечения заготовки. Тепловой эффект при больших скоростях деформации может повышать пластичность металла и снижать его сопротивление деформированию. Размеры деталей могут отличаться от размеров матриц из-за нагрева и упругих деформаций как матриц, так и деталей. На стабильности размеров сказывается износ матриц.

Для выдавливания требуются большие удельные усилия, что в некоторых случаях может приводить к поломкам или низкой стойкости инструмента. Эти обстоятельства часто сдерживают более широкое применение процессов выдавливания в производстве.

Стойкость пуансонов и матриц для выдавливания обеспечивается применением для их изготовления высококачественных инструментальных сталей и правильным конструированием (без резких переходов с плавными сопряжениями между отдельными участками для облегчения течения металла и снижения удельных усилий выдавливания). Силы трения снижают полированием рабочих частей инструмента, применением для каждого типа металла оптимальных покрытий поверхности заготовок и смазок. Также применяют специальные матрицы с подвижной обоймой, которая перемещается в направлении течения металла и изменяет направление сил трения (активные силы трения). Это также способствует более равномерному течению металла по сечению заготовки и разгрузению деталей от остаточных напряжений. Для предохранения матриц от разрушения в некоторых случаях их бандажируют, т. е. запрессовывают с натягом в обоймы.

*Холодная формовка* — это формообразование деталей вследствие заполнения металлом полости штампа. Производится в открытых штампах с вытеканием излишка металла в специальную полость для образования заусенца (рис. 25, а) и в закрытых штампах без образования заусенца (рис. 25, б). После штамповки в открытом штампе заусенец обрезают в специальном обрезающем штампе. Заусенец имеет толщину  $h_z$ , в среднем 1,5—2 мм и его объем возрастает с увеличением различия между конфигурацией исходной заготовки и полости ручья штампа. Следовательно, форма и размеры заготовок должны быть выбраны с учетом наименьшего расхода и наилучшего течения металла при заполнении им полости штампа. Возможность вытекания металла в заусенец позволяет снизить требования к точности размеров заготовок, а также облегчает деформирование, вследствие чего удельные усилия при открытой штамповке меньше, чем при закрытой.

При закрытой штамповке объем заготовки должен быть точно равен объему поковки. Это дает экономию металла, уменьшает

последующую обработку деталей, прочность которых выше, чем при открытой штамповке вследствие устранения перерезания волокон, неизбежного при обрезке заусенца. Однако закрытую штамповку применяют реже, чем открытую, из-за большей стоимости заготовок точного объема, потребности в более мощном оборудовании и меньшей стойкости штампов. В закрытых штампах штампуют в основном детали из цветных металлов.

Холодной формовкой изготовляют пространственные детали сложных форм, сплошные и с отверстиями. Детали обычно получают за несколько переходов, последовательно изменяющих форму заготовки, с промежуточным отжигом для снятия наклепа. Штампы должны быть достаточно массивными, чтобы обеспечить их прочность, уменьшить упругую деформацию для обеспечения повышенной точности размеров деталей (0,03—0,2 мм). При необходимости дальнейшей обработки резанием на заготовках предусматривают припуск — дополнительный слой материала: для шлифования — до 0,4 мм или для полирования — до 0,05 мм. Кроме прессов для холодной формовки применяют высокопроизводительные многопозиционные автоматы с большими технологическими возможностями. В автоматах заготовки последовательно проходят через несколько позиций обработки.

Холодной объемной штамповкой получают готовые детали или близкие к ним заготовки, требующие минимальной обработки резанием. В массовом и крупносерийном производствах следует шире применять холодную штамповку, заменяя ею обработку резанием, или комбинировать эти методы изготовления. При холодной штамповке коэффициент использования металла достигает 95% вместо 30—40% при обработке резанием. Трудоемкость изготовления болтов на холодновысадочных автоматах в 200—400 раз меньше, чем на токарно-револьверных станках. Внедрение холодной объемной штамповки приводит к устранению операций предварительной обработки резанием, связанных с большими потерями металла в стружку и к возрастанию роли точных, отделочных методов (точению, шлифованию и др.).

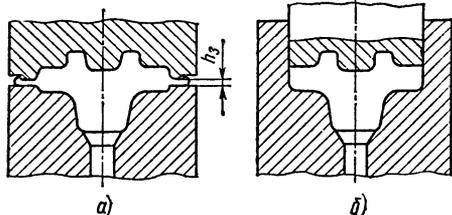


Рис. 25. Схемы формовки

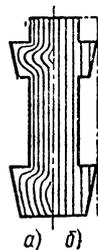


Рис. 26. Направление волокон в детали, полученной:  
а — штамповкой; б — обработкой резанием

Отмечается также более высокое качество штампованных деталей по сравнению с качеством деталей, полученных обработкой резанием. В зависимости от степени деформации у среднеуглеродистых сталей прочность штампованных деталей увеличивается на 30—120% по сравнению с прочностью деталей, полученных обработкой резанием, что в некоторых случаях позволяет отказаться от термообработки и использовать более дешевые исходные материалы: углеродистую или малолегированную сталь вместо термически обработанной высоколегированной дорогостоящей стали. Деформируя различные участки заготовки с разными степенями деформации, можно целенаправленно управлять распределением механических характеристик в детали.

При холодном деформировании устраняется совсем или частично пористость металла, формируется благоприятно ориентированная волокнистая структура металла (рис. 26, а), что придает деталям высокую усталостную прочность при динамических нагрузках. Это позволяет конструкторам уменьшать размеры деталей и их металлоемкость по сравнению с полученными обработкой резанием, не снижая при этом их надежность.

Холодной объемной штамповкой можно получать цельные детали из одной заготовки (например, зубчатые колеса и кулачки за одно целое с валом) взамен деталей, которые раньше собирали сваркой, клепкой и т. п. из двух или более частей. Это не только исключает расходы на сборку, удешевляет продукцию, но и улучшает ее качество, так как цельные детали прочнее и точнее, чем собранные из отдельных частей. Однако для холодной объемной штамповки требуется дорогостоящий специальный инструмент, что позволяет применять ее только в массовом и крупносерийном производствах.

Листовую штамповку выполняют на прессах различных конструкций, часто оснащенных средствами механизации и автоматизации. Процессы листовой штамповки состоят из выполняемых в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых исходным заготовкам (листу, полосе, ленте, трубе) придают форму и размеры деталей.

Разделительные операции (резка, вырубка, пробивка) сопровождаются разрушением металла по определенным поверхностям (рис. 27). *Резка* — это отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных ножницах (рис. 27, а) или в штампах. Обычно ее применяют как заготовительную операцию для разделения листов 3, подаваемых до упора 1, на полосы и заготовки нужных размеров  $B \times L$  для последующей штамповки. Качество поверхности среза обеспечивают необходимая величина зазора  $z$  между режущими кромками, которая составляет  $(0,03 \div 0,05) S$ , где  $S$  — толщина листа, и хорошая заточка режущих кромок ножей 2 и 4.

*Вырубка и пробивка* — отделение заготовки по замкнутому контуру в штампе (рис. 27, б). Вырубным пуансоном 7 оформляют

наружный контур детали (например, шайбы 5) или заготовки для последующей штамповки; пробивным пуансоном 8 — внутренний контур (отверстие). При вырубке отделенная часть, проталкиваемая в матрицу 6, является деталью 5, а при пробивке, наоборот — отходом 9. Характер деформирования заготовки при вырубке и пробивке одинаков (рис. 27, в). В начальный момент пуансон смещает часть заготовки в отверстие матрицы без разрушения металла. При определенной глубине внедрения режущих кромок (тем большей, чем больше пластичность металла) в заготовке возникают трещины, наклоненные к оси инструмента под углом 4—6°. При правильно выбранной величине зазора, зависящей от толщины и механических характеристик металла, а также от сложности вырубаемых деталей, трещины образуют сравнительно гладкий срез (рис. 27, г). Он состоит из блестящего пояска (зона внедрения режущих кромок) и наклонной шероховатой поверхности разрушения (зона прохождения трещин). При неправильном определенном зазоре образуется «рваный» срез, способствующий возможному разрушению вырубленной заготовки при ее последующем деформировании или при работе детали.

Вблизи поверхности среза образуется зона наклепанного металла. Это затрудняет последующую штамповку вырубленных заготовок, повышает магнитные потери в электротехнической стали (особенно в высоких узких зубцах роторов электрических машин). При необходимости наклеп устраняют отжигом или наклепанный слой удаляют обработкой резанием.

Детали повышенной точности с чистым и перпендикулярным срезом получают чистой вырубкой и пробивкой, сущность которой заключается в создании дополнительного сжатия заготовки прижимом 10 (рис. 27, д). При этом в зоне резания создается напряженное состояние объемного сжатия, скалывающие трещины не возникают и срез получается чистым по всей толщине заготовки. Чистой вырубкой изготавливают плоские кулачки, зубчатые колеса, секторы, рейки, пластины постоянных магнитов и т. п.

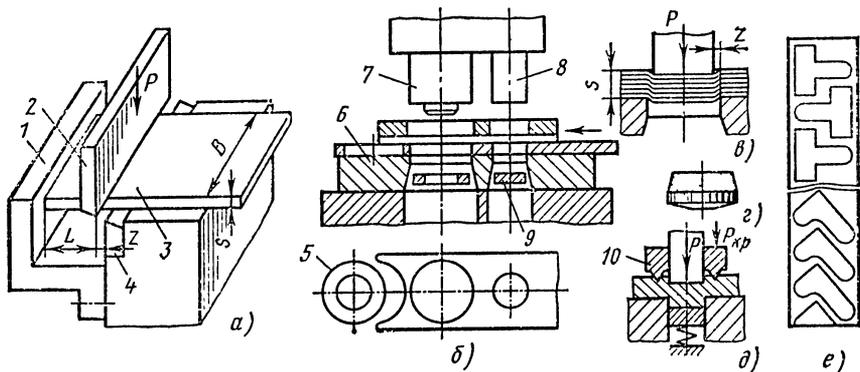


Рис. 27. Разделительные операции листовой штамповки

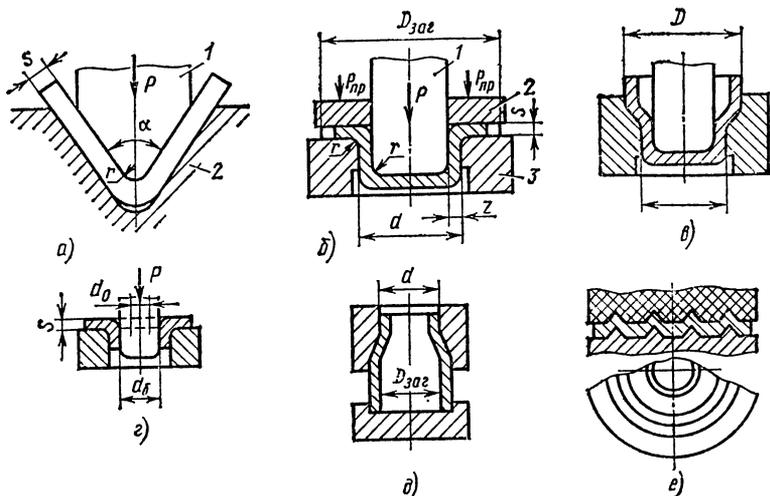


Рис. 28. Формоизменяющие операции

Расположение контуров смежных вырубаемых заготовок на листовом материале называют раскроем. Часть листовой заготовки, оставшаяся после вырубki, называется высечкой. Тип раскроя выбирают из условия наименьшего отхода металла в высечку (рис. 27, e). Оптимальные варианты находят с помощью ЭВМ. Прессы для вырубki и пробивки оснащают ЧПУ, обеспечивающим быстрое (до 100 отверстий в 1 мин при межцентровом расстоянии 250 мм) выполнение операций по заданной программе, устанавливающей расположение и форму отверстий, расстояние между ними. Автоматические инструментальные головки обеспечивают быструю замену инструмента.

Формоизменяющие операции — гибка, вытяжка, отбортовка, обжим, раздача, рельефная формовка выполняются пластической деформацией металла без разрушения заготовок (рис. 28). *Гибка* — придание заготовке криволинейной формы или изменение кривизны заготовки. При гибке пластически деформируется только участок заготовки в зоне контакта с пуансоном 1 (рис. 28, a): наружные слои растягиваются, а внутренние (обращенные к пуансону) сжимаются. При снятии нагрузки растянутые слои заготовки упруго сжимаются, а сжатые растягиваются, что приводит к изменению угла гибки  $\alpha$ , т. е. к пружинению детали, которое возрастает, например, с увеличением  $\alpha$  и  $r/S$ . Это нужно учитывать соответствующей поправкой на угол гибки  $\alpha$ . Точность гибки повышают дополнительной подчеканкой (сжатием) полки детали между плоскостями пуансона 1 и матрицы 2, а также растяжением или сжатием заготовки при гибке для устранения зоны растяжения или сжатия. С уменьшением радиуса  $r$  скругления пуансона возрастает вероятность образования трещин, идущих от наружной

поверхности в толщину заготовки, поэтому в зависимости от пластичности металла  $r_{\min} = (0,1 \div 2) S$ . Вероятность разрушения, а также значение  $r_{\min}$  уменьшаются, если слои заготовки при гибке растягиваются вдоль волокон металла, а заусенцы после вырубki заготовок минимальны и расположены в зоне сжатия, а не растяжения заготовки. Гибку производят в штампах, а также вращающимися фигурными роликами, играющими роль матрицы, на профилегибочных станах. Ленты или полосы, проходя через несколько пар роликов, превращаются в гнутые тонкостенные профили, легкие, но жесткие и достаточно прочные.

*Вытяжка* — образование полой детали из плоской или полой заготовки (рис. 28, б). Вырубленную заготовку диаметром  $D_{\text{заг}}$  укладывают на плоскость матрицы 3 вручную или автоматическим подающим устройством. Пуансон 1 надавливает на заготовку, и она, смещаясь в отверстие матрицы 3, образует стенки вытянутой детали. Формоизменение при вытяжке оценивают коэффициентом вытяжки  $k_b = \frac{D_{\text{заг}}}{d}$ , который в зависимости от механических характеристик металла и условий вытяжки не должен превышать 1,8—2,1.

При  $D_{\text{заг}} - d > (18 \div 20) S$  возможна потеря устойчивости фланца, образуются складки при вытяжке. Их предотвращают прижимом 2 фланца заготовки к матрице.

Детали с большим формоизменением заготовки получают за несколько операций вытяжки с постепенным уменьшением диаметра полой детали и увеличением его высоты (рис. 28, в). При последующих переходах  $k_b = \frac{D}{d} = 1,2 \div 1,4$ . Промежуточный отжиг для устранения наклепа позволяет увеличить  $k_b$  до 1,4—1,6. Опасность разрушения заготовок устраняют также скруглением кромок пуансонов и матриц  $r = (5 \div 10) S$  и применением правильно подобранных смазок для уменьшения сил трения между поверхностями заготовок и инструмента.

При вытяжке зазор между пуансоном и матрицей  $z = (1,1 \div 1,3) S$ . При  $z = (0,65 \div 0,85) S$  производится вытяжка с утонением стенки, при которой длина полой детали увеличивается в основном вследствие уменьшения толщины исходной заготовки.

*Отбортовка* — образование борта (горловины) вокруг отверстия в заготовке (рис. 28, г). Допустимое без разрушения формоизменение характеризуют коэффициентом отбортовки  $k_o = \frac{d_6}{d_o}$ , где  $d_o$  — диаметр отверстия в плоской заготовке. Коэффициент  $k_o$  зависит от механических характеристик металла заготовки и ее относительной толщины  $S/d_o$  и не превышает 1,2—1,8. Наиболее производительна пробивка отверстий под отбортовку, но из-за наклепа и заусенцев уменьшается допустимое значение  $k_o$ ; поэтому лучше комбинировать пробивку с последующим рассвер-

ливанием отверстий. Отбортовку применяют для изготовления кольцевых деталей с фланцами и для образования уступов в деталях для нарезания резьбы, сварки или сборки, а также для увеличения жесткости конструкции при малой ее массе.

*Обжим* — уменьшение периметра поперечного сечения концевой части полой заготовки производится заталкиванием заготовки в сужающуюся полость матрицы (рис. 28, д). За один переход можно получить  $d = (0,7 \div 0,8) D_{\text{заг}}$ . Для большего формоизменения делают несколько последовательных операций обжима.

*Раздача* — увеличение периметра поперечного сечения заготовки коническим пуансоном (операция, противоположная обжиму). Рельефная формовка (операция, противоположная раздаче) — местное деформирование заготовки для образования рельефа в результате уменьшения толщины заготовки (рис. 28, е). Формовкой получают выступы на заготовке, ребра жесткости и т. п. в металлических штампах. Иногда пуансоном или матрицей служит эластичная среда, например, резиновая подушка.

Штампы для листовой штамповки делятся по технологическому признаку в зависимости от выполняемой операции (вырубные, гибочные, вытяжные и т. д.). В зависимости от числа выполняемых операций различают одно- и многооперационные штампы. Многооперационные штампы бывают последовательного действия, т. е. операции выполняются последовательно при перемещении заготовки по нескольким рабочим позициям штампа (рис. 28, б), и совмещенного действия, т. е. операции выполняются на одной позиции.

Для массового и крупносерийного производства целесообразно применять сложные и совершенные штампы. Для штамповки небольшого числа деталей (мелкосерийное производство) сложные и дорогостоящие штампы применять нерационально. В таких случаях применяют упрощенные и быстроперенастраиваемые штампы. При штамповке эластичными средами только один рабочий элемент (пуансон или матрицу) изготавливают из металла. Другим рабочим элементом служит эластичная среда: резина, пластмасса (полиуретан) или жидкость. Для высокоскоростной штамповки — взрывом, электрогидравлическим ударом или электромагнитным полем не требуется дорогостоящего прессового оборудования, штампы просты по конструкции. Импульсным приложением нагрузки разгоняют заготовку до больших скоростей, достигающих 150 м/с, накопленная заготовкой кинетическая энергия расходуется на ее деформирование матрицей или пуансоном. Процесс штамповки длится тысячные доли секунды.

#### § 4. Горячая объемная штамповка

Горячая объемная штамповка — это формообразование деталей (поковок) принудительным перераспределением металла нагретой заготовки в штампе. Это дешевый и производительный

процесс обработки, широко распространенный в машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности. При горячем деформировании в штампах получают наибольшее преобразование формы заготовок с наименьшими затратами энергии. Однако при нагреве заготовок перед штамповкой на их поверхности образуется слой окалины. Наличие окалины снижает качество поверхности и точность размеров поковок, что приводит к необходимости последующей обработки поковок резанием. Горячештампованные поковки обычно являются заготовками для получения из них деталей обработкой резанием. Отличия чертежа поковки от чертежа детали вызваны как технологическими особенностями штамповки, так и ограниченными возможностями получения точности размеров и качества поверхности. Проектирование технологического процесса начинают с разработки чертежа поковки.

Чертеж поковки разрабатывают на основании чертежа готовой детали. Работу начинают с выбора поверхности разъема штампов. Штампы имеют один или два разъема для помещения заготовки и извлечения поковки. Обычно поверхность разъема устанавливают в плоскости двух наибольших габаритных размеров детали, чтобы полости штампа имели наименьшую глубину. Положение поверхности разъема устанавливают также исходя из возможности контроля сдвига штампов и требуемого направления волокон в поковке (рис. 29).

Далее (рис. 30), на поверхности поковок, подлежащих обработке резанием, назначают припуски — удаляемые обработкой резанием слои материала — в зависимости от штамповочного оборудования, габаритных размеров и массы поковок. Кроме того, устанавливают допуски — допустимые отклонения на размеры поковок, которые необходимы из-за возможной их недостапковкой по высоте, сдвига штампов, их износа и т. д. Штапвкой не всегда можно получить требуемую конфигурацию поковки. В таких случаях делают напуски для упрощения формы поковки. В штампах с одной плоскостью разъема нельзя получить сквозное отверстие в поковке, поэтому делают только наметку отверстия с перемычкой шириной  $S$ , которую потом удаляют. Отвер-

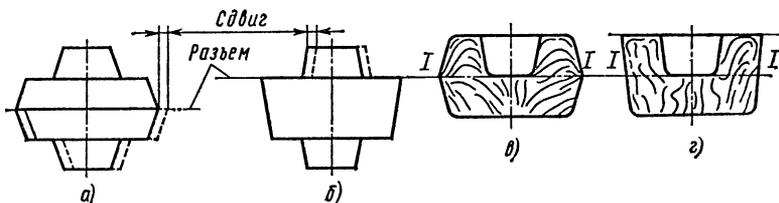


Рис. 29. Выбор поверхности разъема штампов:

*а* — облегченный контроль сдвига штампов; *б* — затрудненный контроль сдвига штампов; *в* — ухудшенная работоспособность детали на срез; *г* — улучшенная работоспособность детали на срез в плоскости *I-I*

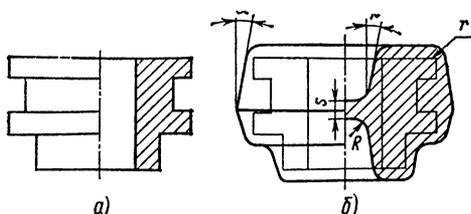


Рис. 30. Пример составления чертежа поковки:

а — деталь; б — поковка

стия диаметром менее 30 мм в поковках не делают, их получают сверлением.

Штамповочные уклоны на боковых поверхностях поволоков облегчают их извлечение из штампов. При штамповке на молотах наружные уклоны  $\alpha = 5 \div 7^\circ$ , а на прессах с выталкивателями  $\alpha = 2 \div 3^\circ$ . Внутренние уклоны  $\beta$  на  $2-3^\circ$  больше наружных,

так как при охлаждении поковки ее внутренние поверхности прижимаются к штампу, а наружные отходят от стенок штампа, уменьшая возможность застревания поковки в штампе.

Радиусы закруглений на пересекающихся поверхностях поковки необходимы для лучшего заполнения полости штампа и предохранения ее от преждевременного износа и поломок, а также для получения качественных поволоков. Наружные радиусы закруглений  $r$  устанавливают в пределах 1—6 мм, а внутренние  $R = (3 \div 4) r$ . При малом  $R$  волокна металла могут быть перерезаны, что ухудшит качество отштампованной детали.

Размеры спроектированной поковки увеличивают на 1—2% для учета температурной усадки и получают чертеж «горячей поковки» (рис. 31, а), по которому изготовляют полость штампа. Горячую объемную штамповку, так же как и холодную формовку, производят в открытых и закрытых штампах (рис. 31). В открытых штампах получают поковки всех типов: удлиненной формы, штампуемые плашмя, и осесимметричной формы, штампуемые в торец. В закрытых штампах получают преимущественно осесимметричные поковки. Всестороннее неравномерное сжатие при больших сжимающих напряжениях, чем при открытой штамповке, позволяет осуществлять большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы без отхода металла в заусенец. Качество поволоков выше вследствие лучшего, более равномерного расположения волокон, отсутствия концентрации деформаций и перерезанных волокон в зоне заусенца (рис. 31, б). Однако пониженная стойкость штампов и потребность в более дорогих заготовках точного объема ограничивают применение прогрессивных процессов закрытой штамповки. В производстве чаще применяют открытую штамповку.

Поволки простой конфигурации штампуют из прокатанных заготовок постоянного профиля в штампах с одной полостью — одноручьевых штампах. Сложные поковки с резкими изменениями сечений по длине (высоте) и с изогнутой осью нельзя штамповать из заготовок постоянного профиля в одноручьевых штампах из-за незаполнения штампа или недопустимо большого отхода металла в заусенец. В таких случаях форму заготовки постепенно приби-

лижают к форме поковки в многоручьевых штампах, имеющих заготовительные и штамповочные ручки (рис. 32). В заготовительных ручьях 1, 2, 3 получают фасонную заготовку — полуфабрикат для штамповки в предварительном (черновом), а затем в окончательном (чистовом) штамповочном ручье. В предварительном ручье 4 завершают основное формообразование поковки, чтобы снизить износ окончательного ручья 5. В окончательном ручье получают готовую поковку заданных размеров. В нем развиваются наибольшие усилия штамповки и его располагают в центре штампа, чтобы избежать больших эксцентричных нагрузок на штамповочную машину.

Те или иные ручки и различные их комбинации применяют в зависимости от конфигурации и размеров поковки, а также от требуемого направления волокон металла, которое обеспечивает соответственно направленное течение металла в ручьях штампа. Общая технологическая схема горячей объемной штамповки показана на рис. 33. Независимо от вида штамповочного оборудования процесс получения поковок состоит из следующих основных этапов: подготовки заготовок, оформления поковок в штампах и отделочных операций.

Подготовку заготовок начинают с определения их объема:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{пок}} + V_{\text{з}} + V_{\text{ок}} + V_{\text{кл}},$$

где  $V_{\text{пок}}$  — объем поковки, определяемый по ее чертежу;  $V_{\text{з}}$  — объем заусенца, определяемый по справочнику, в зависимости от размеров и конфигурации поковок;  $V_{\text{ок}}$  — отход в окалину, при

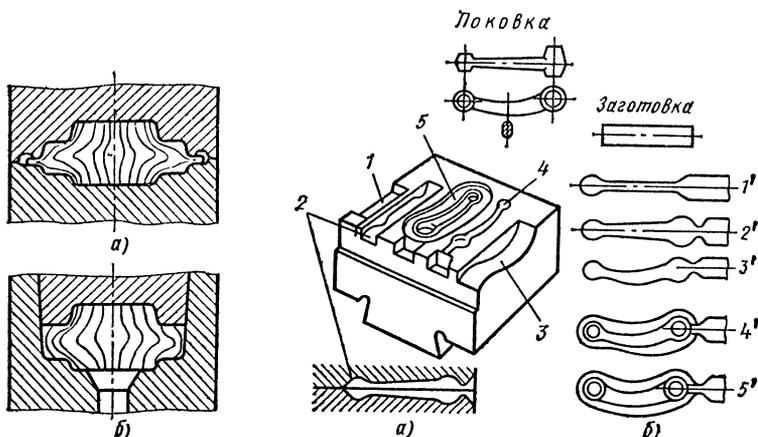


Рис. 31. Схемы процессов и расположение волокон в поковках при штамповке:

а — в открытых штампах; б — в закрытых штампах

Рис. 32. Многоручьевая штамповка:  
а — штамп; б — переходы штамповки

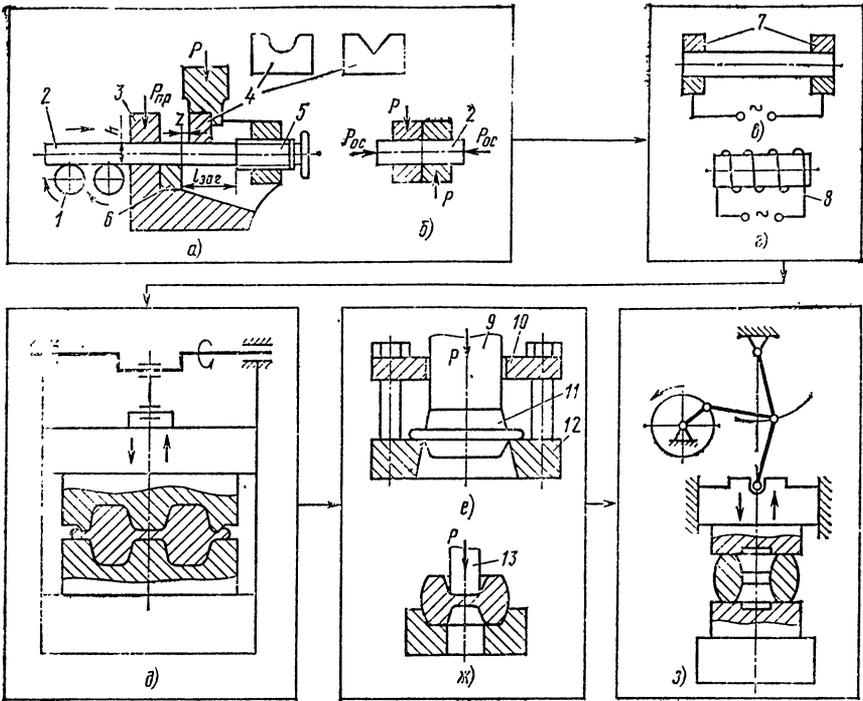


Рис. 33. Общая технологическая схема горячей объемной штамповки

электронагреве составляет 0,5—1%, а в газовой печи 1,5—2% от  $V_{\text{заг}}$ ;  $V_{\text{кл}}$  — объем клещевины (участка длиной  $l_{\text{кл}}$  для захвата клещами поковок, штампуемых плашмя), определяемый исходя из  $l_{\text{кл}} = (0,6 \div 1) D_{\text{заг}}$ .

При штамповке осадкой в торец длину  $l_{\text{заг}}$  и диаметр  $D_{\text{заг}}$  заготовки рассчитывают, зная  $V_{\text{заг}}$  из условия  $1,25 < l_{\text{заг}}/D_{\text{заг}} < 2,5$ . При меньшем отношении  $l_{\text{заг}}/D_{\text{заг}}$  затрудняется отрезка заготовок, а при большем возможен продольный изгиб заготовки при осадке.

В соответствии с  $V_{\text{заг}}$  заготовки нужной длины  $l_{\text{заг}}$  отрезают от прокатанных прутков длиной 2—6 м, поступающих со склада металла в заготовительное отделение кузнечного цеха. Наиболее часто резку производят на ножницах и прессах. Пруток 2 (рис. 33, а) по рольгангу 1 подают до регулируемого упора 5 и прижимают гидравлическим прижимом 3 для удержания его от опрокидывания. Срез верхним 4 и нижним 6 ножами производится по схеме, аналогичной представленной на рис. 27, а. Искажение торцов заготовки ограничивается в допустимых пределах правильной величиной зазора  $z$  между ножами ( $z$  составляет 2% от  $d_{\text{заг}}$ ). При резке заготовок из легированных сталей

в холодном состоянии на торцах заготовки образуются трещины, приводящие к получению дефектных поковок. Для их предотвращения прутки подогревают перед резкой до 400—500 °С.

Точность отрезанных на ножницах заготовок по длине составляет  $\pm 1,0 \div \pm 5,0$  мм. Уменьшение расхода металла на детали тесно связано с точностью размеров и объема заготовок для штамповки. Увеличение объема заготовок для перекрытия колебания их размеров и гарантии заполнения штампов приводит к потерям металла и дополнительным затратам на обработку. Поэтому стремятся повышать качество среза и точность заготовок по длине, применяя резку на кривошипных прессах во втулочных ножах с дополнительным осевым сжатием прутка силами  $P_{ос}$  (рис. 33, б). При такой резке точность по длине составляет  $\pm 0,1$  мм. В результате разброса колебания размеров прутков при обычной точности проката отклонения в объеме заготовок при одинаковой их длине достигают 4,5—9%. Разработаны способы резки заготовок с дозированием металла по объему. Данные, полученные автоматическим измерением фактического диаметра (или взвешивания) каждого прутка, обрабатываются на ЭВМ, которая выдает сигнал на корректировку положения подвижного упора ножиц или штампа (при уменьшении  $d_{заг}$  увеличивается  $l_{заг}$ , и наоборот). Точный ровный срез получают также при резке заготовок из цветных и черных металлов на ножовочных и дисковых механических пилах.

Нагрев заготовок перед штамповкой в значительной степени определяет качество, производительность и стоимость продукции. Заготовки должны быть нагреты равномерно по всему объему до заданной температуры (для среднеуглеродистой стали до 1200 °С), чтобы можно было избежать температурных напряжений и трещин. При превышении температуры нагрева происходит перегрев — интенсивный рост зерен, ухудшение качества металла. Перегрев можно устранить при последующем деформировании металла или термообработкой. При дальнейшем повышении температуры (для стали свыше 1350 °С) возникает пережог — неисправимый брак, заключающийся в окислении и расплавлении границ зерен с полной потерей пластичности металла.

При нагреве должно быть минимальное окалинообразование (окисление) и обезуглероживание поверхности заготовок, чтобы избежать чрезмерных потерь металла и затрат на удаление дефектного слоя. Обезуглерожженный слой при большой его глубине (до 2 мм) может остаться на поверхности детали после удаления припуска обработкой резанием. Это приведет к пониженной твердости поверхностного слоя детали (он не закаливается) и снизит надежность работы детали, особенно в условиях динамических нагрузок. Правильный нагрев заготовок обеспечивают с помощью автоматических систем регулирования температуры и состава атмосферы в нагревательных устройствах и времени нагрева заготовок.

Наиболее совершенными являются электронагревательные устройства, позволяющие автоматизировать процессы нагрева заготовок. В них легче создать защитную атмосферу для безокислительного нагрева. В электроконтактных установках (рис. 33, *в*) заготовка, зажата медными контактами 7, нагревается при пропускании по ней электрического тока. В индукционных установках заготовка нагревается вихревыми токами, которые индуктируются в ней при прохождении тока высокой частоты по виткам индуктора 8 (рис. 33, *г*). В производстве широко применяют газовые печи с механизированной подачей заготовок в рабочее пространство. В них также производят безокислительный нагрев в защитной атмосфере. Применяют также нагрев в расплавленных солях и стекле, высокая стоимость которого в некоторых случаях окупается большой скоростью нагрева и высоким его качеством.

Большое разнообразие форм и размеров штампованных поковок и сплавов, из которых их штампуют, обусловило применение различных способов штамповки и, соответственно, различных конструкций штампов и кузнечно-штамповочного оборудования.

После штамповки в открытых штампах (рис. 33, *д*) производят обрезку заусенцев и пробивку перемычек в штампах на обрезных кривошипных прессах. При нажатии пуансоном 9 (рис. 33, *е*) на поковку 11 режущие кромки матрицы 12 срезают заусенец по всему периметру поковки и она проваливается в тару. Заусенец снимается с пуансона при его ходе вверх съемником 10 и удаляется в другую тару. Пробивку перемычек для получения сквозных отверстий в поковках производят пуансоном 13 (рис. 33, *ж*). В штампах совмещенного действия обе эти операции выполняются одновременно за один ход пресса.

Обрезку и пробивку мелких поковок из низкоуглеродистых и низколегированных сталей производят в холодном состоянии, в остальных случаях — в горячем состоянии, сразу после штамповки. При холодной обрезке и пробивке качество среза выше, чем при горячей. При соответствующих размерах пуансонов и матриц одновременно с пробивкой и обрезкой можно удалять штамповочные уклоны для уменьшения последующей обработки поковок резанием.

При удалении из штампов, обрезке заусенцев, пробивке перемычек и транспортировке поковки могут искривляться. На изогнутых поковках при обработке резанием на одних участках может быть недостаток, а на других — избыток припуска, что приведет к браку детали. Поэтому при необходимости крупные поковки и поковки из высоколегированных сталей правят в горячем состоянии сразу после обрезки заусенца. Правку производят в чистовом ручье штампа на штамповочной машине либо в совмещенном штампе для обрезки и правки на обрезном прессе. Мелкие и средние поковки правят обычно на винтовых прессах в холодном состоянии после их термообработки и очистки от окалины. Ручьи

правочных штампов изготовляют по чертежу холодной поковки. При холодной правке остаточная изогнутость поковки (как результат ее пружинения) не должна превышать допустимых значений.

Термическую обработку применяют для получения требуемых механических свойств поволоков и облегчения их обработки резанием. Отжиг снимает в поволоках из высокоуглеродистых и легированных сталей остаточные напряжения, измельчает крупное зерно, снижает твердость поволоков и повышает их пластичность и вязкость. Нормализацию применяют в основном для устранения крупнозернистой структуры в поволоках из сталей с содержанием углерода до 0,4%.

Очистку поволоков от окалины производят для облегчения контроля качества поверхности поволоков, уменьшения износа металлорежущего инструмента и правильной установки заготовок на металлорежущих станках. На дробеструйных установках окалину с поволоков, перемещающихся на ленте транспортера, сбивают потоком быстро летящей дроби диаметром 1—2 мм. В галтовочных барабанах окалина удаляется посредством ударов поволоков друг о друга и о металлические звездочки, закладываемые во вращающийся барабан.

Калибровку поволоков (рис. 33, в) применяют для повышения точности их размеров и улучшения качества поверхности. Она заключается в небольшом, обычно холодном обжатии поволоков на кривошипно-коленных прессах повышенной жесткости. В поволоках, подлежащих калибровке, заранее предусматривают соответствующий припуск. Точность размеров поволоков после калибровки составляет 0,05—0,25 мм, поэтому последующую обработку резанием исключают или ограничивают только шлифованием.

В связи с развитием автоматизации производственных процессов возрастают требования к поволокам по соблюдению минимальных припусков, размеров, получению структуры и твердости, наиболее благоприятных для автоматической обработки резанием. Выполнение этих требований обеспечивают правильной, в соответствии с рассмотренными выше положениями, разработкой чертежей поволоков и технологических процессов их изготовления, а также эффективной системой контроля качества продукции.

#### *Глава IV*

### **ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДАМИ СВАРКИ**

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемных соединений из металлов, сплавов и других однородных или разнородных материалов в результате образования атомно-молекулярных связей между частицами соединяемых заготовок. Это один из наиболее распространенных технологических процессов, включающий в себя помимо собственно сварки наплавку,

пайку, напыление и некоторые другие операции. С помощью сварки можно соединить между собой детали из различных металлов и сплавов, керамических материалов, пластмассы. От степени развития сварки во многом зависит уровень технологии в машиностроении, приборостроении, строительстве и других областях народного хозяйства. Сварочная технология позволяет надежно соединять детали любых толщин и конфигураций.

В качестве исходных заготовок для изготовления сварных конструкций применяют продукцию проката — листы, трубы, объемную и листовую штамповки, отливки. Вследствие этого сварная конструкция может иметь очень сложную форму при относительно простой и нетрудоемкой технологии изготовления.

Разработано и внедрено в производство большое число разновидностей сварочных процессов. В зависимости от агрегатного состояния металла в месте соединения во время сварки их подразделяют на способы сварки давлением, осуществляемые с приложением давления в холодном или в подогретом состоянии, и способы сварки плавлением, при которых соединение получают расплавлением соединяемых поверхностей.

## § 1. Сварка давлением

Сущность получения неразъемного сварного соединения двух металлических заготовок в твердом состоянии состоит в сближении идеально чистых соединяемых поверхностей на расстояния  $(2 \div 4) \cdot 10^{-8}$  см, при которых возникают межатомарные силы притяжения. При достижении таких расстояний возможен процесс образования металлических связей, т. е. появление коллективных электронов двух соединяемых поверхностей и их взаимодействие с положительно заряженными ионами кристаллических решеток.

Строение и состояние реальной поверхности соединяемых заготовок характеризуется наличием большого количества дефектов, неровностей и загрязнений. Поверхность любого, даже тщательно отполированного твердого тела всегда волниста, шероховата и имеет множество выступов микроскопической величины, высота каждого из которых, однако, на несколько порядков больше, чем расстояния, необходимые для возникновения сил межатомарного взаимодействия. Вследствие наличия неровностей и выступов действительная поверхность металла в много раз превышает наши представления о ее величине, составленные на основании измерений обычными методами. Кроме того, наружную поверхность металла характеризует наличие нескомпенсированных металлических связей и большое количество дефектов кристаллического строения, что способствует ее активному взаимодействию с внешней средой и приводит к быстрому окислению и осаждению на поверхности жидкости и газов. Практически после любой обработки поверхность мгновенно покрывается тонкой пленкой окислов, а также слоем адсорбированных молекул воды и жировых

веществ. Толщина этого слоя составляет 100—200 молекул и удалить его полностью не удастся, так как этому препятствует возникшая между слоем и поверхностью электрическая связь. Следовательно, даже если создать идеально плоские соединяемые поверхности, при их сближении соединение не может возникнуть из-за слоя окислов и масляных пленок.

Получить прочное неразъемное соединение двух поверхностей в твердом состоянии можно при условии удаления загрязняющих пленок и осуществления затем плотного контакта по всей соединяемой плоскости. Практически при сварке в твердом состоянии этого достигают при приложении к свариваемым заготовкам давления, величина которого должна быть достаточной для смятия всех неровностей в соединяемом сечении. В начальный момент сближения в точках касания разрушается слой осажденных на поверхности примесей и появляются «островки» металлических соединений. При возрастании давления площадь контактирования поверхностей (сближения до расстояний начала действий межатомарных сил притяжения) увеличивается. Вследствие большой плотности контакта соединяемые поверхности не сообщаются с атмосферой, поэтому новых окисных и жировых пленок не образуется, а имевшиеся до этого частично выдавливаются из зоны соединения наружу, частично диффундируют в глубь металла и не препятствуют образованию металлических связей.

Описанный способ может быть применен для заготовок из металлов и сплавов, имеющих относительно небольшое сопротивление пластическому деформированию и достаточно пластичных в холодном состоянии, — Pb, Sn, Zn, Al, Cu. Для заготовок из малопластичных и обладающих высоким пределом текучести металлов приложение давления в холодном состоянии не позволяет получить необходимую степень течения металла вследствие быстрого наклепа. Для высокопрочных материалов можно увеличить пластические свойства и снизить сопротивление деформированию, предварительно подогрев соединяемые поверхности и прилегающие к ним зоны. Благодаря этому удастся при относительно небольших усилиях сжатия удалить загрязняющий слой и активизировать процесс образования металлических связей.

Все методы сварки в твердом состоянии с приложением давления носят название сварки давлением. Различают множество разновидностей способов сварки давлением, которые отличаются между собой источником нагрева либо видом энергии, применяемым для активизации процесса.

*Контактная электрическая сварка*, при которой подогревают соединяемые поверхности проходящим электрическим током и затем их сдавливают, является одним из самых распространенных способов сварки давлением. Сварку производят на машинах, состоящих из источника тока, прерывателя тока и механизмов зажатия заготовок и давления. В качестве источника тока в контактных машинах применяют понижающий трансформатор. Его

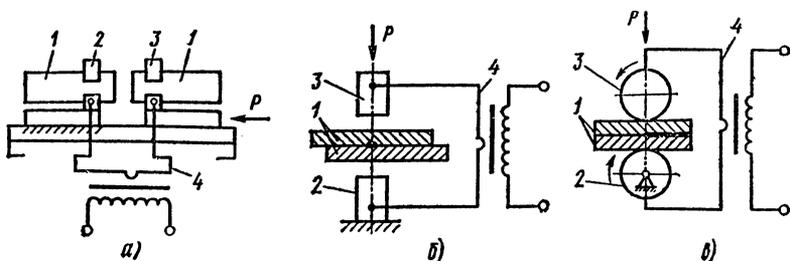


Рис. 34. Схемы контактной сварки:  
 а — стыковой; б — точечной; в — шовной

вторичная обмотка состоит всего из одного витка, либо набранного из медной фольги, либо литого полога, охлаждаемого водой. Большой коэффициент трансформации обеспечивает вторичное рабочее напряжение от 1,5 до 12 В и величины проходящих токов от 10 тыс. до 500 тыс. ампер. Прерыватель тока электромагнитного или электронного типа служит для регулирования времени пропускания тока через нагреваемое сечение. Механизмы зажатия заготовок и давления механического, пневматического или гидравлического типа служат для закрепления свариваемых заготовок и их сдавливания после нагрева.

Контактную сварку по виду получаемого соединения подразделяют на стыковую, точечную и шовную.

*Стыковую контактную сварку* (рис. 34, а) применяют для соединения встык деталей типа стержней, толстостенных труб, рельсов и т. п. Свариваемые заготовки 1 плотно зажимаются в неподвижном 2 и подвижном 3 токоподводах, подключенных к вторичной обмотке сварочного трансформатора 4.

Для обеспечения плотного электрического контакта свариваемые поверхности приводятся в соприкосновение и сжимаются. Затем включается ток. Общее количество теплоты, выделяемое при прохождении тока по вторичной цепи, определяется законом Джоуля—Ленца:  $Q = I^2 R t$ , где  $I$  — сварочный ток, А;  $t$  — время, с;  $R$  — полное сопротивление цепи, Ом.

$$R = 2R_{эл} + R_{заг} + R_k,$$

где  $R_{эл}$  — сопротивление контакта токоподвод—заготовка;  $R_{заг}$  — сопротивление заготовок;  $R_k$  — сопротивление контакта между заготовками.

Так как  $R_k$  по величине значительно превосходит сопротивление любого другого участка, то и максимальный нагрев будет именно в месте контакта между заготовками. При достижении необходимой температуры сварочный ток выключают и производят сдавливание заготовок — осадку.

*Точечная сварка* (рис. 34, б), применяемая в основном для листовых или стержневых конструкций, позволяет получать прочные соединения в отдельных точках. Свариваемые заготовки 1,

собранные внахлестку, помещаются между неподвижным 2 и подвижным 3 электродами, подсоединенными к вторичной обмотке трансформатора 4. После предварительного сдавливания включается сварочный ток, который пропускается в течение времени, необходимого для разогрева места контакта до нужной температуры. Затем ток отключают и производят сдавливание. Образующееся сварное точечное соединение обладает большой прочностью и его можно применять для несущих конструкций. Этот способ широко применяют в авто- и вагоностроении, строительстве, а также при сборке электрических схем и др.

*Шовную сварку* (рис. 34, в) применяют для листовых конструкций для получения прочного и герметичного соединения. Свариваемые заготовки 1 помещаются между двумя роликами-электродами, один из которых 2 может иметь вращательное движение, а другой 3 — вращательное движение и перемещение в вертикальном направлении. Детали сдавливаются с силой, обеспечивающей надежный контакт, а затем одновременно с включением сварочного тока роликам задается вращательное движение со скоростью, необходимой для создания нужного нагрева в контакте. Скорость сварки зависит от величины тока, толщины листов и может составлять несколько метров в минуту. Шовная сварка обеспечивает получение прочных и герметичных соединений из листового материала толщиной до 5 мм.

*Конденсаторная сварка* (рис. 35) является одной из разновидностей контактной электрической сварки. Энергия, необходимая для подогрева места сварки, накапливается в конденсаторах, а затем в процессе разряда преобразуется в теплоту. Величину накопленной энергии можно регулировать изменением емкости конденсаторов и напряжения зарядки.

При замыкании ключа  $K$  влево происходит зарядка конденсатора  $C_p$  от источника постоянного тока. В момент подачи давления на свариваемые заготовки 1 ключ  $K$  автоматически перебрасывается в правое положение. Конденсатор разряжается через первичную обмотку понижающего трансформатора, вторичная обмотка 2 которого соединена с неподвижным 3 и подвижным 4 электродами. При разряде конденсатора продолжительность про-

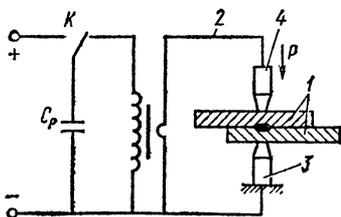


Рис. 35. Схема конденсаторной сварки

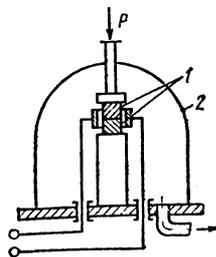


Рис. 36. Схема диффузионной сварки

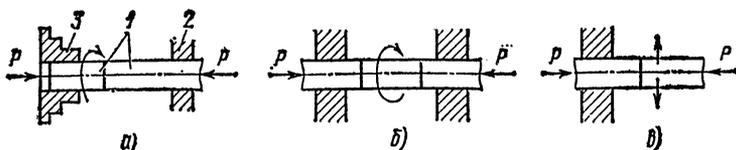


Рис. 37. Схема сварки трением

текания тока составляет  $(0,6 \div 0,8) \cdot 10^{-4}$  с. Кратковременность процесса при достаточно большой мощности разряда обеспечивает локальное выделение теплоты, что позволяет сваривать между собой заготовки из материалов, различных по теплофизическим свойствам. Кроме того, возможность весьма точной дозировки энергии подбором емкости конденсаторов позволяет применить этот способ для соединения заготовок очень малых толщин (несколько десятков микрон). Способ широко применяют в радио- и электротехнической промышленности.

*Диффузионной сваркой* (рис. 36) соединяют заготовки в твердом состоянии в вакууме приложением сдвливающих сил при повышенных температурах. Тщательно зачищенные свариваемые заготовки 1 собирают, помещают в вакуумную камеру 2 [давление  $133 \cdot (10^{-3} - 10^{-5})$  Па], сдвливают и затем нагревают специальным источником тепла до температуры  $0,4T_{пл}$  (температура рекристаллизации). В начальной стадии процесса создаются условия для образования металлических связей между соединяемыми поверхностями. Достаточно высокий вакуум способствует удалению (испарению) поверхностных пленок, а высокая температура нагрева и приложенное давление приводят к уменьшению неровностей поверхностей и сближению их до нужного расстояния ( $4 \cdot 10^{-8}$  см).

Последующая выдержка способствует развитию процессов диффузии атомов материалов, свариваемых заготовок и образованию промежуточных слоев, увеличивающих прочность соединения. Время диффузионной сварки зависит от химического состава соединяемых заготовок, степени их очистки, температуры нагрева и составляет 10—30 мин. Достоинством этого способа является возможность соединения заготовок из разнообразных материалов между собой. Диффузионную сварку применяют на электротехнических, радиотехнических и других предприятиях.

*Сварка трением* образует соединение в результате пластического деформирования заготовок, предварительно нагретых в месте контакта теплотой, выделившейся в результате их трения (рис. 37). Основным отличием ее от других видов сварки давлением с подогревом является способ введения тепла в свариваемые поверхности. Свариваемые заготовки 1 устанавливают соосно в зажимах машины, один из которых 2 неподвижен, а второй 3 может иметь вращательное и поступательное — вдоль оси заготовок — движение (рис. 37, а). Заготовки сжимаются силой  $P$

и включается механизм вращения. На соединяемых поверхностях возникают силы трения; работа на преодоление этих сил превращается в теплоту, выделяющуюся на поверхности трения. При достижении температуры поверхностей  $980\text{--}1300\text{ }^\circ\text{C}$  вращение резко прекращают и заготовки дополнительно сдавливают (процесс проковки).

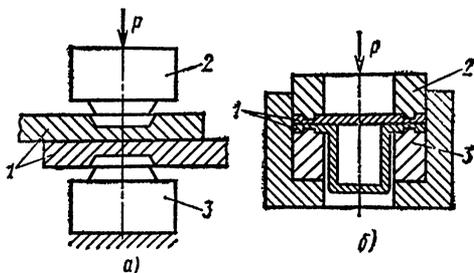


Рис. 38. Схемы холодной сварки:  
а — точечной; б — по контуру

Иногда сварку трением производят через промежуточный вращаемый элемент (рис. 37, б) или заменяя вращательное движение вибрацией (рис. 37, в). Сваркой трением можно сваривать заготовки диаметром от 0,75 до 140 мм. Главные из ее достоинств — высокая производительность, малая энергоемкость процесса, возможность сварки заготовок из материалов различных сочетаний, стабильность качества и отсутствие таких вредных факторов, как ультрафиолетовое излучение, газовые выделения, брызги.

*Холодная сварка* — один из способов сварки давлением без подогрева. Для ее осуществления с соединяемых поверхностей вращающейся металлической щеткой, шабрением и последующим обезжириванием тщательно удаляют окислы и загрязнения. Детали 1, подлежащие сварке, помещают между неподвижным 3 и подвижным 2 пуансонами (рис. 38). Оба пуансона имеют выступы, которые при сварке должны быть полностью вдавлены в поверхность металла. Это необходимо для создания значительного пластического течения металла и удаления из зоны контакта загрязненного слоя.

Необходимая величина пластической деформации зависит от силы  $P$ , свойств металла, толщины заготовки и способа подготовки поверхности. Холодную сварку применяют для соединения заготовок из цветных металлов и сплавов, для заварки оболочек кабелей, сварки корпусов полупроводниковых приборов, а также в электромонтажном производстве для сварки проводов, шин, троллейных токопроводов и др.

## § 2. Сварка плавлением

При сварке плавлением силы межатомарного взаимодействия возникают между материалами двух свариваемых заготовок, находящихся в месте соединения в жидком состоянии. Для получения неразъемного соединения кромки свариваемых заготовок расплавляются с помощью мощного источника теплоты; расплавленный металл образует общую сварочную ванну, смачивающую

оставшуюся твердой поверхностью соединяемых элементов. При этом происходит смешивание расплавленного металла соединяемых заготовок и установление межмолекулярных связей. В процессе расплавления устраняются все неровности поверхностей, органические пленки, адсорбированные газы, окислы и другие загрязнения, мешающие сближению атомов. По мере удаления источника нагрева жидкий металл остывает, начинается процесс кристаллизации с образованием сварного шва, соединяющего заготовки в единое целое. Кристаллизация начинается от частично оплавленных зерен основного металла и заканчивается обычно в центре шва, где происходит встреча двух фронтов кристаллизации, начинающихся от кромок свариваемых заготовок. Сварку можно осуществлять расплавлением только кромок свариваемых заготовок либо дополнительно к этому расплавляется присадочный металл, как правило, металл электрода.

В зависимости от типа выбранного источника теплоты сварку плавлением можно подразделять на разновидности, название которых указывает на тип примененного источника энергии, например, электродуговая сварка плавлением, электронно-лучевая сварка плавлением, ацетилено-кислородная и т. п.

Металл сварного шва, полученный при сварке плавлением, по своей структуре и химическому составу существенно отличается от металла свариваемых заготовок, так как в процессе расплавления в сварочной ванне происходят металлургические процессы: испарение и окисление некоторых элементов, поглощение газов, легирование, диффузия и др. Полученный в процессе сварки плавлением сварной шов имеет литую структуру. Основной металл заготовок, прилегающий к сварному шву, в процессе сварки нагревается до значительных температур, в результате чего в нем происходят структурные изменения — укрупнение зерен, выделение новых фаз, появление новых структур типа закалочных. Зону основного металла, прилегающего к сварному шву, в которой происходят структурные изменения, вызываемые нагревом при сварке, называют зоной термического влияния (ЗТВ). Сварной шов, ЗТВ и основной металл называют сварным соединением.

Механические, антикоррозионные, магнитные и другие свойства сварного соединения могут существенно отличаться от свойств основного металла. При сварке стремятся к получению равнопрочного соединения, т. е. равенству всех его показателей с показателями основного металла. К сварке плавлением относится и наплавка металлов, широко применяемая, как при изготовлении новых конструкций, так и при ремонтных работах. Наплавкой называют процесс нанесения слоя металла на нагретую до расплавления поверхность заготовки. Наплавка необходима для создания на поверхности слоя металла, обладающего особыми свойствами, либо для восстановления размеров изношенных деталей.

*Электрическая дуговая сварка* является одним из наиболее распространенных способов сварки плавлением (рис. 39).

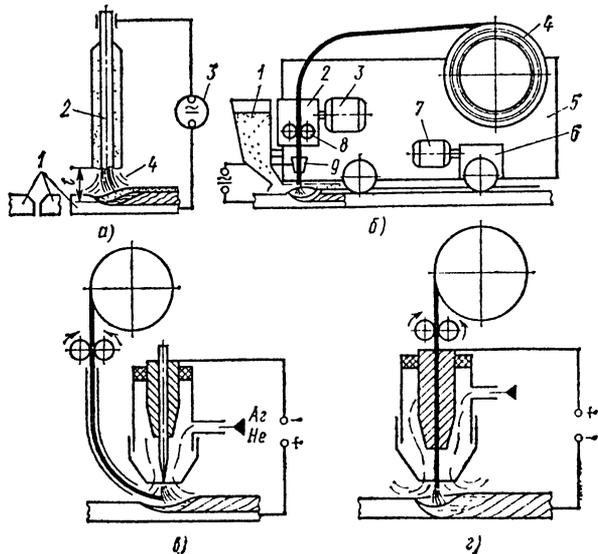
К свариваемым заготовкам 1 (рис. 39, а) и к электроду 2 подводится постоянный или переменный ток от специального источника тока 3 и возбуждается электрическая сварочная дуга 4 — стабильный электрический разряд в ионизированных парах или газах. Электропроводимость промежутка 1, в котором возбуждается и функционирует дуга, обусловлена электронами и ионами, возникающими в результате термической ионизации. Температура, необходимая для ионизации в момент возбуждения дуги, получается вследствие выделения теплоты при коротком замыкании электрода на деталь; в установившемся процессе ионизация происходит под действием высокой температуры дуги.

Максимальная температура дуги наблюдается в осевой ее части и составляет 6000 °С. На поверхностях электродов температура обычно близка к температуре кипения материала электродов. Тепловая мощность  $q$  дуги зависит от величины силы тока  $I$  и напряжения  $U$ ;  $q = \varphi UI$ , где  $\varphi$  — коэффициент, равный 0,8—0,95. Меньшая часть теплоты сварочной дуги теряется в окружающей атмосфере, а большая часть идет на нагрев и плавление основного и присадочного металлов.

Для питания сварочной дуги применяют специальные источники тока, по своим характеристикам существенно отличные от источников тока для освещения, питания электродвигателей, тепловых установок и др. Сварочные источники тока должны обеспечивать стабильную дугу при относительно невысоком напряжении и легкое регулирование величины тока, постоянство тока при изменении длины дуги и должны безаварийно выдерживать режим короткого замыкания. Применяют источники переменного тока (сварочные трансформаторы) и постоянного тока (генера-

Рис. 39. Схемы дуговых способов сварки плавлением:

а — ручной; б — автоматической под флюсом; в — неплавящимся электродом в защитных газах; г — плавящимся электродом в защитных газах



торы или выпрямители), которые обеспечивают большую стабильность дуги и поэтому предпочтительнее.

Дуговую сварку можно выполнить плавящимся и неплавящимся электродами. В качестве плавящегося электрода рекомендуют применять металлический стержень состава, идентичного составу свариваемых заготовок. В качестве неплавящегося электрода применяют, как правило, вольфрамовый стержень. Сварку неплавящимся электродом можно вести без присадки или с применением присадочного материала, подаваемого непосредственно в дугу. Разновидности дуговой сварки плавлением различают в зависимости от степени автоматизации и рода защиты расплавленного металла от воздействия окружающей атмосферы.

При *ручной дуговой сварке* (рис. 39, а) возбуждение дуги, ее поддержание, опускание электрода по мере его плавления и перемещение электрода вдоль свариваемых заготовок осуществляет сварщик.

В качестве электродов в этом случае применяют прутки из сварочной проволоки, покрытые специальным составом. В покрытие электрода вводят элементы, способствующие стабилизации дуги и осуществляющие защиту расплавленного металла от вредного воздействия окружающей среды, раскисление и легирование металла шва. По назначению электроды подразделяют: для сварки конструкционных углеродистых, низколегированных и легированных сталей, а также цветных металлов и сплавов и для наплавочных работ. Основным требованием, предъявляемым к электродам, является обеспечение необходимой прочности и нужного структурного состава металла шва.

Электроды подразделяют на типы, обозначаемые буквой Э и последующей цифрой, указывающей предел прочности металла шва, выполненного данным электродом. Например, Э-42, Э-55, ... Э-125 и т. д. Электроды каждого типа могут иметь несколько марок, определяющих систему легирования металла шва. На практике чаще всего применяют электроды диаметром 2—6 мм. Чем больше толщина свариваемого металла, тем больше должен быть диаметр электрода. Величина сварочного тока,  $A: I_{св} = 40d_s$ , где  $d_s$  — диаметр электрода, мм.

Ручную дуговую сварку широко применяют в машиностроении при сварке заготовок из сталей и цветных металлов благодаря своей универсальности и возможности вести процесс во всех пространственных положениях: нижнем, вертикальном, потолочном. Основные недостатки этого способа — малая производительность и необходимость высокой квалификации оператора.

*Автоматическая дуговая сварка под флюсом* обеспечивает производительность в 10—15 раз большую, чем производительность ручной дуговой сварки и, кроме того, она не требует оператора столь высокой квалификации. При автоматической сварке процессы зажигания дуги, подачи электрода в дугу и перемещения его вдоль направления сварки осуществляются механически

(рис. 39, б). Электрод, представляющий собой сварочную проволоку большой длины, направляется в кассету 4 и подается в дугу с необходимой скоростью с помощью подающих роликов 8, приводимых во вращение двигателем 3 через редуктор 2. Эта сборочная единица, называемая сварочной головкой, помещается на самоходной тележке-каретке 5, приводимой в движение двигателем каретки 7 через редуктор 6. Напряжение на электрод от источника тока подается через скользящий контакт 9. Скорость сварки задается скоростью перемещения каретки.

Защита расплавленного металла от воздействия воздуха осуществляется порошкообразным флюсом, сыпавшимся из бункера 1 непосредственно перед дугой. В состав флюса входят элементы, обеспечивающие стабильность дуги, а также процессы легирования, раскисления и формирования металла шва. Флюсы, расплавляясь, создают шлаковый купол над зоной сварочной дуги, препятствующий проникновению воздуха. После химико-металлургического воздействия в дуговом пространстве и сварочной ванне флюсы образуют на поверхности шлаковую корку, в которую выводятся из расплавленного металла шва окислы, сера, фосфор и газы.

Автоматическую сварку следует производить проволокой, приближающейся по своему химическому составу к свариваемому металлу. Стандартами предусмотрен выпуск проволоки 77 марок для сварки сталей, проволоки 30 марок для наплавочных работ и проволоки 14 марок для сварки алюминия и его сплавов и т. д.

Автоматическую сварку под флюсом целесообразно применять в нижнем положении для непрерывных швов большой протяженности. Применение ее для коротких швов либо швов сложной траектории экономически невыгодно. Для швов, расположенных вертикально, автоматическая сварка под флюсом неприменима. Разновидностью дуговой сварки под флюсом является полуавтоматическая сварка. В этом процессе подача электрода осуществляется механически, а перемещение его по направлению сварки — вручную. Способ рекомендуют для сварки коротких и криволинейных швов в нижнем положении.

При *сварке в защитных газах* в зону сварочной дуги подается инертный либо нейтральный газ, достаточно надежно защищающий расплавленный и остывающий металл сварного шва от контакта с окружающей атмосферой. В качестве защитных газов наибольшее применение получили инертные газы — аргон и гелий и более дешевый углекислый газ. Иногда применяют смеси двух и более газов. При сварке с защитой инертными газами различают сварку неплавящимся и плавящимся электродами. Сварку неплавящимся вольфрамовым электродом можно проводить либо без применения присадочного материала, либо с присадочным прутком, как правило, для заготовок толщиной свыше 2—3 мм (рис. 39, в). В качестве присадки применяют проволоку, по химическому составу близкую к составу свариваемого металла.

Диаметр проволоки зависит от толщины свариваемых заготовок и колеблется от 0,5 до 3 мм.

Защитный газ к месту сварки доставляют в баллонах под давлением  $1,56 \cdot 10^7$  Па. Для снижения давления применяют газовые редукторы. Расход газа обычно составляет 5—15 л/мин. Сварку плавящимся электродом обычно применяют для заготовок толщиной более 8 мм (рис. 39, з). В качестве электрода применяют сварочную проволоку состава, близкого к составу свариваемого металла, диаметром 0,5—2 мм. Применение при относительно малых сечениях электродов больших сварочных токов резко увеличивает проплавливающую способность дуги, а также производительность процесса.

Разновидностью сварки в среде инертных газов является сварка в контролирующей атмосфере. Детали помещают в специальные камеры, из которых откачивают воздух, а затем заполняют аргоном. Сварку выполняют вручную или с помощью автомата с дистанционным управлением. Для сварки крупногабаритных заготовок применяют камеры объемом до 450 м<sup>3</sup>, внутри которых работает сварщик, снабженный специальной системой обеспечения дыхания. Сварка в среде инертных газов является относительно дорогим процессом и ее применяют в основном для сварки заготовок из цветных металлов и сплавов, из аустенитных и высокопрочных сталей и из тугоплавких и активных металлов.

Сварку в среде углекислого газа применяют главным образом для заготовок из углеродистых и низколегированных сталей. При сварке используют плавящийся электрод диаметром 0,8—2 мм. В состав электродной проволоки вводят дополнительно Mn и Si, которые вступают в реакцию с кислородом, выделяющимся при разложении углекислого газа в области дугового разряда, и связывают его в окислы:  $2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$ ;  $2\text{Mn} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MnO}\uparrow$ ;  $\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2\uparrow$ .

Сварку в среде защитных газов, как правило, осуществляют на автоматах и полуавтоматах с использованием постоянного тока. Исключение составляют аргонодуговая сварка заготовок из алюминия и его сплавов, при которой рекомендуют применять переменный ток.

Рассмотрим лучевые способы сварки плавлением. Сущность процесса *электронно-лучевой сварки* состоит в использовании для нагрева и расплавления свариваемых кромок кинетической энергией потока электронов, движущихся с высокими скоростями в вакууме. В месте соударения электронов со свариваемыми заготовками почти 99% кинетической энергии переходит в тепловую, что сопровождается повышением температуры до 5000—6000 °С. Кромки заготовок расплавляются и после кристаллизации образуется сварной шов.

Для сварки заготовок таким способом используют электронную пушку (рис. 40, а). В вакуумной камере 1 в формирующем электроде 2 расположен вольфрамовый катод 3, обладающий

эмиссионной способностью при подогреве до 2000—2500 °С. Под катодом расположен анод 4 с центральным отверстием для пропускания луча к детали. Электроны, сформированные в пучок электродом 2, под воздействием высокой разности потенциалов между катодом и анодом перемещаются с ускорением по направлению к детали. Диафрагма 5 отсекает краевые зоны луча 6, а магнитные линзы 7 фокусируют луч на поверхности детали 9. Скорость сварки определяет скорость перемещения детали под неподвижным пятном луча или отклонением самого луча с помощью отклоняющей системы 8. Основными параметрами режима являются ускоряющее напряжение (25—120 кВ), сила тока (35—1000 МА), диаметр сфокусированного луча (0,02—1,2 мм), скорость сварки (до 100 м/ч).

Достоинствами электронно-лучевой сварки является высокая концентрация энергии на поверхности детали, что позволяет проплавлять толщины до 200 мм, идеальная защита — вакуум, а также малое количество теплоты, вводимой в деталь, что снижает вероятность структурных превращений в больших объемах и деформацию конструкции. Электронно-лучевая сварка может быть применима для заготовок из всех материалов, а чаще всего из разнородных — например, из металла с керамикой и для соединений заготовок из тугоплавких и химически активных металлов — Nb, Mo, W, Ti, Zr и др.

Создание достаточно мощных квантовых генераторов сделало возможным применение остро сфокусированного светового пучка для сварки плавлением — *лазерной сварки*. Плотность тепловой энергии, создаваемой лазерами при фокусировке луча в пятно диаметром до нескольких сотых долей миллиметра, позволяет

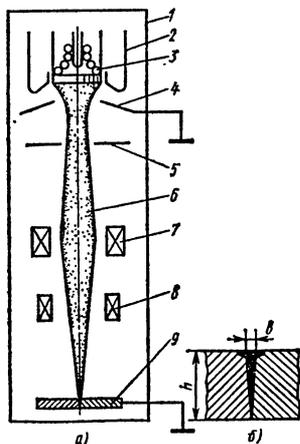


Рис. 40. Сварка электронным лучом:

а — схема электронной пушки для сварки; б — форма шва

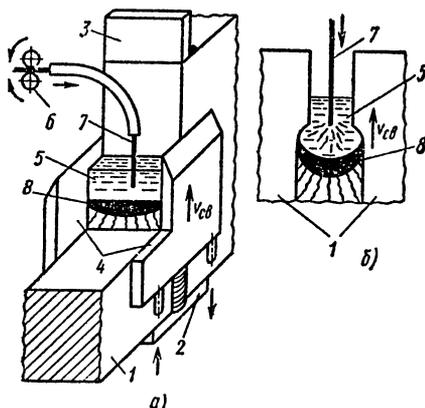


Рис. 41. Электрошлаковая сварка:

а — схема процесса; б — схема сварочной ванны

нагревать практически все металлы до расплавления и даже до кипения. Лазеры большой мощности позволяют сваривать заготовки из металла толщиной до нескольких миллиметров. Большим достоинством сварки лазером является возможность ведения процесса в любой атмосфере, однако она может неблагоприятно влиять на качество шва. Для лучевых способов сварки является характерным так называемое «ножевое проплавление», т. е. форма шва, при которой отношение глубины шва к ширине ( $h/b$ ) нередко достигает 20 и более (рис. 40, б).

Широко применяют *электрошлаковую сварку*. Сущность процесса электрошлаковой сварки заключается в том, что тепловую энергию, необходимую для расплавления основного и присадочного металлов, дает теплота, выделяемая в объеме шлаковой ванны при прохождении через нее тока. Свариваемые заготовки 1 устанавливают в вертикальное положение (рис. 41); снизу к ним приваривают вводную планку 2, а сверху выводную планку 3. С двух сторон подводятся водоохлаждаемые медные ползуны 4. Затем на вводную планку насыпается флюс, подводится электрод 7 и зажигается дуга. Подача электрода производится специальным механизмом подачи 6. В результате расплавления флюса образуется шлаковая ванна 5. После достижения определенной высоты шлаковой ванны дуга вследствие шунтирования тока через ванну гаснет, а проходящий ток нагревает ее до весьма высоких температур, превосходящих температуру плавления основного и присадочного металлов.

В результате металл электрода и кромки основного металла оплавляются и расплав стекает на дно, образуя сварочную ванну 8. Металл электрода, подходя через шлак, раскисляется и легируется. Благодаря относительно малой скорости затвердевания происходит более полное удаление газовых пузырей, шлака и других примесей, чем при сварке под флюсом. Рекомендуют применять электрошлаковую сварку для деталей толщиной 30 мм и более. Практические заготовки любой толщины могут быть сварены за один проход. Сварной шов в основном формируется из присадочного металла, поэтому при сварке заготовок большой толщины процесс ведут не одним, а сразу двумя или тремя электродами, кроме этого, в сварочную ванну дополнительно вводят стальную крупку или рубленую проволоку.

Электрошлаковая сварка является высокопроизводительным процессом, ее применяют преимущественно при изготовлении деталей из стали, чугуна, меди, алюминия, титана и др.

### **§ 3. Свариваемость металлов и сплавов**

*Свариваемостью* металла называют совокупность его технологических свойств, определяющих способность обеспечить при принятом технологическом процессе экономичное, надежное в эксплуатации сварное соединение. Соединение считают качественным или равнопрочным, если его механические свойства

близки к характеристикам основного металла и в нем отсутствуют поры, шлаковые включения, раковины. Кроме того, в некоторых случаях соединение должно иметь химические и физические свойства такие же, как свойства основного металла.

Свариваемость — это сложная характеристика, определяемая не только свойствами свариваемого металла, но и выбором технологического процесса, режимом сварки, свойствами применяемых сварочных материалов. Поэтому нет единого вида испытания на свариваемость, а следует применять несколько видов для определения различных характеристик. Число и вид испытаний обусловлен свойствами материала, назначением конструкции и условиями ее работы. Чаще всего признаком плохой свариваемости является наличие в сварном соединении отдельных дефектов. Дефектом является сушесть — существенная разница свойств основного металла 3 (рис. 42, а), сварного шва 1 и зоны термического влияния 2. При сварке заготовок из углеродистых и легированных сталей твердость зоны термического влияния возрастает, в то время как пластические свойства значительно снижаются, что повышает хрупкость.

Горячие трещины как дефект сварных соединений, так же как и в отливках, образуются в результате усадочных явлений, протекающих в металле шва при остывании, чаще в интервале температур кристаллизации, когда металл шва находится в твердо-жидком состоянии. Это состояние металла характеризуется весьма малыми значениями пластичности и прочности. Сварной шов при остывании стремится уменьшиться на величину усадки (для стали примерно 2%). Однако вследствие возникшей связи с основным холодным металлом возможность его усадки практически исключается. Появляются собственные напряжения растяжения в шве и напряжения сжатия в основном металле. Горячие трещины могут образовываться в том случае, если деформации усадки шва превышают значения его пластичности, т. е. наступает разрушение. Горячие трещины, как правило, имеют межкристаллитный характер, располагаясь по границам зерен в шве (рис. 42, б). Чаще

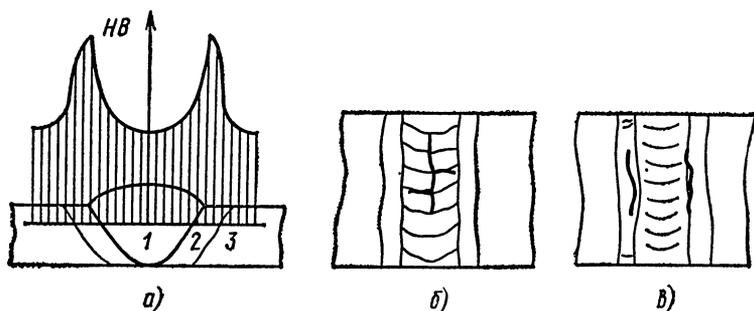


Рис. 42. Дефекты сварных соединений:

а — неоднородность твердости; б — горячие трещины; в — холодные трещины

Таблица 1

## Способы сварки заготовок из различных материалов

Материалы свариваемых заготовок, их марки	Способ сварки	Характерные дефекты	Способы предотвращения дефектов
Углеродистые и легированные конструкционные стали: сталь 45, 30ХГСА, 40ХФА, 15ХМФ и др.	Дуговая ручная и автоматическая сварка в аргоне или в СО <sub>2</sub> ; контактная, электрошлаковая, электронно-лучевая	Холодные трещины	Подогрев до 100—300° С; применение многослойной сварки; прокатка сварочных материалов, последующая немедленная термообработка
Высокохромистые жаропрочные антикоррозионные стали: 08Х17, 15Х25Т, 08Х13, 20Х13, 40Х13	Сварка в аргоне, автоматическая, под флюсом, электронно-лучевая	Холодные и горячие трещины, появление хрупких включений	Сварка на режимах, обеспечивающих быстрое охлаждение; подогрев до 300° С; немедленная после сварки термообработка — отжиг с последующим быстрым охлаждением
Аустенитные хромоникелевые стали: 08Х18Н9Т	Сварка в аргоне, дуговая ручная и автоматическая, электронно-лучевая контактная	Горячие трещины, потеря антикоррозионных свойств в зоне термического влияния	Сварка малыми токами с быстрым охлаждением; закалка с температуры 1050° С; снижение содержания углерода в стали
Аустенитные кислотостойкие стали: 0Х25Н20 и др.	Сварка в аргоне, электронно-лучевая	Горячие трещины, укрупнение зерна	Применение специальных присадок с увеличенным количеством марганца; сварка с быстрым охлаждением
Медь и ее сплавы	Ручная и автоматическая дуговая сварка в аргоне, газовая сварка	Горячие трещины, охрупчивание, образование окиси, поры	Предварительный подогрев, быстрое охлаждение после сварки; применение специальных флюсов
Алюминий и его сплавы	Дуговая сварка в аргоне, газовая сварка, контактная	Горячие трещины, поры	Применение специальных флюсов, для толстых листов подогрев до 400° С; предварительная зачистка кромок от окислов
Тугоплавкие металлы	Электронно-лучевая сварка, сварка в среде Ag, He	Охрупчивание, холодные трещины	Применение сварки в вакууме, улучшение защиты; предварительная дегазация сварочных материалов

всего горячие трещины образуются при сварке заготовок из высоколегированных сталей, алюминиевых и медных сплавов.

Холодные трещины чаще всего возникают после полного затвердевания сварного шва в период завершения процесса охлаждения или появляются в металле, уже охлажденном до окружающей температуры. Холодные трещины появляются как следствие возникновения собственных напряжений в результате усадки, а также структурных превращений в зоне термического влияния. Наиболее часто они располагаются в основном металле в непосредственной близости к сварному шву (рис. 42, в). Этот дефект характерен для деталей из высокоуглеродистых и легированных сталей, образующих закалочные структуры в околошовной зоне. Склонность металла к образованию горячих или холодных трещин определяют либо на специальных машинах, либо при сварке специально разработанных жестких проб. Появление этих дефектов предотвращают специальными приемами сварки, предварительным подогревом, последующей термической обработкой.

Поры в сварных швах также являются дефектами. Порами называют заполненные газами полости. Основной причиной возникновения пор при сварке является выделение водорода, азота и окиси углерода, которые очень интенсивно растворяются в жидком металле шва. При кристаллизации и охлаждении шва растворимость газов резко уменьшается и, если их выделение происходит в период затвердевания, пузырьки газа не всегда успевают всплыть и остаются в металле в виде пор. Для уменьшения вероятности образования пор в сварных швах особенно тщательно очищают свариваемые кромки от загрязнений, ржавчины, следов масел, используют сварочные материалы с минимальным количеством влаги, а также улучшают защиту металла шва от контакта с окружающей средой. Кроме этого, применяют режимы сварки и специальные приемы, обуславливающие замедленный процесс кристаллизации сварочной ванны.

При сварке заготовок из недостаточно чистого металла в сварном шве могут образовываться оксидные неметаллические включения типа  $\text{FeO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ , которые снижают ударную вязкость и хладноустойчивость сталей; сульфидные включения типа  $\text{MnS}$ ,  $\text{FeS}$ , которые образуются при содержании серы около 0,04%, а также фосфорсодержащие включения, существенно способствующие образованию горячих трещин. В табл. 1 представлены некоторые особенности технологии сварки заготовок из наиболее распространенных материалов.

#### **§ 4. Технологичность сварных конструкций**

Конструкция считается технологичной, если для ее изготовления могут быть применены относительно простые и дешевые способы, которые в совокупности с конструктивным оформлением

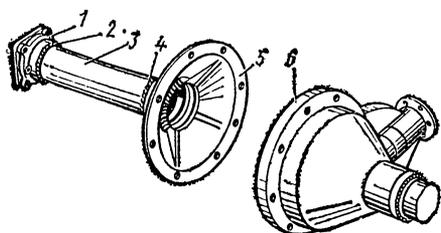


Рис. 43. Корпус заднего моста автомобиля

соединяемых деталей позволяют механизировать и автоматизировать процессы изготовления и вспомогательные сборочные операции с обеспечением низкой себестоимости. Технологичность можно обеспечить применением комплекса технологических операций, правильным выбором материала и формы свариваемых

заготовок, обеспечивающих возможность применения высокопроизводительных методов сварки, а также назначение рациональных режимов проведения процесса, исключением последующих дорогостоящих и трудоемких операций.

Комплексная технология изготовления предусматривает применение для конструкции составных, относительно простых частей, полученных различными, наиболее рациональными для данных условий методами формообразования. В качестве составных частей свариваемой конструкции могут быть применены заготовки, полученные методами литья, прокатки, штамповки и т. д. Примером такой конструкции может являться корпус заднего моста автомобиля (рис. 43), где корпус 6 и крышка корпуса 5 дифференциала выполняют методами литья, кожух 3 — методом прокатки, корпус подшипника полуосей 1 — методами штамповки и все воедино собирают методами контактной стыковой (шов 2) и электродуговой (шов 4) сварки. Выпадение из технологического комплекса хотя бы одного из примененных методов формообразования неизбежно приведет к усложнению технологии и удорожанию продукции. Применение комплексной технологии требует достаточно высокого уровня развития каждого из способов формообразования, позволяющих получать отдельные заготовки высокого качества из нужных материалов. Например, корпус, получаемый литьем, должен быть изготовлен из стали, обладающей хорошей свариваемостью. Штампованные детали желательно выполнять из материалов того же состава, что и литые, обеспечивая тем самым достаточно простой процесс сварки однородных материалов.

В определенных случаях требования условий работы и экономической целесообразности предопределяют соединение в единой конструкции деталей, выполненных из материалов с различными рабочими характеристиками. Примером может служить ротор газовой турбины, состоящий из вала, выполненного из высокопрочной стали и диска, на котором крепятся лопатки турбины, изготовленные из специальной жаропрочной стали либо методами точного литья, либо штамповкой. В этом случае появляется необходимость сварки разнородных материалов, что существенно усложняет процесс.

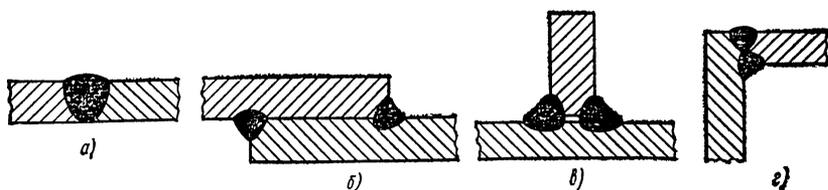
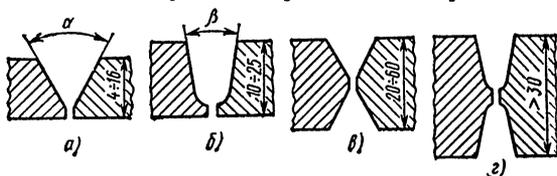


Рис. 44. Основные типы сварных соединений

Комплексная технология предусматривает необходимость увязки стыковочных сопряжений по размерам и толщине. Основными типами сварных соединений (рис. 44) являются стыковые (а), нахлесточные (б), тавровые (в) и угловые (г). При сварке заготовок больших толщин необходимо обрабатывать соединяемые кромки для получения полного провара по всему сечению (рис. 45). В месте стыка свариваемых заготовок необходимо предусматривать возможность применения автоматизированных методов сварки. Для этого швы должны быть достаточно протяженными и непрерывными, а соединяемые сечения одинаковыми по толщине. Следует предусматривать возможность свободного доступа ко всем швам не только в процессе проведения сварки, но и для последующего осмотра и контроля. Выбранный метод должен обеспечивать помимо необходимых прочностных и эксплуатационных свойств конструкции минимальную ее деформацию в процессе сварки, что зависит от жесткости конструкции, режима сварки и толщин соединяемых элементов. Увеличенные деформации приводят к необходимости назначать большие припуски на обработку резанием. Уменьшить величину сварочных деформаций можно определенной последовательностью наложения швов, постановкой дополнительных ребер жесткости, прочным закреплением свариваемых заготовок, предварительной деформацией обратного знака и другими приемами, усложняющими и удорожающими процесс сварки.

При последующей обработке резанием сварных конструкций с большим уровнем собственных напряжений следует учитывать, что снятие слоя металла приводит к нарушению взаимоуравновешенного поля напряжения в конструкции, в результате чего после снятия с закрепляющих приспособлений она может самопроизвольно деформироваться. Чтобы избежать дополнительных деформаций в процессе обработки элементов сварной конструкции резанием, рекомендуется предварительно снять или уменьшить собственные напряжения соответствующей термической обработкой.

Рис. 45. Формы подготовок кромок под сварку: а — V-образная; б — U-образная; в — X-образная; г — двусторонняя U-образная



---

**МЕХАНИЧЕСКАЯ  
ОБРАБОТКА  
ЗАГОТОВОК  
ДЕТАЛЕЙ  
МАШИН**

К машинам предъявляют высокие требования по качеству, особенно надежности и долговечности, что зависит не только от совершенства их конструкций, но и в значительной степени от качества обработки деталей и их сборки. Разработана (рис. 46) условная классификация технологических методов обработки, которые широко применяют в промышленности. Знание технологических методов обработки позволяет создавать более совершенные конструкции машин и приборов, обеспечивая одновременно экономическую целесообразность их изготовления.

*Глава I***ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ  
ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ****§ 1. Кинематика процесса резания**

Обработка металлов резанием — это процесс срезания режущим инструментом с поверхностей заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхностей детали. Чтобы с заготовки срезать слой металла, необходимо режущему инструменту и заготовке сообщить относительные движения. Инструмент и заготовку устанавливают и закрепляют в рабочих органах станков, обеспечивающих эти относительные движения: в шпинделе, на столе, в револьверной головке и т. д. Движения рабочих органов станков делят на движения резания, установочные и вспомогательные. Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя металла или вызывают изменение состояния обработанной поверхности заготовки, называют движениями резания. К ним относят главное движение и движение подачи.

За главное принимают то движение, которое определяет скорость деформирования и отделения стружки. За движение



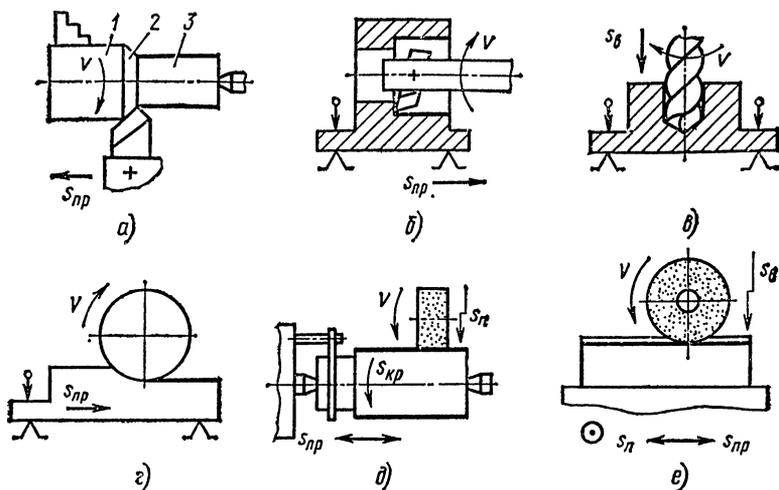


Рис. 47. Элементы схем обработки и схемы обработки заготовок точением (а), растачиванием (б), сверлением (в), фрезерованием (г), шлифованием на кругло- (д) и плоскошлифовальных станках (е)

подачи принимают то движение, которое обеспечивает непрерывность врезания режущей кромки инструмента в материал заготовки. Эти движения могут быть непрерывными или прерывистыми, а по своему характеру вращательными, поступательными, возвратно-поступательными и т. д. Скорость главного движения обозначают  $v$ , величину подачи  $s$ .

Движения, обеспечивающие взаимное расположение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя материала, называют установочными. К вспомогательным движениям относят транспортирование заготовки, закрепление заготовок и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов станка на холостом ходу, переключение скоростей резания и подачи и т. п.

Для любого процесса резания можно составить схему обработки. На схеме условно изображают обрабатываемую заготовку, ее установку и закрепление на станке, закрепление и положение инструмента относительно заготовки, а также движения резания (рис. 47). Инструмент показывают в положении, соответствующем окончанию обработки поверхности заготовки. Обработанную поверхность на схеме выделяют другим цветом или утолщенными линиями. На схемах обработки показывают характер движений резания и их технологическое назначение, используя условные обозначения. Различают подачи: продольную  $s_{np}$ , поперечную  $s_{п}$ , вертикальную  $s_{в}$ , круговую  $s_{кр}$ , окружную  $s_{о}$ , тангенциальную  $s_{т}$ . В процессе резания на заготовке различают (рис. 47, а) обрабатываемую поверхность 1, с которой

срезается слой металла, обработанную поверхность 3, с которой металл уже срезан, и поверхность резания 2, образуемую в процессе обработки главной режущей кромкой инструмента.

**Методы формообразования поверхностей.** Пространственную конструктивную форму любой детали определяет сочетание различных поверхностей. Для облегчения обработки заготовки конструктор стремится использовать следующие геометрические поверхности: плоские, круговые цилиндрические и конические, шаровые, торовые, геликоидные и др. Любая геометрическая поверхность представляет собой совокупность последовательных положений (следов) одной производящей линии, называемой образующей, движущейся по другой производящей линии, называемой направляющей. Например, для образования круговой цилиндрической поверхности необходимо прямую линию (образующую) перемещать по окружности (направляющей).

При обработке поверхностей на металлорежущих станках образующие и направляющие линии в большинстве случаев являются воображаемыми. Они воспроизводятся во времени комбинацией движений заготовки и инструмента, скорости которых строго согласованы между собой. Движения резания являются также формообразующими движениями. Механическая обработка заготовок деталей машин реализует в основном четыре метода формообразования поверхностей. Рассмотрим их на конкретных примерах.

Получение поверхностей по методу копирования состоит в том, что режущая кромка инструмента является реальной образующей линией 1, форма которой совпадает или обратна той, которая является образующей линией поверхности детали (рис. 48, а). Направляющая линия 2 воспроизводится во времени вращением заготовки. Главное движение здесь является формообразующим. Движение подачи необходимо для того, чтобы получить геометрическую поверхность определенного размера. Метод копи-

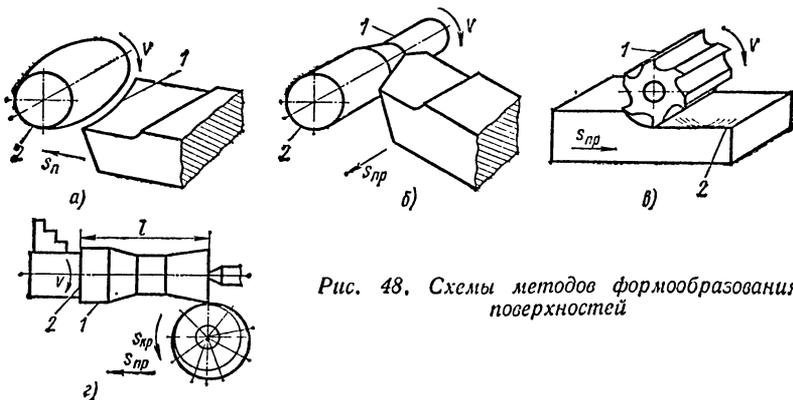


Рис. 48. Схемы методов формообразования поверхностей

рования' широко используют при обработке фасонных поверхностей деталей на различных металлорежущих станках.

Образование поверхностей по методу следов состоит в том, что образующая линия 1 является траекторией движения точки (вершины) режущей кромки инструмента, а направляющая линия 2 — траекторией движения точки заготовки (рис. 48, б). Здесь движения резания являются формообразующими. Этот метод формообразования поверхностей деталей распространен наиболее широко.

Образование поверхностей по методу касания состоит в том, что образующей линией 1 является режущая кромка инструмента (рис. 48, в), а направляющая линия 2 поверхности служит касательной к ряду геометрических вспомогательных линий — траекториям точек режущей кромки инструмента. Здесь формообразующим является только движение подачи.

Образование поверхностей по методу обкатки (огибания) заключается в том, что направляющая линия 2 воспроизводится вращением заготовки. Образующая линия 1 получается как огибающая кривая к ряду последовательных положений режущей кромки инструмента относительно заготовки (рис. 48, г) вследствие согласования между собой движений резания с движением подачи. Скорости этих движений согласуются так, что за время прохождения круглым резцом расстояния  $l$  резец должен сделать один полный оборот относительно своей оси вращения. Здесь все три движения являются формообразующими.

## § 2. Режим резания и геометрия срезаемого слоя

При назначении режимов резания определяют скорость резания, подачу и глубину.

*Скоростью резания  $v$*  называют расстояние, пройденное точкой режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении главного движения в единицу времени. Скорость резания имеет размерность м/мин или м/с. Если главное движение является вращательным (точение), то скорость резания, м/мин:

$$v = \frac{\pi D_{\text{заг}} n}{1000},$$

где  $D_{\text{заг}}$  — наибольший диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм;  $n$  — частота вращения заготовки в минуту.

Если главное движение является возвратно-поступательным, а скорости рабочего и обратного (холостого) ходов различны, то скорость резания, м/мин:

$$v = \frac{Lm}{1000} (k + 1),$$

где  $L$  — расчетная длина хода инструмента, мм;  $m$  — число двойных ходов инструмента в минуту;  $k$  — коэффициент, показывающий отношение скоростей рабочего и холостого ходов;  $k = v_p/v_x$ .

*Подачей* ( $s$ ) называют путь точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один оборот (рис. 49) или один ход заготовки или инструмента. Подача в зависимости от технологического метода обработки имеет размерность: мм/об — для точения и сверления; мм/дв. ход — для строгания, шлифования и т. д. По направлению движения различают подачи: продольную  $s_{пр}$ , поперечную  $s_{п}$ , вертикальную  $s_{в}$ , наклонную  $s_{н}$ , круговую  $s_{кр}$ , тангенциальную  $s_{т}$ , окружную  $s_{о}$  и др.

*Глубиной резания*  $t$  называют расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней. Глубину резания относят к одному рабочему ходу инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Глубина резания имеет размерность мм.

При точении цилиндрической поверхности глубину резания определяют как полуразность диаметров до и после обработки (рис. 49):

$$t = \frac{D_{заг} - d}{2},$$

где  $d$  — диаметр обработанной цилиндрической поверхности заготовки, мм.

Форму срезаемого слоя материала рассмотрим на примере обтачивания цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке. На рис. 49 показаны два последовательных положения реза относительно заготовки за время одного полного оборота ее. При обработке резец срезает с заготовки материал площадью поперечного сечения  $f_{ABCD}$ , называемой номинальной площадью поперечного сечения срезаемого слоя  $f_{н}$ , мм<sup>2</sup>. Для резцов с прямой режущей кромкой

$$f_{н} = f_{ABCD} = ts.$$

Форма и размеры номинального сечения срезаемого слоя материала зависят от параметров режима резания ( $s_{пр}$  и  $t$ ), геометрии режущего инструмента (углов  $\varphi$  и  $\varphi_1$ ) и формы режущей кромки. В процессе резания участвуют одновременно два движения, поэтому траекторией движения вершины резца относительно заготовки будет винтовая линия. Начав резание в точке  $A$ , резец вновь встретится с этой образующей цилиндрической поверхности только в точке  $B$ . Следовательно, не вся площадь поперечного сечения материала  $f_{ABCD}$  будет срезана с заготовки, а только часть ее, так что на обработанной поверхности

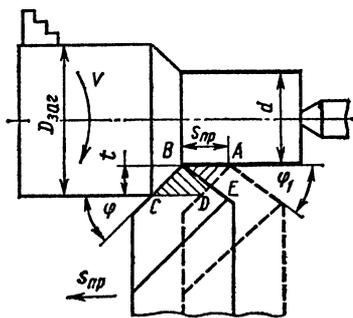


Рис. 49. Элементы резания и геометрии срезаемого слоя

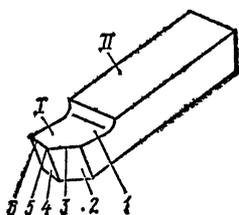


Рис. 50. Элементы токарного прямого проходного резца

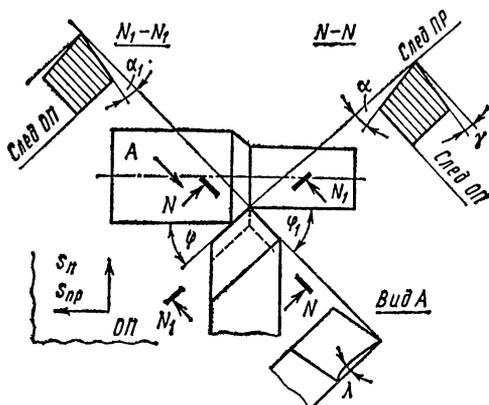


Рис. 51. Углы резца в статике

останутся микронеровности. Остаточное сечение срезаемого слоя  $f_o = f_{ABE}$ . Действительное сечение срезаемого слоя материала  $f_d = f_{BCDE}$  будет меньше номинального  $f_n$  на величину площади осевого сечения гребешков.

Шероховатость является одним из показателей качества поверхности детали. Она оценивается высотой, формой, направлением неровностей и другими параметрами. На шероховатость поверхности одновременно влияют режим резания, геометрия режущего инструмента, вибрации, физико-механические свойства материала заготовки и т. д. К параметрам процесса резания относят также основное (технологическое) время обработки, время, затраченное непосредственно на процесс изменения формы, размеров и шероховатости обрабатываемой поверхности заготовки.

**Элементы токарного проходного резца.** Токарный прямой проходной резец (рис. 50) имеет головку, т. е. рабочую часть I, и тело, т. е. стержень II, который служит для закрепления резца в резцедержателе. Головка резца образуется при специальной заточке и имеет следующие элементы: переднюю поверхность 1, по которой сходит стружка; главную заднюю поверхность 2, обращенную к поверхности резания заготовки; вспомогательную заднюю поверхность 4, обращенную к обработанной поверхности заготовки; главную режущую кромку 3, вспомогательную 6; вершину 5. Инструмент затачивают по передней и задней поверхностям. Для определения углов, под которыми расположены поверхности рабочей части инструмента относительно друг друга, вводят координатные плоскости (рис. 51). Основная плоскость (ОП) — плоскость, параллельная направлениям продольной и поперечной подачи. Плоскость резания (ПР) проходит через главную режущую кромку резца, касательно к поверхности резания заготовки. Главная секущая плоскость (N—N) — плоскость, перпендикулярная проекции главной режущей кромки на основ-

ную плоскость. Вспомогательная секущая плоскость ( $N_1-N_1$ ) — плоскость, перпендикулярная проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

### **§ 3. Геометрия инструмента и её влияние на процесс резания и качество обработанной поверхности**

Углы реза определяют положение элементов рабочей части в пространстве относительно координатных плоскостей и относительно друг друга. Эти углы называют углами реза в статике. Углы инструмента оказывают существенное влияние на процесс резания и качество обработки.

У токарного реза различают главные и вспомогательные углы, которые рассматривают исходя из следующих условий: ось реза перпендикулярна линии центров станка; вершина реза находится на линии центров станка; совершается главное движение резания.

*Главный передний угол  $\gamma$*  измеряют в главной секущей плоскости между следом передней поверхности и следом плоскости, перпендикулярной к следу плоскости резания. Передний угол  $\gamma$  оказывает большое влияние на процесс резания. С увеличением угла  $\gamma$  уменьшается деформация срезаемого слоя, так как инструмент легче врезается в материал, снижаются величина силы резания и расход мощности. Одновременно улучшаются условия схода стружки, а качество обработанной поверхности заготовки повышается. Чрезмерное увеличение угла  $\gamma$  приводит к снижению прочности главной режущей кромки, увеличению износа вследствие выкрашивания, ухудшению условий теплоотвода от режущей кромки.

При обработке деталей из хрупких и твердых материалов для повышения прочности и стойкости реза следует назначать меньшие значения угла  $\gamma$ , иногда даже отрицательные. При обработке деталей из мягких и вязких материалов передний угол увеличивают.

*Главный задний угол  $\alpha$*  измеряют в главной секущей плоскости между следом плоскости резания и следом главной задней поверхности. Наличие угла  $\alpha$  уменьшает трение между главной задней поверхностью инструмента и поверхностью резания заготовки, что уменьшает износ инструмента по главной задней поверхности. Чрезмерное увеличение угла  $\alpha$  приводит к снижению прочности режущей кромки. Величину угла  $\alpha$  назначают исходя из величины упругого деформирования материала обрабатываемой детали.

*Вспомогательный задний угол  $\alpha_1$*  измеряют во вспомогательной секущей плоскости между следом вспомогательной задней поверхности и следом плоскости, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Наличие угла  $\alpha_1$  уменьшает трение между вспомогательной задней поверхностью инструмента и обработанной поверхностью заготовки.

*Главный угол в плане  $\varphi$*  — угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Угол  $\varphi$  оказывает значительное влияние на шероховатость обработанной поверхности заготовки. С уменьшением угла  $\varphi$  шероховатость обработанной поверхности понижается. Одновременно уменьшается толщина и растет ширина срезаемого слоя материала, что увеличивает активную рабочую длину главной режущей кромки. Сила и температура резания, приходящиеся на единицу длины кромки, уменьшаются, что снижает износ инструмента. С уменьшением угла  $\varphi$  резко возрастает сила резания, направленная перпендикулярно к оси заготовки, что вызывает повышенную деформацию обрабатываемой заготовки. С уменьшением угла  $\varphi$  возможно возникновение вибраций в процессе резания, что снижает качество обработанной поверхности.

*Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$*  — угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением, обратным движению подачи. С уменьшением угла  $\varphi_1$  шероховатость обработанной поверхности понижается, одновременно увеличивается прочность вершины резца и снижается его износ.

*Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$*  измеряют в плоскости, проходящей через главную режущую кромку резца перпендикулярно основной плоскости, между главной режущей кромкой и линией, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости. С увеличением угла  $\lambda$  качество обработанной поверхности ухудшается.

Величины углов  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\varphi$  и  $\varphi_1$  могут изменяться вследствие погрешности установки резца. Если при обтачивании цилиндрической поверхности вершину резца установить выше линии центров, то угол  $\gamma$  увеличится, а угол  $\alpha$  уменьшится, а при установке вершины резца ниже линии центров станка — наоборот. Если ось резца не будет перпендикулярна линии центров станка, то это вызовет изменение углов  $\varphi$  и  $\varphi_1$ .

В процессе резания углы  $\gamma$  и  $\alpha$  резца также изменяются. Это можно объяснить тем, что изменяется положение плоскости резания в пространстве вследствие вращения заготовки и поступательного движения резца, так как в этом случае фактической поверхностью резания, к которой касательна плоскость резания, будет винтовая поверхность. При работе с большими подачами, а также при нарезании резьбы резцом изменение углов  $\gamma$  и  $\alpha$  будет существенным, что необходимо учитывать при изготовлении резцов, внося соответствующие коррективы.

Углы  $\gamma$  и  $\alpha$  в процессе резания могут оказаться переменными, что имеет место при обработке сложных поверхностей типа кулачков, лопаток турбин и т. п.

#### § 4. Физическая сущность процесса резания

Резание металлов является сложным процессом взаимодействия режущего инструмента и заготовки, сопровождающимся определенными физическими явлениями, например, деформированием срезаемого слоя металла. Упрощенно процесс резания можно представить в виде следующей схемы. В начальный момент процесса резания, когда движущийся резец под действием силы  $P$  (рис. 52) вдавливается в металл, в срезаемом слое возникают упругие деформации. При дальнейшем движении резца упругие деформации, накапливаясь по абсолютной величине, переходят в пластические. В прирезовом срезаемом слое материала заготовки возникает сложное упругонапряженное состояние. В плоскости, перпендикулярной траектории движения резца, возникают нормальные напряжения  $\sigma_y$ , а в плоскости, совпадающей с траекторией движения резца, — касательные напряжения  $\tau_x$ . В точке приложения действующей силы величина  $\tau_x$  наибольшая. По мере удаления от точки  $A$  величина  $\tau_x$  уменьшается. Нормальные напряжения  $\sigma_y$  вначале действуют как растягивающие, а затем быстро уменьшаются и, переходя через нуль, превращаются в напряжения сжатия. Срезаемый слой металла находится под воздействием давления резца, касательных и нормальных напряжений. Сложное упругонапряженное состояние металла характеризуется пластическим деформированием. Рост пластической деформации приводит к сдвиговым деформациям, т. е. к смещению частей кристаллов относительно друг друга. Сдвиговые деформации происходят в зоне стружкообразования  $ABC$ , причем деформации начинаются в плоскости  $AB$  и заканчиваются в плоскости  $AC$ , в которой завершается разрушение кристаллов, т. е. скалывается элементарный объем металла и образуется стружка. Далее процесс повторяется и образуется следующий элемент стружки и т. д.

Условно можно считать, что сдвиговые деформации происходят по плоскости  $OO$ , которую называют плоскостью сдвига. Плоскость  $OO$  располагается примерно под углом  $\theta = 30^\circ$  к направлению движения резца. Угол  $\theta$  называют углом сдвига. Наличие поверхности сдвига в процессе стружкообразования и положение ее в пространстве было установлено русскими учеными И. А. Тиме и К. А. Зворыкиным. Срезанный и превращенный в стружку слой металла дополнительно деформируется вследствие трения стружки о переднюю поверхность инструмента. Структуры металла зоны  $ABC$  и стружки резко отличаются от

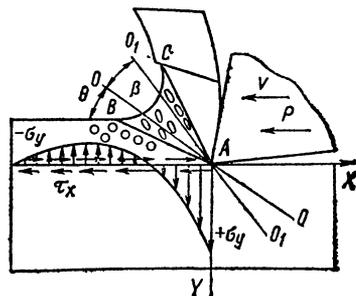


Рис. 52. Схема упругонапряженного состояния металла заготовки при обработке резанием

структуры основного металла. В зоне *ABC* расположены деформированные и разрушенные кристаллы, сильно измельченные и вытянутые в цепочки в одном, вполне определенном направлении, совпадающем с направлением плоскости  $O_1O_1$ , которая с плоскостью сдвига составляет угол  $\beta$ .

Характер деформирования срезаемого слоя зависит от физико-механических свойств материала обрабатываемой заготовки, геометрии инструмента, режима резания, условий обработки и т. д. В процессе резания заготовок из пластичных металлов и сталей средней твердости превалирует пластическая деформация. У хрупких металлов пластическая деформация практически отсутствует. Поэтому при резании деталей из хрупких металлов значение угла  $\beta$  близко к нулю, а при резании деталей из пластичных металлов значение угла  $\beta$  доходит до  $30^\circ$ , что говорит о сложном внутреннем процессе деформирования кристаллов и формировании новой структуры. Знание законов пластического деформирования и явлений, сопровождающих процесс резания, позволяет повысить качество обработанных поверхностей деталей машин, их долговечность и надежность, а также снизить мощность резания.

При резании заготовок из металлов образуется стружка сливная, скальвания или надлома. Сливная стружка, появляющаяся при резании деталей из пластичных металлов, представляет собой сплошную ленту с гладкой прирезцовою стороной. На внешней стороне стружки можно видеть слабые пилообразные зазубрины. Стружка скальвания, образующаяся при резании деталей из металлов средней твердости, представляет собой ленту с гладкой прирезцовою стороной, на ее внешней стороне — ярко выраженные зазубрины. Стружка надлома образуется при резании деталей из хрупких металлов и состоит из отдельных, не связанных между собой элементов. Вид образующейся стружки зависит от физико-механических свойств металла обрабатываемой детали, режима резания, геометрии режущего инструмента, применяемых в процессе резания смазочно-охлаждающих веществ.

Вид образующей стружки влияет на стойкость режущего инструмента, шероховатость обработанной поверхности, силу резания и конструкцию инструмента. От вида стружки зависит сложность ее отвода из зоны резания и транспортировки. Наиболее деформируется стружка скальвания, и при ее образовании затрачивается больше работы, чем при образовании сливной стружки и стружки надлома. Стружка, образующаяся в процессе резания, подвергается значительному пластическому деформированию, одним из проявлений которого является ее усадка. Усадка стружки состоит в том, что длина стружки оказывается меньше длины обработанной поверхности, а толщина больше толщины срезанного с заготовки слоя металла. Ширина стружки практически остается без изменений. Усадка стружки характеризуется величиной коэффициента усадки.

Чем пластичнее металл заготовки, тем больше величина коэффициента  $K$  усадки стружки. Для заготовок из хрупких металлов  $K$  близко к 1, а для заготовок из пластичных металлов  $K$  доходит до 5—7. Величина усадки стружки зависит от физико-механических свойств обрабатываемого металла, режима и условий резания, геометрии инструмента.

**Силы резания.** Деформирование и срезание с заготовки слоя металла происходит под действием внешней силы  $P$ , приложенной со стороны инструмента к обрабатываемой заготовке. Направление вектора силы совпадает с вектором скорости резания  $v$ . Работа, затрачиваемая на деформирование и разрушение материала заготовки ( $Pv$ ), расходуется на упругую и пластическую деформации металла, его разрушение, а также на преодоление сил трения задних поверхностей инструмента о заготовку и стружки о переднюю поверхность инструмента.

В результате сопротивления металла процессу деформирования возникают реактивные силы, действующие на режущий инструмент. Реактивные силы — это силы упругого ( $P_{y_1}$  и  $P_{y_2}$ ) и пластического ( $P_{n_1}$  и  $P_{n_2}$ ) деформирования, векторы которых направлены перпендикулярно к передней и главной задней поверхностям реза (рис. 53, а). Наличие нормальных сил обуславливает возникновение сил трения ( $T_1$  и  $T_2$ ), направленных по передней и главной задней поверхностям инструмента. Всю указанную систему сил приводят к равнодействующей силы резания:

$$\bar{R} = \bar{P}_{y_1} + \bar{P}_{y_2} + \bar{P}_{n_1} + \bar{P}_{n_2} + \bar{T}_1 + \bar{T}_2.$$

Считают, что точка приложения силы  $R$  находится на рабочей части главной режущей кромки инструмента (рис. 53, б). Абсолютная величина, точка приложения и направление в пространстве равнодействующей силы резания  $R$  в процессе обработки являются переменными. Это можно объяснить неоднородностью структуры металла обрабатываемой заготовки, переменной поверхностью твердостью материала заготовки, непостоянством срезаемого слоя металла (наличие штамповочных и литейных уклонов и др.), изменением углов  $\gamma$  и  $\alpha$  в процессе резания и т. д. Для расчетов используют не равнодействующую силы резания, а ее составляющие, действующие по трем взаимно перпендикулярным направлениям — координатным осям металлорежущего станка. Для токарно-винторезного станка: ось  $X$  — линия центров станка, ось  $Y$  — горизонтальная линия, перпендикулярная линии центров станка, ось  $Z$  —

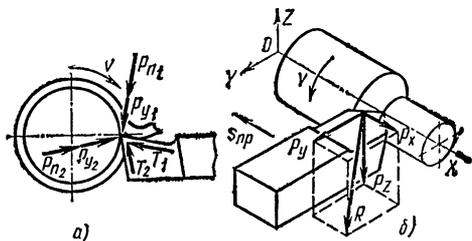


Рис. 53. Силы, возникающие в процессе резания: а — схема сил, действующих на резец; б — разложение силы резания на составляющие

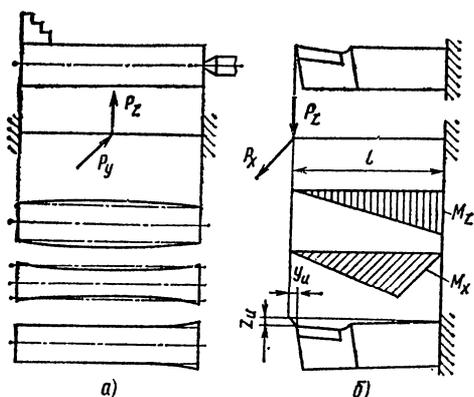


Рис. 54. Схемы сил, действующих на заготовку (а) и резец (б)

(рис. 54, б), а также ведут динамический расчет механизмов коробки скоростей станка. Радиальная составляющая силы резания  $P_y$  действует в плоскости  $XOY$  перпендикулярно оси заготовки. По силе  $P_y$  определяют величину упругого отжатия резца от заготовки и величину деформации изгиба заготовки в плоскости  $XOY$  (рис. 54, а). Осевая составляющая силы резания  $P_x$  действует в плоскости  $XOY$  вдоль оси заготовки. По силе  $P_x$  рассчитывают механизм подачи станка, а также изгибающий момент, действующий на стержень резца (рис. 54, б).

По величине деформации заготовки от сил  $P_z$  и  $P_y$  рассчитывают ожидаемую точность размерной обработки заготовки и погрешность ее геометрической формы. По величине суммарного изгибающего момента от сил  $P_z$  и  $P_x$  рассчитывают стержень резца на прочность и т. д. Равнодействующая сила резания,  $N$ :

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}.$$

Величину силы  $P_z$ ,  $N$ , определяют по эмпирической формуле:

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}} v^{n_{P_z}} k_{M_{P_z}},$$

где  $C_{P_z}$  — коэффициент, учитывающий физико-механические свойства материала обрабатываемой заготовки;  $k_{M_{P_z}}$  — коэффициент, учитывающий факторы, не вошедшие в формулу (величины углов резца, материал резца и т. д.).

Значения коэффициентов  $C_{P_z}$  и  $k_{M_{P_z}}$ , а также показателей степеней  $x_{P_z}$ ,  $y_{P_z}$  и  $n_{P_z}$  даны в справочниках для конкретных условий обработки.

Аналогичные формулы существуют для определения сил  $P_y$  и  $P_x$ . Условно можно считать, что для острого резца с  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$  при точении стали без охлаждения  $P_z : P_y : P_x =$

линия, перпендикулярная плоскости  $XOY$  (рис. 53, б).

Вертикальная составляющая силы резания  $P_z$  действует в плоскости резания в направлении главного движения (по оси  $Z$ ). По силе  $P_z$  определяют крутящий момент на шпинделе станка, эффективную мощность резания, деформацию изгиба заготовки в плоскости  $XOZ$  (рис. 54, а), изгибающий момент, действующий на стержень резца

$= 1 : 0,45 : 0,35$ . Отношения  $P_y : P_z$  и  $P_x : P_z$  растут с увеличением износа резца, уменьшение угла  $\phi$  увеличивает отношение  $P_y : P_z$ , а повышение подачи приводит к росту отношения  $P_x : P_z$ . Знание величин и направлений сил  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  необходимо для расчета элементов станка, а также приспособлений и режущего инструмента.

Крутящий момент на шпинделе станка, Н·м:

$$M_{к. ш} = \frac{P_z D_{заг}}{2 \cdot 1000}.$$

Изгибающий момент, действующий на стержень резца, Н·м, (рис. 54, б):

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_x^2} = l \sqrt{P_z^2 + P_x^2}.$$

Величина общего упругого перемещения стержня резца и заготовки под действием силы  $P_y$  (расчет на точность обработки), мм:

$$y = \frac{P_y}{J_{заг}} + \frac{P_y}{J_{инс}},$$

где  $J_{заг}$  — жесткость системы заготовка—приспособление—элемент станка, на котором закреплена заготовка;  $J_{инс}$  — жесткость системы инструмент—приспособление—элемент станка, на котором закреплён инструмент.

Аналогичный расчет делают для определения горизонтального  $y_n$  и вертикального  $z_n$  упругих перемещений инструмента.

Сила тяги привода подач, Н:

$$Q_{пр} = P_x + f \sum R_i,$$

где  $R_i$  — реакции в направляющих;  $f$  — коэффициент трения в направляющих.

Крутящий момент  $M_{к. в}$  на ходовом винте токарного станка, Н·м:

$$M_{к. в} = Q_{пр} r \operatorname{tg}(\alpha + \rho),$$

где  $r$  — средний радиус резьбы винта, м;  $\alpha$  — угол подъема винтовой линии;  $\rho$  — угол трения для пары винт—гайка.

По определенному  $M_{к. в}$  рассчитывают модуль зубчатых передач, силы, действующие на валы и опоры, выбирают мощность электрического двигателя коробки подач.

Эффективной мощностью ( $N_e$ ) называют мощность, расходуемую на процесс деформирования и срезания с заготовки слоя металла.

При точении цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке эффективная мощность, кВт:

$$N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_x n s_{пр}}{60 \cdot 10^6},$$

где  $n$  — частота вращения заготовки, об/мин.

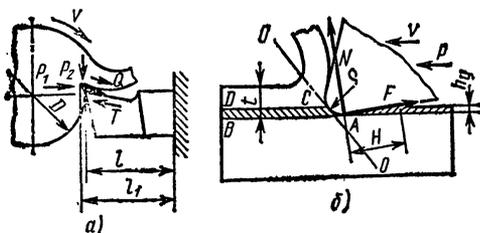


Рис. 55. Схемы образования нароста на резае (а) и наклепа обработанной поверхности заготовки (б)

обрабатываемой заготовки. При обработке резанием заготовок из пластичных металлов на передней поверхности инструмента может образоваться слой металла, который называют наростом. Образование нароста объясняют тем, что при некоторых условиях обработки силы трения между передней поверхностью инструмента и срезанным слоем металла становятся больше сил внутреннего сцепления, и при определенных температурных условиях металл прочно оседает на передней поверхности инструмента (рис. 55, а). Размеры и форма нароста постоянно меняются. В процессе резания нарост обновляется вследствие действия сил трения между отходящей стружкой и внешней поверхностью нароста. Частицы нароста уносятся стружкой и обработанной поверхностью заготовки, нарост срывается с передней поверхности инструмента и вновь возникает. Объясняется это тем, что нарост находится под действием силы трения  $T$ , сил сжатия  $P_1$  и  $P_2$  и силы растяжения  $Q$  (рис. 55, а). С изменением размеров нароста изменяется соотношение сил, действующих на него. Когда сумма сил  $\bar{P}_1$  и  $\bar{Q}$  становится больше силы трения  $\bar{T}$ , происходит разрушение и срыв нароста. Частота срывов нароста зависит от скорости резания.

Нарост существенно влияет на процесс резания и качество обработанной поверхности заготовки, так как при его наличии изменяются условия стружкообразования. Нарост может положительно влиять на процесс резания. Он изменяет форму передней поверхности инструмента, что приводит к увеличению переднего угла, а следовательно, к уменьшению силы резания. Вследствие высокой твердости нарост способен резать металл. Он удаляет центр давления стружки от режущей кромки, вследствие чего уменьшается износ режущего инструмента по передней поверхности. Нарост улучшает теплоотвод от режущего инструмента.

Нарост также оказывает отрицательное влияние и на процесс резания. Он увеличивает шероховатость обработанной поверхности. Частицы нароста, внедрившиеся в обработанную поверхность, при работе сопрягаемых деталей вызывают повышенный износ пары. Наличие нароста изменяет вылет резца от  $l$  до  $l_1$  (рис. 55, а), что отражается на диаметральных размерах заготовки

Мощность электрического двигателя станка ( $N_э$ ), кВт:

$$N_э = \frac{N_e}{\eta},$$

где  $\eta$  — коэффициент полезного действия механизмов и передач станка.

**Влияние нароста и наклепа на формирование поверхностного слоя обрабатываемой заготовки.**

в различных зонах по ее длине, и вследствие этого обработанная поверхность получается волнистой. В результате изменения переднего угла инструмента колеблется величина силы резания, что вызывает вибрацию частей станка и инструмента, а это ухудшает качество обработанной поверхности.

Следовательно, нарост полезен при черновой обработке, когда возникают большие силы резания, снимается большой слой металла и выделяется большое количество теплоты и, наоборот, нарост вреден при чистовой обработке, например при протягивании, развертывании, так как приводит к снижению качества обработанной поверхности.

Образование нароста зависит от физико-механических свойств материала обрабатываемой детали, скорости резания, геометрии режущего инструмента и других факторов. Наиболее активно нарост образуется при обработке деталей из пластичных материалов. Интенсивность образования нароста в значительной степени зависит от скорости резания. Наибольшее наростообразование имеет место при скоростях резания 18—30 м/мин, а при скоростях резания до 10—12 м/мин и более 50—70 м/мин нарост на режущем инструменте практически не образуется.

Исследования процесса образования нароста позволяют дать следующие рекомендации по борьбе с ним в условиях чистовой обработки: изменение геометрии режущего инструмента и скорости резания, применение смазочно-охлаждающих жидкостей, тщательная доводка передней поверхности режущего инструмента для снижения коэффициента трения между ней и отходящей стружкой и др.

Результатом упругой и пластической деформации материала обрабатываемой заготовки является упрочнение (наклепывание) поверхностного слоя обработанной заготовки. При рассмотрении процесса стружкообразования принято считать инструмент острым. Однако инструмент всегда имеет радиус закругления режущей кромки  $\rho$  (рис. 55, б), величина которого при обычных методах заточки составляет примерно 0,02 мм. Такой инструмент может срезать с заготовки стружку при условии, что глубина резания  $t$  больше радиуса  $\rho$ . Тогда в стружку переходит часть срезаемого слоя металла, лежащая выше линии  $CD$ . Слой металла, толщина которого соизмерима с величиной радиуса  $\rho$ , лежащий между линиями  $AB$  и  $CD$ , будет упругопластически деформироваться. При работе инструмента величина радиуса  $\rho$  быстро растет вследствие затупления режущей кромки, и расстояние между линиями  $AB$  и  $CD$  увеличивается.

Упрочнение металла обработанной поверхности заготовки проявляется в повышении ее поверхностной твердости. Если твердость металла заготовки принять за 100%, то твердость металла обработанной поверхности после обработки резанием может увеличиться в 2 раза. Значение твердости может колебаться, так как величина пластической деформации и глубина ее проникновения зависят от физико-механических свойств материала обрабатываемого

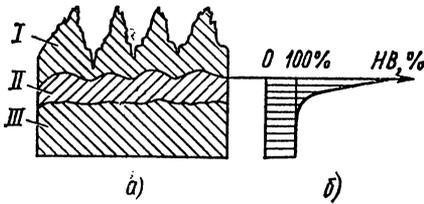


Рис. 56. Поверхностный слой материала заготовки:  
 а — строгание; б — эпюра изменения твердости

мой заготовки, геометрии режущего инструмента и режима резания.

Следствием деформирования металла является также то, что после перемещения реза относительно обработанной поверхности происходит упругое восстановление поверхностного деформированного слоя на величину  $h_y$  (рис. 55, б) — упругое последействие. В результате

этого образуется контактная площадка шириной  $H$  между обработанной поверхностью и вспомогательной задней поверхностью реза. Со стороны обработанной поверхности возникают силы нормального давления  $N$  и трения  $F$ . Чем больше величина упругой деформации, тем больше сила трения. Для уменьшения сил трения у режущего инструмента делают задние углы, величина которых зависит от степени упругой деформации материала заготовки.

Упругопластическое деформирование металла приводит к возникновению в поверхностном слое заготовки остаточных напряжений, которые могут быть растягивающими или сжимающими. Напряжения растяжения снижают предел выносливости материала заготовки, так как приводят к появлению микротрещин в поверхностном слое, развитие которых ускоряется действием корродирующей среды. Напряжения сжатия, напротив, повышают предел выносливости деталей. Неравномерная релаксация остаточных напряжений искажает геометрическую форму обработанных поверхностей, снижает точности их взаимного расположения и размеров. Релаксация напряжений, продолжающаяся в процессе эксплуатации машин, снижает их качество, надежность и долговечность.

Следовательно, окончательную обработку поверхностей заготовок следует вести такими методами и в таких условиях, чтобы остаточные напряжения отсутствовали или были минимальными по величине. Целесообразно, чтобы в поверхностном слое возникали напряжения сжатия. Можно снизить величину напряжений, применяя, например, электрохимическую обработку, а для получения в поверхностном слое сжимающих напряжений можно рекомендовать обработку тонким пластическим деформированием, например, обкатку поверхностей заготовок стальным закаленным роликом или шариком.

Условно поверхностный слой обработанной заготовки можно разделить на три зоны (рис. 56, а): I — зона разрушенной структуры с измельченными зернами, резкими искажениями кристаллической решетки и большим количеством микротрещин; ее следует обязательно удалять при каждой последующей обработке поверхности заготовки; II — зона наклепанного металла; III —

основной металл. В зависимости от физико-механических свойств материала обрабатываемой заготовки и режима резания глубина наклепанного слоя составляет несколько миллиметров при черновой обработке и сотые и тысячные доли миллиметра при чистовой обработке. Пластичные металлы подвергаются большему упрочнению, чем твердые.

Наклеп обработанной поверхности можно рассматривать как полезное явление, если возникающие остаточные напряжения являются сжимающими. Однако наклеп, полученный при черновой обработке, отрицательно влияет на процесс резания при последующей чистовой обработке, когда срезаются тонкие стружки (развертывание, протягивание и т. д.). В этом случае инструмент работает по поверхности с повышенной твердостью, что приводит к его быстрому затуплению, шероховатость поверхности увеличивается.

**Тепловые явления процесса резания.** Процесс резания сопровождается образованием теплоты. Количество теплоты  $Q$ , выделяющейся в единицу времени, Дж/мин:

$$Q = P_z v.$$

Причинами образования теплоты являются упругопластическое деформирование в зоне стружкообразования, трение стружки о переднюю поверхность инструмента, трение задних поверхностей инструмента о поверхность резания и обработанную поверхность заготовки (рис. 57).

Тепловой баланс процесса резания можно представить следующим тождеством:

$$Q = Q_d + Q_{п.п} + Q_{з.п} = Q_c + Q_s + Q_n + Q_l,$$

где  $Q_d$  — количество теплоты, выделяющейся при упругопластическом деформировании обрабатываемого материала, Дж;  $Q_{п.п}$  — количество теплоты, выделяющейся при трении стружки о переднюю поверхность инструмента, Дж;  $Q_{з.п}$  — количество теплоты, выделяющейся при трении задних поверхностей инструмента о заготовку, Дж;  $Q_c$  — количество теплоты, отводимое стружкой, Дж,

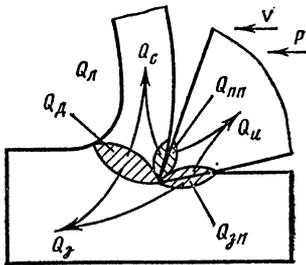


Рис. 57. Источники образования и распространение теплоты резания

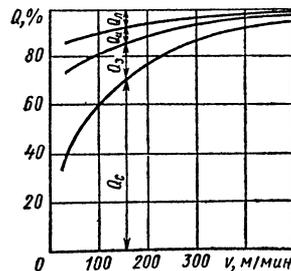


Рис. 58. Распределение теплоты резания в зависимости от скорости резания

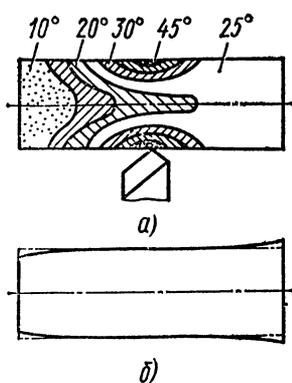


Рис. 59. Влияние нагрева на заготовку:

а — температурное поле заготовки; б — форма заготовки после обработки

$Q_s$  — количество теплоты, отводимое заготовкой, Дж;  $Q_n$  — количество теплоты, отводимое режущим инструментом, Дж;  $Q_l$  — количество теплоты, переходящее в окружающую среду (теплота лучеиспускания), Дж.

В зависимости от технологического метода и условий обработки стружкой отводится от 25 до 85% всей выделившейся теплоты; заготовкой 10—50%; инструментом 2—8%. Количественное распределение теплоты зависит главным образом от скорости резания (рис. 58). Теплообразование отрицательно влияет на процесс резания. Нагрев инструмента до высоких температур (800—1000°С) вызывает структурные превращения в материале, из которого он изготовлен, снижение твердости инструмента и потерю его режущих способностей.

Нагрев инструмента вызывает также изменение его геометрических размеров, что влияет на точность размеров и геометрическую форму обработанных поверхностей. Например, при обтачивании цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке удлинение резца при повышении его температуры изменяет глубину резания, и обработанная поверхность может получиться конусообразной. Нагрев заготовки вызывает изменение ее геометрических размеров. Вследствие жесткого закрепления на станке заготовка начинает деформироваться. Температурные деформации инструмента, приспособлений, заготовки и станка изменяют глубину резания и снижают точность геометрической формы поверхности и ее размеров.

Нагрев инструмента вызывает также изменение его геометрических размеров, что влияет на точность размеров и геометрическую форму обработанных поверхностей. Например, при обтачивании цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке удлинение резца при повышении его температуры изменяет глубину резания, и обработанная поверхность может получиться конусообразной. Нагрев заготовки вызывает изменение ее геометрических размеров. Вследствие жесткого закрепления на станке заготовка начинает деформироваться. Температурные деформации инструмента, приспособлений, заготовки и станка изменяют глубину резания и снижают точность геометрической формы поверхности и ее размеров.

Погрешность формы обработанных поверхностей возрастает в связи с тем, что температурное поле переменное по объему заготовки (рис. 59, а). После охлаждения заготовка получает дополнительную погрешность формы обработанной поверхности (рис. 59, б). Температурные погрешности, влияющие на точность формы и размеров обрабатываемой заготовки, следует учитывать при наладке станков, особенно автоматов и полуавтоматов. Для определения величины погрешностей необходимо знать температуру инструмента и заготовки или количество теплоты, переходящее в них.

Для уменьшения отрицательного влияния теплоты на процесс резания обработку следует вести в условиях применения смазочно-охлаждающих сред. В зависимости от технологического метода обработки, физико-механических свойств материалов обрабатываемой детали и режущего инструмента, а также от режима резания

применяют различные смазочно-охлаждающие среды, которые можно разделить на следующие группы.

**Жидкости:** водные растворы минеральных электролитов, эмульсии, растворы мыл; минеральные, животные и растительные масла; минеральные масла с добавлением фосфора, серы, хлора (сульфозфрезолы), керосин и растворы поверхностно-активных веществ в керосине; масла и эмульсии с добавлением смазывающих веществ (графита, парафина, воска и др.).

**Газы и газообразные вещества:** газы  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{N}_2$ ; пары поверхностно-активных веществ; распыленные жидкости (туман) и пены.

**Твердые вещества:** порошки воска, парафина, петролатума, битума; мыльные порошки.

Чаще всего при обработке резанием применяют смазочно-охлаждающие жидкости. Обладая смазывающими свойствами, жидкости снижают внешнее трение стружки о переднюю поверхность инструмента и задних поверхностей инструмента о заготовку. Одновременно снижается работа деформирования. Общее количество теплоты, выделяющейся при резании, уменьшается. Смазочно-охлаждающие среды отводят теплоту во внешнюю среду от мест ее образования, охлаждая тем самым режущий инструмент, деформируемый слой и обработанную поверхность заготовки. Интенсивный отвод теплоты понижает общую тепловую напряженность процесса резания. Смазывающее действие сред препятствует образованию налипков металла на рабочих поверхностях инструмента, в результате чего снижается шероховатость обработанных поверхностей заготовки. Указанные положительные действия смазочно-охлаждающих сред приводят к тому, что эффективная мощность резания уменьшается на 10—15%; стойкость режущего инструмента резко возрастает, обработанные поверхности заготовок имеют меньшую шероховатость и большую точность, чем при обработке без применения смазочно-охлаждающих средств.

При черновой и получистовой обработке, когда необходимо иметь сильное охлаждающее действие среды, широко применяют водные эмульсии. Количество эмульсии, используемой в процессе резания, зависит от технологического метода обработки и режима резания и колеблется от 5 до 150 л/мин. Увеличивать подачу жидкости рекомендуют при работе инструментов, армированных пластинками твердого сплава, что способствует их равномерному охлаждению и предохраняет от растрескивания. При чистовой обработке, когда требуется получить высокое качество обработанной поверхности, широко используют различные масла. Для активизации смазок к ним добавляют активные вещества — фосфор, серу, хлор. Под влиянием высоких температур и давлений эти вещества образуют с материалом контактирующих поверхностей соединения, снижающие трение — фосфиды, хлориды, сульфиды. При обработке заготовок из хрупких материалов (чугунов, бронзы и т. д.), когда образуется стружка надлома, в качестве охлаждаю-

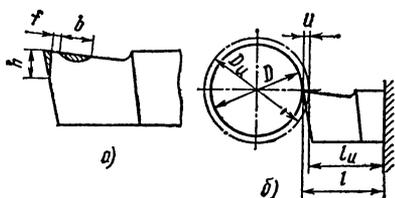


Рис. 60. Износ реза (а) и изменение размеров реза и заготовки в результате износа (б)

жидкость подается тонкой струей, с большой скоростью, под давлением  $1,5—2,0 \text{ МН/м}^2$  со стороны задних поверхностей инструмента. Весьма эффективным методом является охлаждение распыленными жидкостями — туманом, который подается со стороны задних поверхностей инструмента. В тех случаях, когда охлаждение режущего инструмента затруднено, используют подвод жидкости непосредственно в зону резания через полый режущий инструмент. Такой способ подачи жидкости в зону резания применяют, например, при сверлении глубоких отверстий.

**Износ и стойкость инструмента.** Трение между стружкой и передней поверхностью инструмента и между его главной задней поверхностью и поверхностью резания заготовки приводит к износу режущего инструмента. В условиях сухого и полусухого трения преобладающим является абразивное изнашивание инструмента. Высокие температуры и контактные давления вызывают следующие виды изнашивания: окислительное — разрушение поверхностных окисных пленок; адгезионное — вырыв частиц материала инструментом материалом стружки или заготовки вследствие молекулярного сцепления их; термическое — структурные превращения в материале инструмента.

Рассмотрим общий характер износа режущего инструмента на примере износа токарного реза (рис. 60, а). При изнашивании реза на его передней поверхности образуется лунка шириной  $b$ , а на главной задней поверхности — ленточка шириной  $h$ . У инструментов из разных материалов и при разных режимах резания преобладает износ по передней или по главной задней поверхности. При одновременном изнашивании по этим поверхностям образуется перемычка  $f$ .

Износ реза по главной задней поверхности в процессе обработки влияет на глубину резания, так как уменьшается вылет реза на величину  $u = l - l_u$  (рис. 60, б). Величина износа реза пропорциональна времени обработки, поэтому по мере роста величины  $u$  глубина резания  $t$  уменьшается. Обработанная поверхность получается конусообразной с наибольшим диаметром  $D_u$  и наименьшим  $D$ . Приблизительно величина износа реза по главной задней поверхности  $u = h \text{ tg } \alpha$ .

Количественное выражение допустимой величины износа называют критерием износа. За критерий износа принимают в большинстве случаев величину износа инструмента по главной задней поверхности ( $h$ ). Для токарных резцов из быстрорежущей стали допустимый износ  $h = 1,5 \div 2$  мм, для резцов с пластинками твердого сплава  $h = 0,8 \div 1$  мм; с минералокерамическими пластинками  $h = 0,5 \div 0,8$  мм.

Допустимую величину износа токарного резца по главной задней поверхности можно определить по эмпирической формуле:

$$h = C_h v^n s^{x_h} t^{y_h},$$

где  $C_h$  — коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала и условия обработки (указан в справочниках, так же как и значение показателей степени  $n_h, x_h, y_h$ ). Допустимой величине износа инструмента соответствует его определенная стойкость.

Под *стойкостью* инструмента  $T$  понимают суммарное время (в минутах) его работы между переточками на определенном режиме резания. Период стойкости токарных резцов, режущая часть которых изготовлена из разных инструментальных материалов, лежит в пределах от 30 до 90 мин. Стойкость инструмента зависит от физико-механических свойств материала инструмента и обрабатываемой заготовки, режима резания, геометрии инструмента и условий обработки. Наибольшее влияние на стойкость оказывает скорость резания.

Между величинами  $v$  и  $T$  при определенных условиях обработки существует зависимость:

$$v_1 T_1^m = v_2 T_2^m = v_n T_n^m = \text{const} \quad \text{или} \quad v = \frac{C}{T^m},$$

где  $C$  — постоянная величина;  $m$  — показатель относительной стойкости; для резцов  $m = 0,1 \div 0,3$ .

Так как величина  $m$  мала, то стойкость резцов резко падает даже при незначительном росте скорости резания, поэтому обработку всегда следует вести на расчетной скорости. Это условие легко выполнимо на станках с бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя. На станках со ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя обработку следует вести на ближайшей меньшей к расчетной частоте вращения заготовки. В этом случае будет небольшое уменьшение скорости резания, а стойкость инструмента будет больше принятой. Это уменьшит время на смену затупившегося инструмента, но, как правило, не снизит производительность. Износ режущего инструмента приводит не только к понижению точности размеров и геометрической формы обработанных поверхностей. Работа затупившимся инструментом вызывает рост силы резания. Соответственно увеличиваются составляющие силы резания, что вызывает повышенную деформацию заготовки и инструмента и еще более уменьшает точность и

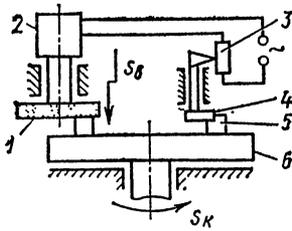


Рис. 61. Схема автоматической подналадки плоскошлифовального станка для уменьшения влияния износа на точность обработки

изменяет форму обработанных поверхностей заготовок. В этих условиях также увеличиваются глубина наклепанного поверхностного слоя материала заготовки и силы трения между заготовкой и инструментом, что, в свою очередь, увеличивает теплообразование в процессе резания.

При обработке на настроенных станках износ инструментов приводит к рассеянию размеров обработанных поверхностей заготовок, что снижает качество сборки деталей при условии соблюдения взаимозаменяемости деталей. Уменьшить влияние размерного износа на точность обработки можно периодической подналадкой станка за время стойкости инструмента. Рассмотрим автоматическую подналадку карусельного плоскошлифовального станка (рис. 61). Шлифовальный круг 1 обрабатывает заготовки 5 в заданный размер по высоте за один рабочий ход. Перед сходом с вращающегося электромагнитного стола 6 заготовки проходят под измерительным шупом 4. Если вследствие износа шлифовального круга он не срезал весь припуск и деталь имеет размер по высоте больше допустимого, то шуп 4 замыкает контактную систему 3. Сигнал передается на привод 2, и шлифовальный круг опускается вниз на определенную величину, что восстанавливает точность размеров заготовок по высоте.

Применение автоматических подналадчиков в значительной степени уменьшает влияние размерного износа режущего инструмента на точность размеров и форм обрабатываемых поверхностей заготовок на токарных, фрезерных, шлифовальных и других станках.

**Влияние вибраций на качество обработки.** При обработке заготовок на станках иногда возникают периодические колебательные движения (вибрации) элементов системы СПИД: станок — приспособление — инструмент — деталь. В этих условиях процесс резания теряет устойчивость.

Колебания инструмента относительно заготовки резко снижают качество обработанной поверхности: шероховатость возрастает; появляется волнистость; усиливается динамический характер силы резания, а нагрузки на движущиеся детали и сборочные единицы станка возрастают в десятки раз — особенно в условиях резонанса, когда частота собственных колебаний системы СПИД совпадает с частотой колебаний при обработке резанием. Стойкость инструмента, особенно с пластинками из твердых сплавов, при колебаниях резко падает. При наличии вибраций возникает шум, утомляюще действующий на окружающих людей, и производительность труда снижается.

При резании вынужденные колебания возникают под действием внешних периодических возмущающих сил, вследствие прерыви-

стости процесса резания, неуравновешенности вращающихся масс, погрешностей изготовления и сборки передач и ритмичности работы близко расположенных машин. Вынужденные колебания устраняют, уменьшив величину возмущающих сил и повысив жесткость частей станка.

Автоколебания (незатухающие самоподдерживающиеся колебания) характеризует то, что силы, поддерживающие колебательный процесс системы, возникают в процессе резания. Возмущающая сила создается и управляется самим процессом и после прекращения его исчезает. Причинами автоколебаний системы СПИД в процессе резания являются изменения величины сил резания и трения на рабочих поверхностях инструмента, а также площади поперечного сечения срезаемого слоя металла; образование и срывы наростов; упругие деформации заготовки и инструмента. Автоколебания могут быть низкочастотными ( $f = 50 \div 500$  Гц) и высокочастотными ( $f = 800 \div 6000$  Гц). Первые вызывают на обработанной поверхности заготовки волнистость, вторые — мелкую рябь. Возникновение автоколебаний можно устранить, изменяя режимы резания и геометрию инструмента, правильно устанавливая заготовку и инструмент на станке, а также обрабатывая заготовки на больших скоростях резания.

Для уменьшения автоколебаний повышают жесткость технологической системы СПИД, главным образом станков и режущего инструмента; уменьшают массы колебательных систем, особенно массу обрабатываемой заготовки; применяют виброгасители. Для гашения автоколебаний используют динамические, упругие, гидравлические и другие вибросистемы.

Однако вибрации при обработке можно использовать так, чтобы они положительно влияли на процесс резания и качество обработанных поверхностей. Для облегчения резания деталей из труднообрабатываемых материалов иногда применяют вибрации. Сущность вибрационного резания состоит в том, что в отличие от вынужденных колебаний и автоколебаний системы СПИД в процессе обработки создаются искусственные колебания (вибрации) инструмента с регулируемой частотой, заданной амплитудой и в заданном направлении. Источниками искусственных колебаний служат механические вибраторы или высокочастотные генераторы. Частоту колебаний задают от 200 до 20000 Гц, амплитуду колебаний — от 0,02 до 0,002 мм. Выбор оптимальных амплитуды и частоты колебаний зависит от технологического метода обработки и режима резания. Колебания задают по направлению подачи или по направлению скорости резания.

Вибрационное резание по сравнению с обычным имеет следующие преимущества: обеспечивает устойчивое дробление стружки на отдельные элементы, снижает сопротивление металла деформированию и эффективную мощность резания. При вибрационном резании не образуются нарост на режущем инструменте и заусенцы на обработанной поверхности, однако в некоторых случаях

стойкость инструмента несколько снижается. Вибрационное резание применяют при точении, сверлении, нарезании резьбы плашками и метчиками, шлифовании, фрезеровании и других методах обработки.

### § 5. Точность, качество и производительность обработки

Надежность и долговечность машин во многом зависят от точности обработки деталей, качества обработанных поверхностей и точности сборки. Под точностью обработки понимают точность выполнения размеров, формы и взаиморасположения поверхностей. Точность выполнения размеров определяет отклонение фактических размеров обработанной поверхности детали от ее конструктивных размеров, указываемых в рабочем чертеже в соответствии с допустимыми отклонениями на размеры обрабатываемых поверхностей.

Под точностью формы поверхностей понимают степень их соответствия геометрически правильным поверхностям, с которыми они отождествляются. Предельные отклонения формы обработанных поверхностей регламентируются государственными стандартами, так же как и точность их взаимного расположения. Предельные отклонения формы и расположения поверхностей на рабочих чертежах деталей обозначают условно в соответствии с государственными стандартами или их оговаривают текстом в технических требованиях на изготовление деталей.

Одним из показателей качества обработанной поверхности является шероховатость.

*Шероховатость поверхности* — это совокупность неровностей, образующих рельеф поверхности и рассматриваемых в пределах определенного участка ее. Шероховатость характеризует среднее арифметическое отклонение профиля от среднего значения ( $Ra$ ), высота неровностей ( $Rz$ ) и другие параметры. Шероховатость поверхностей условно можно разделить на четыре группы. К первой группе относят грубые поверхности, получаемые при обдирочном (черновом) точении, строгании, фрезеровании, сверлении. Ко второй группе относят поверхности, полученные полустистой обработкой разными технологическими методами. Третью группу составляют поверхности, обработанные абразивными инструментами, а также отделочными методами (тонкое точение, развертывание, протягивание), электрофизическими и методами пластического деформирования. К четвертой группе относят поверхности, тонко обработанные притиркой, хонингованием, суперфинишированием, алмазным выглаживанием и другими технологическими методами обработки. Чем выше требования, предъявляемые к точности и качеству поверхностей, тем длительнее процесс обработки заготовки и сложнее технологический процесс изготовления.

Производительность обработки определяет число деталей, изготавливаемых в единицу времени:

$$Q = \frac{1}{T}.$$

Время  $T$ , мин, складывается из времен: основного (технологического) ( $T_0$ ), подготовительно-заключительного, вспомогательного и оргтехобслуживания, которые берут в процентах от основного времени.

Основное (технологическое) время затрачивается непосредственно на процесс изменения формы, размеров и шероховатости обрабатываемой поверхности заготовки. Формулы для определения основного времени в зависимости от технологического метода обработки приведены в справочной литературе. Например, при обтачивании цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке

$$T_0 = \frac{Lh}{ns_{np}t},$$

где  $L$  — расчетная длина хода резца относительно заготовки, мм;  
 $h$  — припуск на обработку, мм.

Наибольшая производительность будет при работе с наибольшей подачей, глубиной резания и скоростью резания при наименьшей длине обрабатываемой поверхности и наименьшем припуске на обработку. При увеличении величин  $s_{np}$  и  $t$  производительность возрастает, но качество поверхности резко падает, поэтому обработку заготовок следует вести на таких режимах резания, при которых будут высокие точность обработки и качество поверхностей при требуемой производительности.

Элементы режима резания назначают в следующей последовательности. Сначала назначают глубину резания. При этом стремятся весь припуск на обработку срезать за один рабочий ход режущего инструмента. Если по технологическим причинам необходимо делать два рабочих хода, то при первом ходе снимают около 80% припуска, при втором (чистовом) около 20% припуска. Затем выбирают величину подачи. Рекомендуют назначать наибольшую допустимую величину подачи, учитывая требования точности и допустимой шероховатости обработанной поверхности, а также мощность станка, режущие свойства материала инструмента, жесткость и динамическую характеристику системы СПИД. Наконец, определяют скорость резания, исходя из выбранных величин глубины резания, подачи и стойкости режущего инструмента.

Скорость резания, м/мин, при точении, например, определяют по следующей эмпирической формуле:

$$v = \frac{C_v}{t^{x_v} s_{np}^{y_v} T^m},$$

где  $C_v$  — коэффициент, учитывающий физико-механические свойства материала обрабатываемой заготовки и условия обработки (указан в справочниках, так же как и величины показателей степени  $x_v$ ,  $y_v$ ).

После вычисления скорости резания определяют частоту вращения шпинделя станка, соответствующую этой скорости резания, об/мин:

$$n = \frac{1000v}{\pi D_{\text{нар}}}.$$

Так как на станке точно такой частоты вращения шпинделя может не быть вследствие ступенчатого регулирования, то назначают ближайшую меньшую частоту вращения, соответствующую определенной по формуле. В результате скорость резания уменьшается незначительно, а стойкость режущего инструмента увеличивается.

## Глава II

### ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Режущие инструменты работают в условиях больших нагрузок, высоких температур, трения и износа, поэтому инструментальные материалы должны удовлетворять особым эксплуатационным требованиям. Материал рабочей части инструмента должен иметь большую твердость и высокие допускаемые напряжения на изгиб, растяжение, сжатие, кручение. Твердость материала рабочей части инструмента предусматривают значительно большей, чем твердость материала обрабатываемой заготовки.

Высокие прочностные свойства необходимы, чтобы инструмент обладал сопротивляемостью соответствующим деформациям в процессе резания, а достаточная вязкость материала инструмента позволяет воспринимать ударную динамическую нагрузку, возникающую при обработке заготовок из хрупких материалов и заготовок с прерывистой поверхностью. Инструментальные материалы должны иметь высокую красностойкость, т. е. сохранять большую твердость при высоких температурах нагрева. Важнейшей характеристикой материала рабочей части инструмента является износостойкость. Чем выше износостойкость, тем медленнее изнашивается инструмент и выше его размерная стойкость. Это значит, что детали, последовательно обработанные одним и тем же инструментом, будут иметь минимальный разброс размеров. Материалы для изготовления режущих инструментов должны по возможности содержать наименьшее число дефицитных элементов.

#### § 1. Инструментальные стали

*Углеродистые инструментальные стали* содержат 0,9—1,3% С. Для изготовления инструментов применяют качественные стали У10А, У11А, У12А. После термической обработки стали (HRC 60—62) имеют красностойкость 200—250 °С. При этой температуре твер-

дость стали резко уменьшается, и инструменты не могут выполнять работу резания. Эти стали имеют ограниченное применение, так как допустимые скорости резания не превышают 15—18 м/мин. Из них изготовляют метчики, плашки, ножовочные полотна и другие инструменты.

*Легированные инструментальные стали.* Основой их служат инструментальные углеродистые стали, легированные хромом Х, вольфрамом В, ванадием Ф, кремнием С и другими элементами. После термообработки легированные стали (*HRC* 62—64) имеют красностойкость 250—300 °С. Легированные стали по сравнению с углеродистыми имеют повышенную вязкость в закаленном состоянии, более высокую прокаливаемость, меньшую склонность к деформациям и появлению трещин при закалке. Допустимая скорость резания 15—25 м/мин. Для изготовления протяжек, сверл, метчиков, плашек, разверток используют стали 9ХВГ, ХВГ, ХГ, 6ХС, 9ХС и др.

*Быстрорежущие стали* содержат 8,5—19% W, 3,8—4,4% Cr, 2—10% Co и V. Для изготовления режущих инструментов используют стали Р9, Р12, Р18, Р6М3, Р6М5, Р9Ф5, Р14Ф4, Р18Ф2, Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф2, Р10К5Ф5. Режущий инструмент из быстрорежущей стали (*HRC* 62—65) после термической обработки имеет красностойкость 600—630 °С и обладает повышенной износостойкостью. Он может работать со скоростями до 100 м/мин.

Сталь Р9 рекомендуют для изготовления инструментов простой формы (резцов, фрез, зенкеров). Для фасонных и сложных инструментов (для нарезания резьб и зубьев), для которых основным требованием является высокая износостойкость, рекомендуют использовать сталь Р18. Кобальтовые быстрорежущие стали (Р9К5, Р18К5Ф2, Р9К10) применяют для обработки деталей из труднообрабатываемых коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, в условиях тяжелого прерывистого резания, вибраций, при плохих условиях охлаждения.

Ванадиевые быстрорежущие стали (Р9Ф5, Р14Ф4) рекомендуют для изготовления инструментов, предназначенных для чистовой обработки (протяжки, развертки, шеверы). Их можно применять для обработки деталей из труднообрабатываемых материалов при срезании стружек с небольшим поперечным сечением.

Вольфрамомолибденовые стали (Р9М4, Р6М3) используют для инструментов, работающих в условиях черновой обработки, а также для изготовления протяжек, долбяков, шеверов, фрез и других инструментов.

Для экономии быстрорежущих сталей режущий инструмент изготовляют сборным или сварным. Рабочую часть инструмента делают из быстрорежущей стали, которую сваривают с хвостовиком из конструкционной стали 45, 50, 40Х и др. Часто используют пластинки из быстрорежущей стали, которые приваривают к державкам или корпусам инструментов.

## § 2. Металло- и минералокерамика

*Металлокерамические сплавы* — это твердый раствор карбидов вольфрама, титана и тантала (WC, TiC, TaC) в металлическом кобальте (Co). Твердые сплавы применяют в виде пластинок определенных форм и размеров, изготавливаемых порошковой металлургией. Пластины предварительно прессуют, а затем спекают при температуре 1500—1900 °С.

Твердые сплавы делят на группы: вольфрамовую — ВК2, ВК3, ВК3М, ВК4, ВК4В, ВК6М, ВК6, ВК6В, ВК8, ВК8В, ВК10, ВК15, ВК20, ВК25; титановольфрамовую — Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В; титано-тантало-вольфрамовую — Т17К12 и ТТ10К8Б. Пластины твердого сплава (HRA 86—92) обладают высокой износостойкостью и красностойкостью (800—1000 °С), что позволяет вести обработку со скоростями до 800 м/мин. Эти пластины припаивают к державкам или корпусам инструментов медными (латунными) припоями или крепят механическим способом.

В промышленности применяют многогранные неперетачиваемые твердосплавные пластины (трех-, четырех-, пяти-, шестигранные и др.), которые крепят механическим способом. После изнашивания одной из режущих кромок пластины в работу вводят следующие. Недостатком твердых сплавов является низкая пластичность. С уменьшением содержания кобальта и увеличением содержания карбидов титана их пластичность уменьшается.

Твердые сплавы группы ВК используют для обработки деталей из хрупких металлов, пластмассы и неметаллических материалов, а сплавы группы ТВК — для обработки деталей из пластических и вязких металлов и сплавов. Мелкозернистые твердые сплавы (ВК6М и др.) применяют для обработки деталей из труднообрабатываемых коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, твердых чугунов, бронз, закаленных сталей, сплавов легких металлов, сплавов титана, фарфора, керамики, стекла, ферритов и т. п. Трехкарбидные сплавы ТТК отличаются от групп сплавов ВК, ТВК повышенной износостойкостью, прочностью и вязкостью. Эти сплавы применяют для обработки деталей из труднообрабатываемых сталей аустенитного класса.

Сложные по форме инструменты (сверла, зенкеры, развертки, элементы протяжек), а также инструменты небольших размеров часто изготавливают из пластифицированных твердых сплавов. Пластифицированные твердые брикеты легко обрабатывать на металлорежущих станках, прессовать и выдавливать через фасонные фильеры. Инструмент, изготовленный одним из этих методов, спекают в специальных печах при 1300 °С. После спекания он приобретает необходимую твердость, его подвергают чистовой обработке и затачиванию. Инструмент из пластифицированного твердого сплава обеспечивает более высокое качество обработанных поверхностей, чем инструмент, оснащенный пластинками

твердого сплава. Стойкость такого инструмента несколько выше.

*Минералокерамика* — синтетический материал, основой которого является глинозем ( $Al_2O_3$ ), подвергнутый спеканию при температуре 1720—1750 °С. Минералокерамика марки ЦМ-332 (HRA 91—93) имеет красностойкость 1200 °С. Минералокерамика имеет высокую износостойкость и ее применяют для изготовления инструментов, к которым предъявляют повышенные требования по размерной стойкости. Ее малое родство с металлами исключает слипание с материалом обрабатываемой детали. Недостатком минералокерамики является низкая прочность и большая хрупкость.

Пластинки из минералокерамики крепят к державкам резцов или корпусам инструментов механическим способом или, сделав металлизацию пластинок, крепят их пайкой. Инструменты, оснащенные пластинками из минералокерамики, эффективно использовать при полустойковой обработке деталей из сталей и цветных металлов в условиях безударной нагрузки. Для повышения эксплуатационных характеристик инструментов с пластинками из минералокерамики в нее добавляют W, Mo, V, Ti, Ni. Такие материалы называют керметами. Особое значение керметы приобретают при обработке деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов.

### § 3. Абразивные и алмазные материалы

*Абразивные материалы* — это мелкозернистые порошковые вещества (химические соединения элементов), которые используют для изготовления абразивных инструментов: шлифовальных кругов, головок, сегментов, брусков. Естественные абразивные материалы (наждак, кварцевый песок, корунд) применяют ограниченно из-за неоднородности свойств. В промышленности применяют в основном искусственные абразивные материалы: электрокорунды, карбиды кремния, карбиды бора, окись хрома, синтетические алмазы, борсилокарбид, славутич, эльбор, гексагонит и др.

Абразивные материалы имеют высокие твердость, красностойкость (1800—2000 °С) и износостойкость. Инструменты из абразивных материалов позволяют обрабатывать детали со скоростью резания от 15 до 100 м/с. Абразивные материалы используют главным образом при изготовлении инструментов для окончательной обработки деталей, когда к ним предъявляют повышенные требования по точности и шероховатости обработанных поверхностей.

Шлифовальные электрокорундовые круги применяют для обработки деталей из материалов с высоким сопротивлением на разрыв. Инструменты из черного карбида кремния применяют для обработки деталей из материалов с низким сопротивлением на разрыв, а также из вязких металлов и сплавов. Инструменты из зеленого карбида кремния используют для обработки и заточки твердосплавных и минералокерамических режущих инструментов. Порошок карбида бора используют для притирочных и доводочных работ, например, для доводки твердосплавных инструментов, а также для

шлифования деталей из очень твердых материалов (рубина, кварца, корунда и т. д.). Для изготовления шлифовальных и полировальных паст применяют окись хрома, венскую известь, трепел.

Борсилокарбид используют для обработки деталей из твердых сплавов, рубина и других высокотвердых материалов. Эльбор (кубонит) служит заменителем алмазов, его применяют для обработки деталей из высокотвердых материалов и конструкционных сталей. Славутич — новый сверхтвердый материал. Инструменты из него не уступают алмазным по износостойкости и превосходят по прочности.

*Алмазы* составляют особую группу материалов. В промышленности используют природные (А) и синтетические алмазы марок АСО, АСП, АСВ, АСК, АСС, АСМ, АСН. Алмаз является самым твердым материалом, имеет высокую красностойкость и износостойкость, у него практически отсутствует слипание со многими материалами. Недостатком алмазов является их повышенная хрупкость. Алмазы используют для изготовления алмазных инструментов (круги, пилы, бруски, ленты) и алмазных доводочных порошков. Кристаллы алмазов применяют для оснащения режущих инструментов (резцов, сверл и др.). Масса единичных кристаллов, идущих на оснащение режущих инструментов, составляет 0,2—0,8 карат (1 карат = 0,2 г).

Наиболее широко используют алмазные резцы, которые применяют при тонком точении или растачивании деталей из сплавов алюминия, бронз, латуней и неметаллических материалов. Алмазный инструмент применяют также для обработки деталей из твердых материалов, германия, кремния, полупроводниковых материалов, керамики, жаропрочных сталей и сплавов. При использовании алмазных инструментов повышается качество обработанных поверхностей деталей. Обработку ведут со скоростями резания 100 м/мин и более. Поверхности деталей, обработанные в этих условиях, имеют низкую шероховатость и высокую точность размеров, так как алмазы имеют высокую размерную стойкость.

### *Глава III*

## **СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ И ИХ АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **§ 1. Классификация металлорежущих станков**

Существуют классификации металлорежущих станков по отдельным признакам и по комплексу признаков. В качестве таких признаков принимают технологический метод обработки, назначение, степень автоматизации, число главных рабочих органов, особенности конструкции, точность изготовления, массу и т. д. Классификацию по технологическому методу обработки проводят в соответствии с такими признаками, как вид режущего инстру-

мента, характер обрабатываемых поверхностей и схема обработки. Все станки делят на токарные, сверлильные, шлифовальные, полировальные и доводочные, зубообрабатывающие, фрезерные, строгальные, разрезные, протяжные, резьбообрабатывающие и т. д. Классификация по назначению характеризует степень универсальности станка.

Различают станки универсальные, широкого применения, специализированные и специальные. На универсальных станках выполняют самые разнообразные виды работ, используя заготовки многих наименований. Примерами таких станков являются токарно-винторезные, горизонтально-фрезерные консольные и др. Станки широкого назначения предназначены для выполнения определенных видов работ на заготовках многих наименований (многорезцовые, токарно-отрезные станки и т. д.). Специализированные станки предназначены для обработки заготовок одного наименования, но разных размеров (например, станки для обработки колеччатых валов). Специальные станки выполняют определенный вид работ на одной определенной заготовке.

По степени автоматизации различают станки с ручным управлением, полуавтоматы, автоматы и станки с программным управлением. По числу главных рабочих органов станки делят на одношпиндельные, многшпиндельные, односуппортные, многсуппортные и т. д. Классификация по конструктивным признакам выделяет станки с существенными конструктивными особенностями (например, вертикальные и горизонтальные токарные полуавтоматы). Классификация по точности устанавливает пять классов станков: Н — нормальной, П — повышенной, В — высокой, А — особо высокой точности и С — особо точные станки.

Классификация по комплексу признаков наиболее полно отражается в общегосударственной Единой системе условных обозначений станков (табл. 2). Она построена по десятичной системе: все металлорежущие станки разбиты на десять групп, каждая группа — на десять типов, а каждый тип — на десять типоразмеров. В группу объединены станки по общности технологического метода обработки или близкие по назначению (например, сверлильные и расточные). Типы станков характеризуют такие признаки, как назначение, степень универсальности, число главных рабочих органов, конструктивные особенности. Внутри типа станки различают по техническим характеристикам. Резервные группы 0 и 4 предназначены для станков, работающих по новым технологическим методам.

В соответствии с этой классификацией каждому станку присваивают определенный шифр. Первая цифра шифра определяет группу станка, вторая — тип, третья (иногда третья и четвертая) показывает условный размер станка. Буква на втором или третьем месте позволяет различать станки одного типоразмера, но с разными техническими характеристиками. Буква в конце шифра указывает на различные модификации станков одной базовой мо-

Классификация металлорежущих станков

Группа станков	Шифр группы	Шифр типа												
		6	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	Разные токарные			
		Специализированные	Одношпиндельные	Многошпиндельные										
Сверильные и расточные	2	Вертикально-сверлильные	Полуавтоматы			Координатно-расточные	Радиально-сверлильные	Горизонтально-расточные	Алмазонарасточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные			
			Одношпиндельные	Многошпиндельные	Многошпиндельные									
Шлифовальные и доводочные	3	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочные шлифовальные	Специализированные шлифовальные	—	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные и полировочные	Разные, работающие абразивом				
											—	—	—	
Комбинированные	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
Зубо- и резьбообработывающие	5	Резьбнонарезные	Зубострогальные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные	Для нарезания червячных пар	Для обработки торцов зубьев	Резьбофрезерные	Зубоотделочные и проверочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообработывающие			
												—	—	—

Продолжение табл. 2

Группа ставков	Шифр группы	Шифр типа									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фрезерные	6	—	Вертикальные кон- солевые	Непре- рывного действия	—	Копир- вальные и гравир- овальные	Верти- кальные бескон- солевые	Про- дольные	Консолевые широкоуни- версальные	Горизон- тальные консолевые	Разные фрезер- ные
		—	Продольные одноствоеч- ные	двух- ствоеч- ные	Попереч- но-стро- гальные	Долбеж- ные	Протяж- ные го- ризон- тальные	—	Протяжные вертикаль- ные	—	Разные стро- гальные
Разрезные	8	—	Разрезные, работающие резцом	Разрезные, работающие абразив- ным кругом	Разрезные, работающие гладким диском	Пра- вильно- отрезные	Пилы			—	
		Ленточ- ные					Диско- вые	Ножовоч- ные			
Разные	9	—	Оплодоч- ные	Пило- насека- тельные	Пра- вильно- и бесцен- тровоч- обдироч- ные	Балансир- очные	Для ис- пытания сверл и шлифо- вальных кругов	Дели- тельные машины	—	—	

дели. Например, шифром 2Н135 обозначают вертикально-сверлильный станок (группа 2, тип 1), модернизированный (Н), с наибольшим условным диаметром сверления 35 мм (35).

## § 2. Кинематика станков

**Приводы и элементарные механизмы станков.** Привод металло-режущих станков — это совокупность механизмов, обеспечивающих заданный закон движения исполнительных органов (например, суппорта с инструментом, шпинделя с заготовкой и т. д.). В качестве элементов механизмов в станках применяют валы, подшипники, зубчатые колеса, звездочки и т. д. На схемах их обозначают условно (табл. 3). Механизмы привода различают по принципу действия на электрические, механические, гидравлические. По назначению их делят на двигатели и механизмы для передачи, преобразования, реверсирования и регулирования скорости движения.

Наибольшее распространение получили асинхронные короткозамкнутые электродвигатели, для которых характерны высокая надежность и простота в обслуживании. Электродвигатели постоянного тока используют как в станках с ручным управлением, так и в станках с программным управлением. Они обеспечивают бесступенчатое регулирование скорости рабочих органов в широких пределах, значительно упрощают механическую часть станка, но более сложны в эксплуатации. В приводах подач станков с программным управлением применяют шаговые электродвигатели с гидросилителями моментов и высокомоментные электродвигатели.

Передающие механизмы (или передачи) передают движение от одного элемента привода к другому. Применяют ременные, цепные, зубчатые и червячные передачи. В передачах различают ведущий элемент (передающий движение) и ведомый элемент (получающий движение). Основной характеристикой передачи служит передаточное отношение, которое показывает, во сколько раз частота вращения ведомого элемента больше или меньше частоты вращения ведущего элемента. Ременная передача (рис. 62, а) состоит из ведущего 1 и ведомого 2 шкивов и ремня 3 (плоского, клиновидного или круглого). Ее передаточное отношение

$$i = \frac{n_2}{n_1} \eta_p = \frac{d_1}{d_2} \eta_p,$$

где  $n_1, n_2, d_1, d_2$  — частоты вращения и диаметры ведущего и ведомого шкивов, мм;  $\eta_p$  — коэффициент, учитывающий проскальзывание ремня относительно поверхностей шкивов,  $\eta_p = 0,96 \div 0,9$ .

Цепная передача (рис. 62, б) включает ведущую 1 и ведомую 2 звездочки и цепь 3. Зубчатая передача осуществляется цилиндри-

Основные условные обозначения элементов передач  
и механизмов металлорежущих станков

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Вал, ось, стержень		Телескопическое соединение валов	
Конец шпинделя для центровых работ		Кулачковая односторонняя муфта сцепления	
Конец шпинделя для патронных работ		Фрикционная односторонняя дисковая муфта	
Ходовой винт для передачи движения		Фрикционная односторонняя электромагнитная муфта	
Радиальный подшипник без уточнения типа		Глухое, неподвижное соединение детали с валом	
Радиальный подшипник скольжения		Свободное для вращения соединение детали с валом	
Радиальный подшипник качения (общее обозначение)		Подвижное вдоль оси соединение детали с валом	
Глухое, жесткое соединение двух соосных валов		Соединение детали с валом посредством вытяжной шпонки	
Эластичное соединение двух соосных валов		Общее обозначение электродвигателя	

ческими (рис. 62, в) или коническими (рис. 62, г) зубчатыми колесами. Передаточное отношение цепной и зубчатой передач

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2},$$

где  $z_1$  и  $z_2$  — числа зубьев ведущего и ведомого элементов соответствующих передач.

Червячная передача (рис. 62, д) состоит из ведущего червяка, имеющего  $k$  заходов, и ведомого червячного колеса с  $z$  зубьями. Ее передаточное отношение  $i = k/z$ .

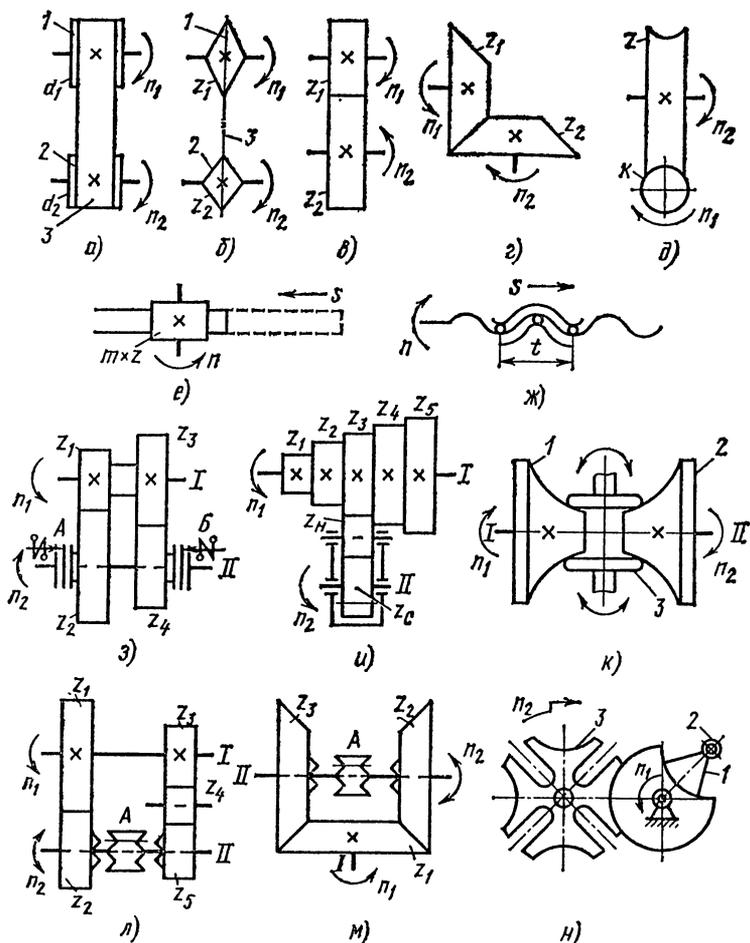


Рис. 62. Кинематические схемы элементарных механизмов станков

Для преобразования вращательного движения в поступательное применяют реечную и винтовую передачи. Реечная передача (рис. 62, е) состоит из зубчатого колеса, имеющего  $z$  зубьев, и зубчатой рейки. Если модуль реечного зацепления  $m$ , а вращательное движение совершает зубчатое колесо, то за один его оборот рейка переместится на величину  $s = \pi m z$ . Винтовая передача (рис. 62, ж) состоит из ходового винта шага  $t$  и ходовой гайки. В станках с программным управлением используют шариковые винтовые пары, которые имеют высокие точность и КПД. За один оборот ходового винта, имеющего  $k$  заходов, гайка переместится в осевом направлении на величину  $s = tk$ .

Ступенчатое изменение скорости движения осуществляют двух-, трех- и четырехскоростными асинхронными электродвигателями или различными по конструкции механизмами на основе зубчатых передач. Движение с вала *I* (рис. 62, *э*), который вращается с постоянной частотой, передается на вал *II* с помощью двух пар зубчатых колес  $z_1/z_2$  и  $z_3/z_4$ . Дистанционное включение одной из этих передач производят электромагнитными фрикционными односторонними муфтами *A* и *B*. Передаточные отношения передач  $z_1/z_2$  и  $z_3/z_4$  различны, поэтому вал *II* будет иметь две различные частоты вращения. Такие механизмы широко используют в станках с программным управлением. «Конус» зубчатых колес с накидным зубчатым колесом (рис. 62, *и*) применяют в универсальных станках. Зубчатые колеса  $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5$  жестко закреплены на валу *I*. Движение на вал *II* передается зубчатым колесом  $z_n$ , свободно сидящим на промежуточном валу, и зубчатым колесом  $z_c$ , которое перемещается на валу *II* на шпонке. В механизме могут быть включены пять передач с различными передаточными отношениями  $z_1/z_c, z_2/z_c, z_3/z_c, z_4/z_c, z_5/z_c$ . Поэтому вал *II* имеет пять различных частот вращения.

Механизмы для бесступенчатого изменения скорости бывают электрические, гидравлические и механические. В станках широко используют системы электромашинного усиления, системы генератор—двигатель, гидравлические двигатели и различные механические устройства, например вариаторы. В вариаторе (рис. 62, *к*) шкивы *1* и *2*, имеющие криволинейную образующую, закреплены соответственно на ведущем *I* и ведомом *II* валах. Оси роликов *3*, прижатых к поверхности шкивов, устанавливают под различными углами к оси валов. Этим обеспечивают плавное изменение частоты вращения ведомого вала.

*Реверсирование* — изменение направления вращения всего привода производят переключением фаз асинхронного электродвигателя и изменением полярности электродвигателя постоянного тока. Реверсирование гидравлических механизмов осуществляют золотниками. В механизмах с зубчатыми колесами (рис. 62, *л, м*) реверсирование производят переключением кулачковой муфты *A* вправо или влево. При неизменном направлении вращения ведущего вала *I* ведомый вал *II* будет изменять направление своего вращения.

Для получения прерывистого движения в станках с программным управлением часто используют шаговые электродвигатели. В многошпиндельных станках-автоматах для этого применяют мальтийский крест (рис. 62, *н*). В нем непрерывное вращательное движение водила *1*, закрепленного на ведущем валу, через палец *2* преобразуется в прерывистое вращательное движение мальтийского креста *3*. Поворот осуществляется до тех пор, пока палец не выйдет из зацепления с пазом мальтийского креста. Если мальтийский крест имеет *z* пазов, то передаточное отношение механизма  $i = 1/z$ .

$N=4,5 \text{ кВт}$   
 $n=1440 \text{ об/мин}$

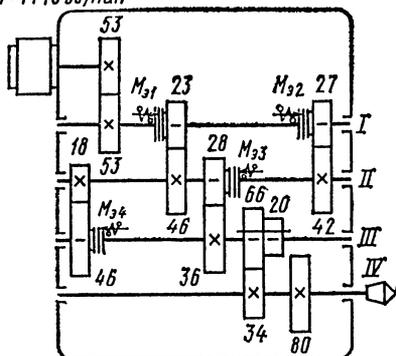


Рис. 63. Скоростная кинематическая цепь станка

**Кинематическая схема станка.** Кинематическая схема является условным графическим изображением взаимосвязи тех его механизмов, которые обеспечивают заданные законы движения исполнительных органов. Она дает представление об относительном расположении основных элементов привода и позволяет установить, в каком направлении передается движение, как оно количественно изменяется и преобразуется в любом механизме привода. Часть кинематической схемы, которая служит для передачи движения от

электродвигателя к исполнительному органу или от одного исполнительного органа к другому, называют кинематической цепью. Различают скоростную кинематическую цепь (рис. 63), цепи подачи и ускоренных перемещений. Включением электромагнитных муфт  $M_{31}$ ,  $M_{32}$ ,  $M_{33}$ ,  $M_{34}$  и перемещением блока зубчатых колес на валу III можно передавать движение с вала на вал через различные пары зубчатых колес. Например, с вала I на вал II передача движения может происходить зубчатыми колесами 23/46 или 27/42. При постоянной частоте вращения электродвигателя и вала I вал II имеет две различные частоты вращения. Каждая из скоростей валов II и III передается на последующие валы двумя вариантами, поэтому вал IV будет иметь восемь различных частот вращения. Зная передаточные отношения зубчатой пары, можно определить величину каждой из этих скоростей. Например, наибольшая частота вращения вала IV

$$n_{\max} = 1440 \cdot \frac{53}{53} \cdot \frac{27}{42} \cdot \frac{28}{36} \cdot \frac{66}{34} \cdot$$

### § 3. Автоматические станки и линии

**Автоматизация металлорежущих станков.** Автоматизация представляет собой совокупность мероприятий по разработке, созданию и внедрению автоматически действующих средств производства. Автоматизация производства позволяет существенно повысить производительность труда, облегчить условия работы на металлорежущих станках, повысить качество выпускаемой продукции. Автоматизация позволяет заменить ручное управление производственными процессами машинным управлением, выполняемым без участия человека.

Работа автоматического устройства характеризуется циклическостью. Время  $T$  каждого цикла складывается из рабочего  $t_p$  и вспомогательного  $t_v$  времени (рис. 64). Основным условием работы автоматической машины является выполнение всех элементов цикла без вмешательства человека. В металлорежущих станках автоматизируют включение и выключение подач, быстрые подводы и отводы частей станков, загрузку заготовок и т. д. Особенностью универсальных автоматов и полуавтоматов является высокая производительность, которую получают максимальным совмещением всех вспомогательных и рабочих движений, а также использованием большого числа одновременно работающих инструментов.

Совершенствование органов управления рабочих машин привело к созданию и дальнейшему развитию станков, осуществляющих все движения по специальной программе — станков с программным управлением. Быстрая переналадка на изготовление другой детали производится за короткое время. Число команд, которые дает управляющий орган станка, может быть весьма большим. Для обработки небольшого числа корпусных деталей применяют так называемые многооперационные станки. Это станки с программным управлением, имеющие набор большого числа инструментов, расположенных в специальном устройстве — магазине, из которого автоматическая рука устанавливает их поочередно в рабочий шпиндель для последующей работы.

Технологические машины можно компоновать в автоматические линии, т. е. создавать систему автоматов, объединенных средствами транспортировки и управления. Большое развитие получают автоматические линии, состоящие из агрегатных станков. Такие линии создают для обработки конкретных деталей, например, корпусов для механизмов автомобилей, тракторов и других машин. Автоматические линии могут быть далее объединены в более сложные системы (например, цехи), которые образуют автоматические заводы. Станки с программным управлением также могут быть объединены в автоматические линии, которые могут обслуживаться электронно-вычислительными машинами.

Создание станков-автоматов непрерывного действия позволяет в наибольшей степени повысить производительность труда. Это достигается совмещением по времени рабочих и вспомогательных движений при одновременной обработке нескольких заготовок. Такие станки также могут быть скомпонованы в автоматические линии непрерывного действия. При автоматизации производства процесс изготовления детали расчлениают на отдельные операции, каждую из которых поручают автоматическому устройству в виде

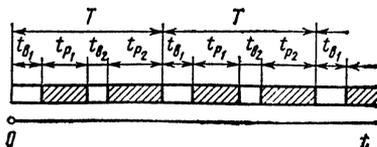


Рис. 64. Циклограмма работы автоматического устройства

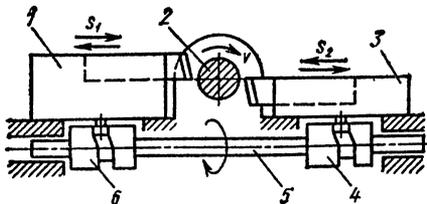


Рис. 65. Схема токарного одношпиндельного автомата

механизма или станка (принцип дифференциации). Все механизмы или станки работают одновременно. Вместе с тем эти устройства объединяют в автоматически действующие комплексы (принцип концентрации), представляющие собой станки, линии, цехи или заводы.

**Универсальные автоматы.** Процесс обработки деталей на универсальных автоматах определен жестко установленной программой. Все действия оборудования протекают в полном соответствии с циклом его работы. Рассмотрим схему токарного одношпиндельного автомата (рис. 65). Вращающуюся заготовку 2 обрабатывают резцы, установленные на суппортах 1 и 3. Перемещения суппортов в соответствии с циклом обеспечивают кулачки 4 и 6. В их замкнутых криволинейных пазах помещаются ролики, оси которых закреплены на суппортах. При вращательном движении распределительного вала 5 все механизмы автомата совершают согласованные движения: раскрепление и закрепление заготовок, их загрузку и выгрузку, подводы и отводы суппортов, резание с заданной подачей, уборку стружки и др. Программонесителями у этих автоматов являются кулачки, которые закреплены на распределительном валу в ориентированном относительно друг друга положении. Если необходимо на этом автомате изготавливать другие детали, многие кулачки заменяют на новые в соответствии с новой программой.

Рабочий цикл автоматов соответствует одному обороту распределительного вала. Каждый механизм за время цикла срабатывает, как правило, один раз. Частота вращения распределительного вала изменяется при помощи органов настройки, например, гитары сменных зубчатых колес. На распределительные валы универсальных автоматов могут быть также насажены специальные кулачки, которые воздействуют на пневматические или гидравлические устройства, предназначенные для включения и выключения вспомогательных электродвигателей.

По описанной схеме могут работать автоматы различного технологического назначения, в частности большинство металлорежущих автоматов. Они сравнительно просты и надежны в работе. Повышение производительности автоматов по сравнению с производительностью неавтоматизированных станков можно объяснить совмещением отдельных рабочих и вспомогательных движений между собой и проведением последних на высоких скоростях. Вместе с тем такие автоматы не реагируют на отклонения качества деталей в ходе обработки, а продолжают работать. Так, если, например, режущий инструмент затупился и автомат не выдерживает заданный размер, обработка будет по-прежнему продолжаться,

поэтому такие автоматы не могут долго работать без наблюдения человека, а также без периодической подналадки.

Для увеличения производительности применяют многошпиндельные автоматы. При этом обработка заготовок происходит одновременно в нескольких позициях. Часто шпиндели расположены в шпиндельном барабане, который периодически поворачивается так, что каждая из закрепленных заготовок поочередно оказывается в зоне расположения каждого из поперечных суппортов. Все суппорты и шпиндели работают одновременно. Переналадкой многошпиндельных автоматов является также смена кулачков, режущих инструментов, кинематическая настройка и т. д.

**Автоматизация на базе станков с программным управлением.** Основное достоинство станков с программным управлением состоит в сокращении времени обработки, простоте переналадки и возможности использования в цехах, где наблюдается быстрая смена объектов производства. Металлорежущие станки оснащают цикловым (ЦПУ) и числовым (ЧПУ) видами программного управления (ПУ). Станки с ЦПУ имеют позиционную систему с панелями упоров, отключающих подачу суппорта или ползуна. Такую систему используют, например, для обработки заготовок типа ступенчатых валов. Программа задается расстановкой специальных стержней-штекеров в гнездах панели, расположенной в отдельном пульте системы ПУ, что дает возможность запрограммировать несколько десятков различных этапов обработки. Во время работы оператор может наблюдать на световом табло действительное положение рабочих органов станка.

Рассмотрим принципиальную схему ЦПУ (рис. 66). Станок включается нажатием кнопки 1. При этом срабатывает реле 3, и устройство 4, получив импульс, переводит переключатель 5 из положения 0 в положение а. Ток проходит через коммутаторное устройство. Все правые полукольца 6 устройства соединены с соответствующими контактами шагового переключателя 5, а левые полукольца 7 — с реле 8, управляющими механизмами станка. Шаговый переключатель поочередно включает контакты горизонтального ряда, но ток пойдет только в то реле 8, в гнездо которого вставлен штекер. Величина перемещения механизма станка устанавливается с помощью упоров 2, закрепляемых на движущихся частях станка, и конечного выключателя 9. Каж-

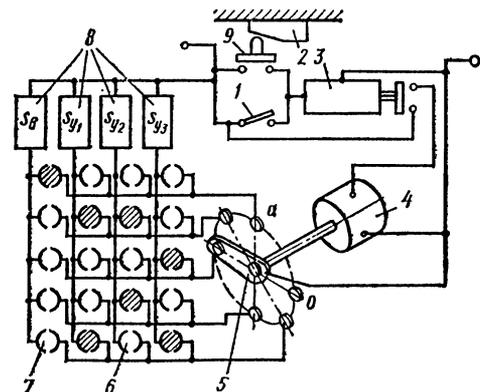


Рис. 66. Принципиальная схема циклового программного управления

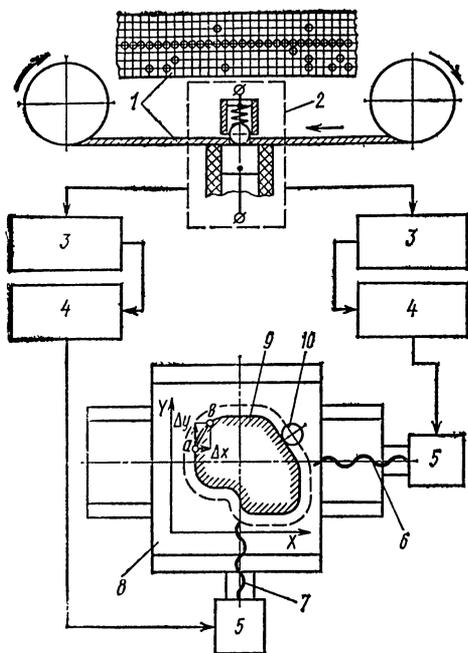


Рис. 67. Схема станка с шаговыми двигателями

выключателя 9 реле 3 получает импульс на перевод шагового переключателя в соответствующее положение. Если, например, необходимо просверлить несколько отверстий, то система ЦПУ обеспечит автоматическое включение подачи  $S_B, S_{y_1}, S_{y_2}, S_{y_3}$  и т. д. При этом на детали будут получены закордированные отверстия.

Станки с ЦПУ достаточно просты и относительно дешевы. Однако переналадка их трудоемка. Изменение программы требует перестановки упоров и штекеров в новые положения. Для расширения технологических возможностей станков используют системы с ЧПУ. Программа задается с помощью чисел в закодированном виде

на программоносителе — перфорированной или магнитной ленте. Система может производить перемещения рабочих органов станка по одной, двум или трем координатам. При ЧПУ на перфорированной ленте может быть зафиксировано практически неограниченное число команд, определяющих последовательность и величину перемещений подвижных элементов рабочих органов станка.

У станка с шаговыми двигателями (рис. 67) для перемещения стола по двум координатам перфорированная (с отверстиями) лента 1 перемещается специальным механизмом. Лента выполнена из плотной бумаги или пластмассы. Расположение отверстий на дорожках ленты соответствует импульсам, передаваемым органам станка (столу, шпинделю и т. д.). Информацию программоносителя воспринимает считывающее устройство 2. Нижний и верхний (шарик) контакты могут замкнуться и дать импульс только тогда, когда между ними окажется отверстие ленты. Информация считывается с каждой ее дорожки. Распределители импульсов 3 передают их в усилители 4. Импульсы тока необходимой величины поступают в шаговые двигатели 5. При этом каждому импульсу соответствует определенный угол поворота вала двигателя. Если подавать на двигатель энергию в дискретной форме (в соответствии с расположением отверстий на ленте), то в итоге его вал повернется на задан-

ную величину. Связанные с двигателями ходовые винты 6 и 7 обеспечивают подачу стола 8 вдоль координатных осей  $X$  и  $Y$ . Величины перемещений зависят от числа переданных импульсов, а скорость — от частоты импульсов.

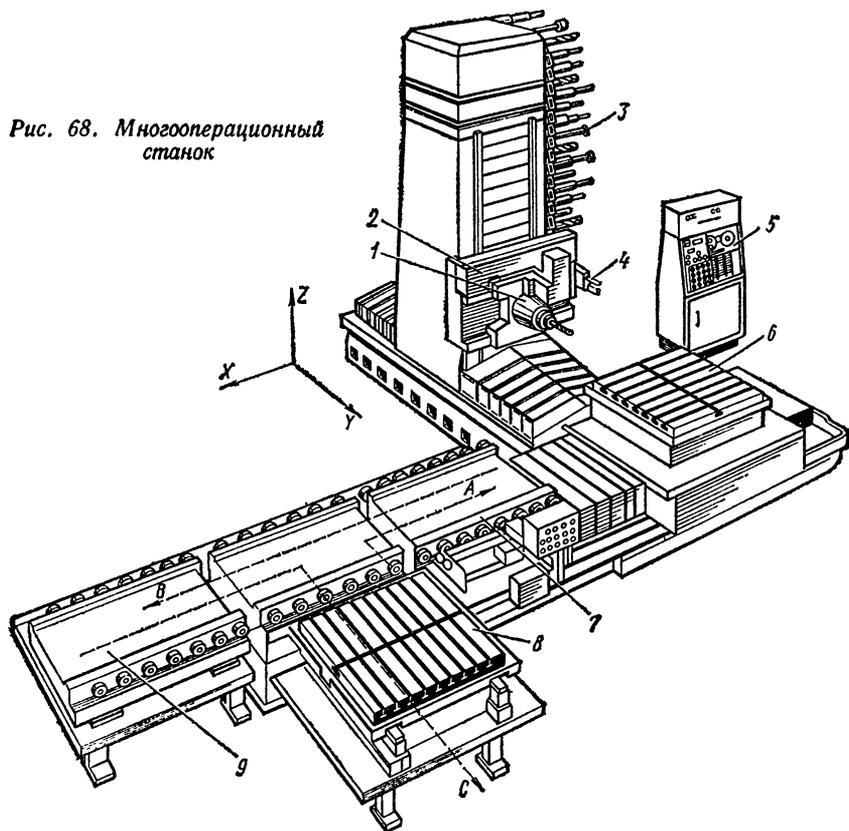
Предположим, что необходимо обработать криволинейный профиль 9 фрезой 10. Траектория движения фрезы показана пунктирной линией. Сложное движение по кривой заменяют двумя простыми прямолинейными движениями вдоль осей координат на величины  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Для этого на ходовые винты стола поочередно подают необходимые импульсы. Криволинейный профиль заменяется ломаной линией с большим числом опорных точек  $a$ ,  $b$  и т. д. Расстояния между опорными точками могут быть малыми и определяются в зависимости от заданной точности обработки. Перемещения по трем координатным осям позволяют получать сложные пространственные поверхности, например, лопасти турбин.

Для увеличения точности обработки применяют замкнутые системы управления. Перемещения рабочих органов станка сопоставляют с заданными программой. Специальное устройство сравнивает фактическое и заданное перемещения. По величине рассогласования определяется команда на введение поправки положения рабочего органа, например, стола станка.

Следующим звеном автоматизации является оснащение станков с ЧПУ устройствами для размещения (магазинами) и автоматической замены инструмента. Это позволяет последовательно выполнять большое число различных этапов обработки, осуществляемых различными режущими инструментами без снятия заготовки со станка. В магазинах можно разместить до 150 инструментов. Режущий инструмент по команде от программы подается в рабочее положение в любой последовательности с помощью специальной автоматической руки. Все это позволяет обрабатывать, например, сложные корпусные детали с четырех-пяти сторон. При этом значительно упрощаются приспособления для закрепления заготовок и направления инструмента.

Рассмотрим общую компоновку одного из таких многооперационных станков (рис. 68). Заготовка в виде корпусной детали устанавливается и закрепляется на столе 8, после чего перемещается по стрелке  $A$  (в направлении  $X$ ) в рабочую позицию 6. Шпиндельная бабка 2 станка перемещается по направляющим станины в направлении  $Z$ . Автоматическая рука 4, делая сложные пространственные движения, переносит из цепного магазина 3 соответствующий режущий инструмент и устанавливает его в шпиндель 1. В ходе обработки корпусной детали устройство программного управления 5 обеспечивает координатные перемещения элементов станка по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ; поворот вокруг вертикальной оси стола в позиции 6 на необходимый угол; выбор и смену режущего инструмента. Обработанная с четырех сторон заготовка передвигается по стрелке  $B$  по направляющим 7 на позицию 9.

Рис. 68. Многооперационный станок



В то время, пока в позиции 6 производилась обработка, в позиции 8 закрепляли вторую заготовку, которая по стрелке А также передается в позицию обработки. Готовая деталь с позиции 9 передается по стрелке С в позицию 8, ее снимают со стола, а на ее место устанавливают следующую заготовку. Вспомогательные движения максимально совмещены. Во время обработки заготовки магазин 7 перемещается, и в районе действия руки 4 оказывается нужный инструмент. На его смену расходуется несколько секунд.

Обработка на многооперационных станках обеспечивает повышенную точность. Инструмент настраивается на размер вне станка, положение его очень точно фиксируется в рабочем шпинделе. Эффективность использования таких станков возрастает с увеличением сложности обрабатываемых заготовок. Чаще всего их применяют в опытно-производстве для быстрого изготовления небольшой партии корпусных деталей без использования сложных приспособлений. Многооперационные станки очень дороги; малая загрузка этих станков не допустима.

Высшей формой организации работы станков с ЧПУ является создание комплексных автоматизированных участков с централизованным управлением от электронно-вычислительных машин (ЭВМ). Использование станков с ЧПУ и программирование их с применением ЭВМ открывает перспективу распространения автоматизации на функции планирования и управления производством и даже на конструирование изделий. Повышение точности и производительности при обработке на металлорежущих станках может быть достигнуто в результате оснащения их адаптивными системами. Эти системы позволяют автоматически корректировать режимы обработки и настройку станка при изменении условий обработки.

Наиболее совершенные станки с ЧПУ содержат адаптивные устройства. При этом значительно упрощается программирование работы станков: технолог приближенно решает задачу, а система, определив с помощью специальных датчиков условия резания, сама изменяет ее до наиболее целесообразной. Один из типов адаптивных систем работает так, что постоянно при резании оценивается упругость какой-либо детали металлорежущего, например, фрезерного станка. Если фреза затупилась, то увеличилось усилие резания и, следовательно, силы, действующие на станок. Это отметил датчик, который следит за упругостью детали, и его команда уменьшит подачу. В результате автоматически уменьшатся погрешности обработки и повысится стойкость инструмента.

В отдельных случаях на точность работы станков сильно влияет нагрев их отдельных частей, поэтому необходимо компенсировать температурные деформации при помощи специальной системы (рис. 69). Наружный диаметр кольца 1 контролирует в процессе обработки прибор 3, сигналы которого поступают в блок управления 4. Внутренний диаметр кольца, изменяющийся в связи с температурными деформациями, контролирует прибор 2, сигналы которого также поступают в блок управления 4 и складываются (или вычитаются в зависимости от нагревания или охлаждения заготовки в процессе обработки) с сигналами управляющего прибора 3. Результирующий сигнал выдается на исполнительный механизм, например суппорт станка 5, и производится его поднастройка.

Существуют адаптивные системы, которые позволяют в процессе обработки оценивать износ режущего инструмента. В качестве датчиков используют пневматические, фотоэлектрические и другие устройства.

**Автоматические линии.** Автоматическая линия — это система автоматически действующих станков, связанных транспортирующими устройствами

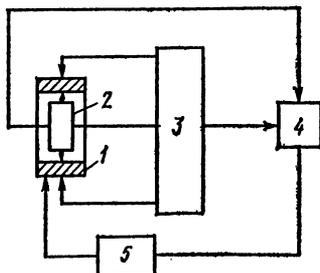


Рис. 69. Структурная схема станка с устройством, компенсирующим температурные деформации

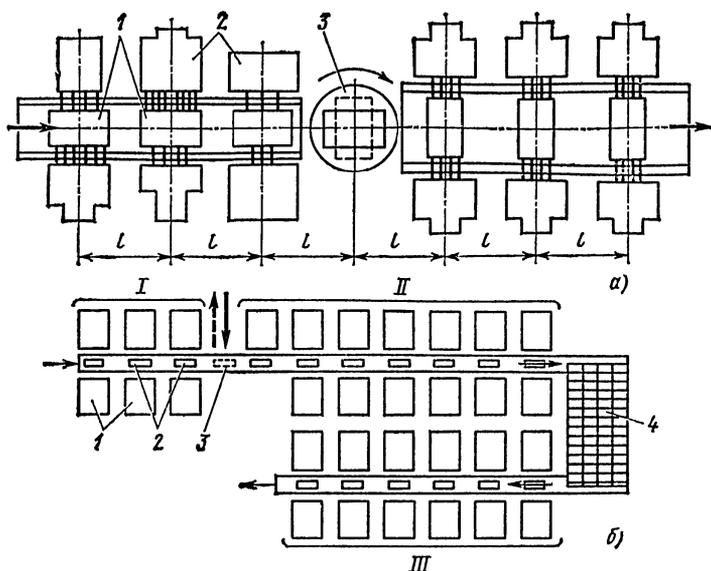


Рис. 70. Схемы автоматических линий

и имеющая единое управляющее устройство. Часто линии изготовляют для обработки определенных деталей. Если конструкция детали изменяется, то данная линия окажется непригодной для дальнейшего использования, поэтому следует снизить стоимость линий, а также сроки их изготовления. Этого можно добиться, применяя принцип агрегатирования. При этом линию компонуют из стандартизованных сборочных единиц. В состав автоматической линии для механической обработки заготовок чаще всего входит следующее оборудование.

1. Металлорежущие станки-автоматы и агрегаты для выполнения технологических операций.

2. Механизмы для фиксации и закрепления заготовок на рабочих позициях в определенном положении, а также для поворота заготовок, если это требуется по характеру обработки.

3. Устройства для транспортирования заготовок от станка к станку, для загрузки заготовок, для накопления и питания последующих участков линии, а также для удаления стружки.

4. Приборы и аппаратура для контроля и сортировки деталей, а также для управления.

Автоматические линии можно разделить на синхронные и несинхронные. В синхронных линиях (рис. 70, а) заготовки 1 передаются непосредственно от одного станка 2 к другому при помощи транспортного устройства. Это устройство перемещает одновременно все заготовки на шаг  $l$ . Станки в линии устанавливают так, чтобы можно было одновременно обрабатывать заготовки с двух сторон. Поворотный стол 3 позволяет последовательно поворачивать заго-

товки на  $90^\circ$  для того, чтобы на втором участке линии обрабатывать другие их стороны.

В несинхронных линиях (рис. 70, б) используют магазины-накопители 4. Их устанавливают между отдельными участками станков. Если, например, участок II вышел из строя, то участок III продолжает работать, потребляя заготовки из накопителя. В свою очередь продолжает работать и участок I. Заготовки 2, обработанные на станках I, поступают в позицию 3 и оттуда в накопитель по пунктирной стрелке А. Такие линии более производительны, так как простои их значительно сокращены.

Для того чтобы можно было расширить технологические возможности линии и производить обработку на ней деталей, схожих с основными по форме и размерам, линия должна быть переналаживаемой. Последовательная смена инструментов, поворот и координатные перемещения обрабатываемой заготовки в таких линиях осуществляются с помощью системы ЧПУ. При этом увеличиваются технологические возможности станков в линии вследствие использования дополнительных устройств. Существуют также станки с револьверными головками и устройствами для автоматической смены инструмента.

Автоматические линии могут управляться непосредственно ЭВМ. Такая машина по определенному циклу включает пускатели электродвигателей. К машине могут подключаться телетайпы, которые печатают ведомость команд, передаваемых от ЭВМ. Например, передается предупреждение оператору, что через десять циклов работы линии требуется сменить инструмент. Телетайп отмечает все моменты времени, связанные с пусками и остановками линии, фиксирует все неполадки, возникающие в работе станков и приборов.

Автоматические линии обладают высокой производительностью. Появились линии, на которых обработка заготовок производится при их непрерывном движении в процессе транспортировки. По своей сущности такие автоматические системы являются наиболее совершенными.

## Глава IV

### ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

Станки токарной группы предназначены для обработки поверхностей заготовок, имеющих форму тел вращения. Технологический метод формообразования поверхностей точением характеризуется вращательным движением заготовки и поступательным движением инструмента-резца. Движение подачи осуществляется параллельно оси вращения заготовки (продольная подача), перпендикулярно оси вращения заготовки (поперечная подача) и иногда под углом к оси вращения заготовки (наклонная подача).

Под термином «точение» понимают обработку наружных поверхностей заготовок. Разновидностями точения являются: растачи-

ваине — обработка внутренних поверхностей; подрезание — обработка плоских (торцовых) поверхностей; резка — разделение заготовки на части или отрезка готовой детали от ее заготовки — пруткового проката.

На вертикальных полуавтоматах, автоматах и токарно-карусельных станках заготовки имеют вертикальную ось вращения, на других типах токарных станков — горизонтальную.

На токарных станках выполняют черновую, получистовую и чистовую обработку поверхностей заготовок.

## § 1. Типы станков

Универсальные токарно-винторезные станки (рис. 71, *а*) широко применяют в условиях опытного, мелкосерийного производства для обработки заготовок небольших партий. Обработка сложных деталей требует применения большого числа режущего инструмента. Для сокращения потерь времени на смену инструмента необходимо специальное устройство. Таким устройством является револьверная головка (револьверный суппорт) токарно-револьверного станка (рис. 71, *б*). Предварительная наладка станков позволяет вести обработку поверхностей заготовок по упорам, ограничивающим движения суппортов, что обеспечивает автоматическое получение размеров диаметров и длин обрабатываемых поверхностей. Кроме того, на револьверных станках можно вести параллельную (одновременную) обработку нескольких поверхностей заготовок разными инструментами. Все это повышает производительность станков, которые используют при изготовлении партий одинаковых заготовок в серийном производстве.

Токарно-карусельные станки (рис. 71, *в*) предназначены для обработки крупных тяжелых заготовок, у которых отношение длины (высоты) заготовки к диаметру составляет 0,3—0,7. Это заготовки рабочих колес водяных и газовых турбин, зубчатых колес, маховиков и т. д. Особенностью станков является наличие круглого горизонтального стола-карусели с вертикальной осью вращения. Наличие карусели (диаметр от 0,5 до 21 м) облегчает установку, выверку и закрепление тяжелых заготовок на станке. Эти станки широко применяют в среднем и тяжелом машиностроении.

В серийном производстве широко используют токарно-винторезные, револьверные и карусельные станки с программным управлением.

Многорезцовые токарные полуавтоматы (рис. 71, *г*) предназначены для обработки наружных поверхностей заготовок типа ступенчатых валов, блоков зубчатых колес, шпинделей и т. д. На многорезцовом полуавтомате одновременно обрабатывается несколько поверхностей заготовки.

На одношпиндельных токарно-револьверных автоматах (рис. 71, *д*) обрабатывают заготовки небольших размеров (диаметром 8—31 мм), но сложных форм. Автоматы работают по замкнутому технологическому циклу параллельной обработки не-

скольких поверхностей. Движения (рабочие, установочные, вспомогательные) рабочих органов автомата осуществляются от кулачкового распределительного вала. Автоматизация всех движений обеспечивает высокую производительность. Автоматы используют для изготовления больших партий деталей.

Многоспindleльные автоматы параллельной обработки заготовок (рис. 71, е) используют в массовом производстве. На автоматах

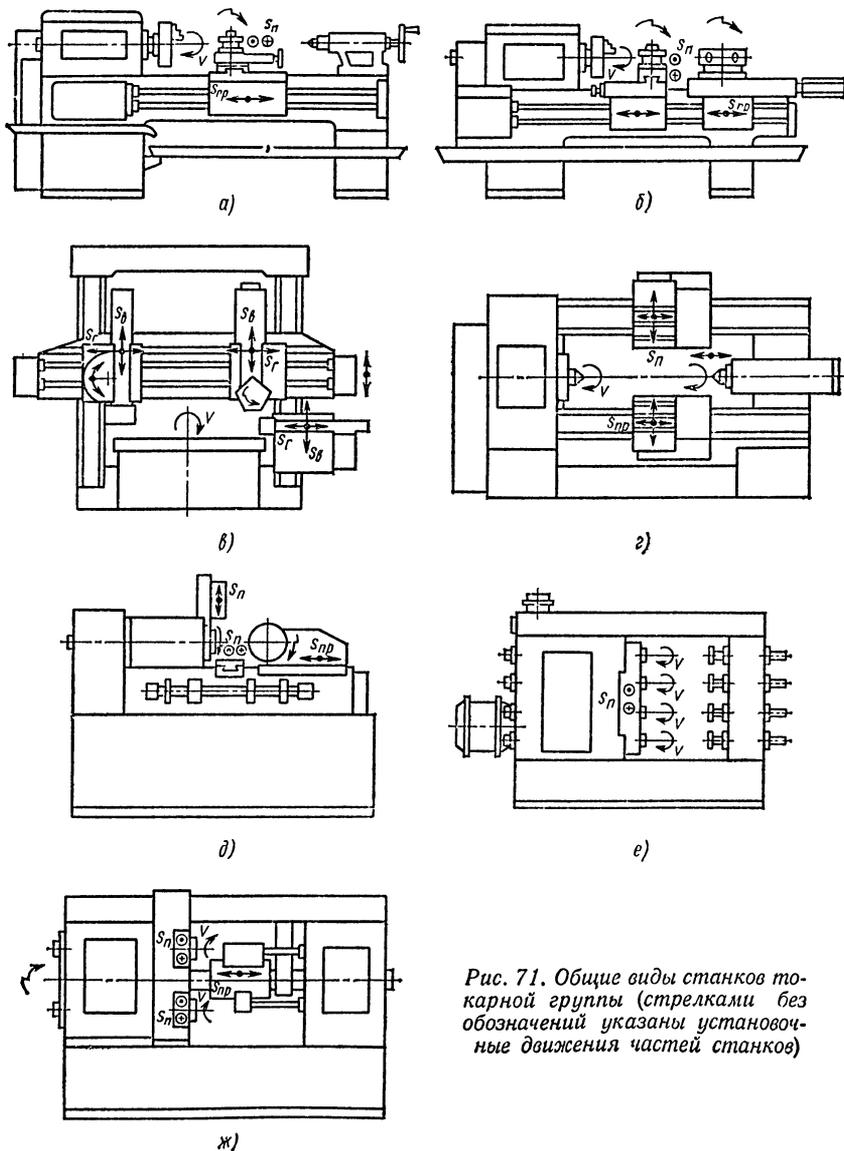


Рис. 71. Общие виды станков токарной группы (стрелками без обозначений указаны установочные движения частей станков)

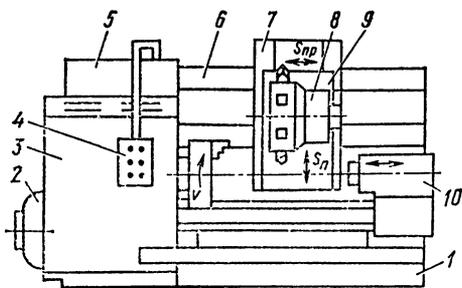


Рис. 72. Общий вид токарно-винторезного станка с ЧПУ

товки находятся на разных стадиях обработки. Автоматы имеют высокую производительность, их используют в массовом производстве для изготовления сложных по конструкции деталей.

**Токарно-винторезный станок с числовым программным управлением.** Станок имеет наклонную станину 1 с направляющими 6, по которым перемещается суппорт 7 параллельно оси обрабатываемой заготовки (рис. 72). По направляющим суппорта перемещаются салазки 9, обеспечивающие режущему инструменту поперечную подачу. На салазках смонтирована инструментальная головка 8, в пазах которой закрепляют резцы. Головка автоматически поворачивается относительно горизонтальной оси, что обеспечивает смену резцов.

В передней бабке 3 смонтирована коробка скоростей для изменения частоты вращения шпинделя, коробка подач для изменения продольной и поперечной подач и главный электродвигатель 2. В задней бабке 10 устанавливают задний центр, который служит для поджатия правого конца обрабатываемой заготовки. Пиноль задней бабки имеет гидравлический привод, что обеспечивает постоянно силы поджима заготовки. В шкаф 5 вмонтирована электрическая распределительная аппаратура, управление которой осуществляется с пульта 4. Станок поставляют заказчику со шкафом, в который вмонтированы блоки системы ЧПУ циклом работы станка. Система ЧПУ обеспечивает изменение частоты вращения заготовки, изменение подачи  $s_{пр}$  и  $s_n$ , периодический поворот инструментальной головки. Все команды исполнительным механизмам оператор вводит посредством кнопок панели управления. Система ЧПУ обеспечивает работу станка в полуавтоматическом режиме.

## § 2. Резцы и приспособления станков

Многообразие видов поверхностей, обрабатываемых на станках токарной группы, привело к созданию большого числа токарных резцов. Главным принципом классификации резцов является их технологическое назначение. Различают резцы: проходные — для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверх-

ностей, расточные проходные и упорные — для растачивания сквозных и глухих отверстий, отрезные — для отрезки заготовок, резьбовые — для нарезания наружных и внутренних резьб, фасонные — для обрабатывания фасонных поверхностей, прорезные — для протачивания кольцевых канавок, галтельные — для обтачивания переходных поверхностей между ступенями валов по радиусу.

По характеру обработки резцы делят на черновые, получистовые и чистовые, по направлению подачи — на правые и левые. Правые работают с подачей справа налево, левые — слева направо. По конструкции резцы делят на целые, с приваренной или припаянной пластинкой режущего материала, а также со сменными пластинами. Широко применяют резцы с многогранными неперегатаемыми твердосплавными пластинками. Когда одна из режущих кромок пластинки выходит из строя вследствие затупления, закрепляют механический прижим пластинки и устанавливают в рабочее положение следующую.

Установка и закрепление заготовки, обрабатываемой на токарном станке, зависят от типа станка, вида обрабатываемой поверхности, характеристики заготовки (отношение длины заготовки к диаметру), точности обработки и других факторов.

На токарно-винторезных станках для закрепления заготовок широко используют трехкулачковые самоцентрирующие патроны (рис. 73, а). На корпусе 1 патрона расположены три радиальных паза, по которым перемещаются кулачки 2. Патроны применяют для закрепления заготовок при отношении их длины к диаметру  $l/d$  меньше 4.

При отношении  $l/d = 4 \div 10$  заготовку устанавливают на центрах, а для передачи крутящего момента от шпинделя на заготовку используют поводковый патрон и хомутик. Для установки заготовки в центрах ее необходимо зацентровать, т. е. сделать центровые отверстия с торцов вала. Центровые отверстия делают специальными центровочными сверлами. Центры можно разделить на упорные (рис. 73, б), срезанные (рис. 73, в), шариковые (рис. 73, г). Упорные центры делают с твердосплавными наконечниками, что повышает их долговечность. Срезанные центры применяют при подрезании торцов заготовки, когда подрезной резец должен дойти почти до оси вращения заготовки. Шариковые центры используют при обтачивании конических поверхностей заготовки способом сдвига задней бабки в поперечном направлении, а обратные центры (рис. 73, д) — при обработке заготовок небольших диаметров. Вращающиеся центры применяют (рис. 73, е) при резании с большими сечениями срезаемого слоя металла, когда возникают большие составляющие силы резания, или при обработке на больших скоростях резания.

При установке заготовки в центрах для передачи на нее крутящего момента от шпинделя станка используют поводковый патрон (рис. 73, ж) и хомутик (рис. 73, з). Поводковый патрон представляет собой корпус, навинчиваемый на шпиндель станка. На

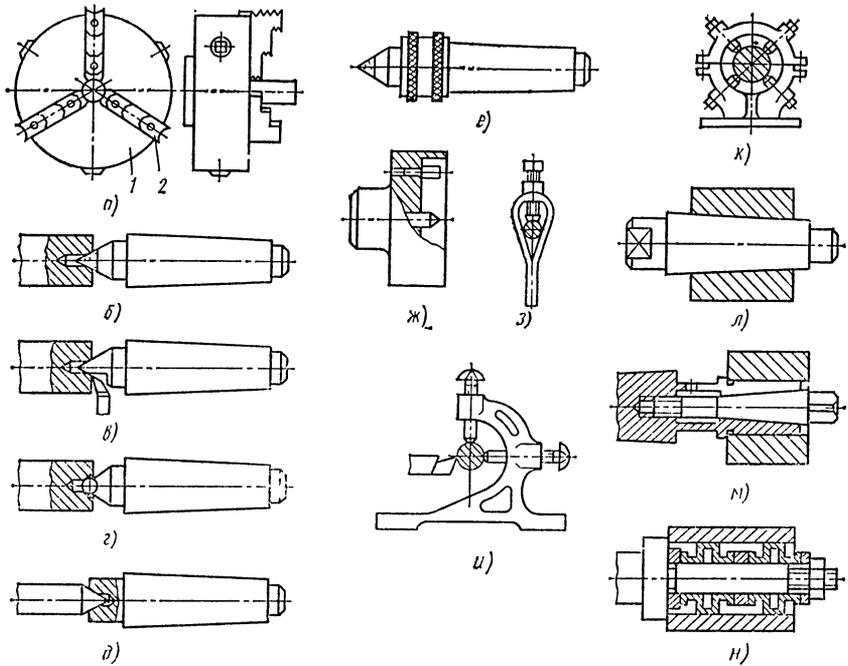


Рис. 73. Приспособления для закрепления заготовок на токарных станках

торце патрона запрессован цилиндрический палец, передающий момент на хомутик, который закрепляют на заготовке болтом.

При отношении  $l/d$  больше 10 для уменьшения деформации заготовки от сил резания применяют люнеты. Подвижный открытый люнет (рис. 73, и) устанавливают на продольном суппорте станка, неподвижный закрытый люнет (рис. 73, к) закрепляют на станине. Силы резания воспринимают опоры люнетов, что уменьшает деформацию заготовок и повышает точность обработки.

Для установки заготовок типа втулок, колец и стаканов широко применяют: конические оправки (рис. 73, л), когда заготовка удерживается на оправке силой трения на сопряженных поверхностях; цанговые оправки (рис. 73, м) с разжимными упругими элементами — цангами; упругие оправки с гидропластмассой, гофрированными втулками (рис. 73, н), тарельчатыми пружинами и т. д. На токарно-револьверных станках, полуавтоматах и автоматах для закрепления заготовок в виде прутков используют цанговые патроны.

### § 3. Обработка заготовок на универсальных станках

**Обработка заготовок на токарно-винторезных станках.** Схемы основных видов обработки поверхностей, показанные на рис. 74, являются типовыми, так как их можно реализовать на всех других типах токарных станков, полуавтоматов и автоматов. Обра-

ботка поверхностей осуществляется либо с продольной, либо с поперечной подачей (рис. 74, а). Формообразование поверхностей при обработке с продольной подачей осуществляется по методу следов, при обработке с поперечной подачей — в основном по методу копирования.

Наружные цилиндрические поверхности обтачивают прямыми (рис. 74, б) или отогнутыми проходными резцами. Гладкие валы обтачивают при установке заготовки в центрах. Вначале обтачивают один конец вала на длину, необходимую для установки и закрепления хомутика, а затем заготовку перевортывают на  $180^\circ$  и обтачивают оставшуюся часть ее. Ступенчатые валы обтачивают по схемам деления припуска на части или по схемам деления длины заготовки на части. В первом случае обработка ведется с меньшими глубинами резания. Общая длина пути резца увеличивается, что приводит к росту  $T_0$ . В другом случае припуск с каждой ступени вала сразу срезается вследствие ее обработки с большой глубиной

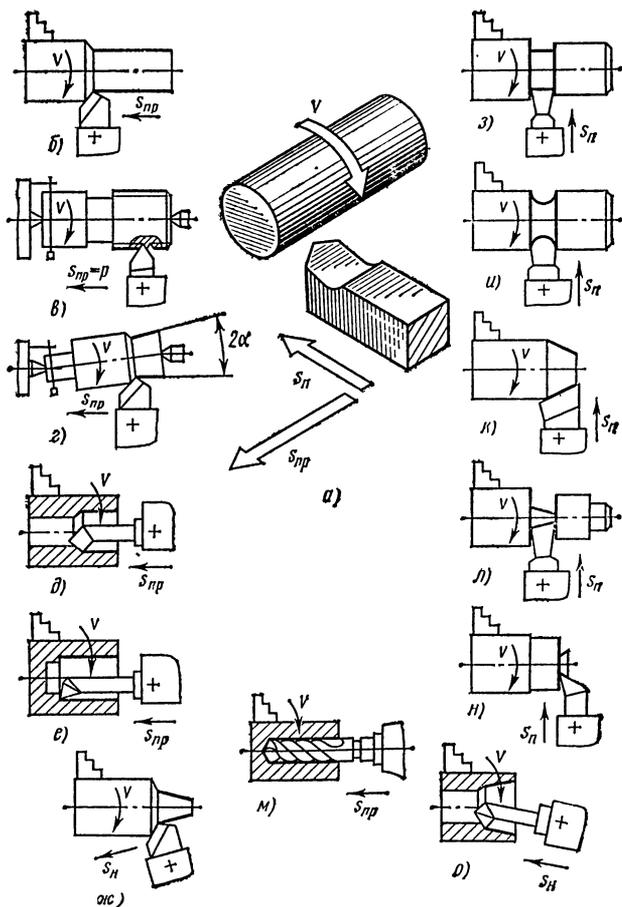


Рис. 74. Схемы обработки поверхностей заготовок на токарно-винторезном станке

резания. В этом случае  $T_0$  уменьшается, но требуется большая мощность привода станка.

Для обработки нежестких валов рекомендуют использовать проходные резцы, у которых главный угол в плане  $\varphi = 90^\circ$ . При обработке заготовок валов такими резцами радиальная составляющая силы резания  $P_y = 0$ , что снижает деформацию заготовок в процессе обработки и повышает их точность. Наружные (рис. 74, в) и внутренние резьбы нарезают резьбовыми резцами, форма режущих кромок которых определяет профиль нарезаемых резьб. При наладке универсальных токарно-винторезных станков для нарезания данного шага резьбы необходимо предварительно определить те зубчатые колеса, которые устанавливаются в кинематическую цепь. На станках с ЧПУ шаг нарезаемой резьбы устанавливает система управления. Нарезают как однозаходные, так и многозаходные резьбы.

Точение длинных пологих конусов ( $2\alpha = 8 \div 10^\circ$ ) производят при смещении в поперечном направлении корпуса задней бабки относительно ее основания (рис. 74, з) или с использованием специального приспособления — конусной линейки. Точение на станках с ЧПУ конических поверхностей с любым углом конуса при вершине осуществляется подбором соответствующих подач. Сквозные отверстия на токарно-винторезных станках растачивают проходными расточными резцами (рис. 74, д), глухие — упорными (рис. 74, е).

С поперечной подачей на токарно-винторезных станках обрабатывают кольцевые канавки (рис. 74, з) прорезными резцами, фасонные поверхности (рис. 74, и) — фасонными стержневыми резцами, короткие конические поверхности — фаски (рис. 74, к) — широкими резцами, у которых главный угол в плане равен половине угла при вершине конической поверхности. Отрезку деталей от заготовки (рис. 74, л) выполняют отрезными резцами с наклонной режущей кромкой, что обеспечивает после отрезания чистый торец на готовой детали. Подрезание торцов (рис. 74, н) выполняют специальными подрезными резцами.

На токарно-винторезных станках обработку отверстий выполняют сверлами (рис. 74, м), зенкерами и развертками. В этом случае обработку ведут с продольной подачей режущего инструмента. Обтачивание наружных и растачивание внутренних конических поверхностей средней длины (рис. 74, ж, о) с любым углом конуса при вершине на токарно-винторезных станках производят с наклонной подачей резцов, при повороте верхнего суппорта. На станках с ЧПУ эта обработка выполняется после ввода соответствующих подач  $s_{пр}$  и  $s_{п}$ .

Точность обработки поверхностей заготовок на станках с программным управлением можно значительно повысить. Для этого следует автоматически (без вмешательства оператора) выбирать наиболее благоприятный режим работы в каждый момент времени, непрерывно учитывая изменяющиеся условия обработки. Рассмотрим принципиальную схему токарного станка с программным

управлением (рис. 75), позволяющую обрабатывать заготовку при постоянном значении силы резания. Обрабатываемая заготовка 1 приводится во вращение электродвигателем 2 через коробку скоростей станка. Продольная подача инструментальной головки 15 осуществляется при помощи ходового винта 13. Измеряемым возмущением является изменение силы резания вследствие нарушения условий обработки. Колебания силы резания вызывают пропорциональные изменения мощности, потребляемой электродвигателем 2, что регистрирует датчик 3. Возникший сигнал через усилитель 4 передается в блок-схему сравнения 5, где его уровень сравнивается с уровнем сигнала задающего устройства 6. Разность сигналов датчика 3 и устройства 6 после усилителя 7 поступает в блок-схему программного управления 8. После этого сигнал суммируется с сигналом программы и поступает в шаговый коммутатор 9, шаговый двигатель 10, гидроусилитель 11 и редуктор 12, вращающий ходовой винт 13 и сообщающий рабочую продольную подачу суппорта 14. В зависимости от знака разности сигналов датчика и задающего устройства происходит увеличение или уменьшение величины продольной подачи, которая влияет на изменение силы резания. Обработка заготовки при постоянном значении силы резания позволяет значительно уменьшить колебания упругих деформаций в системе СПИД, приводящих к погрешностям обработки, оптимально использовать мощность станка и повысить стойкость инструмента.

**Обработка заготовок на токарно-револьверных станках.** На прутковых револьверных станках детали изготавливают из прутков круглого, квадратного, шестигранного и других поперечных сечений. Пруток-заготовку пропускают сквозь полый шпиндель станка и зажимают в цанговом патроне. После изготовления деталь отрезают от прутка. Патронные револьверные станки служат для обработки штучных заготовок (отливок, поковок и т. д.), закрепляемых в трехкулачковых патронах. По конструкции револьверной головки различают станки: с многогранной револьверной головкой, вращающейся относительно вертикальной оси; с круглой головкой, вращающейся относительно горизонтальной оси; станки с наклонной осью револьверной головки.

Револьверные станки с многогранной головкой (см. рис. 71, б) имеют кроме револьверной головки один или два (передний и задний) поперечных суппорта. Инструменты, работающие с продольной подачей (проходные и расточные резцы, сверла, зенкеры,

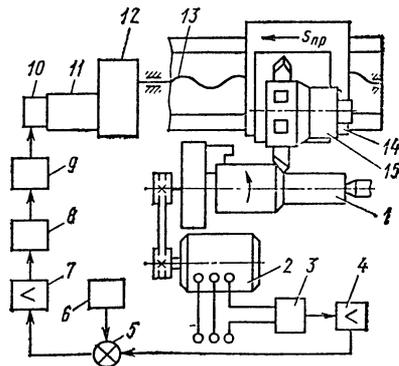


Рис. 75. Схема токарного станка с программным управлением

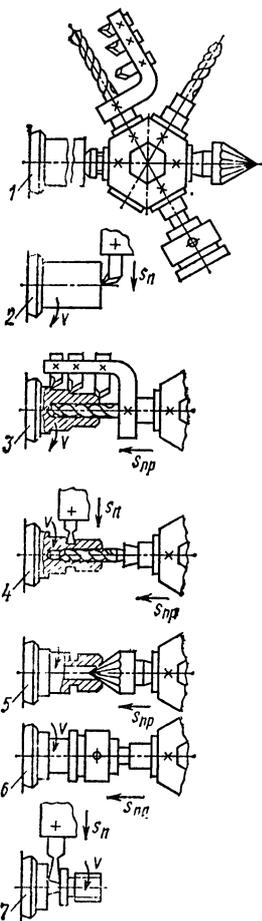


Рис. 76. Схемы обработки заготовки на токарно-револьверном станке:

1 — подача прутка до упора на длину одной детали; 2 — подрезание правого торца; 3 — обработка двух наружных цилиндрических поверхностей, снятие фаски и сверление отверстия; 4 — зенкерование отверстия и протачивание кольцевой канавки; 5 — зенкование конического отверстия; 6 — нарезание наружной резьбы плашкой; 7 — отрезка детали от прутка

развертки, метчики), закрепляют в револьверной головке. Инструменты, работающие с поперечной подачей (отрезные, подрезные, фасонные, галтельные и прорезные резцы), закрепляют в резцедержателях поперечных суппортов.

Револьверные станки с круглой головкой поперечных суппортов не имеют. Все инструменты закрепляют в гнездах револьверной головки. Поперечная подача инструментов заменена на этих станках круговой подачей револьверной головки, осуществляемой вследствие ее медленного вращения относительно горизонтальной оси. Все виды обработки, требующие поперечной подачи инструментов, выполняют с круговой подачей.

Конструкция токарно-револьверных станков с программным управлением схожа с конструкцией токарно-винторезных станков с ПУ, но вместо задней бабки на горизонтальных направляющих станины станка установлен револьверный суппорт с револьверной головкой. Инструменты, работающие с продольной подачей, закрепляют в револьверной головке, а инструменты, работающие

с поперечной подачей, — в инструментальной головке. Работа этих станков аналогична работе токарно-винторезных станков с ПУ. При использовании систем с числовым программным управлением все команды задаются с центрального кнопочного пульта. По командам системы программного управления осуществляются переключения частоты вращения шпинделя станка, все установочные и рабочие движения суппорта с инструментальной головкой и револьверного суппорта, а также периодические повороты инструментальной и револьверной головок.

На токарно-револьверных станках обрабатывают детали типа штуцеров, ступенчатых валиков, фланцев, колец, гаек, болтов и т. д. На станках обрабатывают наружные цилиндрические поверхности, подрезают торцы, сверлят, зенкеруют, зенкуют и развертывают отверстия, растачивают внутренние цилиндрические поверхности, обрабатывают фасонные поверхности, протачивают канавки,

фаски, галтели, накатывают рифления, нарезают наружные и внутренние резьбы.

Рассмотрим обработку поверхностей резьбовой пробки, выполняемую за семь рабочих ходов, производимую на токарно-револьверном станке с ПУ (рис. 76). Обработку поверхностей заготовки в позициях 2, 4 (протачивание кольцевой канавки) и 7 выполняют с поперечной подачей инструментальной головки, а обработку в позициях 1, 3, 4 (зенкерование отверстия), 5 и 6 — с продольной подачей револьверной головки.

**Обработка заготовок на токарно-карусельных станках.** Одно-стоечные токарно-карусельные станки имеют вертикальный суппорт с револьверной головкой и боковой (резцовый) суппорт. Некоторые станки вместо револьверного суппорта имеют инструментальный магазин, что еще более расширяет их технологические возможности. Станки оснащают устройствами ЧПУ, что превращает их в полуавтоматы, успешно применяемые в мелкосерийном производстве. Система ЧПУ осуществляет управление главным приводом, задает рабочие подачи суппортов и их установочные движения, управляет сменой инструментов. Программа записывается на перфоленте. В систему ЧПУ входят датчики обратной связи, которые регистрируют вертикальные и горизонтальные перемещения суппортов. Двухстоечные токарно-карусельные станки кроме верхнего (револьверного) и бокового (резцового) имеют еще один верхний (резцовый) суппорт (см. рис. 71, в).

На токарно-карусельных станках обтачивают наружные и растачивают внутренние цилиндрические и конические поверхности, обтачивают фасонные поверхности, сверлят, зенкеруют и развертывают центральные отверстия, обтачивают наружные и внутренние кольцевые канавки, галтели, фаски, обтачивают плоские торцевые поверхности и нарезают резьбы резцами. Использование специальных приспособлений позволяет выполнять на этих станках фрезерные и шлифовальные работы (фрезерование плоскостей, пазов, шлифование плоских торцевых поверхностей и т. д.).

На станках ведут многоинструментальную обработку одновременно нескольких поверхностей заготовки. На рис. 77 показана схема обработки заготовки большого диаметра. Обработка одновременно ведется тремя инструментами. Наружная цилиндрическая поверхность обтачивается проходным резцом, который закреплен в резцедержателе бокового суппорта. Подача резца — вертикальная. Торец обода колеса обтачивается подрезным резцом, который закреплен в резцедержателе

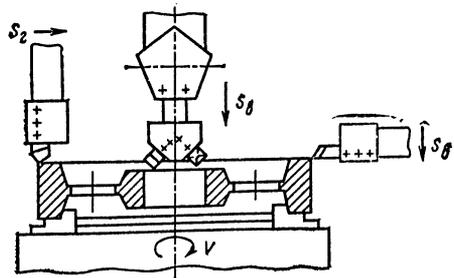


Рис. 77. Схема обработки заготовки на токарно-карусельном станке

верхнего суппорта. Подача резца — горизонтальная. Растачивание отверстия выполняется расточными резцами, установленными в револьверной головке. Обработка ведется с вертикальной подачей головки.

#### § 4. Обработка заготовок на полуавтоматах и автоматах

**Обработка заготовок на многорезцовых полуавтоматах.** Особенностью обработки на полуавтоматах является то, что нижний суппорт (см. рис. 71, *з*) имеет только продольную подачу, а верхний — только поперечную. На нижнем суппорте закрепляют все резцы, работающие с продольной подачей (проходные). На верхнем суппорте закрепляют все резцы, работающие с поперечной подачей, — подрезные, прорезные, фасонные, галтельные, для obtачивания фасок.

При наладке многорезцового полуавтомата резцы устанавливают и закрепляют относительно заготовки так, чтобы одновременно обрабатывалось несколько ее поверхностей. Быстрая и точная установка резцов осуществляется по эталонной детали или шаблону, устанавливаемым на станке, что обеспечивает последующую обработку заготовок без измерения размеров obtачиваемых поверхностей. Наладку суппортов можно делать и вне станка, а затем уже налаженные суппорты устанавливать на станок. Сменные наладки повышают производительность работы многорезцовых полуавтоматов. На токарных многорезцовых полуавтоматах obtачивают только наружные поверхности заготовок: цилиндрические, конические, фасонные, плоские торцовые, а также кольцевые канавки, галтели и фаски (рис. 78, *а*).

При обработке заготовки конического зубчатого колеса (рис. 78, *б*) на верхнем суппорте токарного многорезцового полуавтомата установлены резцы, работающие с поперечной подачей. На нижнем суппорте установлены два резца: правый obtачивает цилиндрическую шейку вала, левый — коническую поверхность. Резец, obtачивающий коническую поверхность, связан с копиром, установленным на станке.

Параллельно-последовательная обработка заготовок на токарных многорезцовых полуавтоматах резко сокращает основное

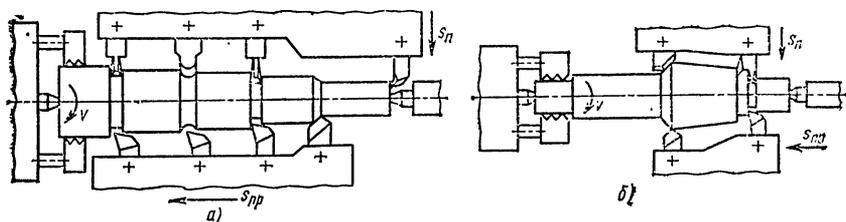
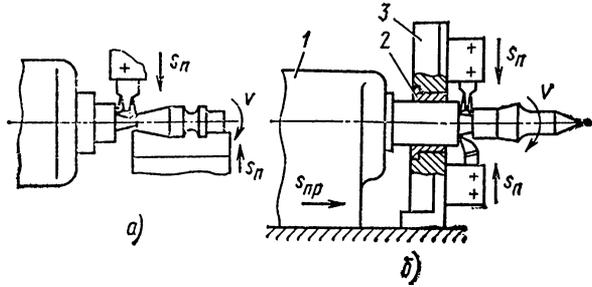


Рис. 78. Схемы обработки заготовок на токарном многорезцовом полуавтомате: а — ступенчатого вала; б — конического зубчатого колеса

Рис. 79. Схемы обработки заготовок на одношпиндельных токарных автоматах



(технологическое) время и повышает производительность труда. Работа суппортов — быстрый подход к заготовке, обтачивание и быстрый отвод их — осуществляется по командам от главного распределительного вала полуавтомата, на котором установлены кулачковые барабаны и кулачки. При переходе на обработку заготовок другого типоразмера необходимо изготовить новые кулачки и установить их на распределительном валу полуавтомата.

**Обработка заготовок на одношпиндельных автоматах.** Одношпиндельные фасонно-отрезные автоматы предназначены для обработки деталей простой формы, небольшого диаметра и малой длины. Заготовками для изготовления деталей служат прутки. Пруток закрепляют в цанговом патроне, пропуская его сквозь полый шпиндель автомата.

Автоматы имеют от двух до четырех поперечных суппортов (передний, задний, один вертикальный или два наклонных). На суппортах закрепляют фасонные резцы. В одном из суппортов закрепляют отрезной резец. На фасонно-отрезных автоматах обрабатывают только наружные поверхности заготовок (рис. 79, а). Обработку поверхностей ведут только с поперечной подачей резцов. Некоторые автоматы имеют сверлильный суппорт, в котором закрепляют сверло. Сверление отверстия выполняют с продольной подачей сверлильного суппорта. После окончания обработки всех поверхностей фасонными резцами отрезной резец отрезает готовую деталь от прутка, и цикл работы автомата повторяется.

Одношпиндельные продольно-фасонные автоматы предназначены для обработки деталей сложной формы диаметром  $d$  до  $22$  мм и длиной до  $20d$ . Заготовками для изготовления деталей служат точные калиброванные прутки. Пруток закрепляют в цанговом патроне автомата и пропускают сквозь люнетную втулку 2 стойки 3 (рис. 79, б). Шпиндельная бабка 1 автомата или сам шпиндель имеют продольную подачу. Поэтому пруток, закрепленный в патроне автомата, одновременно с вращением получает ту же продольную подачу. Суппорты автомата, число которых может достигать до пяти, имеют только поперечную подачу. В зажимных устройствах суппортов закрепляют проходные резцы и один отрезной резец.

Скоростями перемещения передней бабки (прутка) и поперечных суппортов, а также моментами включения и выключения подач управляют кулачки распределительного вала автомата. Сочетание продольной подачи прутка с поперечной подачей резцов позволяет на заготовке обрабатывать наружные цилиндрические, конические и фасонные поверхности, подрезать торцы, протачивать канавки, галтели, обрабатывать фаски. Использование дополнительного продольного суппорта позволяет выполнять сверлильные или резьбо-нарезные работы. Обработка поверхностей заготовки ведется в непосредственной близости от торца люнетной втулки, что значительно уменьшает деформацию заготовки.

Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы (см. рис. 71, д) имеют револьверный суппорт с револьверной головкой, работающий с продольной подачей, и от двух до четырех поперечных суппортов. Все инструменты, работающие с продольной подачей, закрепляют в гнездах револьверной головки, а все инструменты, работающие с поперечной подачей, закрепляют в зажимных устройствах поперечных суппортов. Подачей и закреплением прутка, включением, выключением и изменением скоростей вращения заготовки и перемещениями суппортов и револьверной головки управляют кулачки распределительного вала.

На токарно-револьверных автоматах обрабатывают наружные цилиндрические, конические и фасонные поверхности, подрезают торцы, протачивают канавки, галтели, фаски, обрабатывают отверстия сверлением, зенкерованием, зенкованием, развертыванием и растачиванием, нарезают наружную (плашками) и внутреннюю (метчиками) резьбу, накатывают рифления и т. д. Использование дополнительных устройств расширяет технологические возможности автомата. Например, установка специального автоматического приспособления позволяет фрезеровать шлицевые канавки на головках винтов.

**Обработка заготовок на многошпиндельных автоматах.** Заготовками для изготовления деталей на автоматах являются прутки (прутковые автоматы) или штучные заготовки — поковки, отливки, которые закладывают в специальные емкости — магазины (магазинные автоматы). Автомат параллельной обработки (см. рис. 71, е) предназначен для одновременного изготовления нескольких одинаковых деталей. Заготовки (прутки) пропускают сквозь полые шпиндели на длину, равную длине изготавливаемых деталей. Вылет прутков из шпинделей ограничен упорами задней стойки. Затем прутки закрепляют цапговыми патронами шпинделей и они получают вращательное движение.

Обработка заготовок ведется фасонными резцами, каждый из которых установлен в переднем поперечном суппорте против соответствующего шпинделя станка. Все резцы получают одновременную поперечную подачу. После того как поверхности заготовок будут обработаны, отрезные резцы, установленные в заднем поперечном суппорте, отрезают готовые детали от прутков, и цикл

работы автомата повторяется. На автоматах этого типа обрабатывают только наружные поверхности заготовок и только с поперечной подачей резцов. Обработка заготовок на таких автоматах идентична обработке заготовок на одношпиндельных фасонно-отрезных автоматах.

Многошпиндельный автомат последовательной обработки (см. рис. 71, *ж*) имеет в передней стойке шпиндельный барабан, в котором расположены шпиндели. На торцовой стороне передней стойки у каждого шпинделя установлены поперечные суппорты. Между стойками расположен осевой суппорт с каретками, имеющими продольное перемещение. Каретки осевого суппорта располагаются на одной оси со шпинделями, против которых они установлены. При обработке заготовок инструменты, работающие с поперечной подачей (прорезные, подрезные, фасонные, отрезные, галтельные и другие резцы), устанавливаются в зажимных устройствах поперечных суппортов. Инструменты, работающие с продольной подачей (сверла, зенкеры, развертки, расточные и проходные резцы и т. д.) закрепляют в зажимных устройствах каретки.

После того как все одновременно работающие инструменты отойдут от заготовок в исходное положение, шпиндельный барабан вместе с закрепленными прутками повернется на одну позицию. Такие повороты производятся периодически так, что каждая закрепленная заготовка последовательно пройдет через все позиции автомата и каждый режущий инструмент обработает на ней соответствующую поверхность. Таким образом, в каждой позиции автомата заготовка находится на разных стадиях обработки.

В предпоследней позиции отрезной резец отрезает готовую деталь от прутка. После очередного поворота шпиндельного барабана на  $1/n$  часть, где  $n$  — число шпинделей автомата, пруток подается на длину, равную длине обрабатываемой детали. При очередном повороте блока на  $1/n$  часть начинается новый цикл изготовления следующей детали.

## *Глава V*

### **ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ СВЕРЛИЛЬНОЙ И РАСТОЧНОЙ ГРУППЫ**

Под сверлением понимают метод формообразования внутренних цилиндрических поверхностей в сплошном материале заготовки с помощью сверл. На сверлильных станках также обрабатывают различными инструментами имеющиеся в заготовках (литых, штампованных и др.) отверстия для получения заданной формы, увеличения размера, повышения точности и снижения шероховатости поверхности. Обработку ведут многолезвийным инструментом, что обеспечивает высокую производительность. Для сверлильных

станков характерно вращательное главное движение и поступательное движение подачи. Как правило, оба движения осуществляет инструмент.

## § 1. Типы сверлильных станков и их назначение

Вертикально-сверлильные станки (рис. 80, а) делят на несколько типоразмеров. Небольшие настольно-сверлильные станки позволяют сверлить отверстия диаметром до 12 мм. На крупных вертикально-сверлильных станках сверлят отверстия диаметром до 100 мм. На сверлильных станках обрабатывают заготовки типа рычагов, кронштейнов, шкивов и др. Широкая универсальность и возможность автоматизации цикла обработки способствует их использованию во всех отраслях промышленности. Радиально-сверлильные станки (рис. 80, б) предназначены для обработки отверстий в крупногабаритных заготовках. На них можно сверлить отверстия диаметром до 100 мм. Эти станки универсальные, их применяют в индивидуальном и мелкосерийном производствах. На горизонтально-сверлильных станках получают глубокие отверстия специальными сверлами.

В индивидуальном и мелкосерийном производствах широко применяют вертикально-сверлильные (рис. 80, в) и радиально-сверлильные станки с ЧПУ. Легкая переналадка позволяет выполнять на них по автоматическому циклу различные виды работ на различных деталях. На одношпиндельных и многошпиндельных сверлильных автоматах и полуавтоматах циклы обработки отверстий полностью автоматизированы. Они отличаются высокой производительностью и их используют в крупносерийном и массовом производствах.

Конструкции сверлильных станков различных типов имеют много общего. На фундаментной плите 1 вертикально-сверлильного станка смонтирована колонна 2. На ее вертикальных направляющих устанавливается и закрепляется стол 3, на котором помещают заготовку. Инструмент закрепляют в шпинделе 4. В сверлильной

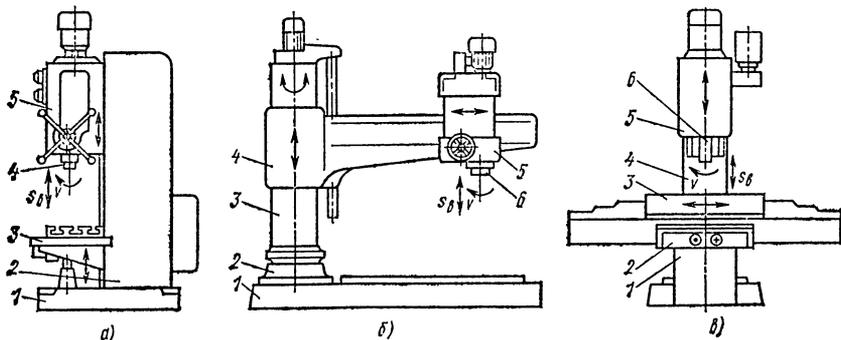


Рис. 80. Основные типы сверлильных станков

головке 5, смонтированной на колонне, размещается коробка скоростей и подач. Инструмент вместе со шпинделем совершает главное вращательное движение и движение вертикальной подачи. Взаимное положение стола и сверлильной головки устанавливают в соответствии с габаритами заготовки и фиксируют перед началом обработки. Для обработки каждого последующего отверстия заготовку необходимо переустанавливать так, чтобы ось инструмента совпала с осью обрабатываемого отверстия. Чем тяжелее заготовка, тем больше затруднений вызывает такая переустановка.

На фундаментной плите 1 радиально-сверлильного станка закреплена неподвижная колонна 2, на которой смонтирована поворотная колонна 3. По ней, как по направляющей, перемещается в вертикальном направлении и устанавливается в нужном положении рукав 4. По его горизонтальным направляющим перемещается и устанавливается сверлильная головка 5, в которой расположены коробка скоростей и подач. Шпиндель 6 с закрепленным в нем инструментом совершает главное вращательное движение и вертикальную подачу. Поворотом рукава вместе с колонной 3 и перемещением сверлильной головки по направляющим рукава осуществляют совмещение оси обрабатываемого отверстия с осью шпинделя при неподвижной заготовке. Это значительно облегчает процесс обработки отверстий в крупногабаритных заготовках. Перед началом сверления осуществляют надежное закрепление поворотной колонны, рукава и сверлильной головки.

Сверлильные станки с позиционным ЧПУ создают на базе универсальных станков с широким использованием нормализованных сборочных единиц (коробок скоростей, подач, станин и т. д.). У вертикально-сверлильного станка с ЧПУ по направляющим станины 1 перемещаются салазки 2. Стол 3 движется по направляющим салазок. Перемещения стола и салазок осуществляются одновременно или раздельно по программе. Эти перемещения обеспечивают точную установку заготовки относительно инструмента при переходе к обработке каждого последующего отверстия, поэтому отпадает необходимость в предварительной разметке отверстий и в кондукторах. По вертикальным направляющим стойки 4 перемещается сверлильная головка 5 со шпинделем 6. Быстрый подвод инструмента к заготовке, глубина сверления, изменение частоты вращения и подачи производятся автоматически по программе. Автоматическое совмещение вспомогательных движений сокращает затраты времени на холостые хода и повышает производительность обработки.

## **§ 2. Режущий инструмент и схемы обработки на сверлильных станках**

Для обработки деталей на сверлильных станках применяют сверла, зенкеры, развертки, метчики и комбинированные инструменты.

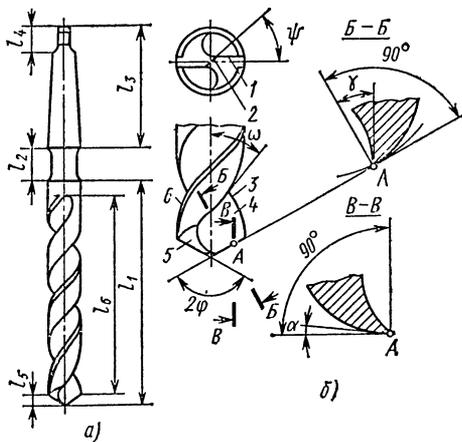


Рис. 81. Части, элементы и геометрия спирального сверла

режущих кромок 1 (рис. 81, б) на рабочей части сверла различают поперечную 2 и вспомогательную 3 режущие кромки. Основную работу по резанию выполняют главные режущие кромки, образованные пересечением передних 4 и задних 5 поверхностей. Вдоль винтовых канавок расположены две узкие ленточки 6, обеспечивающие направление сверла при резании.

Условия работы сверла определяют его геометрические параметры. Передний угол  $\gamma$  измеряют в главной секущей плоскости, которую проводят перпендикулярно к главной режущей кромке. Задний угол  $\alpha$  измеряют в плоскости, проходящей через точку режущей кромки параллельно оси сверла. В различных точках главной режущей кромки главные передние и задние углы различны. У наружной поверхности сверла  $\gamma$  имеет наибольшую величину, а  $\alpha$  — наименьшую; ближе к оси — наоборот. Угол при вершине сверла  $\phi$  измеряют между главными режущими кромками. Угол наклона поперечной режущей кромки  $\psi$  измеряют между проекциями главной и поперечной режущих кромок на плоскость, перпендикулярную оси сверла. Наклон винтовой канавки характеризуют углом  $\omega$ , измеряемым по наружному диаметру. Рекомендуются геометрические параметры сверла приведены в справочной литературе.

Зенкеры используют для обработки отверстий, предварительно полученных литьем, ковкой или сверлением, и различают по назначению и по конструкции. По виду обрабатываемых поверхностей зенкеры делят на цилиндрические (рис. 82, а, б), конические (рис. 82, в) и торцовые (рис. 82, г). Их делают цельными с коническим хвостовиком, насадными, а также с припаянными пластинками инструментального материала. Цельный спиральный зенкер отличается от сверла большим числом режущих кромок и отсут-

Сверла по конструкции подразделяют на спиральные, центровые и специальные. Наибольшее распространение получили спиральные сверла. Спиральное сверло (рис. 81, а) имеет рабочую часть  $l_1$ , шейку  $l_2$ , хвостовик  $l_3$  и лапку  $l_4$ . Хвостовик служит для закрепления сверла на станке, лапка предохраняет хвостовик при выбивании сверла из шпинделя станка. Рабочая часть имеет режущую  $l_5$  и направляющую  $l_6$  части с винтовыми канавками.

Кроме двух главных ре-

ствием поперечной режущей кромки. Обработка зенкером обеспечивает более высокую производительность и точность по сравнению с производительностью и точностью обработки сверлом, однако при помощи зенкера невозможно сделать отверстия в сплошном материале.

*Развертки* — многолезвийный инструмент для окончательной обработки отверстий. По форме обрабатываемого отверстия развертки бывают цилиндрические (рис. 82, *д, е*) и конические, по конструкции — цельные (рис. 82, *е*) и со вставными зубьями (рис. 82, *д*), цельные с хвостовиком и насадные. Развертки срезают слои материала сравнительно небольшой глубины и обеспечивают высокую точность отверстий.

В крупносерийном и массовом производствах для повышения производительности применяют комбинированный инструмент (рис. 82, *ж*).

*Метчики* (рис. 82, *з*) предназначены для нарезания внутренней резьбы и представляют собой винт, на котором прорезаны прямые или винтовые канавки, в результате чего образуются режущие кромки. Метчик закрепляют в специальном патроне.

Режущие инструменты закрепляют в шпинделе станка с помощью различных приспособлений. Если размеры конического хвостовика инструмента и конического отверстия шпинделя станка совпадают, то инструмент устанавливают непосредственно в шпиндель (рис. 83, *а*). Силы трения удерживают его от выпадания и обеспечивают передачу необходимого для сверления крутящего момента. При меньших размерах конического хвостовика инструмента применяют конические переходные втулки (рис. 83, *б*). Инструменты небольших диаметров с цилиндрическим хвостовиком закрепляют в различных по конструкции патронах. В цанговом патроне (рис. 83, *в*) цанга *1* закрепляет инструмент, сжимаясь под

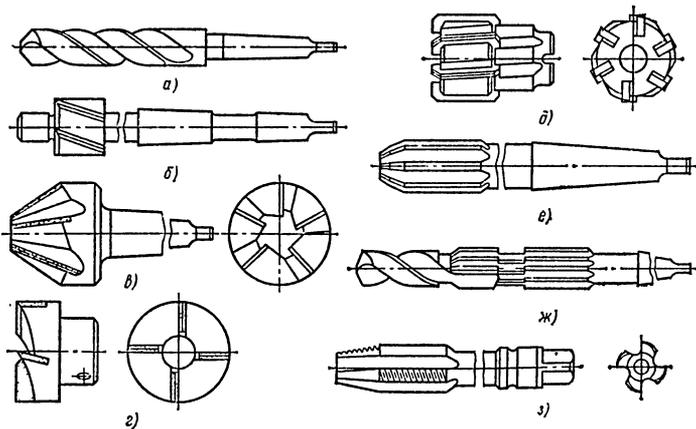


Рис. 82. Инструменты для обработки отверстий на сверлильных станках

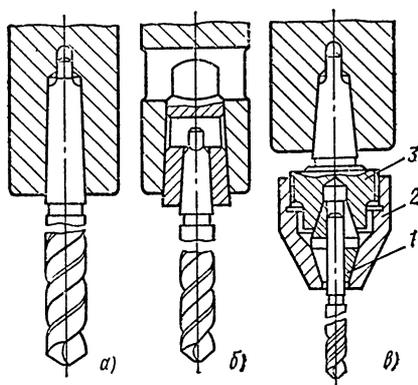


Рис. 83. Способы закрепления инструмента на сверлильных станках

вертывании отверстия в заготовке (диаметром  $d$ )  $t = 0,5(D - d)$ .

Перед обработкой заготовку на сверлильных станках устанавливают с помощью универсальных и специальных приспособлений. Специальные приспособления применяют в крупносерийном и массовом производствах для быстрой и точной установки заготовки относительно инструмента. Каждое такое приспособление, как правило, может быть использовано только для одной заготовки. Универсальные приспособления применяют в индивидуальном и мелкосерийном производствах. К ним относятся, например, машинные тиски, поворотные столы, прижимные планки, призмы и др.

На сверлильных станках производят сверление, зенкерование, развертывание, зенкование, цекование, нарезание резьбы и обработку сложных комбинированных поверхностей (рис. 84). Сверлением (рис. 84, а) получают сквозные и глухие цилиндрические отверстия. Рассверливание (рис. 84, б) спиральным сверлом производят для увеличения диаметра отверстия. Диаметр отверстия под рассверливание выбирают так, чтобы поперечная режущая кромка в работе не участвовала. Зенкерование (рис. 84, в) также применяют для увеличения диаметра отверстия заготовки. В отличие от рассверливания зенкерование обеспечивает большую производительность и точность обработки.

Развертыванием (рис. 84, з) получают высокую точность и малую шероховатость обработанной поверхности. Развертывают цилиндрические и конические отверстия. Для развертывания конических отверстий цилиндрические отверстия в заготовке сначала обрабатывают коническим ступенчатым зенкером (рис. 84, м), а затем конической разверткой (рис. 84, н) со стружкоразделительными канавками и окончательно — конической разверткой (рис. 84, о) с гладкими режущими кромками.

Зенкованием обрабатывают цилиндрические (рис. 84, д) и конические (рис. 84, е) углубления под головки болтов и винтов.

действием втулки 2 при ее навинчивании на корпус патрона 3.

К режиму резания при сверлении относят скорость резания  $v$ , подачу  $s$  и глубину резания  $t$ .

Скорость резания

$$v = \pi Dn/1000,$$

где  $D$  — диаметр, мм;  $n$  — частота вращения инструмента, об/мин.

Глубина резания при сверлении  $t = 0,5D$ , а при рассверливании, зенкерования и раз-

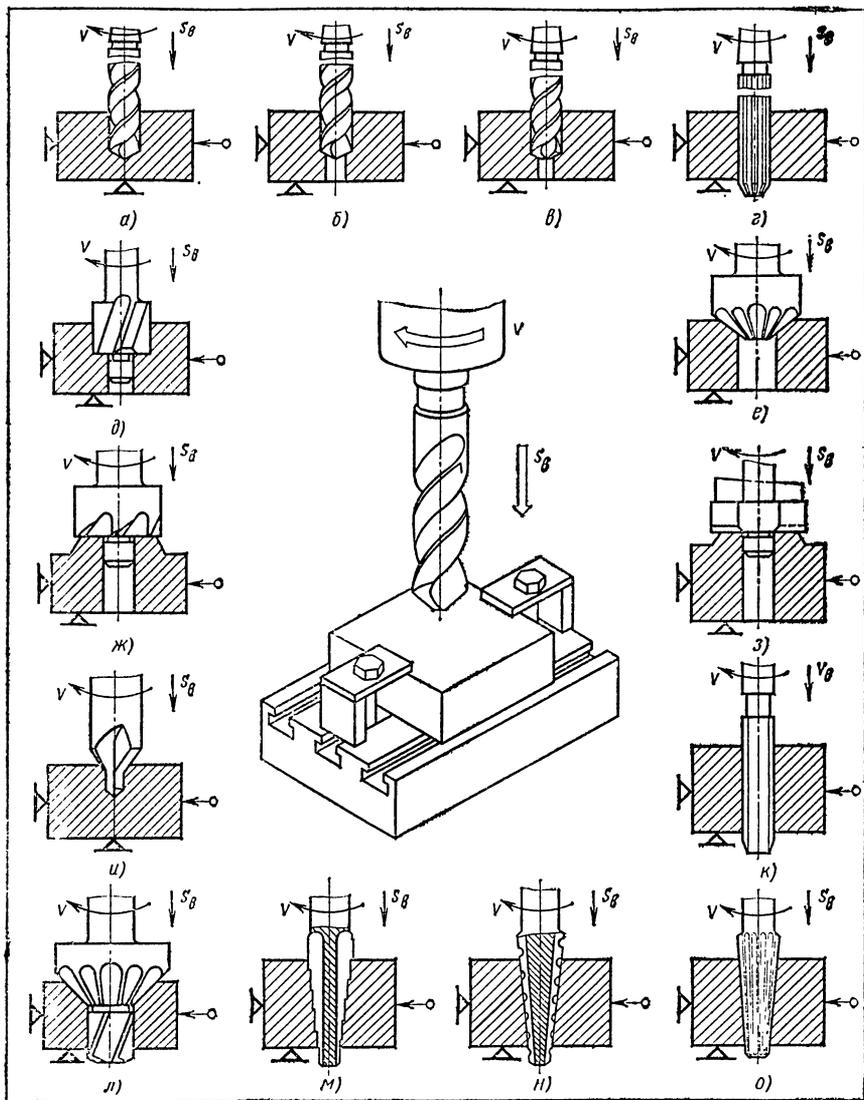


Рис. 84. Схемы обработки посерхностей на сверлильных станках

Обработку ведут зенкерами специальной конструкции, называемыми зенковками. Некоторые зенковки (рис. 84, д) имеют направляющую часть, которая обеспечивает соосность углубления и основного отверстия. Цекованием (рис. 84, ж, з) обрабатывают торцовые плоскости, которые являются опорными поверхностями головок болтов, винтов и гаек. Перпендикулярность торца основному отверстию достигается наличием направляющей части у

ной цековки (рис. 84, ж) и у пластинчатого резца (рис. 84, з). Нарезание резьбы (рис. 84, к) производят метчиком. Комбинированным инструментом получают сложные поверхности (рис. 84, и, л). Рассмотренные схемы обработки применяют и на станках с ЧПУ.

Сверление отверстий с отношением длины к диаметру больше пяти (для глубоких отверстий) связано с большими трудностями. При этом возникает значительное образование тепла, ухудшаются условия охлаждения режущей части сверла, затрудняется отвод стружки. При обработке глубоких отверстий спиральным сверлом происходит значительный увод сверла и искривление оси обработанного отверстия, поэтому сверление глубоких отверстий производят на специальных горизонтально-сверлильных станках сверлами специальной конструкции. Устройство станка облегчает установку и процесс обработки заготовок большой длины. Заготовку, как правило, в виде вала закрепляют в патроне станка и поддерживают люнетом. Сверло навинчивают на трубу, которую устанавливают на продольном суппорте. Смазочно-охлаждающая жидкость подается под большим давлением через специальный маслоприемник в зону резания, и она вымывает стружку через трубу. Главным движением является вращение заготовки, а движение подачи совершает инструмент.

### § 3. Типы расточных станков и их назначение

*Растачивание* — это метод обработки отверстий расточными резцами. На расточных станках обрабатывают отверстия чаще всего в корпусных деталях. Главным движением является вращение инструмента. Движение подачи может совершать заготовка или инструмент.

Расточные станки изготовляют трех типов: координатно-расточные, горизонтально-расточные и алмазно-расточные. Координатно-расточные станки бывают одностоечные (рис. 85, а) и двухстоечные. Они предназначены для обработки отверстий с высокой точностью формы, размера и взаимного расположения. Станки снабжают специальными устройствами, которые позволяют с точностью в несколько микрометров осуществлять координатные перемещения заготовок относительно инструмента. Обработку на станках производят в специальных термоконстантных помещениях, в которых поддерживается температура  $20 \pm 1$  °С.

Горизонтально-расточные станки (рис. 85, б) предназначены для обработки, как правило, корпусных заготовок. Координатно-расточные и горизонтально-расточные станки применяют в индивидуальном и мелкосерийном производствах. Их выпускают как с ручным, так и с программным управлением. На расточных станках с ЧПУ программируется и автоматически выполняется или весь цикл обработки, или только установка инструмента по заданным координатам и фиксация перед обработкой подвижных

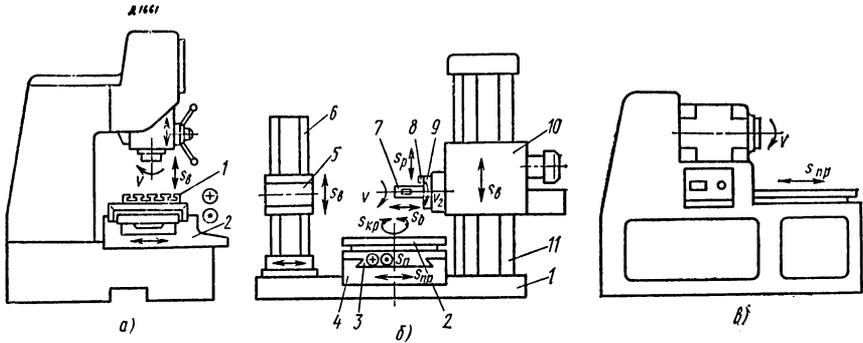


Рис. 85. Основные типы расточных станков

частей станка. На алмазно-расточных станках (рис. 85, в) обрабатывают с высокой точностью цилиндрические отверстия в корпусных заготовках небольших габаритных размеров. Обработка ведется по автоматическому циклу. Эти станки применяют в крупносерийном и массовом производствах.

Наиболее широкое распространение получили горизонтально-расточные станки. На станине 1 таких станков неподвижно закреплена передняя стойка 11. По ее вертикальным направляющим перемещается шпиндельная бабка 10 с планшайбой 9, радиальным суппортом 8 и шпинделем 7. Заднюю стойку 6 с опорным люнетом 5 можно устанавливать и фиксировать в нужном положении на горизонтальных направляющих станины. Стол 4 перемещается по продольным направляющим станины. В его поперечных направляющих смонтированы салазки 3, на которых установлен поворотный стол 2. Главное вращательное движение совершает инструмент, установленный в шпинделе  $v$  или на планшайбе —  $v_2$ . Движение подачи может совершать как инструмент — осевое перемещение ( $s_0$ ) шпинделя, радиальное перемещение радиального суппорта ( $s_p$ ), вертикальное перемещение ( $s_b$ ) шпиндельной бабки, так и заготовка — продольное перемещение ( $s_{np}$ ) стола или поперечное перемещение ( $s_n$ ) салазок. Наличие поворотного стола дает возможность обрабатывать заготовку с разных сторон без переустановки ее на столе. Опорный люнет на задней стойке необходим для поддержания левого конца длинной расточной оправки. Корпус люнета кинематически связан с бабкой.

#### § 4. Режущий инструмент и схемы обработки на расточных станках

На расточных станках применяют расточные резцы, сверла, зенкеры, развертки, метчики, фрезы. Наиболее широко используют расточные резцы. Обработку проводят проходными, подрезными, канавочными и резьбовыми расточными резцами. Конструк-

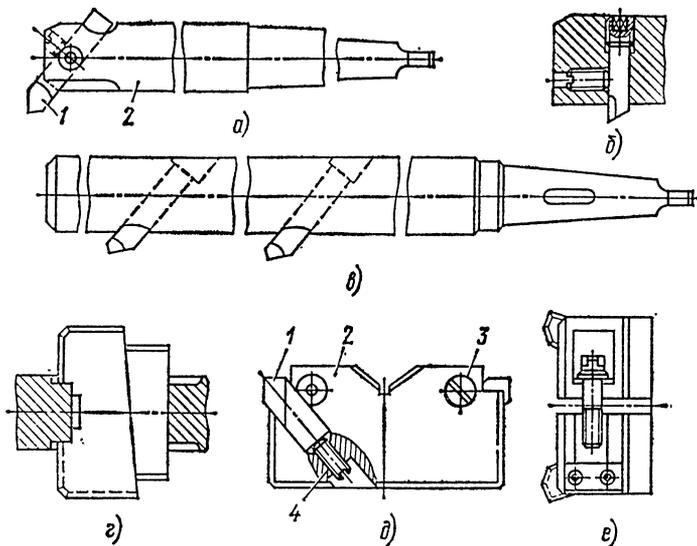


Рис. 86. Инструменты для обработки на расточных станках

тивно режущий инструмент оформляют в виде стержневых резцов (с квадратным, прямоугольным и круглым поперечным сечением державки), пластинчатых резцов (одно- и двухлезвийных), резцовых головок и резцовых блоков. Приспособления для закрепления режущего инструмента делают в виде консольных, двухопорных и специальных оправок.

Стержневой резец 1 можно устанавливать в консольной оправке 2 (рис. 86, а). Расположение и способ закрепления резца в оправке выбирают с учетом формы растачиваемого отверстия (рис. 86, а, б). Установку резца на заданный диаметр обработки осуществляют регулированием его вылета. На одной консольной оправке часто устанавливают несколько стержневых резцов, которыми обрабатывают ступенчатые отверстия. Закрепление инструмента на консольной оправке применяют при растачивании отверстий, близко расположенных к шпинделю. Стержневыми резцами, установленными на двухопорной оправке, растачивают два соосных отверстия (рис. 86, в). Оправку закрепляют в шпинделе станка и в люнете задней стойки. Такое закрепление режущего инструмента рационально при обработке длинных отверстий или отверстий, далеко расположенных от шпинделя.

Двухлезвийные пластинчатые резцы выполняют по размеру расточенного отверстия. Пластинчатые резцы закрепляют в консольных или двухопорных оправках различными способами, например, можно жестко закрепить пластинчатый резец клином (рис. 86, г). Применяют также шарнирное закрепление пластинча-

тых резцов. Расточные блоки с вертикальным расположением оси вращения представляют собой сборную конструкцию, в которой резцы 1 или пластинки твердого сплава установлены в корпусе 2 и закреплены винтами 3 (рис. 86, д). Резцы регулируют винтами 4 по размеру отверстия. Расточные блоки закрепляют на оправках.

Расточные головки также являются сборной конструкцией с двумя стержневыми резцами (рис. 86, е). Их устанавливают и закрепляют в любом положении по длине оправки. Головки используют для обработки торцовых поверхностей и растачивания отверстий.

Скорость резания, подачу и глубину резания при растачивании определяют по аналогии с точением. На горизонтально-расточных станках обрабатывают внутренние (цилиндрические, торцовые и резьбовые), наружные (торцовые и цилиндрические) поверхности вращения, а также плоские поверхности. Растачивание коротких и близко расположенных к шпинделю цилиндрических поверхностей производят расточными проходными резцами, установленными на консольной оправке (рис. 87, а). Можно одновременно обрабатывать два соосных отверстия большого диаметра расточными головками на двухопорной оправке (рис. 87, б). В рассмотренных схемах вместо продольной подачи иногда применяют осевую подачу инструмента.

Внутренние цилиндрические поверхности очень большого диаметра растачивают расточным резцом, установленным на планшайбе станка в оправке (рис. 87, в). Главное движение совершает инструмент, вращаясь вместе с планшайбой. Аналогичным образом обрабатывают короткие наружные цилиндрические поверхности (рис. 87, е).

Наружные торцовые поверхности, внутренние канавки и другие аналогичные элементы деталей обрабатывают соответствующими резцами, закрепленными в радиальном суппорте. Резец, вращаясь, перемещается с радиальной подачей (рис. 87, д, е). Вертикальную плоскость можно фрезеровать торцовой насадной фрезой (рис. 87, ж). Пазы фрезеруют соответствующими концевыми фрезами, причем подачу совершает или заготовка при горизонтальном положении паза (рис. 87, з), или инструмент, если паз ориентирован вертикально. При использовании специальных приспособлений и устройств на горизонтально-расточном станке можно обрабатывать конические и фасонные поверхности. Нарезание резьбы производят резьбовыми резцами и метчиками.

Обработка заготовок на координатно- и алмазно-расточных станках имеет свои особенности. Стол 1 координатно-расточного станка (см. рис. 85, а) совершает движение по направляющим салазок 2, и салазки по горизонтальным направляющим станины совершают соответственно продольное и поперечное установочные движения. Основным видом работ является растачивание цилиндрических отверстий консольными оправками. На станках можно

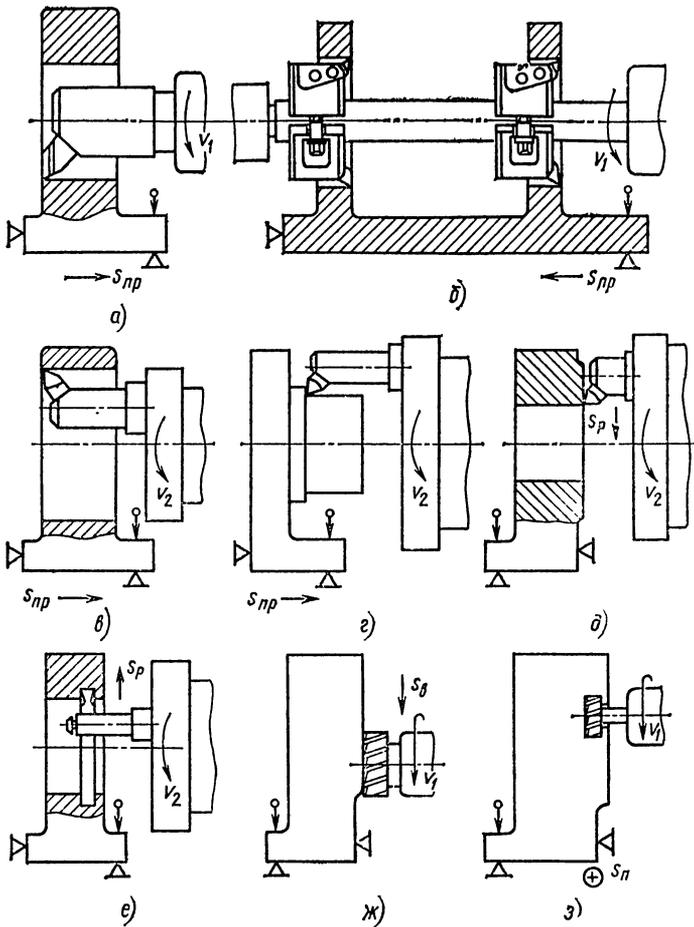


Рис. 87. Схемы обработки поверхностей на расточных станках

обрабатывать каждое отверстие с очень высокой точностью и обеспечивать точное расстояние между отверстиями. Необходимый для этого точный отсчет перемещений заготовки относительно инструмента осуществляют с помощью специальных оптических устройств. Они позволяют совместить ось обрабатываемого отверстия с осью шпинделя с точностью до 0,001 мм. Перед началом растачивания стол, салазки и шпиндельную бабку фиксируют, благодаря чему достигают высокой точности растачивания. В инструментальном производстве координатно-расточные станки используют также для контроля линейных размеров и разметки высокоточных заготовок.

Алмазно-расточные станки имеют высокие точностные и жесткостные показатели. Для них характерна обработка с высокими

скоростями резания (100—1000 м/мин), малыми подачами (0,01—0,15 мм/об) и небольшими глубинами резания (0,05—0,3 мм). В качестве инструмента используют расточные резцы, закрепленные в консольных оправках. Режущую часть инструмента делают из твердого сплава, минералокерамики и алмаза. На алмазно-расточных станках обрабатывают с высокой производительностью и точностью внутренние цилиндрические и торцовые поверхности. Заготовку устанавливают на стол станка, который совершает продольную подачу. Растачивание на таких станках обеспечивает высокое качество поверхности.

## Глава VI

### ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ

*Фрезерование* — это высокопроизводительный метод формообразования поверхностей деталей многолезвийным режущим инструментом — фрезами. Для фрезерования характерно непрерывное главное вращательное движение инструмента и поступательное движение подачи заготовки. В некоторых случаях заготовка совершает круговое или винтовое движение подачи.

#### § 1. Типы станков и их назначение

Горизонтально- (рис. 88, а) и вертикально-фрезерные (рис. 88, б) станки, а также консольные станки относят к универсальному виду оборудования. Станки одного типоразмера имеют много унифицированных частей, например, одинаковые столы, салазки, консоли, коробки скоростей и т. д. Станки используют для выполнения широкого круга фрезерных работ на заготовках небольших габаритных размеров и массы в индивидуальном и мелкосерийном производствах.

Продольно-фрезерные станки (рис. 88, в) бывают одно- и двух-стоечные. Они предназначены для обработки крупных корпусных деталей в серийном производстве.

В массовом производстве для высокопроизводительного непрерывного фрезерования заготовок небольших размеров (рычаги, кронштейны и т. д.) применяют карусельно-фрезерные (рис. 88, г) станки. Более крупные заготовки обрабатывают на барабанно-фрезерных станках. Эти типы станков широко применяют в автотракторной промышленности. Копировально-фрезерные станки (рис. 88, е) предназначены для получения деталей со сложными фасонными поверхностями в индивидуальном и мелкосерийном производствах. Примером таких деталей являются штампы и пресс-формы. Фрезерные станки (рис. 88, д) с ЧПУ делают на базе универсальных фрезерных станков, поэтому в них наиболее полно сочетаются широкие технологические возможности универсальных станков с достоинствами автоматизированного цикла обработки.

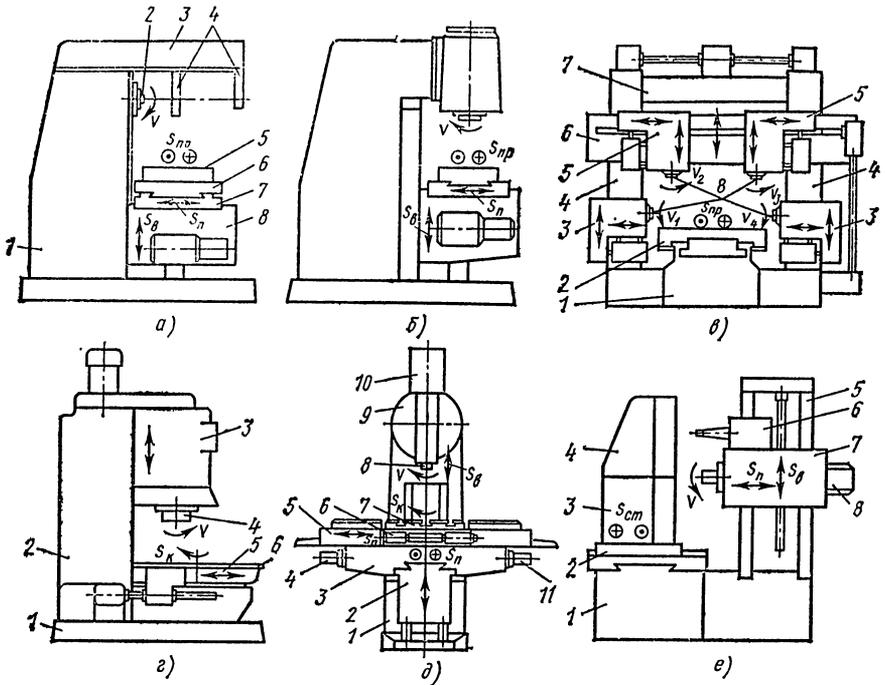


Рис. 88. Основные типы фрезерных станков (стрелками показаны установочные движения частей станка)

Фрезерные станки с ЧПУ применяют в индивидуальном и мелкосерийном производствах для выполнения широкого круга работ на заготовках многих наименований.

**Универсальные горизонтально- и вертикально-фрезерные станки с ЧПУ.** В станине 1 универсального горизонтально-фрезерного станка (рис. 88, а) вмонтирован шпиндель 2, в котором закрепляют инструменты. На направляющих хобота 3 закрепляют подвески 4, поддерживающие правый конец длинной оправки с инструментом. Фреза со шпинделем совершает вращательное движение со скоростью  $v$ , которое является главным. Заготовку устанавливают на столе 5. Вместе со столом она совершает продольную подачу  $s_{np}$  (перемещение стола по направляющим поперечных салазок 7), поперечную  $s_n$  (перемещение поперечных салазок по направляющим консоли 8) и вертикальную  $s_v$  (перемещение консоли по вертикальным направляющим станины). При помощи поворотной части 6 стола можно поворачивать заготовку со столом в горизонтальной плоскости под требуемым углом к направлению продольной подачи.

На вертикальных направляющих станины 1 вертикально-фрезерного станка с ЧПУ (рис. 88, б) смонтирована консоль 2. Установочное вертикальное перемещение консоли осуществляют

вручную в соответствии с габаритными размерами заготовки. Программированные перемещения поперечных салазок 3 и продольного стола 5 осуществляют шаговые электродвигатели с гидроусилителями моментов 11 и 4. Аналогичный привод 6 обеспечивает программированный поворот ( $s_{кр}$ ) планшайбы 7, установленной в центре стола. Шпиндель 8, вмонтированный в поворотную фрезерную головку 9, с помощью шагового электродвигателя и гидроусилителя моментов 10 осуществляет вертикальную подачу  $s_v$ . Перемещением салазок, стола, планшайбы и шпинделя можно автоматически устанавливать заготовку относительно инструмента по заданным координатам. Если подача при обработке осуществляется по одной координате, получают простую по форме поверхность. При одновременной подаче по нескольким координатам обрабатывают сложную фасонную поверхность. Станок снабжают гидравлической насосной станцией, которая обеспечивает работу гидроусилителей моментов. Ввод программы производят с перфоленты, перфокарт или магнитной ленты через специальные устройства.

## § 2. Режущий инструмент

В зависимости от вида обрабатываемой поверхности и используемого оборудования при фрезеровании применяют различные типы фрез (рис. 89). У цилиндрических и дисковых односторонних фрез режущие кромки расположены по наружной поверхности. У дисковых двухсторонних, угловых, торцовых насадных, концевых и шпоночных фрез режущие зубья расположены на наружной цилиндрической поверхности и на одном из торцов. У дисковых трехсторонних фрез режущие зубья расположены на двух торцах и на наружной цилиндрической поверхности. Цилиндрической фрезой можно обрабатывать только одну плоскость, двухсторонней дисковой можно одновременно обрабатывать две взаимно перпендикулярные плоскости, а дисковой трехсторонней — три.

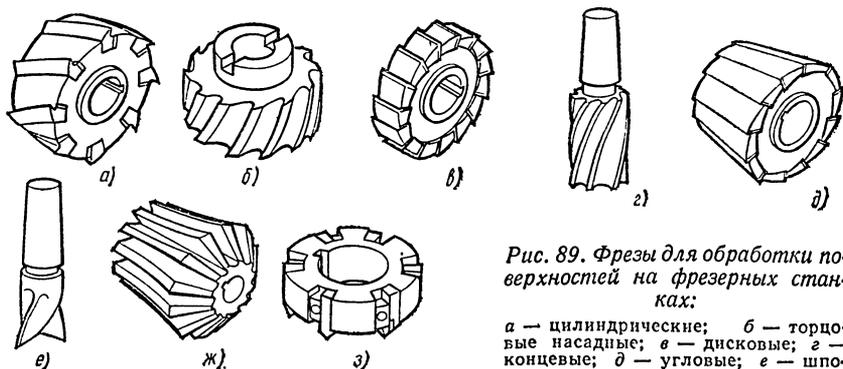


Рис. 89. Фрезы для обработки поверхностей на фрезерных станках:

а — цилиндрические; б — торцовые насадные; в — дисковые; г — концевые; д — угловые; е — шпоночные; ж — фасонные; з — пазовые

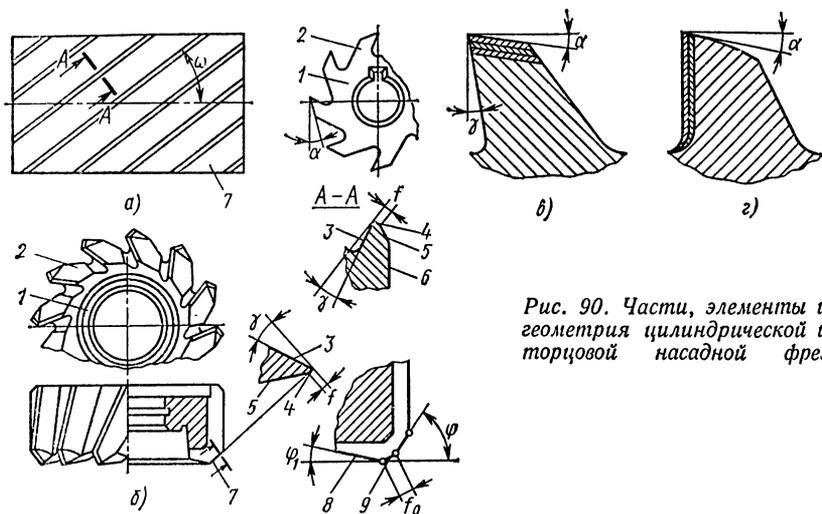


Рис. 90. Части, элементы и геометрия цилиндрической и торцевой насадной фрез

Каждый тип фрез может иметь различные конструктивные исполнения. Например, режущие зубья фрез изготавливают прямыми (рис. 89, в, д) или винтовыми (рис. 89, а). Винтовые зубья обеспечивают плавную безударную работу фрезы. Фрезы бывают цельными или сборными. Цельные фрезы изготавливают из инструментальных сталей. У сборных фрез рабочей частью являются пластинки из быстрорежущих сталей или твердых сплавов. Закрепляют пластинки на корпусе фрезы, изготовленном из конструкционной стали, пайкой или механически.

Цилиндрическая фреза с винтовым зубом (рис. 90, а) и торцовая насадная (рис. 90, б) состоит из корпуса 1 и режущих зубьев 2. Различают следующие элементы зуба фрезы: переднюю поверхность 3, ленточку 4, заднюю поверхность 5, спинку зуба 6 и режущую кромку 7. Ленточка шириной  $f = 0,05 \div 0,1$  мм позволяет более точно изготавливать фрезу по диаметру. Геометрию режущей части цилиндрической фрезы характеризуют следующими углами: передним углом  $\gamma$ , главным задним углом  $\alpha$ , углом  $\omega$  наклона зубьев. Передний угол измеряют в плоскости, перпендикулярной главной режущей кромке, а главный задний — в плоскости, перпендикулярной оси вращения фрезы.

Торцовая насадная фреза кроме главной режущей кромки 7 у зуба фрезы имеет вспомогательную режущую кромку 8 и переходную 9 шириной  $f_0$ . Главный угол  $\phi$  в плане торцевой насадной фрезы измеряют между проекцией главной режущей кромки зуба на осевую плоскость и направлением подачи. Вспомогательный угол  $\phi_1$  в плане составляет  $5-10^\circ$ . Чем он меньше, тем меньше шероховатость обработанной поверхности. Переходная режущая кромка повышает прочность режущей части зуба. Главный передний и главный задний углы измеряют в плоскости, перпендикуляр-

ной проекции главной режущей кромки зуба на осевую плоскость.

Большинство типов фрез имеют плоские переднюю и заднюю поверхности. Такая форма зуба, называемая остроконечной, (рис. 90, в) проста в изготовлении и для заточки. Для фасонных фрез зубья затылуют, т. е. главную заднюю поверхность делают не плоской, а по спирали Архимеда (рис. 90, г). Благодаря этому при переточке форма и размеры фасонного профиля режущих кромок зуба изменяются незначительно. Углы режущей части фрез для конкретных условий обработки приведены в справочной литературе.

Способ закрепления фрезы на станке зависит от ее конструкции. Фрезы с осевым отверстием крепят на оправках и называют насадными. Фрезы, имеющие цилиндрический или конический хвостовик, называют хвостовыми. Хвостовик служит для закрепления фрезы.

Насадные фрезы (цилиндрическую, дисковую, угловую и т. д.) можно закреплять с помощью центровой оправки (рис. 91, а). Фрезу 1 закрепляют на оправке 2, которую вставляют в коническое отверстие шпинделя 3 и затягивают болтом 4. Сухари 5, входящие в пазы фланца шпинделя и оправки, удерживают ее от проворачивания. Движение на фрезу передается через шпонку 6. Правый конец оправки поддерживают подшипники 7 подвески 8. Осевое положение фрезы на оправке фиксируют гайкой 9 и установочными кольцами 10. Такой способ закрепления используют в основном на горизонтально-фрезерных станках. Торцовые и дисковые фрезы закрепляют на концевой оправке 11 с помощью шпонки 12 и винта 13 (рис. 91, б). Фрезы с коническим хвостовиком закрепляют или непосредственно в коническом отверстии шпинделя или через переходную втулку 14 (рис. 91, в). Для закрепления

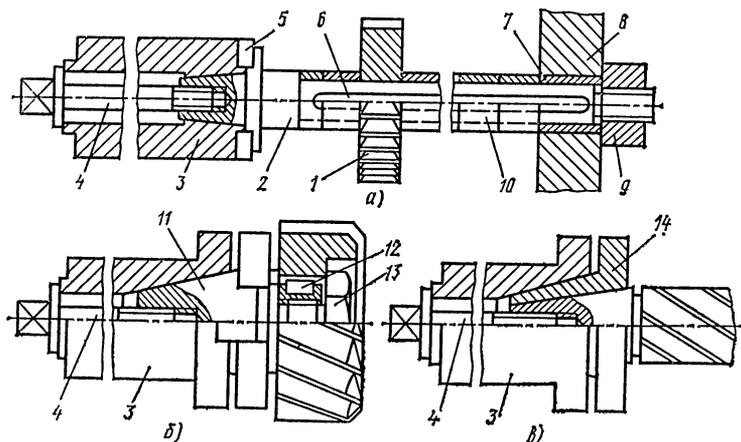


Рис. 91. Способы закрепления инструмента на фрезерных станках

фрез с цилиндрическим хвостовиком используют различные по конструкции патроны, устанавливаемые в шпинделе станка как концевые оправки.

### § 3. Схемы обработки заготовок на универсальных и многооперационных станках и полуавтоматах

**Обработка заготовок на универсальных фрезерных станках.** Скоростью резания при фрезеровании является окружная скорость фрезы, м/мин:

$$v = \pi D_{\phi} n / 1000,$$

где  $D_{\phi}$  — диаметр фрезы, мм;  $n$  — частота вращения фрезы, об/мин.

Подачу определяют как величину перемещения обрабатываемой заготовки относительно фрезы в минуту ( $s_m$ , мм/мин); за время углового поворота фрезы на один зуб ( $s_{зуб}$ , мм/зуб) или за время одного оборота фрезы ( $s_{об}$ , мм/об). Глубину резания  $t$ , мм, в общем случае определяют как расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями заготовки. Ширина фрезерования  $B$  характеризует ширину поверхности, фрезеруемой за один рабочий ход.

Для обработки заготовку устанавливают и закрепляют на столе станка. При небольшом масштабе производства для этого применяют универсальные приспособления (машинные тиски, прижимные планки и т. д.). При массовом производстве определенной детали ее закрепляют в специальном приспособлении.

При обработке заготовок на горизонтально-фрезерном станке, как правило, используют продольную подачу. Поперечную и вертикальную подачи используют реже. На вертикально-фрезерном станке используют продольную и поперечную подачи в зависимости от пространственного расположения обрабатываемой поверхности. Вертикальную подачу при обработке заготовок на этом станке практически не используют.

Рассмотрим схемы обработки поверхностей на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках (рис. 92). Вертикальные плоскости на горизонтально-фрезерном станке (рис. 92, а) фрезеруют торцовыми насадными фрезами или фрезерными головками, а на вертикально-фрезерном (рис. 92, в) — концевыми фрезами. Большие по высоте вертикальные плоскости удобнее обрабатывать на горизонтально-фрезерном станке с использованием вертикальной подачи. Для обработки небольших по высоте вертикальных плоскостей на горизонтально-фрезерном станке можно использовать концевые и дисковые фрезы. Горизонтальные плоскости обрабатывают цилиндрическими фрезами на горизонтально-фрезерном станке (рис. 92, б) и торцовыми насадными фрезами — на вертикально-фрезерном станке (рис. 92, в). Чаще горизонтальные плоскости обрабатывают торцовыми насадными фрезами, так как они имеют более жесткое закрепление и обеспечивают плавную

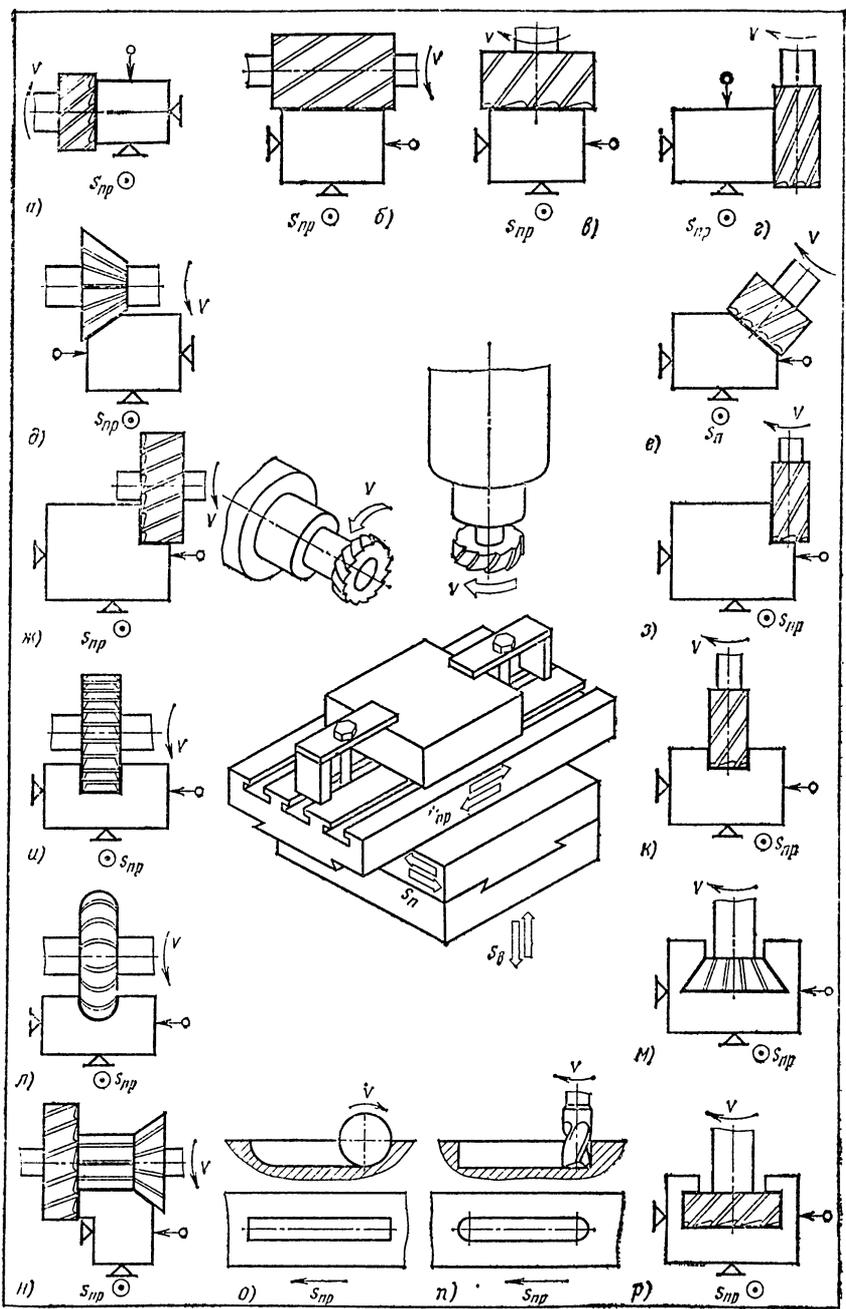


Рис. 92. Схемы обработки поверхностей на универсальных фрезерных станках  
 Б. А. М. Дальский и др.

бевибрационную обработку. Торцовой фрезой при последовательных рабочих ходах обрабатывают горизонтальную плоскость значительной ширины. Узкие горизонтальные плоскости фрезеруют концевыми фрезами.

Наклонные плоскости небольшой ширины можно получить на горизонтально-фрезерном станке одноугловой фрезой (рис. 92, *д*). Широкие наклонные плоскости удобнее обрабатывать на вертикально-фрезерном станке с поворотом шпиндельной головки (рис. 92, *е*) торцовой насадной или концевой фрезами. Уступы и прямоугольные пазы на горизонтально-фрезерном станке обрабатывают соответственно дисковыми двухсторонними (рис. 92, *ж*) и трехсторонними (рис. 92, *и*), а на вертикально-фрезерном — концевыми (рис. 92, *з* и *к*) фрезами. При вертикальном расположении уступов и прямоугольных пазов их можно обрабатывать концевой фрезой на горизонтально-фрезерном станке.

Фасонные поверхности с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей удобнее обрабатывать фасонными фрезами на горизонтально-фрезерном станке (рис. 92, *л*). Пазы типа «ласточкин хвост» и Т-образные обрабатывают на вертикально-фрезерных станках. Сначала фрезеруют прямоугольный паз концевой фрезой, а затем концевой одноугловой (рис. 92, *м*) или фрезой для Т-образных пазов (рис. 92, *р*). На горизонтально-фрезерном станке шпоночные пазы фрезеруют дисковыми фрезами (рис. 92, *о*), а на вертикально-фрезерных — концевыми или шпоночными (рис. 92, *п*). Одновременную обработку нескольких поверхностей на горизонтально-фрезерных станках производят набором фрез (рис. 92, *и*). Следует использовать в наборе фрезы с отношением диаметров не более 1,5, чтобы их скорости резания были примерно одинаковы.

**Обработка заготовок на продольно-, карусельно- и барабанно-фрезерных станках.** На двухстоечных продольно-фрезерных станках обработку ведут сразу несколькими фрезами. По продольным направляющим станины 1 (см. рис. 88, *в*) с подачей  $s_{пр}$  перемещается стол 2, на котором устанавливают одну или несколько заготовок. Левую и правую шпиндельные бабки 3 предварительно устанавливают в нужном положении на левой и правой стойках 4, а вертикальные шпиндельные бабки 5 — на траверсе 6 и вместе с ней перемещают по вертикальным направляющим стоек 4. Для повышения жесткости станка стойки соединены порталом 7. Конструкции всех шпиндельных бабок позволяют шпинделям 8 работать с различными скоростями:  $v_1, v_2, v_3, v_4$ .

На продольно-фрезерных станках торцовыми насадными и концевыми фрезами обрабатывают вертикальные, горизонтальные, наклонные плоскости, уступы и пазы. Для обработки Т-образных пазов и пазов типа «ласточкин хвост» применяют соответствующие концевые и угловые фрезы. Обрабатывают поверхности на продольно-фрезерных станках при неподвижных шпиндельных бабках. Продольную подачу совершает стол (рис. 93). Некоторые

шпиндельные бабки могут поворачиваться для фрезерования наклонных плоскостей. При обработке на продольно-фрезерных станках с ЧПУ схема обработки программируется и обработка производится автоматически.

На карусельно-фрезерных станках (см. рис. 88, з) обработку ведут при непрерывном вращении стола. На станине 1 закреплена стойка 2, по вертикальным направляющим которой перемещается для установки фрезерная головка 3. Она имеет два шпинделя 4. По поперечным направляющим станины при настройке станка перемещаются салазки 5, несущие круглый стол 6, непрерывно, равномерно и медленно вращающийся относительно вертикальной оси (подача  $s_{кр}$ ).

На карусельно-фрезерных станках применяют в основном торцевые насадные фрезы, которыми обрабатывают горизонтальные плоскости. Заготовки устанавливают в приспособлениях, равномерно расположенных по окружности стола (рис. 94). В зоне загрузки I в приспособление на ходу устанавливают заготовку. Непрерывно вращающийся стол транспортирует ее в зону II резания, где она сначала проходит черновую обработку (размер  $A_1$ ). Затем инструментом, установленным во втором шпинделе, заготовку обрабатывают окончательно (размер  $A_2$ ). В загрузочной позиции ее снимают и на это место устанавливают новую заготовку.

Барабанно-фрезерный станок (рис. 95) отличается от карусельно-фрезерного горизонтальным расположением оси вращения стола-барабана 1. Заготовки 6 закрепляют в приспособлениях на гранях барабана. Установленные в верхних фрезерных головках фрезы 4 и 5 выполняют, как правило, предварительную обработку

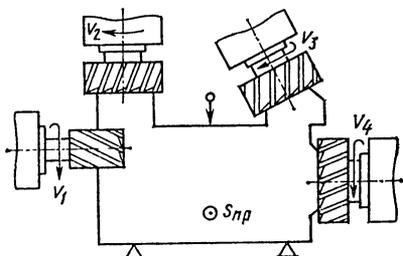


Рис. 93. Схема обработки поверхностей на продольно-фрезерном станке

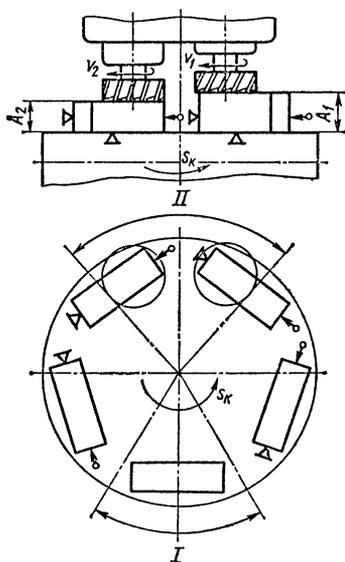


Рис. 94. Схема обработки поверхностей на карусельно-фрезерном станке

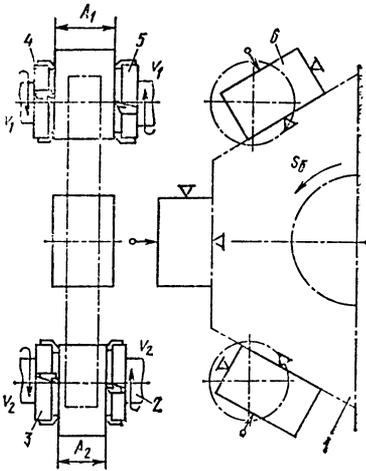


Рис. 95. Схема обработки поверхностей на барабанно-фрезерном станке

поверхностей (размер  $A_1$ ), а две фрезы 2 и 3, установленные в нижних фрезерных головках, — окончательную (размер  $A_2$ ). На барабанно-фрезерных станках применяют торцовые насадные фрезы со вставными резцами, которыми обрабатывают вертикальные плоскости.

**Обработка фасонных поверхностей на фрезерных полуавтоматах.** На фрезерных станках обрабатывают фасонные линейчатые поверхности (с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей), фасонные контурные (с прямолинейной образующей и криволинейной замкнутой направляющей) и объемные фасонные. Первый вид фасонных поверхностей обрабатывают

фасонными фрезами с прямолинейным относительным движением заготовки и инструмента (см. рис. 92, а). Для получения фасонных поверхностей второго и третьего вида заготовка и инструмент должны совершать сложное относительное движение. Такое движение можно получить на копировально-фрезерных станках и станках с программным управлением. На них обрабатывают сложные фасонные поверхности в индивидуальном и серийном производствах.

Копировально-фрезерные станки работают по методам контурного, а также объемного фрезерования. У копировально-фрезерного полуавтомата с горизонтальным расположением шпинделя (см. рис. 88, е) по направляющим станины 1 перемещается стол 2. На нем смонтирована стойка 3 для закрепления заготовки и стойка 4 для закрепления копира. Справа на станине установлена неподвижная стойка 5. По ее вертикальным направляющим перемещается поперечина 8. Копировальная головка 6 и шпиндельная бабка 7 жестко соединены между собой и перемещаются по горизонтальному направляющему поперечины.

Копир 1 (рис. 96, а) изготавливают из легкообрабатываемых материалов (алюминиевые сплавы, дерево и т. п.) по чертежу детали в масштабе 1 : 1. Шуп 2 и концевая фреза 3 должны иметь одинаковые радиусы закруглений. Заданный контур поверхности получают в результате геометрического сложения двух взаимноперпендикулярных движений шпиндельной бабки (рис. 96, б). Вертикальная подача  $s_v$ , сообщаемая шпиндельной бабке, остается постоянной по величине и по направлению в пределах заданного участка профиля. Величина горизонтальной подачи  $s_n$  определя-

ются командными импульсами, поступающими от копирующей головки.

При движении щупа 2 по вертикальной плоскости копира его положение относительно фрезы 3 остается неизменным. В этом случае следящая подача отсутствует, фреза совершает только вертикальное движение и на заготовке 4 будет обрабатываться вертикальная плоскость. При изменении профиля копира изменится давление на щуп. В зависимости от профиля копира щуп может перемещаться в осевом направлении или поворачиваться в вертикальной плоскости, или совершать оба эти движения. В любом из указанных случаев возникает рассогласование в положениях щупа и инструмента. Через систему рычагов движение щупа вызывает изменение положения якоря в дифференциальном трансформаторе следящего устройства и индуктивного сопротивления в его катушках. Возникает сигнал, который усиливается и подается на электродвигатель поперечной подачи шпиндельной бабки. Следящая подача  $s_{\Pi}$  будет осуществляться до тех пор, пока щуп и фреза будут иметь рассогласование положений. Результирующая подача  $s$  инструмента относительно заготовки направлена по касательной к обработанной поверхности (рис. 96, б). В качестве задающей подачи можно включать и продольную подачу стола.

Описанным способом осуществляют контурное фрезерование фасонных поверхностей. Обработка пространственных фасонных поверхностей производится параллельными рабочими ходами-строками. Каждая строка — это контурное фрезерование (рис. 96, в). В конце рабочего хода происходит смещение фрезы относительно заготовки на величину  $s_{ст}$ , и выполняется следующий рабочий ход.

На фрезерных станках с программным управлением можно обрабатывать заготовки с линейчатыми и пространственными фасонными поверхностями с малыми затратами и с большей точностью. Необходимые относительные движения заготовки и ин-

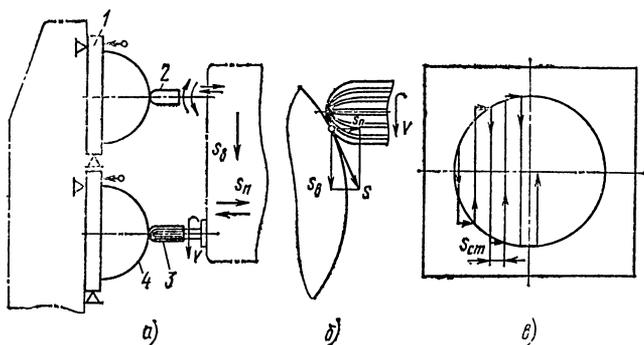


Рис. 96. Схема обработки поверхностей на копирующе-фрезерном станке

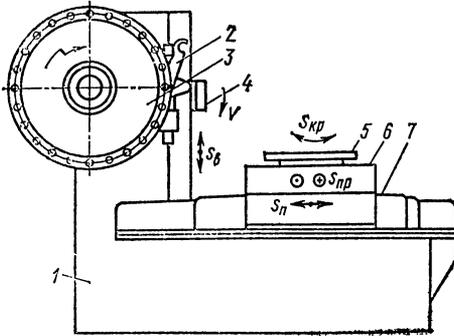


Рис. 97. Общий вид фрезерно-сверлильно-расточного станка с инструментальным магазином

струмента на этих станках задаются программой. Ввод программы в считывающее устройство станка занимает значительно меньше времени, чем установка копира на копировально-фрезерном станке. Отпадает необходимость в изготовлении и хранении копиров. В некоторых случаях, например при обработке фасонных поверхностей на заготовках с большими габаритными размерами, станки с ЧПУ являются незаменимыми.

**Обработка заготовок на многооперационных станках.** На многооперационных станках заготовки обрабатывают последовательно несколькими разнотипными инструментами, например, сверлами, фрезами и резцами. Рассмотрим схему обработки на фрезерно-сверлильно-расточном станке с инструментальным магазином (рис. 97). По горизонтальным направляющим станины 1 перемещаются в поперечном направлении салазки 7. По их направляющим движется стол 6 с поворотной частью 5. По вертикальным направляющим стойки перемещается шпиндельная бабка со шпинделем 4. В инструментальном магазине 3 находятся разнотипные инструменты, необходимые для обработки данной заготовки. По программе они подаются автоматической рукой 2 в шпиндель и в нем закрепляются. После окончания обработки данный инструмент также автоматически возвращается в магазин. Продольная, поперечная и круговая подачи заготовки и вертикальная подача инструмента осуществляются по программе. Большое число инструментов, которые можно расположить в магазине, автоматическое управление подачами по четырем координатам дают возможность обрабатывать большое число поверхностей корпусных деталей с разных сторон. Многооперационные станки дают возможность производить обработку различными технологическими методами, что значительно повышает производительность обработки.

## Глава VII

### ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ПРОТЯЖНЫХ СТАНКАХ

Протягивание — высокопроизводительный метод формообразования наружных и внутренних поверхностей деталей многолезвийными инструментами — протяжками. Формообразование поверхностей производится копированием с большой точностью режущих

лезвий инструмента на обрабатываемой заготовке. Для протягивания характерно наличие только главного движения, которое совершает инструмент или заготовка. Непрерывность врезания инструмента в новые слои материала заготовки, т. е. функции подачи, заложены в самой конструкции протяжки. Протягивание широко применяют в серийном, крупносерийном и массовом производствах.

## § 1. Типы станков и их назначение

Основной характеристикой протяжного станка является номинальное тяговое усилие, которое для станков различных типоразмеров колеблется от 98 до 980 кН. Различают горизонтально- и вертикально-протяжные станки. Горизонтально-протяжные станки общего назначения применяют для обработки внутренних цилиндрических и фасонных поверхностей, шлицевых и шпоночных пазов, винтовых канавок, внутренних зубьев и т. д. Они отличаются сравнительно небольшой стоимостью, простотой управления и обслуживания, легко и быстро переналаживаются. Реже применяют горизонтально-протяжные станки для наружного протягивания и горизонтально-протяжные станки непрерывного действия (конвейерные и карусельные).

Вертикально-протяжные станки общего назначения по сравнению с горизонтально-протяжными занимают меньшую площадь, легче автоматизируются, но имеют большую высоту, что затрудняет их обслуживание. Выпускают вертикально-протяжные станки для внутреннего и наружного протягивания. При наличии соответствующих приспособлений на вертикально-протяжных станках обрабатывают наружные поверхности вращения.

Применяют специальные протяжные станки, на которых инструментом особой конструкции обрабатывают сложные наружные поверхности: зубья конических, цилиндрических прямоугольных и косозубых зубчатых колес и т. д. В качестве оборудования для выполнения протяжных работ иногда используют прессы различных типов. Это значительно упрощает процесс обработки, удешевляет его и позволяет использовать этот высокопроизводительный метод в серийном производстве.

Части вертикально-протяжного станка-полуавтомата (рис. 98) для внутреннего протягивания смонтированы на плите 1. Тумба 2 несет стол 3, на который в приспособлении устанавливают заготовку. Рабочая 4 и вспомогательная 5 каретки могут перемещаться в вертикальной плоскости. Рабочая каретка движется по направляющим

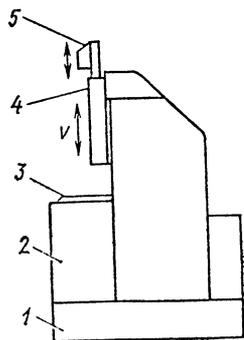


Рис. 98. Общий вид вертикально-протяжного станка

стойки. Перед началом обработки рабочая и вспомогательная каретки находятся в крайнем верхнем положении. Патрон вспомогательной каретки удерживает протяжку в отвесном положении. После установки заготовки на стол станка вспомогательная каретка движется вниз и подает в отверстие заготовки переднюю направляющую часть протяжки. Торец протяжки упирается в дно рабочего патрона, который захватывает протяжку за нижний конец. Включается вертикальное движение рабочей каретки, и протяжка, перемещаясь вниз, за один ход обрабатывает заготовку. В крайнем нижнем положении рабочей каретки и протяжки обработанную деталь снимают со станка. При возвращении рабочей каретки в крайнее верхнее положение рабочий патрон упирается в стол, его кулачки разжимаются и освобождают нижний конец протяжки. Одновременно ее верхний конец захватывается патроном вспомогательной каретки, которая поднимает протяжку в такое положение, при котором становится возможной установка новой заготовки на станке. При перемещении протяжки вверх ее режущая часть очищается от стружки отсасывающим устройством или вращающимися щетками. При наличии загрузочно-разгрузочного устройства цикл обработки полностью автоматизируется.

## § 2. Режущий инструмент и схемы обработки

Режущую часть протяжек делают из инструментальных сталей и твердых сплавов. В зависимости от типа обрабатываемых поверхностей различают внутренние (рис. 99, *а, д, е, з*) протяжки и наружные (рис. 99, *ж*). По конструкции протяжки делят на цельные (рис. 99, *а, д, е*) и сборные (рис. 99, *з*). Для протяжки сборной конструкции можно использовать твердосплавные элементы 1 и 2, что повышает производительность. В процессе эксплуатации можно заменять отдельные затупившиеся или сломавшиеся элементы.

Режущие кромки внутренних протяжек бывают круглыми, квадратными, шлицевыми, шпоночными и другой формы. Круглые протяжки предназначены для получения цилиндрических отверстий диаметром 10—90 мм. Сборными круглыми протяжками обрабатывают отверстия диаметром до 160 мм. Шлицевые протяжки (рис. 99, *д*) применяют для получения в отверстиях прямых и винтовых канавок плоского и эвольвентного профиля. Шпоночные протяжки (рис. 99, *е*) служат для обработки шпоночных пазов в цилиндрическом отверстии.

Наружные протяжки часто используют в блоках (рис. 99, *ж*). Каждая входящая в блок протяжка предназначена для обработки определенной части профиля. Так, плоские протяжки 1 срезают припуск с поверхности *А*, плоские боковые протяжки 2 — с поверхности *Б*. Плоские протяжки 4 и боковые протяжки 5 калибруют эти поверхности, а круглая протяжка 3 обрабатывает по-

верхность *B*. Использование блоков упрощает конструкцию протяжки, снижает ее стоимость и удлиняет срок службы, а также облегчает эксплуатацию и повышает производительность. Для обработки длинных отверстий, зубьев зубчатых колес и других сложных деталей применяют протяжки специальных конструкций.

У круглой протяжки передняя замковая часть  $l_1$  (рис. 99, *a*) служит для закрепления протяжки в рабочем патроне станка. Шейка  $l_2$  облегчает процесс подачи протяжки к рабочему патрону через отверстие в заготовке. Передняя направляющая часть  $l_3$

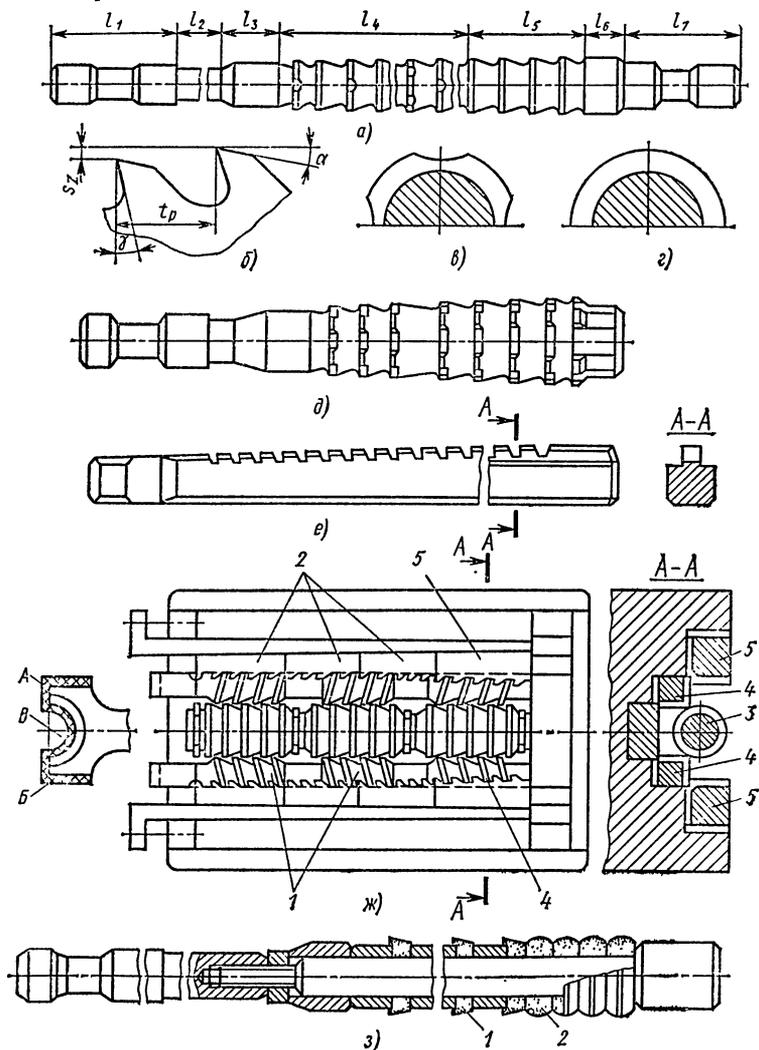


Рис. 99. Инструменты для обработки поверхностей на протяжных станках

служит для центрирования заготовки относительно оси протяжки. Ее диаметр делают по размеру отверстия в заготовке. На режущей части  $l_4$  располагают режущие зубья, которые срезают припуск. Высота каждого последующего зуба рабочей части больше высоты предыдущего на величину  $s_z$  (рис. 99, б), которую называют подачей на зуб. При обработке деталей из различных материалов эту величину принимают от 0,005 до 0,3 мм. Число  $z_p$  режущих зубьев рабочей части определяют из отношения  $z_p = h/s_z$ , где  $h$  — припуск на обработку данной поверхности протягиванием.

Шаг зубьев режущей части протяжки  $t_p$  выбирают так, чтобы во впадине каждого зуба размещалась вся срезаемая стружка и в работе одновременно участвовало не менее трех зубьев. На рабочей части (рис. 99, а) чередуют зубья с выкружками (рис. 99, в) и без них (рис. 99, г). Это облегчает процесс стружкообразования и размещения стружки во впадинах зубьев, а также увеличивает стойкость инструмента.

Калибрующая часть  $l_5$  придает обрабатываемой поверхности окончательный размер и шероховатость. На калибрующей части располагают пять-шесть зубьев одного размера без стружкоделительных канавок (рис. 99, г). Шаг зубьев калибрующей части принимают равным  $(0,6 \div 0,7) t_p$ . Иногда калибрование осуществляют выглаживающими элементами, которые упруго и пластически деформируют поверхностный слой обработанной поверхности.

Задняя направляющая часть  $l_6$  служит для центрирования заготовки относительно протяжки до выхода из отверстия последнего калибрующего зуба. Диаметр задней направляющей части соответствует размеру обработанной поверхности. Передняя и задняя направляющие исключают относительный перекосяк протяжки и заготовки и неизбежную в таких случаях поломку режущих и калибрующих зубьев. Заднюю замковую часть  $l_7$  делают в тех случаях, когда предусматривают закрепление протяжки в патроне вспомогательной каретки.

Передний  $\gamma$  и задний  $\alpha$  углы (рис. 99, б) измеряют в плоскости, перпендикулярной режущей кромке. Рекомендуемые углы заточки приведены в справочной литературе.

Различают свободное и координатное протягивание. При свободном протягивании обеспечивают только размер, форму и шероховатость обрабатываемой поверхности. При координатном протягивании дополнительно выдерживают размеры, которые определяют положение обработанной поверхности относительно других поверхностей детали. Для этого применяют приспособления, фиксирующие положение заготовки относительно протяжки. При свободном протягивании заготовка самоустанавливается относительно протяжки.

При обработке цилиндрических отверстий на горизонтально-протяжном станке (рис. 100, а) круглая протяжка 1, перемещаясь со скоростью  $v$ , обрабатывает заготовку 2, которую устанавливают

на вертикальную плоскость упорной втулки 3. Для заготовок, у которых опорная поверхность может быть неперпендикулярна оси обрабатываемого отверстия, вместо жесткой опоры применяют самоустанавливающуюся, например, сферического типа. По такой же схеме обрабатывают внутренние поверхности других профилей (квадратного, со шлицами и т. д.). Протягивание внутренними протяжками на вертикально-протяжных станках (рис. 100, б) принципиально не отличается от рассмотренной схемы.

При обработке винтовых шлицев и внутренних винтовых зубьев одновременно с главным поступательным движением со скоростью  $v$  протяжки заготовка или инструмент совершают вращательное движение с подачей  $s_{кр}$  в соответствии с шагом винтовой поверхности (рис. 100, в).

Для обработки отверстия используют также короткий инструмент — прошивку. Прошивка работает на сжатие, а для ее перемещения используют пресс.

Наружное протягивание плоских и фасонных линейчатых поверхностей производят на вертикально-протяжных станках (рис. 100, д) или на горизонтально-протяжных, используя схемы, в которых главное движение совершает инструмент или заготовка. При протягивании наружных поверхностей вращения кроме главного движения плоской протяжки необходима круговая подача заготовки (рис. 100, е).

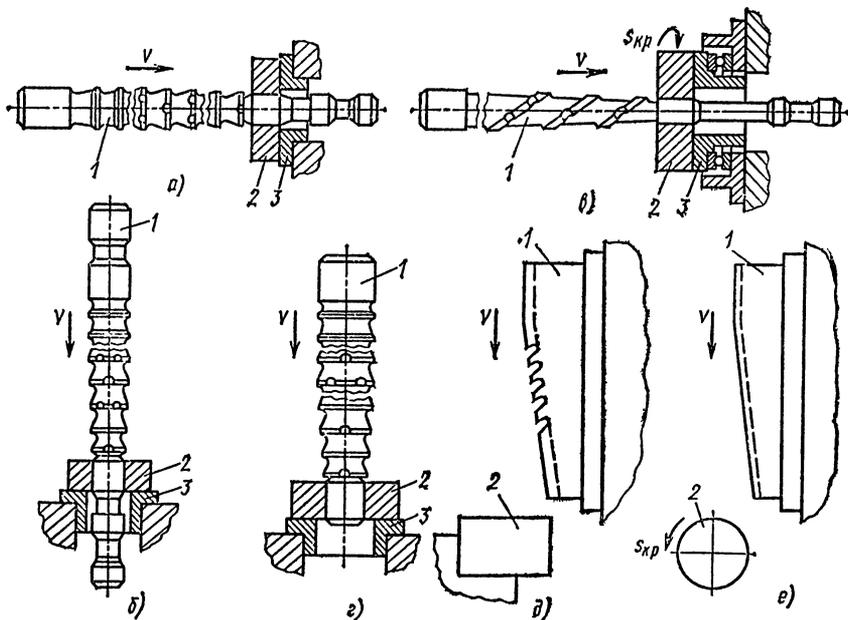


Рис. 100. Схемы обработки поверхностей на протяжных станках

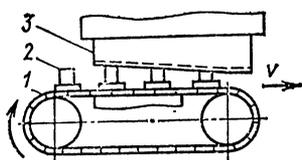


Рис. 101. Схема непрерывного протягивания

Существенным недостатком рассмотренных схем протягивания на вертикально- и горизонтально-протяжных станках являются значительные затраты времени на вспомогательные движения. Протяжные станки конвейерного и карусельного типа с непрерывным протягиванием лишены этого недостатка; на них используют плоские протяжки, неподвижно закрепленные на станке.

При непрерывном протягивании на горизонтально-протяжном станке конвейерного типа (рис. 101) на непрерывно вращающейся тяговой цепи 1 закреплены приспособления, в которые в загрузочной позиции автоматическим устройством устанавливаются заготовки 2. При их движении относительно протяжки 3 они обрабатываются и затем автоматически снимаются со станка.

По сравнению с вертикально-протяжными станками производительность непрерывного протягивания в 6—10 раз выше. Однако применение этого дорогого оборудования оправдано только при обработке очень большого числа одинаковых заготовок.

## Глава VIII

# ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ

## § 1. Профилирование зубьев зубчатых колес

Для эффективной работы большинства зубчатых колес необходимо, чтобы каждый зуб был очерчен дугами эвольвенты. При изготовлении зубчатых колес удаляют материал заготовки, входящий в впадины между зубьями. Многие методы обработки должны обеспечивать получение зубьев с эвольвентным профилем. Для профилирования эвольвентных зубчатых колес используют метод копирования и обкатки (огибания) (рис. 102). При получении впадин *A* методом копирования необходимо использовать такой профиль режущей части фасонного инструмента, чтобы он соответствовал профилю впадин. Режущий инструмент, например, в виде фасонного резца (рис. 102, *a*) прострогает канавку (впадину) так, что будут образованы две боковые стороны двух соседних зубьев. Затем заготовку поворачивают на  $1/2$  часть окружности ( $z$  — число зубьев заготовки) и резец прострогает соседнюю канавку и т. д.

Те же геометрические параметры зубчатого колеса можно получить, если использовать инструмент в виде фасонной дисковой фрезы (рис. 102, *б*) или фасонной пальцевой фрезы (рис. 102, *в*). Профиль впадин будет одинаковым по всей толщине колеса, если заготовке сообщить подачу  $s_{пр}$ .

Для метода копирования характерна сравнительно низкая производительность. Этот метод не обеспечивает высокой точности колес и, кроме того, его применение требует в производственных условиях большого запаса режущих инструментов с различными профилями. Вместе с тем он может быть реализован на универсальных металлорежущих станках, оснащенных делительными устройствами.

Наибольшее распространение получил метод обкатки. Он основан на зацеплении и согласованных движениях зубчатой пары, составленной из заготовки и инструмента. Такая пара может быть представлена заготовкой, которая совершает круговую подачу  $s_{кр. заг}$ , и инструментом в виде зубчатого колеса, вращающегося с подачей  $s_{кр. н}$  (рис. 102, з). Вращательные движения элементов пары строго согласованы. Для того чтобы инструмент не выдавливал, а вырезал впадины, он должен совершать возвратно-поступательное движение для обеспечения скорости резания  $v$ . При соблюдении всех указанных движений один элемент пары обкатывается по другому, а эвольвентный профиль зуба получается как огибающая очень большого числа положений инструмента относительно заготовки. Согласованность круговых подач заготовки и инструмента, т. е. их вращательных движений, состоит в том, чтобы окружности  $B$  и  $C$  в точке касания не имели скольжения.

Эвольвентный профиль зуба будет выполнен и в том случае, если зубчатую пару образовать из заготовки и инструмента в виде зубчатой рейки (рис. 102, д). Согласованность движений элементов пары состоит в качении окружности  $C$  по прямой  $D$  без скольже-

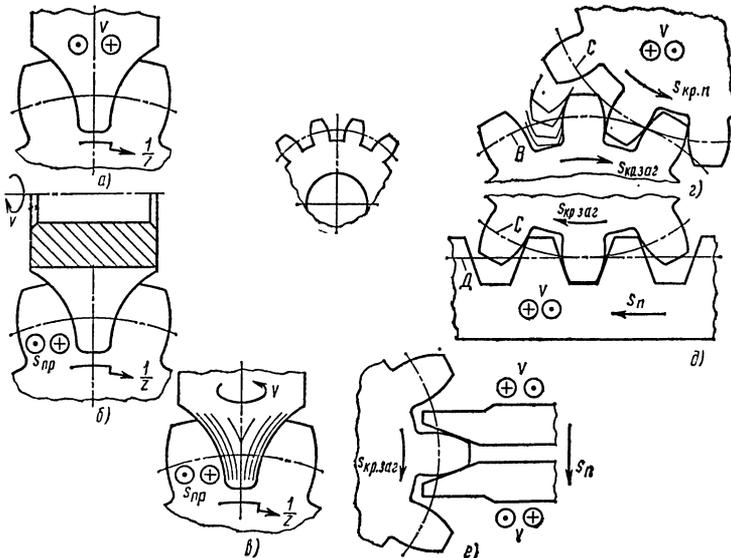


Рис. 102. Схемы методов профилирования зубчатых колес

ния, поэтому металлорежущий станок должен обеспечивать необходимое отношение круговой подачи  $s_{кр\ заг}$  заготовки и поступательного перемещения  $s_n$  инструмента. Для вырезания на заготовке впадин инструмент (рейка) должен совершать движение резания со скоростью  $v$ . В этом случае эвольвентный профиль зуба получается как огибающая различных положений инструмента, хотя профиль зубьев инструмента очерчен прямыми линиями.

Зубчатая пара может быть также образована зацеплением двух конических колес: заготовки и особого колеса в виде кольцевой рейки (рис. 102, *e*). Рейку имитируют два резца с прямолинейными режущими кромками. Движение обкатки обеспечивает кинематическое сочетание подачи элементов пары. Когда один резец движется вперед, второй отходит назад, и наоборот. Траектории движений резцов проходят через вершину обрабатываемого конического колеса.

## § 2. Зуборезные инструменты

Инструменты для обработки зубчатых колес по методу копирования являются разновидностями инструментов, рассмотренных выше.

Зуборезный долбяк (рис. 103, *a*) представляет собой зубчатое режущее колесо, каждый зуб которого имеет передний угол  $\gamma$  и задний  $\alpha$ . Зубья имеют эвольвентный профиль. Долбяки различают по размерам зубьев и наружному диаметру. При резании долбяки совершают движения вдоль своей оси (см. рис. 102, *g*), поэтому каждый зуб играет роль резца. Стружка снимается при движении долбяка вниз; при движении вверх резание отсутствует. Существуют различные типы зуборезных долбяков. Долбяки малых диаметров не имеют установочного отверстия, а закрепляют их с помощью хвостовика. Для нарезания косозубых зубчатых колес, у которых зуб колеса расположен по винтовой линии, применяют косозубые долбяки. Переточку затупившихся долбяков производят шлифованием по передней поверхности.

Схему обкатки с применением рейки (см. рис. 102, *d*) используют редко. Преобразование этой схемы привело к появлению червячных модульных фрез (рис. 103, *б*), основным элементом которых является зубчатая рейка трапецеидального профиля. Фреза пред-

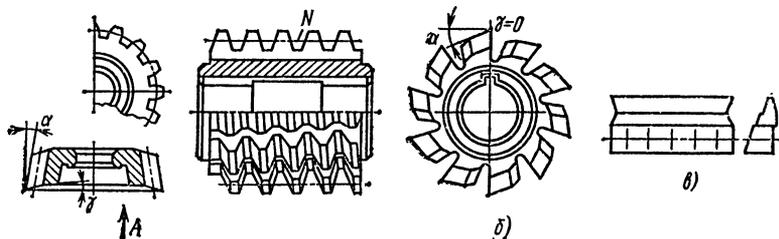


Рис. 103. Зуборезные инструменты

ставляет собой червяк с трапецидальной нарезкой, на котором прорезаны канавки так, что образуются режущие зубья с передними  $\gamma$  и задними  $\alpha$  углами. Зубья реек образуют винтовую поверхность. При вращении фрезы профиль рейки будет перемещаться вдоль линии  $N$  в плоскости чертежа. Такое перемещение режущего профиля равнозначно движению подачи  $s_n$  (см. рис. 102, *д*). Червячные фрезы выполняют одно-, двух- и трехзаходными. Чем больше число заходов, тем выше производительность, но ниже точность. Фрезы изготовляют цельными и сборными — со вставными зубьями.

Зубострогальные резцы применяют для изготовления прямозубых конических колес (см. рис. 102, *е*). Резец (рис. 103, *в*) имеет призматическую форму. Передний и задний углы образуются при установке резцов в резцедержателе станка.

Кроме указанных для изготовления зубчатых колес применяют и другие режущие инструменты более сложных конструкций. Каждый инструмент должен иметь маркировку с указанием данных, используемых для наладки станков.

### § 3. Технологические методы нарезания зубчатых колес

**Нарезание зубчатых колес на зубодолбежных станках.** На зубодолбежных станках (см. рис. 102) на основании 1 расположена верхняя станина 2, несущая основные элементы станка (рис. 104). Долбляк, закрепленный на шпинделе 8, совершает заданное число двойных ходов в минуту, которое может быть настроено с помощью гитары 10. Механизм перемещения долбяка обеспечивает рабочий ход в соответствии с заданной скоростью резания  $v_p$ . Холостой ход совершается со скоростью  $v_x$ , большей, чем скорость рабочего хода. Согласованность вращательных движений инструмента и заготовки обеспечивает настройка гитары обкатки 3.

В начале процесса резания долбляк, совершая возвратно-поступательные и вращательные движения, постепенно врезается в заготовку. Для этого предусмотрена подача  $s_p$ , которую обеспечивает механизм подачи 5. При этом суппорт 4 медленно перемещается по направляющим 7 до тех пор, пока долбляк не достигнет полной высоты зуба нарезаемого колеса. Поскольку долбляк совершает в среднем 400—500 дв. ход/мин, а вращается медленно, за каждое рабочее движение он снимает тонкую стружку. В результате каждого рабочего хода долбляк занимает по отношению к заготовке новые положения, совокупность которых при непрерывном вращении позволяет профилировать эвольвентные зубья.

При движении вверх долбляк не режет, но продолжает также медленно вращаться. Для того чтобы он не сильно изнашивался, стол с заготовкой 9 отводится по стрелке  $\Delta$  вправо на небольшую величину. В начале движения долбяка вниз стол перемещается влево и занимает прежнее рабочее положение. Число перемещений стола по стрелке  $\Delta$  равно числу двойных ходов долбяка в минуту.

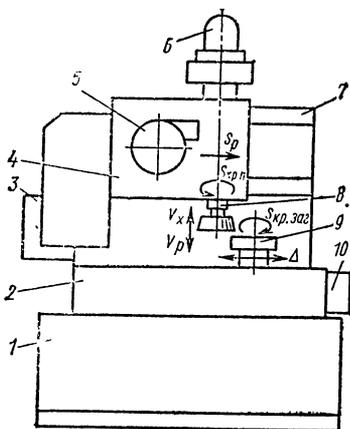
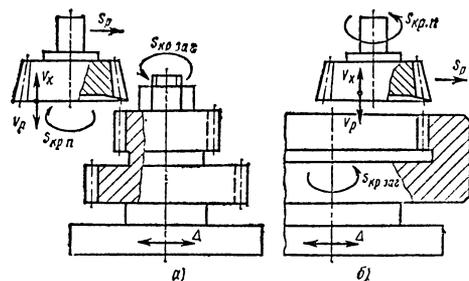


Рис. 104. Общий вид зубодолбежного станка

Рис. 105. Схема обработки заготовок на зубодолбежных станках:

а — зубчатого блока; б — зубчатого венца для внутреннего зацепления



Для нарезания косозубых зубчатых колес на станок под колпак *б* устанавливают специальный копирный механизм. Зубодолбежные станки работают по полуавтоматическому циклу.

Цилиндрические зубчатые колеса с прямыми зубьями нарезают прамозубыми долбяками.

Средняя скорость резания при зубодолблении, м/мин:

$$v = \frac{2Ln}{1000},$$

где  $L$  — длина хода долбяка, мм;  $n$  — число двойных ходов долбяка в минуту.

Величины  $L$  и  $n$  регулируются на станке.

Гитара деления станка настраивается на основе тождества

$$\frac{n_{заг}}{n_{и}} = \frac{z_{и}}{z_{заг}},$$

где  $n_{заг}$  — частота вращения заготовки, об/мин;  $n_{и}$  — частота вращения инструмента (долбяка), об/мин;  $z_{и}$  — число зубьев долбяка;  $z_{заг}$  — число зубьев заготовки.

Круговая подача  $s_{кр.п}$ , мм/дв. ход, долбяка выражается длиной дуги делительной окружности  $C$  (см. рис. 102, *г*) за один двойной ход (мм/дв. ход). Для увеличения производительности нарезают несколько заготовок колес, закрепленных на одной оправке. Нарезание блоков зубчатых колес и зубчатых венцов для внутреннего зацепления (рис. 105) возможно только на зубодолбежных станках.

Цилиндрические зубчатые колеса с косыми зубьями нарезают косозубыми долбяками. Углы наклона зубьев долбяка и заготовки при наружном зацеплении совпадают, но для нарезания колеса с правым направлением зубьев устанавливают долбяк с левым направлением, и наоборот. Зубья долбяка совершают движение вверх и вниз по винтовой линии, что и обуславливает наклон

нарезаемых зубьев. Траектория движения зубьев долбяка определяется копирным устройством, которое специально устанавливается в этом случае. Цилиндрические колеса с косыми зубьями внутреннего зацепления нарезают долбяками с одноименным направлением зубьев.

Увеличению производительности зубодолбежных станков способствует их автоматизация. Штампованные заготовки с окончательно обработанными на токарных станках отверстием и наружными поверхностями автоматически закрепляются в позиции обработки. По окончании нарезания зубьев суппорт станка отходит в сторону, обработанное колесо автоматически снимается, а на его место устанавливается новая заготовка, и станок нарезает следующее колесо.

**Нарезание зубчатых колес на зубофрезерных станках.** Метод получения зубьев на зубофрезерных станках (рис. 106) получил наибольшее распространение. Станок представляет собой рамную конструкцию, что способствует увеличению жесткости. Рама образуется основанием 1, стойками 2 и 7 и поперечиной 6. Модульную червячную фрезу 4 устанавливают на суппорте 3, который может перемещаться с подачей  $s_v$  по вертикальным направляющим стойки 2.

Салазки 9 станка могут перемещаться с поперечной подачей  $s_n$  по направляющим основания 1. На вращающемся столе 8 устанавливают приспособление для закрепления заготовки 5 зубчатого колеса. Таким приспособлением чаще всего бывает оправка, верхний конец которой поддерживает кронштейн для уменьшения ее деформаций от сил резания. Согласованность вращательных движений фрезы и заготовки обеспечивается настройкой гитар 10. Если нарезают зубья на цилиндрических зубчатых колесах, салазки 9 закрепляют неподвижно и подача  $s_n$  отсутствует, а суппорт 3 из верхнего положения переходит в нижнее. Фреза нарезает зубья на полную высоту. При нарезании червячных колес отсутствует подача  $s_v$ , а вращающаяся заготовка 5 перемещается с подачей  $s_n$  до тех пор, пока зубья не будут нарезаны на полную высоту, после чего подача автоматически выключается.

При нарезании прямозубых цилиндрических зубчатых колес (рис. 107, а) червячную модульную фрезу устанавливают под углом  $\theta$ , равным углу  $\omega$  подъема ее винтовой линии. Суппорты зубофрезерных станков позволяют сделать такую установку точно

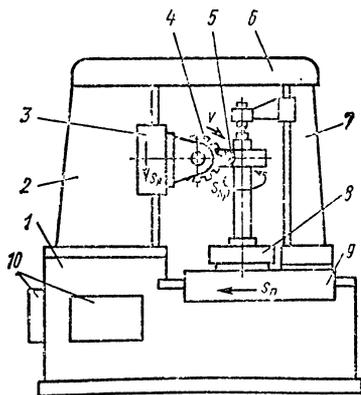


Рис. 106. Общий вид зубофрезерного станка

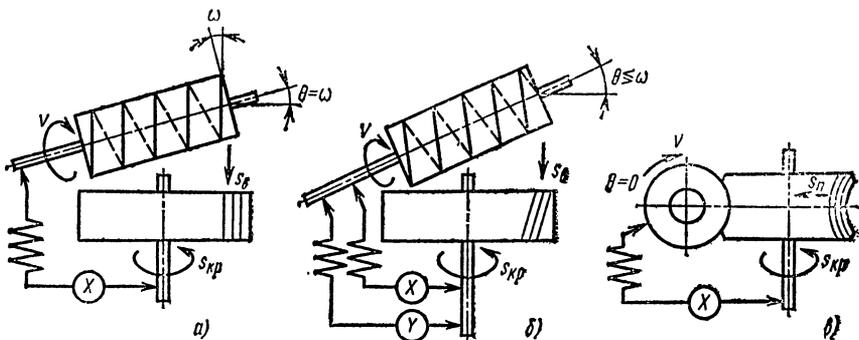


Рис. 107. Схемы обработки заготовок на зубофрезерных станках

по лимбу. Значение угла  $\omega$  маркируют на торце фрезы. Скорость резания при зубофрезеровании

$$v = \frac{\pi D_{\phi} n_{\phi}}{1000},$$

где  $D_{\phi}$  — диаметр фрезы, мм;  $n_{\phi}$  — частота вращения, об/мин.

Станки имеют орган настройки — гитару, которая обеспечивает заданную скорость  $v$ , выбранную в зависимости от материала инструмента и заготовки, при установке необходимой частоты вращения. Еще одну гитару настраивают подбором сменных зубчатых колес для получения необходимой вертикальной подачи  $s_v$ .

Строгое согласование вращательных движений фрезы и заготовки обеспечивают подбором зубчатых колес гитары X, встроенной в кинематическую цепь. При обработке однозаходной модульной червячной фрезой необходимо, чтобы за время одного оборота фрезы заготовка, на которой надо получить  $z$  зубьев, повернулась на  $1/z$  часть окружности. Фреза и заготовка непрерывно вращаются в ходе обработки. Гитара X может быть настроена на получение любого числа зубьев  $z$ .

В начале обработки, поскольку фреза находится в верхнем положении (рис. 107, а), резания не происходит. При движении вниз с подачей  $s_v$  фреза начинает врезаться в заготовку постепенно, а затем и на всю высоту зуба (см. рис. 106). Дальнейшее вертикальное перемещение фрезы позволяет нарезать зубья на всей ширине колеса.

При нарезании косозубых (винтовых) цилиндрических зубчатых колес (рис. 107, б) в зависимости от направления зубьев заготовки (правое или левое вращение) фрезу поворачивают на угол  $\theta$ , больший или меньший угла  $\omega$  подъема ее винтовой линии. Значения  $v$  и  $s_v$  выбирают из тех же условий, что и при нарезании прямозубых цилиндрических зубчатых колес. Согласование враща-

тельных движений инструмента и заготовки имеет свои особенности. За один оборот однозаходной фрезы заготовка должна вернуться не только на  $1/z$  часть окружности, но и совершить еще дополнительную часть оборота, чтобы зубья заготовки располагались по винтовой линии.

Кроме делительной цепи с гитарой  $X$  станки имеют дифференциальную цепь с гитарой  $Y$ , определяющей дополнительную часть поворота, которую надо добавить (или отнять) к  $1/z$  части окружности. Наличие двух гитар позволяет осуществлять изготовление зубчатых колес, имеющих при одном и том же числе  $z$  различные углы наклона зубьев нарезаемого колеса. Цепь с гитарой  $Y$  содержит специальный механизм — дифференциал, который позволяет суммировать вращательные движения. Нарезание зубчатых колес по схемам, представленным на рис. 107, *a* и *б*, проводят одной и той же фрезой, которая пригодна для любого числа зубьев при постоянном модуле.

При нарезании червячных зубчатых колес (рис. 107, *в*) фрезу устанавливают так, как должен быть установлен червяк, находящийся в зацеплении с нарезанным червячным колесом, т. е.  $\theta = 0$ . Заготовка, предварительно обработанная на станке токарной группы, должна иметь торовую поверхность. Согласование вращательных движений заготовки и червячной фрезы обеспечивает гитара  $X$ . Одному обороту однозаходной фрезы должен соответствовать поворот заготовки на  $1/z$  часть окружности. Подбором сменных зубчатых колес устанавливают необходимое значение подачи  $s_n$ . При движении салазок  $9$  (см. рис. 106) стойку  $7$  и поперечину  $6$  раскрепляют.

Технологическая операция зубофрезерования требует больших затрат времени, поэтому для повышения производительности работу зубофрезерных станков автоматизируют. Созданы автоматические линии, состоящие из зубообрабатывающих станков. Программное управление станками позволяет существенно облегчить их настройку. В некоторых случаях выбор подач, скорости резания, а также значения необходимых значений чисел зубьев и их наклона производится с помощью переключений на специальной панели, установленной на станке. Система автоматизации станков позволяет также производить съем нарезанных колес, установку, закрепление заготовок, а также измерение в процессе обработки параметров нарезаемых зубчатых колес.

**Нарезание зубчатых колес на зубострогальных станках.** Зубострогальные станки предназначены для изготовления конических зубчатых колес методом обкатки (см. рис. 102, *е*). Кольцевая рейка представляет собой плоское воображаемое колесо с углом  $\beta$  при вершине, равным  $90^\circ$ . На зубострогальном (рис. 108) станке движения такого колеса обеспечивает сложная сборочная единица  $2$ , называемая люлькой. На люльке расположены два суппорта с резцами  $1$ , профиль которых соответствует профилю впадины зубчатой рейки. Зуб обрабатываемого колеса распола-

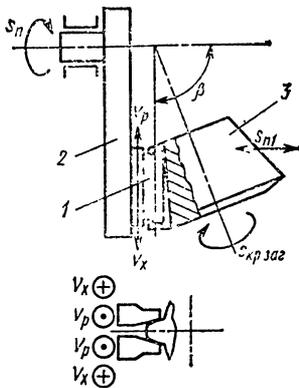


Рис. 108. Схема обработки заготовок на зубострогальном станке

гается между резцами. Заготовка 3 находится в зацеплении с плоским колесом, к которому она подводится с поперечной подачей специальным механизмом.

На станке можно установить заготовки для обработки прямозубых конических колес с различными углами при вершине конуса, однако принципиальная схема обработки всегда остается одинаковой. Скорость резания  $v_p$  при совершении рабочего хода устанавливается на соответствующей гитаре сменных зубчатых колес и зависит от условий обработки. Согласованные круговые движения люльки и нарезаемого колеса, т. е. движения круговых подач, представляют собой дви-

жения обкатки. Гитара зубчатых колес настраивается исходя из передаточного отношения

$$i = \frac{z_n}{z},$$

где  $z_n$  — фиктивное число зубьев плоского производящего колеса;  $z$  — число зубьев нарезаемого колеса.

При совершении вращательных движений обкатки резцы, движущиеся возвратно-поступательно, сначала не будут касаться заготовки, затем будут срезать все большие слои материала, вырезать соседние неполные по ширине впадины на полную глубину и, наконец, выйдут из зацепления с заготовкой. Для нарезания второго зуба заготовка автоматически отводится от резцов, поворачивается на  $1/z$  и, вращаясь в обратном направлении, занимает исходное положение. В обратном же направлении вращается и люлька. По окончании этих движений заготовка подводится на глубину впадины, и процесс обкатки повторяется.

Вспомогательные движения при нарезании колес на зубострогальных станках совершаются ускоренно, что увеличивает производительность обработки. Механизмы ускоренных движений работают автоматически. На некоторых станках применяют такую схему нарезания, при которой зубья формируются не последовательно, а через несколько зубьев, хотя в итоге все зубья оказываются нарезанными. Такая схема позволяет упростить делительные механизмы и повысить точность обработки.

Для увеличения точности зубьев и уменьшения шероховатости их рабочих поверхностей процесс обработки можно производить в два рабочих хода. После того как будет произведен первый черновой рабочий ход, станок не останавливается, а продолжает работать, но уже при другом положении зубчатого колеса. В на-

чале второго, чистового рабочего хода колесо автоматически переместится в направлении люльки так, что далее резание будет проходить с уменьшенной глубиной резания. Величину съема материала при чистовом рабочем ходе можно легко регулировать.

Зубострогальные станки работают по полуавтоматическому циклу. После установки заготовки и закрепления ее с помощью быстродействующего зажимного устройства и нажатия на пусковую кнопку станок работает автоматически, а по окончании нарезания всех зубьев останавливается. Механизмы автоматической установки заготовки и съема нарезанного зубчатого колеса превращают станок в автомат.

Кроме прямозубых конических колес применяют конические колеса с круговым расположением зуба. Такие колеса обладают лучшими эксплуатационными показателями, к которым относятся прежде всего плавность и бесшумность в работе, а также высокая прочность зубьев. Схема нарезания колес с круговыми зубьями аналогична описанной выше. На плоском колесе, которое является производящим, устанавливают резцовую головку с круговым расположением резцов. Вместо поступательного движения (рис. 108) резцы получают вращательное движение вокруг оси головки. Движение обкатки является сложным. В нем участвуют вращения люльки вокруг своей оси, резцовой головки вокруг оси, закрепленной на люльке, заготовки. Процесс деления заготовки на  $z$  частей, а также подвода и отвода ее при делении аналогичен описанному выше.

## *Глава IX*

### **ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ**

С помощью шлифования можно производить чистовую и отделочную обработку деталей с высокой точностью. Обрабатывать можно заготовки из самых разнообразных материалов, а для заготовок из закаленных сталей шлифование является одним из наиболее распространенных методов формообразования.

Шлифованием называют процесс обработки заготовок резанием с помощью шлифовальных кругов. Абразивные зерна расположены в круге беспорядочно и их удерживает связующий материал. При вращательном движении круга в зоне его контакта с заготовкой часть зерен срезает материал. С заготовки срезается очень большое число тонких стружек. Обработанная поверхность, представляющая собой совокупность микроследов абразивных зерен, имеет малую шероховатость. Часть зерен ориентирована так, что резать не может, но производит работу трения по поверхности резания.

В зоне резания выделяется большое количество теплоты. Мелкие частицы обрабатываемого материала, сгорая, либо образуют

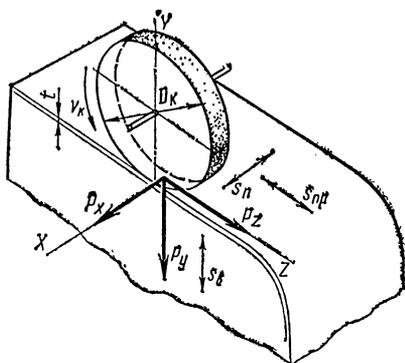


Рис. 109. Схема процесса шлифования

пучок искр, либо оплавляются. Абразивные зерна могут также оказывать на заготовку существенное силовое воздействие. Происходит поверхностное пластическое деформирование материала, его кристаллическая решетка искажается. Деформирующая сила вызывает сдвиги одного слоя атомов относительно другого. Вследствие упругопластического деформирования материала возникает наклеп обработанной поверхности. Но этот эффект оказывается менее ощутимым, чем при обработке металлическим инструментом. Тепловое и силовое воздействие на обработанную поверхность приводит к структурным превращениям, изменениям физико-механических свойств поверхностных слоев материала обрабатываемой заготовки. Так образуется дефектный поверхностный слой детали. Для уменьшения тепловых эффектов процесс шлифования производят при обильной подаче смазывающе-охлаждающих сред.

Для формообразования любой поверхности методом шлифования необходимо иметь четыре движения: вращательное движение круга и перемещения по координатным осям (рис. 109), которые могут быть заменены вращательными движениями вокруг осей.

Элементами резания являются скорость резания, подача и глубина резания. Скорость резания, м/с, равна окружной скорости периферии шлифовального круга:

$$v = \frac{\pi D_k n_k}{1000 \cdot 60},$$

где  $n_k$  — частота вращения, об/мин;  $D_k$  — наружный диаметр шлифовального круга, мм.

Подачами являются перемещения заготовки или инструмента вдоль или вокруг координатных осей. Глубину резания  $t$  определяет толщина слоя материала, срезаемого за один рабочий ход. Оптимальные величины режимов резания выбираются по справочной литературе.

Силу резания, возникающую при шлифовании, для удобства расчетов разлагают по координатным осям на тангенциальную, радиальную и осевую составляющие. Силу, действующую на круг в направлении главного движения, называют тангенциальной составляющей ( $P_z$ ). Силу, препятствующую внедрению абразивных зерен в материал заготовки и направленную нормально к режущей поверхности круга, называют радиальной составля-

ющей ( $P_y$ ). Силу, направленную параллельно оси круга, называют осевой составляющей ( $P_x$ ).

По величинам составляющих силы резания в зависимости от схемы шлифования производят расчеты мощности электродвигателя шлифовального круга, механизмов подачи, а также определяют погрешность обработки. Для некоторых схем обработки составляющая  $P_x = 0$ .

Мощность, кВт, электродвигателя, приводящего во вращение шлифовальный круг:

$$N_k = \frac{P_z v}{60 \cdot 10^3 \eta_1},$$

где  $\eta_1$  — коэффициент полезного действия кинематической цепи передачи вращения кругу.

## § 1. Основные типы станков

Детали машин представляют собой сочетание наружных и внутренних плоских, круговых цилиндрических и круговых конических поверхностей. Наибольшее распространение получили круглошлифовальные, внутришлифовальные, плоскошлифовальные, бесцентровошлифовальные, заточные, а также специализированные станки. Для всех станков главное движение резания обеспечивается вращением шлифовального круга со скоростью  $v$ . Высокоскоростное шлифование обеспечивает уменьшение шероховатости поверхности и повышение стойкости шлифовального круга.

Круглошлифовальные станки (рис. 110) можно разделить на простые, универсальные и врезные. Универсальные станки имеют поворотную переднюю и шлифовальную бабки. Каждую из бабок можно повернуть на определенный угол вокруг вертикальной

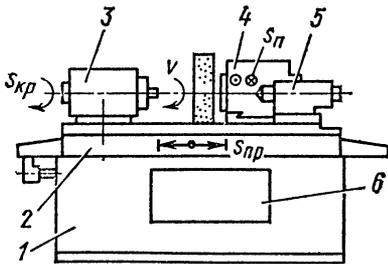


Рис. 110. Общий вид круглошлифовального станка:

1 — станина; 2 — стол; 3 — передняя бабка с коробкой скоростей; 4 — шлифовальная бабка; 5 — задняя бабка; 6 — привод стола

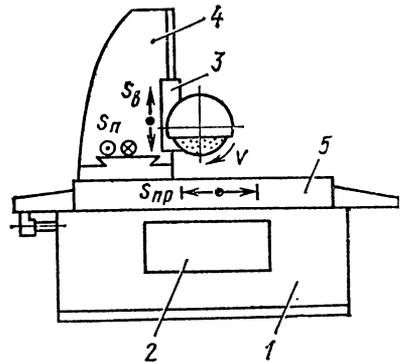


Рис. 111. Общий вид плоскошлифовального станка с прямоугольным столом:

1 — станина; 2 — привод станка; 3 — шлифовальная бабка; 4 — стойка; 5 — стол

оси и закрепить для последующей работы. Простые станки снабжены неповоротными бабками. У врезных станков отсутствует продольная подача стола, а процесс шлифования ведется по всей длине заготовки широким абразивным кругом с поперечной подачей.

Для подач частей круглошлифовальных станков также широко используют гидравлические устройства. Возвратно-поступательное перемещение стола производится с помощью гидроцилиндра и поршня. Управление ими происходит при помощи устройств, которые переключаются самим столом в его крайних положениях. Гидравлические механизмы используют также для периодической подачи шлифовальной бабки. Применение таких механизмов обеспечивает бесступенчатое регулирование подачи. В новых шлифовальных станках с программным управлением подача может осуществляться с помощью шагового двигателя. Круговая подача  $s_{кр}$  заготовки происходит при помощи специального электродвигателя с бесступенчатым регулированием благодаря изменению электрического сопротивления.

Вращение шлифовального круга обеспечивается клиноременной передачей. При износе круга и уменьшении его диаметра используют другую пару шкивов, и частота вращения круга увеличивается. Вместе с тем круглошлифовальные станки могут иметь бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя круга. Станки имеют высокую степень автоматизации. Так, автоматически производятся подачи стола, шлифовального круга (за каждый одинарный ход стола), правка круга и компенсация его износа, изменение скорости отвода и подвода шлифовальной бабки.

Оснащение шлифовальных станков системами программного управления дает возможность создавать разнообразные вариации технологических параметров во время обработки. Так, один из циклов обработки на круглошлифовальном станке состоит из следующих этапов: установка заготовки, пуск станка, быстрый подвод круга, замедленный подвод круга до встречи с заготовкой, врезание круга, установившийся съем металла, чистовое шлифование, отвод круга, снятие заготовки. Последовательность этапов может быть легко изменена.

Шлифование плоских поверхностей на плоскошлифовальном станке с прямоугольным столом (рис. 111) производится периферией круга. Движения подачи могут осуществляться вручную и при помощи привода станка. Привод для продольного перемещения стола осуществляется с помощью гидравлического устройства — поршня, цилиндров и органов управления.

Закрепление заготовок на шлифовальных станках зависит от метода шлифования. На круглошлифовальных станках шлифование ведется на центрах, расположенных на передней и задней бабках. Для повышения точности обработки центры не вращаются. Круговую подачу заготовки обеспечивает поводковое устройство

(поводок и хомутик), приводимое в действие вращающейся планшайбой. Возможно также консольное закрепление заготовок в кулачковых патронах. При шлифовании нежестких деталей применяют люнеты. На плоскошлифовальных станках заготовки закрепляют с помощью магнитных плит, а также в зажимных приспособлениях. Возможно закрепление как единичных, так и одновременно многих заготовок. Заготовки размещают на столах, затем включают ток, и они притягиваются к магнитной плите. Станки снабжают специальными устройствами для правки круга после его затупления, а также приспособлениями для уравнивания круга.

## § 2. Режущий абразивный инструмент

Абразивные инструменты различают по геометрической форме и размерам, типу абразивного материала, зернистости, связке, твердости и структуре. Зерна абразивных инструментов представляют собой синтетические материалы или природные минералы. Из природных минералов применяют алмаз, кварц, корунд, кремнь, гранат. К синтетическим материалам относятся нормальный электрокорунд (Э), белый электрокорунд (ЭБ), монокорунд (М), зеленый карбид кремния (КЗ) и черный (КЧ), карбид бора, борсиликокарбид, хромистый электрокорунд (ЭХ), титанистый электрокорунд (ЭТ). Главной особенностью абразивных материалов является их высокая твердость.

При изготовлении инструмента зерна скрепляют друг с другом при помощи цементирующего вещества — связки. Наиболее широко применяют инструменты, изготовленные на керамической, бакелитовой или вулканитовой связках. Керамическую связку готовят из глины, полевого шпата, кварца и других веществ, тонко измельчая и смешивая их в определенных пропорциях. Бакелитовая связка состоит в основном из синтетической смолы — бакелита. Вулканитовая связка представляет собой синтетический каучук, подвергнутый вулканизации для превращения его в прочный, твердый эбонит.

Под твердостью абразивного инструмента понимают способность связки сопротивляться вырыванию абразивных зерен с рабочей поверхности инструмента под действием внешних сил. Структура абразивного инструмента характеризует его внутреннее строение, т. е. соотношение между объемным содержанием абразивных зерен, связки и пор в единице объема инструмента.

Для шлифования заготовок из твердых сплавов и высокотвердых материалов успешно применяют алмазные круги. Алмазный круг состоит из корпуса и алмазоносного слоя. Корпус изготавливают из алюминия, пластмасс или стали. Толщина алмазоносного слоя у большинства кругов составляет 1,5—3 мм.

На шлифовальные круги наносят условные обозначения, называемые маркировкой. Маркировка необходима для правиль-

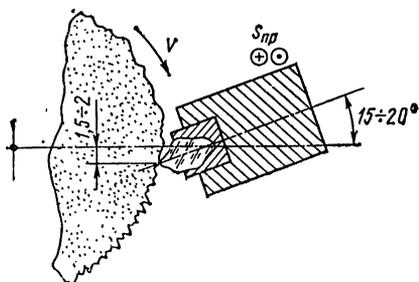


Рис. 112. Схема правки абразивного круга

ного выбора инструмента при проведении конкретной работы. Условные обозначения должны быть расположены в определенной последовательности: абразивный материал и его марка, номер зернистости, степень твердости, номер структуры, вид связки.

В процессе шлифования режущие свойства кругов изменяются. Абразивные зерна изнашиваются, затупляются, частично раскалываются, поры между зернами заполняются шлифовальными отходами. Возрастает сила резания. Поверхность круга из-за неравномерного износа теряет свою первоначальную форму, и точность обработки снижается. Для восстановления режущих свойств абразивные инструменты подвергают правке. При правке удаляют затупившиеся зерна и придают шлифовальному кругу правильную геометрическую форму. Чаще всего правку производят алмазом (рис. 112). Алмаз укреплен в специальной державке и перемещается с подачей  $s_{пр}$  относительно вращающегося круга. Правка производится при обильном охлаждении. Толщина слоя, удаляемого с поверхности шлифовального круга, не превышает обычно 0,01—0,03 мм. Вместо единичного кристалла алмаза может быть закреплен алмазно-металлический карандаш, который состоит из мелких алмазных зерен, распределенных по объему удерживающего их сплава.

Перед установкой на шпиндель станка круги подвергают контролю. Каждый круг предварительно испытывается на специальных станках при вращении со скоростью, в 1,5 раза превышающей указанную в маркировке. Если в процессе шлифования по каким-либо причинам масса круга не будет распределена равномерно относительно оси вращения, возникает вибрация частей станка. На обработанной поверхности появляется характерная волнистость. Шлифование на станке становится опасным, так как круг начинает работать с ударами и может разорваться.

Круги должны быть отбалансированы. Процесс балансировки предусматривает устранение дисбаланса массы круга относительно оси шпинделя станка. Дисбаланс можно обнаружить при помощи разнообразных устройств, балансировочных приспособлений, установок, машин. Наиболее простым является приспособление для статической балансировки. Круг вместе с фланцами, на которых он закреплен, монтируют на балансировочной оправке и устанавливают на опорах так, чтобы он мог свободно поворачиваться относительно оси вращения. При статической неуравновешенности круг, поворачиваясь, устанавливается тяжелой частью вниз.

В процессе балансировки дисбаланс устраняется перемещением специальных грузиков, расположенных либо на фланцах, либо в специальных устройствах. После балансировки круг устанавливают вместе с фланцами на станок и производят первую правку, по окончании которой круг подвергают повторной балансировке.

### § 3. Схемы обработки

На круглошлифовальных станках наибольшее распространение получили методы шлифования в центрах. Круглое шлифование (рис. 113) производится при вращательном движении круга со скоростью  $v$  и вращательном движении (круговой подаче  $s_{кр}$ ) заготовки.

При шлифовании с продольной подачей (рис. 113, а) заготовка вращается равномерно и совершает возвратно-поступательное движение. В конце хода заготовки шлифовальный круг перемещается на величину  $s_n$  и при следующем ходе срезается слой металла определенной глубины. Процесс шлифования идет до тех пор, пока не будет достигнут необходимый размер поверхности заготовки. Если необходимо шлифовать второй участок заготовки, станок останавливают и настраивают, устанавливая упоры на столе для переключения продольной подачи уже в новых положениях. Также устанавливают величины подач  $s_n$ ,  $s_{np}$  и  $s_{кр}$  в зависимости от требуемой шероховатости поверхности.

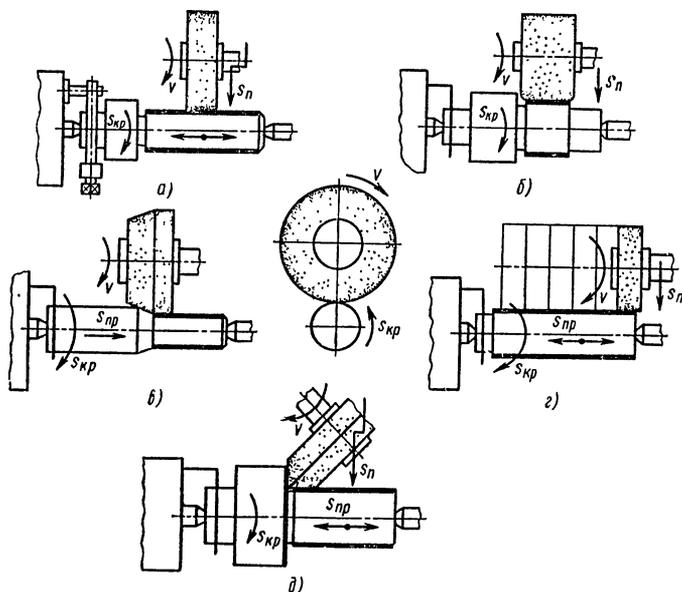


Рис. 113. Схемы процесса круглого шлифования: а — с продольной подачей; б — врезного; в — глубинного; г — с уступами; д — комбинированного

Для повышения производительности процесса шлифования от сокращения вспомогательного времени станки оснащают специальными быстродействующими поводковыми устройствами, а также автоматическими измерительными устройствами, которые прекращают процесс шлифования при достижении необходимого размера. Измерительные наконечники устройства контактируют с обрабатываемой поверхностью и дают сигнал на выключение подачи, что исключает появление брака.

Производительным является *врезное шлифование*, применяемое при обработке жестких заготовок в тех случаях, когда ширина шлифуемого участка может быть перекрыта шириной шлифовального круга. Круг перемещается с постоянной подачей до достижения необходимого размера поверхности. Этот метод также используют в тех случаях, когда необходимо шлифовать фасонные поверхности и кольцевые канавки. Программное управление врезным шлифованием позволяет изменять величину поперечной подачи так, что при черновой обработке удаляется основной объем материала, а при чистовой достигается заданное качество поверхности.

*Глубинное шлифование* позволяет за один рабочий ход снять слой материала на всю необходимую глубину. На шлифовальном круге имеется конический участок длиной 8—12 мм. В ходе шлифования конический участок удаляет основную часть срезаемого слоя, а цилиндрический участок зачищает обработанную поверхность. Поперечная подача отсутствует. Конструктивное оформление заготовки должно обеспечивать возможность шлифования данным способом.

*Шлифование уступами* представляет собой сочетание методов, представленных на рис. 113, а и б. Процесс шлифования состоит из двух этапов. На первом этапе производят шлифование врезанием с подачей  $s_n$ , мм/об, периодически передвигаая стол на 0,8—0,9 ширины круга. На втором этапе делают несколько ходов с продольной подачей  $s_{пр}$  для зачистки поверхности при выключенной подаче  $s_n$ . Станки для шлифования уступами также можно снабжать программным управлением, обеспечивающим передвижение круга на первом этапе и, далее, переход на шлифование с продольной подачей заданной величины.

Для обеспечения правильного взаимного расположения цилиндрических и плоских (торцовых) поверхностей детали шлифовальный круг специально запроваляют (рис. 113, в) и поворачивают на определенный угол. Шлифование производится коническими участками круга. Обработка цилиндрической поверхности производится по схеме, аналогичной схеме, изображенной на рис. 113, а, с периодической подачей  $s_n$  на глубину резания. Обработка торцовой поверхности детали производится с подачей вручную при плавном подводе заготовки к кругу или с помощью программного устройства.

Шлифование наружных конических поверхностей производят по двум основным схемам. При обработке заготовок в центрах

верхнюю часть стола поворачивают вместе с центрами на необходимый угол так, что положение образующей конической поверхности совпадает с направлением продольной подачи. Далее шлифование конических поверхностей производится по аналогии с обработкой цилиндрических поверхностей. При консольном закреплении заготовок передняя бабка поворачивается на половину угла конуса и в таком положении фиксируется. Образующая конической поверхности также совпадет с направлением продольной подачи.

Для круглошлифовальных станков с программным управлением можно применять устройства, которые позволяют автоматически переключать скорость подхода круга на рабочую подачу в непосредственной близости от обрабатываемой поверхности. Правка абразивного инструмента проводится автоматически в соответствии с программой.

*Внутреннее шлифование* (рис. 114, а) применяют для получения отверстий высокой точности с малой шероховатостью поверхности на заготовках, как правило, прошедших термическую обработку. Можно шлифовать сквозные, глухие, конические и фасонные отверстия. Диаметр шлифовального круга составляет 0,7—0,9 диаметра шлифуемого отверстия; чем меньше диаметр круга, тем больше его частота вращения.

Внутришлифовальные станки имеют компоновку, аналогичную компоновке круглошлифовальных станков, однако у них отсутствует задняя бабка. Инструмент расположен на консольном шпинделе шлифовальной бабки, которая установлена на столе, совершающем возвратно-поступательное продольное перемещение. Производительность шлифования снижается из-за необходимости работы с малыми подачами и глубинами резания консольно расположенного круга. Основную схему внутреннего шлифования можно реализовать двумя методами.

При шлифовании заготовки часто закрепляют в трехкулачковом патроне (рис. 114, б). Если наружная поверхность детали несимметрична относительно оси отверстия, применяют четырехкулачковые патроны или зажимные приспособления.

Технологическое назначение движений при обработке на внутришлифовальных станках такое же, как и на круглошлифовальных, что позволяет шлифовать отверстия на всю длину либо часть их длины, когда необходимо обработать лишь определенные участки. На внутришлифовальных стан-

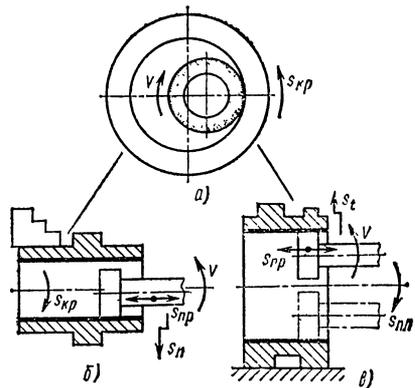


Рис. 114. Схемы внутреннего шлифования

ках также обрабатывают и внутренние торцовые поверхности. Внутренние фасонные поверхности шлифуют специально заправленным кругом методом врезания. Так можно получать фасонные кольцевые канавки различной формы. Внутренние конические поверхности шлифуют с поворотом передней бабки так, чтобы образующая конуса расположилась вдоль направления продольной подачи. Сочетание различных поверхностей образует отверстия сложных конфигураций.

Заготовки больших размеров и масс шлифовать описанными выше методами нерационально. В этих случаях применяют *планетарное шлифование* (рис. 114, в), при котором заготовку неподвижно закрепляют на столе станка. Шлифовальный круг вращается вокруг своей оси, а также вокруг оси отверстия ( $s_{пл}$ ), что является аналогией круговой подачи (положение круга, совершившего в планетарном движении пол-оборота, показано на рис. 114, в). Периодически круг подается на глубину резания. В случае планетарного шлифования возможна обработка внутренних фасонных и торцовых поверхностей, а также обработка отверстий, положение которых определенным образом связано друг с другом, например, на деталях типа корпусов. Системы автоматизации для внутришлифовальных станков предусматривают те же элементы цикла, что и для круглошлифовальных станков.

Основные методы *плоского шлифования* в зависимости от требований производства можно представить в четырех основных видах (рис. 115, г). Заготовки 1 закрепляют на прямоугольных или круглых столах 2. Прямоугольные столы совершают возвратно-поступательные движения, обеспечивая продольную подачу. Подача на глубину резания дается в крайних положениях столов. Поперечная подача необходима в тех случаях, когда ширина круга меньше ширины заготовки (рис. 115, а). На таких станках производят также профильное шлифование. Программное управление позволяет использовать алмазные шлифовальные круги для обработки сложных профилей на деталях из твердых сплавов. Круглые столы (рис. 115, в) совершают вращательные движения, обеспечивая круговую подачу. Остальные движения совершаются по аналогии с движениями при шлифовании на прямоугольных столах.

Высокопроизводительным является шлифование торцом круга, так как одновременно в работе участвует большое число абразивных зерен (рис. 115, б, д). Шлифование периферией круга с использованием прямоугольных столов позволяет выполнить большое число разнообразных работ. Способом шлифования периферией круга обрабатывают, например, дно паза; производят профильное шлифование, предварительно заправив по соответствующей форме шлифовальный круг, а также выполняют другие работы. Небольшое тепловыделение в этом случае приводит к меньшему короблению шлифуемых заготовок.

Круги, работающие торцом и имеющие большие диаметры, делают составными из отдельных частей — сегментов. Сегменты



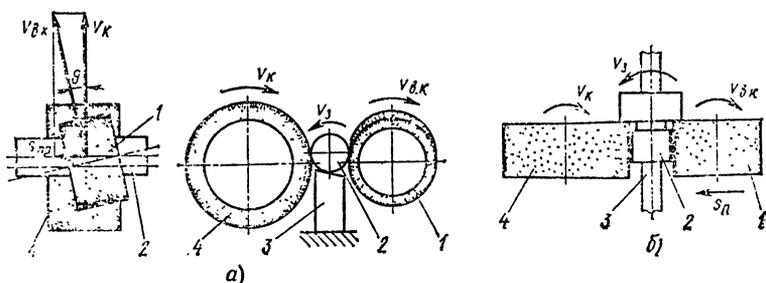


Рис. 116. Схемы бесцентрового шлифования

этого заготовка вращается со скоростью  $v_3$ , близкой к окружной скорости ведущего круга. Перед шлифованием ведущий круг устанавливают наклонно под углом  $\theta$  ( $1-7^\circ$ ) к оси вращения заготовки. Вектор скорости этого круга можно разложить на составляющие. При этом возникает продольная подача. Заготовка перемещается по ножу вдоль своей оси и может быть прошлифована на всю длину. Чем больше угол  $\theta$ , тем больше подача. Вслед за первой сразу же может быть положена на нож для шлифования вторая, затем третья и все остальные заготовки. Такие станки легко автоматизировать, установив наклонный лоток, по которому заготовки будут сползать на нож, проходить процесс шлифования и падать в тару.

Если шлифуют заготовки с уступами, то бабку ведущего круга не поворачивают, а вся она перемещается по направляющим станины с подачей  $s_n$  до определенного положения (упора). При этом используют метод врезания (рис. 116, б). Перед шлифованием ведущий круг отводят в сторону, заготовку кладут на нож и затем поджимают ее ведущим кругом. Обработка ведется с поперечной подачей до тех пор, пока не будет получен необходимый размер детали. После шлифования обработанная деталь удаляется из зоны резания выталкивателем. Для шлифования поверхностей методом врезания абразивный круг заправляют в соответствии с профилем детали. Осевое положение заготовки определяет торцовый упор. Для поджима к нему заготовки ведущий круг может быть повернут на небольшой угол. На таких станках можно также шлифовать конические поверхности.

Аналогичный принцип работы используют при шлифовании на бесцентровых внутришлифовальных станках для обработки цилиндрических и конических отверстий в заготовках, имеющих наружную цилиндрическую поверхность. Заготовка устанавливается по наружной поверхности между тремя вращающимися элементами: опорным роликом, прижимным роликом и ведущим барабаном. Шлифующий круг располагается в отверстии консоли и движется возвратно-поступательно вдоль оси отверстия.

На резьбошлифовальных станках шлифовальный круг заправляют по форме впадины резьбы, которая, как правило, нарезается

предварительно на других станках. Заготовка, установленная в центрах резьбошлифовального станка, за один свой оборот перемещается в осевом направлении на шаг резьбы. Прошлифованная резьба имеет высокую точность и малую шероховатость поверхности. Для увеличения производительности шлифования абразивный инструмент может иметь профиль, позволяющий обрабатывать сразу несколько витков резьбы (многониточный круг).

Некруговые цилиндрические поверхности (например, кулачки) шлифуют на специализированных станках-полуавтоматах. В большинстве случаев профиль деталей можно очертить дугами окружностей и прямыми. Шлифование таких поверхностей, расположенных на валах, производится по копиру так, что расстояние между центрами вала и шлифовального круга постоянно изменяется по программе. Обработка производится методом врезания.

Профиль некоторых деталей, например турбинных лопаток, весьма сложный, и при их шлифовании необходимо использовать несколько копирных устройств. Процесс обработки может быть упрощен, если абразивный инструмент в процессе резания сможет огибать сложную форму шлифуемой поверхности. Таким инструментом является бесконечная абразивная лента. На специализированных лентошлифовальных станках используют ленту, изготовленную из бумаги или ткани с нанесенным слоем абразива. Скорость движения ленты и давление в процессе резания выбирают в зависимости от свойств материала обрабатываемой заготовки. Соответствующие специализированные шлифовальные станки используют для обработки шлицевых валов, профилей зубьев у зубчатых колес, сложных фасонных поверхностей у штампов и пресс-форм и других деталей.

Широко используют *заточные станки* для обработки различных режущих инструментов. При заточке на точильно-шлифовальных станках резцы устанавливают на поворотный столик или подручник, а затем вручную прижимают к шлифовальному кругу обрабатываемой поверхностью. Заточка резцов на универсально-заточных станках в поворотных тисках позволяет наиболее точно получать необходимые геометрические параметры режущей части резца. Данные для настройки тисков получают расчетом по специальным формулам.

При заточке спиральных сверл шлифовальные круги совершают сложные относительные формообразующие движения. При наиболее распространенном методе заточки предусмотрено вращение сверла вокруг оси и одновременно возвратно-поступательные его движения. Все эти движения кинематически связаны между собой. Для заточки некоторых видов инструментов применяют специализированные заточные станки. На таких станках можно, например, производить заточку зубьев плоских, круглых и шлицевых протяжек. Круговые протяжки для заточки устанавливают на столе в центрах передней и задней бабок, а плоские — в тисках или на магнитной плите. Для получения необходимых

геометрических параметров зубьев шлифовальная головка может быть повернута вокруг горизонтальной и вертикальной осей. Для повышения качества поверхностей деталей и режущих лезвий при заточке инструментов применяют алмазные круги, а также используют высокочастотные колебания круга или заготовки.

## Глава X

### ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Широкое применение данных методов обработки можно объяснить их высокой производительностью, способностью создавать поверхность с малой шероховатостью и необходимыми физико-механическими свойствами. Методы чистовой обработки основаны на использовании пластических свойств металлов, т. е. способности металлических заготовок воспринимать остаточные деформации без нарушения целостности поверхности. Отделочная обработка методами пластического деформирования сопровождается упрочнением поверхности, что очень важно для повышения надежности работы деталей. Детали становятся менее чувствительными к усталостному разрушению, у них повышается коррозионная стойкость, а также износостойкость сопрягаемых поверхностей. Удаляются риски и микротрещины, оставшиеся на поверхности от предшествующей обработки. В ходе обработки глобоидная форма кристаллов поверхности металлов может измениться, кристаллы сплющиваются в направлении деформации, образуется упорядоченная структура волокнистого характера. Поверхность на заготовке принимает требуемую форму и размеры в результате перераспределения элементарных объемов под воздействием инструмента. Исходный объем заготовки остается постоянным.

Обработку методами без снятия стружки производят на многих металлообрабатывающих станках при помощи специальных инструментов. Созданы также особые станки, на которых наряду с резанием заготовки обрабатывают пластическим деформированием. Указанные методы чистовой обработки используют для заготовок из металлов, способных пластически деформироваться.

#### § 1. Чистовая и упрочняющая обработка поверхностей пластическим деформированием

*Обкатывание и раскатывание* применяют для отделки и упрочнения цилиндрических, конических, плоских и фасонных наружных и внутренних поверхностей. Инструментами являются ролики и шарики, которые перемещаются относительно заготовки. Поэтому перемещается и пятно контакта. В результате вся поверхность оказывается пластически деформированной: микро-

неровности сглаживаются в результате смятия микровыступов и заполнения микровпадин. Обкатывание применяют, как правило, для наружных поверхностей, а раскатывание — для внутренних цилиндрических и фасонных поверхностей (рис. 117).

К вращающейся цилиндрической заготовке подводят закаленный гладкий ролик — обкатку (рис. 117, а), который под действием рабочих сил деформирует поверхность. Благодаря продольной подаче можно обработать всю заготовку. Аналогичным инструментом обрабатывают элементы заготовок, но с поперечной подачей (рис. 117, б). При раскатывании ролик—раскатка закреплен на консольной оправке (рис. 117, в). Более совершенным является раскатник (рис. 117, г) — инструмент, при помощи которого можно обрабатывать сразу несколькими роликами.

Обработку поверхностей обкатыванием и раскатыванием чаще всего производят на токарных или карусельных станках. Обкатки и раскатки устанавливают вместо режущего инструмента; суппорты обеспечивают необходимую подачу. Раскатки можно устанавливать в пиноли задних бабок. Раскатывание глубоких отверстий производят на станках для глубокого сверления. Нагрев заготовок в местах контакта с инструментом незначителен, поэтому охлаждение не используют. Уменьшают трение, применяя смазку веретенным маслом или керосином. Обкатывание и раскатывание лишь в незначительной степени исправляют погрешности предыдущей обработки.

Малую шероховатость поверхности и ее упрочнение получают при *алмазном выглаживании*. Сущность этого метода состоит в том, что оставшиеся после обработки резанием микронеровности поверхности выравнивает перемещающийся по ней прижатый алмазный инструмент. Алмаз, закрепленный в державке, не вращается, а скользит с весьма малым коэффициентом трения. Рабочая часть инструмента выполнена в виде полусферы, цилиндра или конуса. Чем тверже металл заготовки обрабатываемой заготовки, тем меньше радиус округления рабочей части алмаза.

Достоинствами алмазного выглаживания являются снижение шероховатости поверхности, отсутствие переноса на обрабаты-

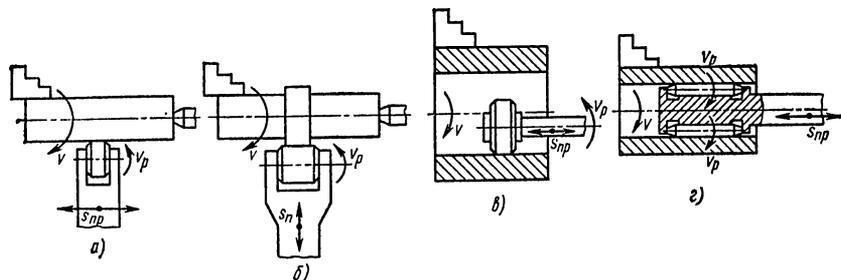


Рис. 117. Схемы обкатывания и раскатывания

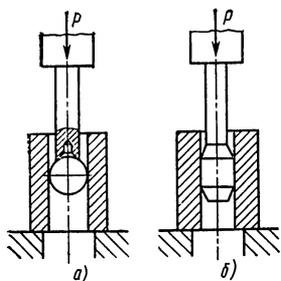


Рис. 118. Схемы калибровки

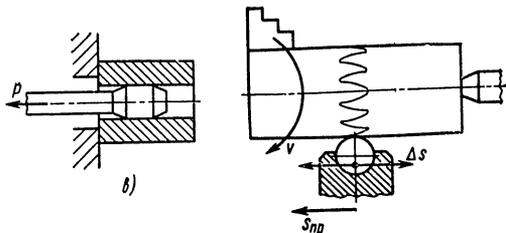


Рис. 119. Схема вибронакатывания

ваемую поверхность посторонних частиц, возможность обработки тонкостенных деталей и деталей сложной конфигурации, простота конструкции выглаживателей. Обрабатывать заготовки алмазным выглаживанием можно на токарных станках. Державку с подпружиненным наконечником с алмазом устанавливают в резцедержателе вместо резца. Движения заготовки и инструмента аналогичны движениям при обтачивании.

Калибрование отверстий производят для повышения их точности и получения поверхности высокого качества. Для этого метода характерна высокая производительность. При калибровании жесткий инструмент с натягом перемещается в отверстиях заготовки. Размеры поперечного сечения инструмента несколько больше размеров поперечного сечения отверстия. При этом инструмент сглаживает неровности, исправляет погрешности, упрочняет поверхность. Простейшим инструментом является шарик, который проталкивается штоком (рис. 118, а). Роль инструмента может выполнять также оправка — дорн (рис. 118, б), к которому может быть приложена сжимающая или растягивающая (рис. 118, в) сила. Заготовки обрабатываются за один или несколько рабочих ходов инструмента. Калибрование отверстий производят на прессах или на горизонтально-протяжных станках. Для обеспечения правильного взаимного расположения инструмента и заготовки обычно применяют самоустанавливающиеся приспособления с шаровой опорой. Заготовку не закрепляют.

Для повышения износостойкости деталей машин на поверхностях трения целесообразно выдавливать слабо заметные, прилегающие друг к другу канавки. Канавки необходимы для размещения смазки, а также в них размещаются мелкие частицы, образовавшиеся в процессе изнашивания. Благодаря таким частицам значительно меньше изнашиваются трущиеся поверхности. Канавки образуют *вибронакатыванием*. Упрочняющему элементу — шару или алмазу, установленному в резцедержателе токарного станка, помимо обычного движения (рис. 119) сообщают при помощи специального устройства дополнительные движения  $\Delta s$

с относительно малой амплитудой. Изменяя скорость, продольную подачу, амплитуду и частоту колебаний, можно на обрабатываемой поверхности получать требуемый рисунок. Нанесение канавок одновременно упрочняет поверхность, а в некоторых случаях уменьшает предел ползучести.

*Упрочняющую обработку* применяют для увеличения предела усталости деталей. Методы упрочнения основаны на ударном воздействии инструмента на материал обрабатываемой заготовки. При этом концентрируют удары на весьма малых поверхностях, в результате чего возникают очень большие местные давления. Зоны, воспринявшие удары, располагаются очень близко друг к другу. В результате вся рабочая поверхность детали оказывается упрочненной, в поверхностных слоях возникают существенные по величине напряжения сжатия.

Наибольшее распространение получил дробеструйный наклеп. Готовые детали машин подвергают ударному действию потока дроби. Обработку производят в специальных камерах. Дробинки из чугуна, стали и других материалов с большой скоростью перемещаются потоком воздуха, а после удара о заготовку падают вниз и снова поступают в работу. Благодаря этому методу можно значительно повысить долговечность таких деталей, как рессорные листы, пружины, лопатки турбин, штоки и штампы.

## § 2. Формообразование поверхностей деталей пластическим деформированием

Формообразование фасонных поверхностей в холодном состоянии *методом накатывания* имеет свои преимущества, главными из которых являются очень высокая производительность, низкая стоимость обработки и высокое качество обработанных деталей. Накатанные детали имеют более высокую механическую и усталостную прочность. Это можно объяснить тем, что при формообразовании накатыванием волокна исходной заготовки не перерезаются, как при обработке резанием, а как бы повторяют профиль детали. Поверхность накатанных деталей упрочняется, они становятся более износостойкими. Профиль накатываемых деталей образуется в результате вдавливания инструмента в материал заготовки и выдавливания части материала во впадины инструмента. Такие методы сочетают в себе функции черновой, чистовой и отделочной обработок, и их используют для получения резьб, валов с мелкими шлицами и зубчатых мелко модульных колес.

*Накатывание резьбы* производят обычно до термической обработки, хотя точные резьбы можно накатывать и после нее. Распространенным методом является формирование резьбы плашками (рис. 120, а). Заготовка 2 помещается между неподвижной 1 и подвижной 3 плашками, на рабочих поверхностях которых нанесены рифления, профиль и расположение которых соответствует профилю и шагу накатываемой резьбы. При перемещении

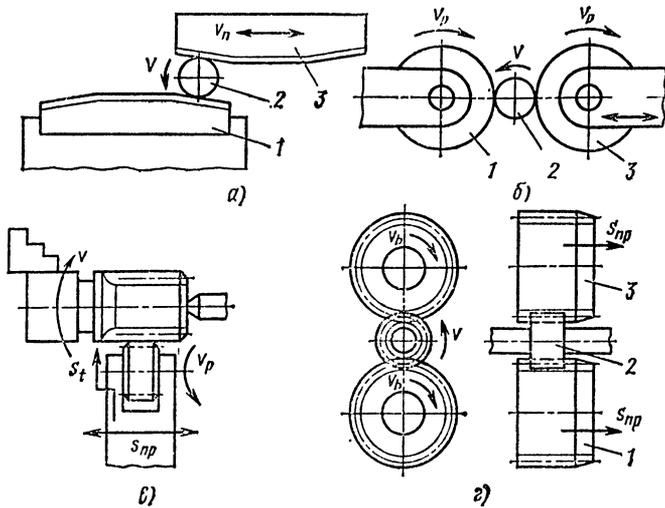


Рис. 120. Схемы накатывания

подвижной плашки заготовка катится между инструментами, а на ее поверхности образуется резьба.

Резьбу можно также формировать роликами (рис. 120, б). Ролики 1 и 3 получают принудительное вращение, заготовка 2 — свободно обкатывается между ними. Ролику 3 придается радиальное движение для вдавливания в металл заготовки на необходимую глубину. Обработка роликами требует меньших сил. С помощью роликов накатывают резьбы с более крупными шагами, чем с помощью плашек.

Накатывать мелкие шлицы на валах можно с помощью накатного ролика, имеющего профиль шлицев. Ролик внедряется в поверхность заготовки при вращении и при поступательном перемещении вдоль вала. Существуют более сложные схемы накатывания, когда каждая впадина шлицевого вала формируется отдельным профильным роликом.

Накатывание цилиндрических (рис. 120, г) и конических мелко-модульных колес в 15—20 раз производительнее зубонарезания. Процесс можно производить на токарных станках накатниками 1 и 3, которые закреплены на суппорте и перемещаются с подачей  $s_{np}$ . Каждый накатник имеет заборную часть для постепенного образования накатываемых зубьев на заготовке 2. Для накатывания применяют специальное автоматизированное оборудование.

Методом холодного накатывания на отдельные элементы деталей наносят рифления, маркировочные клейма и знаки. Производительность метода весьма высока. В основе накатывания лежит способность металла получать местные деформации под действием накатных роликов или накатников. При накатывании

рифлений (например, на головках винтов) заготовку устанавливают в патроне токарного станка, на суппорте которого закрепляют державку с одним или двумя накатными роликами. Вид рифлений определяет характер зубчиков на роликах. Зубчики внедряются в поверхность заготовки. Ролики перемещаются вместе с державкой с продольной подачей. Крестовое рифление производят двумя роликами, из которых один имеет правое, а другой — левое направление зубчиков. Для накатывания клейма на накатниках располагают негативно выступающие знаки. Такой накатник с усилием прокатывают по плоской или цилиндрической поверхности, на которой остается след в виде клейма.

## Глава XI

### МЕТОДЫ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ

Отделочную обработку проводят для того, чтобы повысить точность и уменьшить шероховатость поверхностей или чтобы придать им особый вид, что важно для эстетических или санитарно-гигиенических целей. Для отделочных методов обработки характерны малые силы резания, небольшие толщины срезаемых слоев материала, незначительное тепловыделение в процессе обработки. Обработку производят с приложением относительно малых по величине сил закрепления заготовок, поэтому заготовки деформируются незначительно.

#### § 1. Методы отделки поверхностей чистовыми резцами и шлифовальными кругами

Тонкое обтачивание применяют как метод отделки, заменяющий шлифование. Этот процесс происходит при высоких скоростях резания, малых глубинах и подачах. Для отделки поверхностей применяют токарные резцы с широкими режущими кромками, которые расположены строго параллельно оси обрабатываемой заготовки. Подача на оборот заготовки составляет не более 0,8 ширины режущей кромки, а глубина резания — не более 0,5 мм, что уменьшает шероховатость обрабатываемой поверхности.

Обтачивание алмазными резцами применяют для заготовок из цветных металлов и сплавов, пластмасс и других неметаллических материалов. Обладая очень высокой стойкостью, алмазные резцы способны долгое время работать без подналадки и обеспечивать высокую точность. Тонкое обтачивание требует применения быстроходных станков высокой жесткости и точности, а также качественной предварительной обработки заготовок. По аналогии с тонким обтачиванием используют тонкое строгание. Применяют также и тонкое фрезерование.

Тонкое растачивание используют как метод, заменяющий шлифование, особенно в тех случаях, когда тонкостенные заготовки

выполнены либо из вязких цветных сплавов, либо из стали. Использование тонкого растачивания оправдано также в тех случаях, когда необходимо выполнить точную обработку глухих отверстий или когда по условиям работы детали не допустимо наличие абразивных зерен в порах обработанной поверхности, что характерно для процесса шлифования.

Тонкое шлифование производят мелкозернистым кругом при весьма малой глубине резания. Шлифование сопровождается обильной подачей охлаждающей жидкости. Особую роль играет жесткость станков, способных обеспечить безвибрационную работу.

Для тонкого шлифования характерен процесс «выхаживания». По окончании обработки, например, вала подача на глубину резания выключается, а продольная подача осуществляется по-прежнему. Процесс обработки тем не менее продолжается благодаря упругим силам, которые возникли в станке и заготовке (подобно сжатой пружине), в то время как они были деформированы силой резания при шлифовании с подачей на глубину. В таком режиме станок работает некоторое время, силы резания постепенно снижаются, становятся исчезающе малыми, а точность обработки существенно повышается.

## § 2. Полирование поверхностей

Полирование заготовок применяют для уменьшения шероховатости их поверхностей. С помощью этого метода можно либо получить зеркальный блеск на ответственных частях деталей (дорожки качения подшипников), либо для декоративных целей (облицовочные части автомобилей). Обработку производят полировальными пастами или абразивными зёрнами, смешанными со смазкой. Эти материалы наносятся на быстровращающиеся эластичные (например, фетровые) круги или колеблющиеся щетки (рис. 121, а). Заготовка 1 подводится к носителю 2 пасты или абразива. Носитель перемещается так, чтобы поверхность во всех своих частях подвергалась обработке. При полировании фасонных поверхностей заготовки, как правило, перемещают вручную.

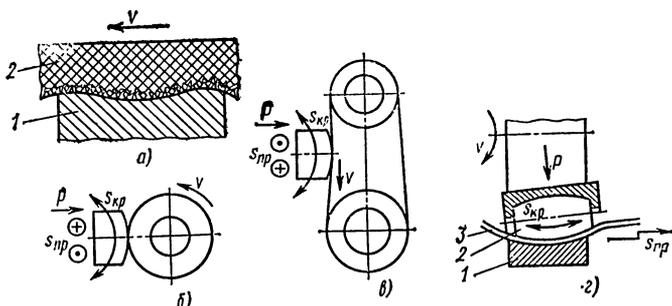


Рис. 121. Схемы методов полирования поверхностей

Для полирования плоских, цилиндрических и конических поверхностей могут быть использованы полировальные станки.

Полирозальные круги изготавливают из войлока, фетра, кожи, капрона, спрессованной ткани и других материалов. В качестве абразивного материала при полировании заготовок из стали применяют порошки из электрокорунда и окиси железа, при полировании заготовок из чугуна — из карбида кремния и окиси железа, а при полировании заготовок из алюминия и медных сплавов окиси хрома. Порошок смешивают со смазкой, которая состоит из смеси воска, сала, парафина и керосина. Пасты могут содержать мягкие абразивные материалы: крокус, окись хрома, венскую известь и др.

В зоне полирования одновременно происходят следующие основные процессы: тонкое резание, пластическое деформирование поверхностного слоя, химические реакции — воздействие на металл химически активных веществ, находящихся в полировочной пасте. Качество и эксплуатационные свойства полированной поверхности зависят от того, какой из указанных процессов имеет преобладающее значение. При полировании абразивной шкуркой положительную роль играет подвижность ее режущих зерен. Вследствие этого зерна в процессе обработки не могут наносить микроследы, сильно отличающиеся друг от друга по глубине. В ходе полирования происходит постепенный переход от процесса резания к процессу выглаживания.

В процессе полирования заготовка поджимается к кругу с силой  $P$  (рис. 121, б) и совершает движения подачи в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности. При полировании лентами (рис. 121, в) рабочая поверхность ленты значительно превышает рабочую поверхность круга, благодаря чему происходит большое рассеяние теплоты. Эластичная лента может огибать всю шлифуемую поверхность, поэтому движения подачи могут отсутствовать. Метод применяют для заготовок из металлических материалов и из неметаллических.

Главное движение при полировании может совершать и заготовка 1 (рис. 121, г), имеющая, например, форму кольца с фасонной внутренней поверхностью. Абразивная лента 3 поджимается через полировальник 2 к обрабатываемой поверхности и периодически перемещается. Полирование может проводиться в автоматическом или полуавтоматическом режимах.

### § 3. Абразивно-жидкостная отделка

Отделка объемно-криволинейных, фасонных поверхностей обычными методами связана с большими технологическими трудностями. Она требует использования сложных кинематических схем станков и дорогого режущего инструмента. Метод абразивно-жидкостной отделки позволяет решить задачу сравнительно просто.

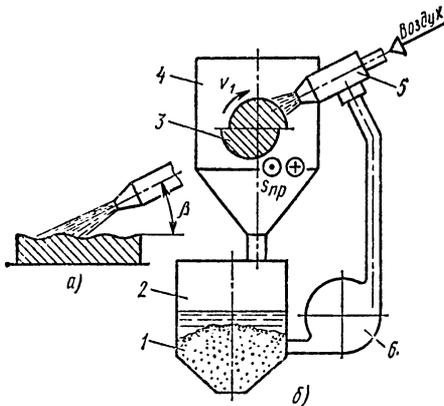


Рис. 122. Схема абразивно-жидкостной отделки

нием струи и углом  $\beta$ . Изменяя скорость полета и размер абразивных свободных зерен, можно также увеличить или уменьшить степень пластической деформации и шероховатость поверхности. Одновременно с получением необходимого микро рельефа этот способ обработки создает полезное поверхностное упрочнение.

Жидкостная пленка, покрывающая обрабатываемую поверхность, играет очень важную роль. Абразивные зерна, попадающие на микровыступы, легко преодолевают ее сопротивление и удаляют металл. Те же зерна, которые попадают на впадины, встречают большее сопротивление жидкости, и сьем материала замедляется, что уменьшает шероховатость поверхности. Водная эмульсия может подаваться на обрабатываемую поверхность совместно с воздухом. В качестве абразива часто применяют электрокорунд. Содержание абразива в суспензии составляет 30—35% по массе.

При жидкостном полировании обрабатываемая заготовка 3 сложного профиля перемещается в камере 4 так, чтобы все ее участки подверглись полированию (рис. 122, б). Абразивная суспензия 1, помещенная в баке 2, подается насосом 6 в рабочую камеру 4 через твердосплавное сопло 5. Отработанная суспензия падает обратно в бак 2 и может быть использована многократно. Метод жидкостного полирования может быть особенно успешно применен при обработке фасонных внутренних поверхностей. В этом случае сопло вводится в полость заготовки, которая совершает вращательные и поступательные перемещения в зависимости от профиля полируемой поверхности. Жидкостное полирование, так же как и полирование эластичными кругами и лентами, не повышает точность размеров и формы, а только уменьшает шероховатость поверхности.

На обрабатываемую поверхность, имеющую следы предшествующей обработки, подается струя антикоррозийной жидкости со взвешенными частицами абразивного порошка (рис. 122, а). Водно-абразивная суспензия перемещается под давлением с большой скоростью. Частицы абразива ударяются о поверхность заготовки и сглаживают микронеровности, создавая эффект полирования. Интенсивность съема материала обрабатываемой заготовки регулируют зернистостью порошка, давлением

## § 4. Притирка поверхностей

Поверхности деталей машин, обработанные на металлорежущих станках, всегда имеют отклонения от правильных геометрических форм и заданных размеров. Эти отклонения могут иметь весьма малую величину. Волнистость, неплоскостность, нецилиндричность и другие погрешности, возникающие на заготовках после обработки и невидимые невооруженным глазом, могут быть уменьшены с помощью притирки (доводки). Этим методом можно получить наивысшую точность и малую шероховатость поверхности.

Процесс осуществляют с помощью притиров, которые должны иметь соответствующую геометрическую форму. На притир наносят притирочную пасту или мелкий абразивный порошок со связующей жидкостью. Материал притиров должен быть, как правило, мягче материала обрабатываемой заготовки. Паста или порошок (рис. 123, а) внедряются в поверхность притира 2 и удерживаются ею, но так, что при движении относительно заготовки 1 каждое абразивное зерно может снимать весьма малую стружку. Притир можно рассматривать как очень точный абразивный инструмент, зерна которого производят обработку всей или части поверхности заготовки одновременно.

Притир или заготовка должны совершать движения в разных направлениях. Наилучшие результаты дает процесс, в ходе которого траектории движения каждого зерна не повторяются. Микронеровности сглаживаются в результате совокупного химико-механического воздействия на поверхность заготовки. Вначале микронеровности соприкасаются с притиром по малой контактной площади, и срезаются только вершины микронеровностей. Этот этап обработки характеризуется большим давлением и пластическим деформированием поверхности. С увеличением контактной площади уменьшается давление и снижается толщина слоя ме-

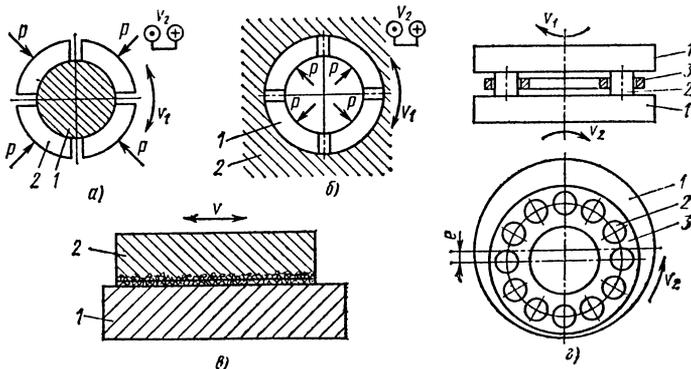


Рис. 123. Схемы полирования

талла. На последнем этапе обработки удаляются в основном окисные пленки, образующиеся на поверхности.

В качестве абразива для притирочной смеси берут порошок электрокорунда, карбида кремния, карбида бора, окиси хрома, окиси железа и др. Притирочные пасты состоят из абразивных порошков и химически активных веществ, например, олеиновой и стеариновой кислот, играющих роль одновременно связующего материала. Материалами притиров являются серый чугун, бронза, красная медь и дерево. В качестве связующей жидкости используют машинное масло, керосин, стеарин и вазелин.

При обработке наружной цилиндрической поверхности (рис. 123, *а*) притир 2 представляет собой втулку, имеющую ряд прорезей, которые необходимы для того, чтобы обеспечить под действием силы  $P$  полное его прилегание к обрабатываемой поверхности. Притиру одновременно сообщают возвратно-вращательные движения со скоростями  $v_1$  и  $v_2$ . Возможно также равномерное вращательное движение заготовки 1 с наложением движения со скоростью  $v_2$ . Аналогичные движения осуществляются при притирке отверстий (рис. 123, *б*), однако притир должен равномерно разжиматься под действием силы  $P$ . Приведенные схемы притирки осуществляются как вручную, так и на металлорежущих станках, например, токарных.

Притирку плоских поверхностей можно производить также вручную (рис. 123, *в*) или на специальных доводочных станках (рис. 123, *г*). Заготовки 2 располагают между двумя чугунными дисками 1 в окнах сепаратора 3. Диски играют роль притиров и имеют плоские торцовые поверхности. Вращение дисков производится в противоположных направлениях и с разной частотой. Сепаратор располагают с эксцентриситетом  $e$ , поэтому при вращении дисков притираемые детали совершают сложные движения со скольжением, и снятие металла происходит одновременно с их параллельных торцов. Станок может быть использован и для доводки коротких цилиндрических деталей с отверстиями, с помощью которых они ориентируются в сепараторе.

Разновидностью притирки является доведение двух сопрягающихся в собранной машине деталей до нужной плотности контакта (в частности, для герметизации). Это осуществляется трением одной детали о поверхность другой при наличии в стыке абразивного порошка со связующей жидкостью. По окончании процесса детали промывают.

## § 5. Хонингование

Метод хонингования применяют для того, чтобы получить отверстия с высокой точностью и малой шероховатостью, а также для создания специфического микропрофиля обработанной поверхности в виде сетки. Такой профиль необходим для удержания на стенках отверстия смазки при работе машины, например двигателя внутреннего сгорания. Чаще всего обрабатывают сквозные

и реже — ступенчатые отверстия, как правило, неподвижно закрепленных заготовок.

Поверхность заготовки обрабатывают мелкозернистыми абразивными брусками, которые закрепляют в хонинговальной головке — хоне, являющейся режущим инструментом. Инструмент вращается и одновременно возвратно-поступательно перемещается вдоль оси обрабатываемого отверстия (рис. 124, а). Отношение скоростей  $v_1$  и  $v_2$  указанных движений составляет 1—10 и определяет условия резания;  $v_1$  для заготовок из стали равна 45—60 м/мин, а из чугуна и бронзы 60—75 м/мин.

Сочетание движений инструмента приводит к тому, что на обрабатываемой поверхности появляется сетка микроскопических винтовых царапин — следов перемещения абразивных зерен. Угол  $\theta$  пересечения этих следов зависит от отношения скоростей, поэтому необходимый вид сетки на поверхности отверстия можно получать в ходе хонингования. На рис. 124, б дана развертка внутренней цилиндрической поверхности заготовки и схема образования сетки.

Крайние нижнее 1 и верхнее 2 положение абразивных брусков устанавливают так, что создается перебег  $n$ . Перебег необходим для того, чтобы образующие отверстия были прямолинейными и отверстие имело правильную геометрическую форму. Совершая вращательное движение, абразивные бруски при каждом двойном ходе начинают резание с нового положения 3 хона с учетом смещения  $t$  по углу, поэтому исключается наложение траекторий абразивных зерен.

Абразивные бруски всегда контактируют с обрабатываемой поверхностью, так как могут раздвигаться в радиальных направлениях механическими, гидравлическими или пневматическими устройствами. Величину давления брусков следует контролировать. Минимальное давление возникает при ультразвуковом хонинговании. В этом случае уменьшается засаливание брусков, так как частицы снятого металла легче отделяются от абразивов.

Методом хонингования исправляют такие погрешности предыдущей обработки, как овальность, конусность, нецилиндричность и другие, если общая величина снимаемого слоя не превосходит 0,01—0,2 мм. Погрешности же расположения оси отверстия (например, увод ее или криволинейность) этим методом не исправляют. Различают предварительное и чистовое хонинго-

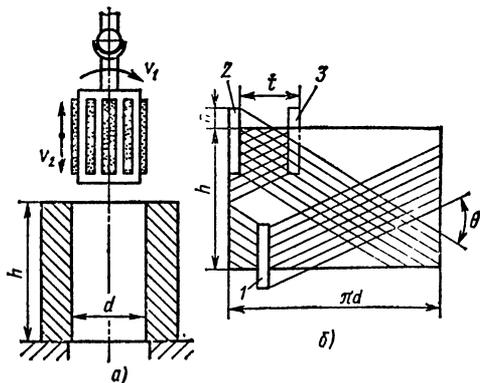


Рис. 124. Схема хонингования

вание. Предварительное хонингование используют для исправления погрешностей предыдущей обработки, а чистовое — для получения малой шероховатости поверхности.

Хонинговальные бруски изготавливают из электрокорунда или карбида кремния, как правило, на керамической связке. Все шире применяют алмазное хонингование, главное преимущество которого состоит в эффективном исправлении погрешностей геометрической формы обрабатываемых отверстий, а также уменьшении износа брусков в 150—200 раз по сравнению с износом обычных абразивных брусков.

Число брусков в хонинговальной головке должно быть кратно трем, поэтому в головке всегда можно найти три бруска, которые будут обрабатывать реальную поверхность отверстия, имеющего погрешности формы от предыдущей обработки, и превращать ее в поверхность, близкую к круговому цилиндру. Процесс хонингования проводят при охлаждении зоны резания. Смазывающе-охлаждающими жидкостями являются керосин, смесь керосина (80—90%) и веретенного масла (20—10%), а также водно-мыльные эмульсии. Для выполнения операции хонингования используют одно- и многошпиндельные станки.

## § 6. Суперфиниширование

Отделку поверхностей методом суперфиниширования проводят в основном для того, чтобы уменьшить шероховатость, оставшуюся от предыдущей обработки. При этом меняется высота и вид микровыступов. Обработанная поверхность имеет сетчатый рельеф, а каждый микровыступ скругляется. Поверхность оказывается чрезвычайно гладкой, хорошо работает в контакте с другими деталями и обеспечивает более благоприятные условия взаимодействия трущихся поверхностей. Методом суперфиниширования обрабатывают плоские, цилиндрические (наружные и внутренние), конические и сферические поверхности заготовок из закаленной стали, реже из чугуна и бронзы.

Обработку поверхностей производят абразивными брусками, которые устанавливают в специальной головке. Характерным для суперфиниширования является колебательное движение брусков одновременно с движением заготовки. Процесс резания производится при давлении брусков  $0,05—0,3 \text{ Н/см}^2$  и со смазкой малой вязкости.

При обработке наружной цилиндрической поверхности (рис. 125, а) плотная сетка микронеровностей создается сочетанием вращательного движения заготовки, возвратно-поступательного ее перемещения и колебательного движения брусков со скоростью  $v$ . Амплитуда колебаний брусков составляет 1,5—6 мм, а частота колебаний от 400 до 1200 в минуту. Возвратно-поступательное движение ускоряет процесс съема металла и улучшает однородность поверхности. Отношение скоростей  $s_{кр}$

и  $v$  в начале обработки составляет 2—4, а в конце 8—16. Процесс характеризуют сравнительно малые скорости резания, которые составляют 5—7 м/мин. Бруски самоустанавливаются по обрабатываемой поверхности.

Важную роль при обработке играет смазывающе-охлаждающая жидкость. Масляная пленка покрывает обрабатываемую поверхность, но наиболее крупные микровыступы (рис. 125, б) прорывают ее и в первую очередь срезаются абразивом. Давление брусков на выступы оказывается большим. По мере дальнейшей обработки давление снижается, так как все большее число выступов прорывает масляную пленку. Наконец, наступает такой момент (рис. 125, в), когда давление бруска не может разорвать пленку, она становится сплошной. Создаются условия для жидкостного трения. Процесс отделки автоматически прекращается. В качестве жидкости используют смесь керосина с веретенным или турбинным маслом.

Лучшие результаты получают при обработке заготовок из стали брусками из электрокорунда, а при обработке заготовок из чугуна и цветных металлов — зерном из карбида кремния. В большинстве случаев применяют бруски на керамической и бакелитовой связках. Применение алмазных брусков увеличивает не только производительность обработки, но и стойкость инструмента в 80—100 раз. Алмазные бруски работают на тех же режимах, что и абразивные, но с большим давлением.

Величину и форму абразивных брусков определяют размеры и конфигурация обрабатываемой заготовки. Для коротких открытых участков детали длина брусков должна быть равной длине обрабатываемой поверхности или немного больше. При наличии уступов с двух сторон длина брусков должна быть несколько меньше длины обрабатываемой поверхности. Чаще всего для суперфиниширования берут два бруска, а при обработке крупных деталей — три или четыре.

Обычное суперфиниширование не ликвидирует погрешности формы, полученные на предшествующей обработке (волнистость, конусность, овальность и др.), но усовершенствование процесса

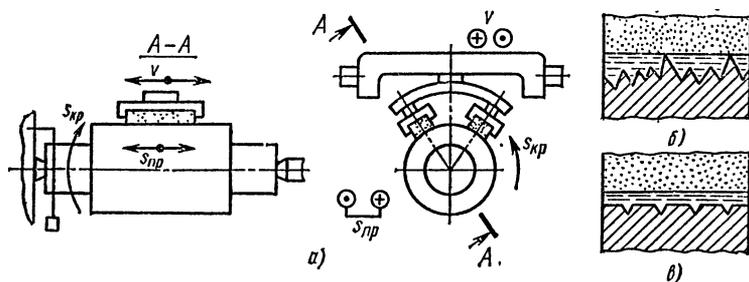


Рис. 125. Схема суперфиниширования

позволяет снимать увеличенные слои металла, использовать особые режимы резания. В этом случае погрешности предыдущей обработки существенно снижаются.

## § 7. Отделочная обработка зубьев зубчатых колес

В процессе нарезания зубчатых колес на поверхности зубьев возникают погрешности профиля, появляется неточность шага зубьев и др. Для уменьшения или ликвидации погрешностей зубья дополнительно обрабатывают. Отделочную обработку для зубьев незакаленных колес называют *шевингованием*. Предварительно нарезанное прямозубое или косозубое зубчатое колесо 2 плотно зацепляется с инструментом 1 (рис. 126, а). Скрещивание их осей обязательно. При таком характере зацепления в точке А можно разложить скорость  $v_0$  и составляющая  $v$  будет скоростью скольжения профилей, направленной вдоль зубьев. Эта составляющая обеспечивает движение резания, причем  $v_3$  — скорость заготовки в точке А. Обработка состоит в срезании (соскабливании) с поверхности зубьев очень тонких волосообразных стружек, благодаря чему погрешности исправляются, зубчатые колеса становятся точными, значительно сокращается шум при их работе.

Отделка производится специальным металлическим инструментом — шевером (рис. 126, б). Угол скрещивания осей чаще всего составляет  $10-15^\circ$ , но в отдельных случаях может быть уменьшен.

При шевинговании инструмент и заготовка воспроизводят зацепление винтовой пары. Кроме этого, зубчатое колесо перемещается возвратно-поступательно и после каждого хода (или двойного хода) подается в радиальном направлении. Направление вращения шевера и, следовательно, заготовки через некоторое время изменяется. Контактующая поверхность между зубьями шевера и колеса уменьшается с увеличением угла скрещивания осей. Шевер режет боковыми сторонами зубьев,

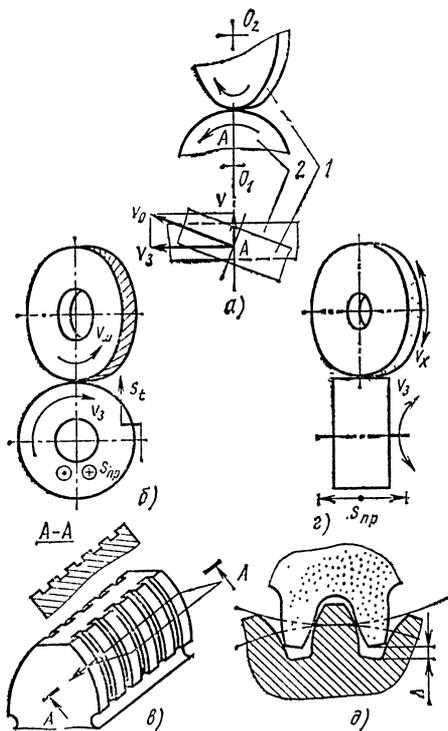


Рис. 126. Схемы отделочной обработки зубьев зубчатых колес

которые имеют специальные канавки (рис. 126, в), следовательно, шевер представляет собой режущее зубчатое колесо.

Методом шевингования получают зуб бочкообразной формы, что предотвращает концентрацию нагрузки при зацеплении с другим колесом на концах зубьев, обеспечивает более качественную передачу движений и позволяет облегчить сборку машин. Размеры по концам бочкообразных зубьев на 0,02—0,03 мм меньше размеров середины. Для повышения точности и производительности процесса шевингования, а также увеличения стойкости инструмента, величины снимаемых слоев должны быть минимальными. На колесах с модулем 1,5—3 мм они составляют 0,04—0,08 мм, а с модулем 10 мм доходят до 0,1—0,125 мм.

Обработка колес ведется при обильном охлаждении сульфидфрезолом, который обеспечивает удаление стружки, смазку и охлаждение режущих кромок. Охлаждающая жидкость постоянно очищается с помощью магнитных фильтров.

На закаленных зубчатых колесах проводят отделочную обработку для того, чтобы снизить шероховатость боковых поверхностей зубьев, улучшить геометрические параметры колес и уменьшить шум от зацепления с другими колесами. Используемый для этого метод *хонингования* зубьев позволяет также удалить забонны и заусенцы. Погрешности же самого зацепления при обработке этим методом устраняются только в пределах малого съема металла (0,01—0,03 мм на толщину зуба).

Процесс зубохонингования заключается в совместной обкатке заготовки и абразивного инструмента, имеющего форму зубчатого колеса. Оси заготовки и инструмента скрещиваются под углом 15—18°. При вращении зубчатой пары (рис. 126, г) возникает составляющая скорости скольжения. Абразивные зерна хона обрабатывают боковые стороны зубьев заготовки (рис. 126, д). Скорость вращения пары, находящейся в зацеплении при хонинговании, во много раз больше, чем скорость вращения при шевинговании.

Зубохонингование применяют для прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес. Можно вести обработку и незакаленных колес. Заготовка и инструмент вращаются в плотном зацеплении. Зубчатое колесо кроме вращения совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси. Направление вращения пары изменяется при каждом двойном ходе. Плотное зацепление осуществляется поджимом бабки инструмента к обрабатываемому колесу специальными пружинами или пневматическими устройствами.

При изготовлении хонов в качестве абразива используют карбид кремния. Такой инструмент проектируют с увеличенным наружным диаметром так, чтобы учесть износ в ходе обработки колес. Число зубьев как хона, так и шевера не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

Вершина зуба колеса постоянно контактирует с впадиной зуба хона (рис. 126, д). Благодаря этому уменьшается скорость

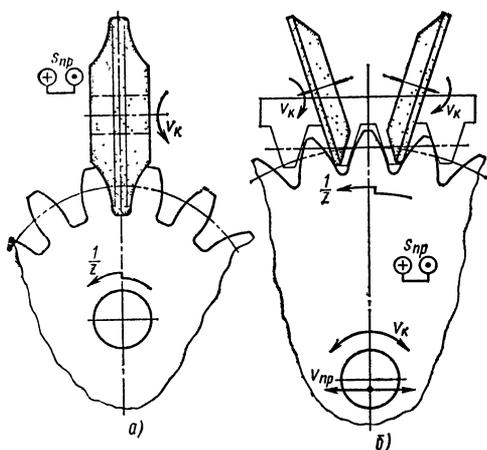


Рис. 127. Схемы зубошлифования

хоны; их стойкость в 8—12 раз выше абразивных. Такими хонами можно обрабатывать зубчатые колеса весьма высокой твердости. Для повышения стойкости инструментов применяют жидкостное охлаждение. Зубохонинговальные станки унифицированы с зубошвинговальными.

Рассмотренные выше методы отделки не всегда и не в полной мере могут исправить погрешности предыдущей обработки зубчатых колес. Значительные погрешности, возникающие особенно после термической обработки, исправляют методом *зубошлифования*. Этот метод отделки обеспечивает получение высокой точности с малой шероховатостью поверхности зубьев и может быть использован при обработке цилиндрических и конических зубчатых колес. Его применение особенно оправдано для колес, работающих на высоких скоростях. Метод может быть применен и для отделки термически не обработанных колес.

Шлифование зубьев цилиндрических колес может быть произведено копированием и обкаткой. Метод копирования по своей сути соответствует зубонарезанию дисковой модульной фрезой. Эвольвентный профиль зуба воспроизводится абразивными кругами, имеющими профиль впадин обрабатываемого колеса (рис. 127, а). Круг заправляют с помощью особого копировального механизма. Вращающийся круг совершает возвратно-поступательное движение. Шлифование производится методом единичного деления. Однако при этом существенное влияние на точность колеса может оказать износ шлифовального круга: между первым и последним зубьями при шлифовании получается наибольшая ошибка. Чтобы избежать этого колеса поворачивают на несколько зубьев. Тогда влияние износа круга на точность сказывается меньше. Шлифование производится за несколько рабочих ходов по каждой впадине зуба. Метод копирования более производителе-

изнашивания хона, а вследствие постоянного внедрения головки зуба колеса во впадину хона происходит автоматическое восстановление его зубьев. Необходима лишь периодическая правка хона по его наружной поверхности, чтобы поддерживать необходимый зазор  $\Delta$ . Для обработки прямозубых колес применяют косозубые хоны, а для обработки косозубых — прямозубые или косозубые. В производство внедрены алмазнометаллические зубчатые

лен, чем метод обкатки, но уступает последнему по точности.

Шлифование зубьев методом обкатки основано на принципе зацепления обрабатываемого колеса с зубчатой рейкой (рис. 127, б). Колесо катится поочередно то в одну, то в другую сторону по воображаемой рейке, неподвижно закрепленной. При этом колесо совершает возвратно-вращательные, а центр его — возвратно-поступательные движения. Обработку производят двумя абразивными кругами, шлифующие торцы которых расположены вдоль сторон зубьев рейки. Разместить два шлифовальных круга в одной впадине зуба можно только у крупных колес, поэтому одновременно шлифуют разноименные стороны двух соседних впадин.

Для осуществления процесса шлифования методом обкатки необходимо произвести продольную подачу для обработки зубьев по всей ширине. После обработки двух боковых поверхностей зубьев колесо поворачивается на величину углового шага ( $1/2$ ). Рассмотренные выше движения обеспечивает специальное устройство зубошлифовальных станков. Для компенсации износа кругов станки снабжены специальными механизмами для их правки.

Принцип зацепления обрабатываемого колеса с рейкой используют и в тех случаях, когда зуб рейки воспроизводится одним абразивным кругом или абразивом, заправленным в виде червяка. Метод обкатки используют также при шлифовании косозубых и конических колес. С его помощью обрабатывают и венцы для внутреннего зацепления. Абразивные круги для зубошлифовальных станков выбирают в соответствии с формой зуба и видом зубчатого колеса, а также в зависимости от твердости материала обрабатываемой заготовки и вида обработки (черновая, чистовая). В процессе резания обеспечивают подачу охлаждающей жидкости обычным способом или через шлифовальный круг.

Для увеличения производительности обработки проводят шлифование нескольких зубчатых колес, закрепленных на одной оправке. Тогда возвратно-поступательное движение с продольной подачей  $s_{пр}$  производится на величину, равную суммарной ширине зубчатых колес, увеличенной на вход и выход шлифовального круга.

Результаты, получаемые при обработке зубчатых колес зубошлифованием, могут быть улучшены *зубопритиркой*. С ее помощью можно получать поверхности высокого качества, доводить их до зеркального блеска, увеличивать плавность работы, уменьшать шум, повышать долговечность работы пары. Такой метод обработки применяют для закаленных зубчатых колес.

Притиры выполняют в виде зубчатых колес. В зацеплении в результате давления между зубьями притира и обрабатываемого колеса мелкозернистый абразив (в смеси с маслом) внедряется в более мягкую поверхность притира. Благодаря скольжению,

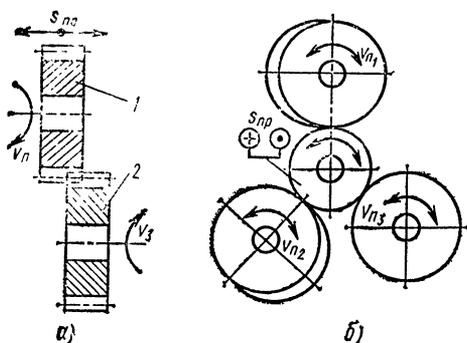


Рис. 128. Схемы зубопритирки

возникающему между зубьями при вращении пары, зерна абразива снимают мельчайшие стружки с обрабатываемого колеса. Таким образом, при зубопритирке возникает искусственный износ материала колес в соответствии с профилем зуба притира.

По схеме притирки зубьев, представленной на рис. 128, а, помимо вращательного движения притира 1 и колеса 2 создают возвратно-поступательное движение притира, что обеспечивает равномерность обработки по всей ширине зуба. Оси притира и колеса параллельны. Процесс идет при быстром вращении притира, который ведет зубчатое колесо, и медленном движении подачи. Наибольшее распространение получили методы притирки тремя притирами (рис. 128, б). Оси двух притиров скрещиваются с осью колеса, а ось третьего параллельна оси колеса. Такая схема увеличивает производительность обработки. Обрабатываемое колесо получает реверсируемое вращение и приводит в движение притиры. Одновременно оно перемещается возвратно-поступательно с подачей  $s_{np}$  вдоль своей оси. Угол скрещивания осей составляет  $3-10^\circ$ . Указанные движения обеспечивают равномерную обработку обеих сторон зуба на всю его ширину.

Зубопритирка может дать более высокое качество обработки, чем зубошлифование, лишь в случае точного изготовления зубчатого колеса. Максимальная толщина слоя, удаляемого с помощью притира, не должна превосходить  $0,05$  мм. Некоторые типы зубчатых колес должны перемещаться вдоль валов, на которых они размещены, для того чтобы сцепляться с другими колесами (например, в коробках скоростей). Такое сцепление возможно, если торцовые поверхности зубьев имеют закругление, благодаря чему облегчается ввод зубьев во впадины парного колеса. Удары при переключениях колес устраняются, а зубья не подвергаются поломкам. Закругление зубьев прямозубых и косозубых колес производят на специальных станках с помощью пальцевых фрез особой конструкции, чашечных торцовых фрез, дисковых фасонных фрез, специальных червячных фрез, резцов и абразивных кругов.

## ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

Электрофизические и электрохимические (ЭФЭХ) методы предназначены для обработки заготовок из очень прочных, весьма вязких, хрупких и неметаллических материалов. При ЭФЭХ методах обработки механические нагрузки либо отсутствуют, либо настолько малы, что практически не влияют на суммарную погрешность точности обработки. Эти методы позволяют изменить форму обрабатываемой поверхности заготовки, а также влияют на состояние поверхностного слоя. Так, например, в некоторых случаях наклеп обработанной поверхности не образуется, а дефектный слой незначителен, удаляются прижоги поверхности, полученные при шлифовании, повышаются износные, коррозионные, прочностные и другие эксплуатационные характеристики поверхности деталей.

Кинематика формообразования поверхностей деталей ЭФЭХ методами обработки, как правило, проста, что обеспечивает точное регулирование процессов и их автоматизацию. ЭФЭХ методы обработки являются универсальными и обеспечивают непрерывность процессов при одновременном формообразовании всей обрабатываемой поверхности. На обрабатываемость заготовок ЭФЭХ методами обработки (за исключением ультразвукового и некоторых других методов) не влияют твердость и вязкость материала обрабатываемой заготовки.

### § 1. Электроэрозионные методы

Электроэрозионные методы обработки основаны на явлении эрозии (разрушении) электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока. Разряд между электродами происходит в газовой среде или при заполнении межэлектродного промежутка диэлектрической жидкостью — керосином, минеральным маслом и т. д. В жидкой среде процесс эрозии идет более интенсивно. При наличии разности потенциалов на электродах происходит ионизация межэлектродного пространства. Когда разность потенциалов достигает определенной величины, в среде между электродами образуется канал проводимости, по которому устремляется электрическая энергия в виде импульсного искрового или дугового разряда. При высокой концентрации энергии, реализуемой во времени за  $10^{-5}$ — $10^{-8}$  с, мгновенная плотность тока в канале проводимости достигает  $8000$ — $10\,000$  А/мм<sup>2</sup>, в результате чего температура на поверхности обрабатываемой заготовки-электрода возрастает до  $10\,000$ — $12\,000$  °С. При этой температуре происходит мгновенное оплавление и испарение элементарного объема металла, и на обрабатываемой поверхности образуется лунка.

Следующий импульс тока пробивает межэлектродный промежуток там, где расстояние между электродами наименьшее. Процесс эрозии продолжается до тех пор, пока не будет удален весь металл, расположенный между электродами на расстоянии, при котором возможен электрический пробой при заданном напряжении импульса. Для продолжения процесса необходимо сблизить электроды.

Кроме теплового воздействия при электроэрозионных процессах обработки на материал электрода-заготовки действуют электродинамические и электростатические силы, а также давящие жидкости вследствие кавитации, сопровождающей процесс импульсных разрядов. Совокупность силовых и тепловых факторов приводит к разрушению металла и формообразованию поверхности обрабатываемой заготовки-электрода. К электроэрозионному методу относят электроискровую, электроимпульсную, высокочастотную электроискровую и электроконтактную обработку.

*Электроискровая обработка* основана на использовании импульсного искрового разряда между двумя электродами, один из которых является обрабатываемой заготовкой (анод), а другой — инструментом (катод). В качестве источников импульсов используют электронные, тиратронные, ламповые и транзисторные генераторы. В зависимости от величины энергии, реализуемой в импульсе, режим обработки делят на жесткий или средний — для предварительной обработки и мягкий или особо мягкий — для отделочной обработки. Мягкий режим обработки позволяет получать размеры с точностью до 0,002 мм при шероховатости поверхности  $Ra = 0,63 \div 0,16$  мкм.

Обработку ведут в ваннах, заполненных диэлектрической жидкостью. Жидкость исключает нагрев электродов (инструмента и заготовки), охлаждает продукты разрушения, уменьшает величину боковых разрядов между инструментом и заготовкой, что повышает точность обработки. Для обеспечения непрерывности процесса обработки необходимо, чтобы величина зазора между электродом-инструментом и заготовкой была постоянной. Для этого электроискровые станки снабжают следящей системой и механизмом автоматической подачи инструмента. Величина подачи зависит от режима обработки.

Электроискровой метод (рис. 129) используют для обработки заготовок из всех токопроводящих материалов. Наиболее целесообразно обрабатывать заготовки из твердых сплавов, тантала, вольфрама, молибдена, труднообрабатываемых металлов и их сплавов. Электроискровую обработку широко применяют для изготовления штампов, пресс-форм, фильер, режущего инструмента, деталей двигателей внутреннего сгорания, сеток и т. д.

*Электроимпульсная обработка.* При этом методе обработки используют электрические импульсы большой длительности (500—10 000 мкс), в результате чего происходит дуговой разряд. Большие мощности импульсов, получаемых от электронных генера-

торов, обеспечивают высокую производительность процесса обработки. Применение генераторов и графитовых электродов, а также обработки при обратной полярности позволило уменьшить разрушение электродов.

Электроимпульсную обработку наиболее целесообразно применять при предварительной обработке штампов, турбинных лопаток, твердосплавных деталей, фасонных отверстий в деталях из нержавеющей и жаропрочных сплавов и т. д. В станках для электроэрозионной обработки широко используют различные системы программного управления, особенно в тех случаях, когда для обработки заготовки необходимо иметь две или более подачи (рис. 129, *д*). В электроэрозионных станках для проволочной резки используют непрерывно разматывающийся проволочный электрод-инструмент, который приводится в движение специальным устройством и вырезает контуры деталей или отверстий в деталях по программе, записанной на перфоленте.

Высокоточная конструкция станков с чувствительными сервосистемами позволяет изготавливать детали сложной геометрической формы с высокой точностью. Приборы автоматического переключения на разные подачи и глубину резания, управляемые системой ПУ, обеспечивают оптимальное использование электроэро-

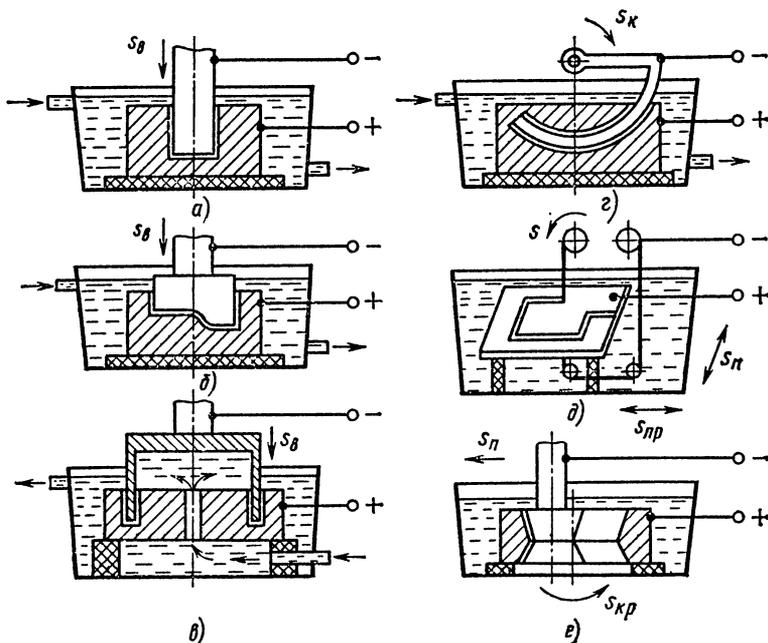


Рис. 129. Схемы электроискровой обработки;

*a* — сквозных отверстий любой формы поперечного сечения; *б* — глухих отверстий и полостей; *в* — фасонных отверстий и полостей по способу трепанации; *г* — отверстий с криволинейными осями; *д* — вырезание заготовок из листа; *е* — плоским, круглым и внутренним шлифованием

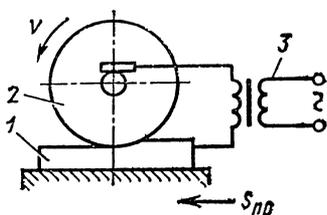


Рис. 130. Схема электроконтактной обработки плоской поверхности:

1 — обрабатываемая заготовка; 2 — инструмент-электрод; 3 — трансформатор

зионных станков, так как в зависимости от хода процесса обработки режим работы согласуется с технологическими требованиями к деталям. Применяемые адаптивные системы ПУ позволяют своевременно определять отклонения в ходе обработки и устранять их. Изменения параметров процесса обработки вносятся в устройства, формирующие сигнал коррекции. Использование программного управления перемещениями заготовки относительно инструмента ( $s_{np}$ ,  $s_n$ ,  $s_b$ ) позволяет с помощью простых электродов изготавливать

детали сложных геометрических форм, в частности полости штампов.

*Электроконтактная обработка* основана на локальном нагреве заготовки в месте ее контакта с электродом-инструментом и удалении размягченного или даже расплавленного металла из зоны обработки механическим способом относительным движением заготовки и инструмента. Источником образования теплоты в зоне обработки являются импульсные дуговые разряды. Электроконтактную обработку (ЭКО) оплавлением рекомендуют для обработки крупных деталей машин из углеродистых и легированных сталей, чугуна, цветных сплавов, тугоплавких и специальных сплавов.

ЭКО применяют при зачистке отливок от заливов, отрезке литниковых систем и прибылей, зачистке проката из спецсплавов, черновом круглом наружном, внутреннем и плоском шлифовании корпусных деталей машин из труднообрабатываемых сплавов, шлифовании заготовок из труднообрабатываемых сплавов (рис. 130), шлифовании с одновременной поверхностной закалкой деталей из углеродистых сталей, при обработке металлических конструкций, прошивании отверстий и др. Метод электроконтактной обработки не обеспечивает высокой точности и качества поверхности, но дает высокую производительность съема металла вследствие использования больших электрических мощностей.

## § 2. Электрохимические методы

Электрохимические методы обработки основаны на явлении анодного растворения, происходящего при электролизе. При прохождении постоянного электрического тока через электролит на поверхности заготовки, включенной в электрическую цепь и являющейся анодом, происходят химические реакции, и поверхностный слой металла превращается в химические соединения. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим способом. Производительность процессов электрохими-

ческой обработки зависит главным образом от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого токопроводящего материала и плотности тока.

*Электрохимическое полирование.* При этом методе обработки ведут в ванне, заполненной электролитом. В зависимости от материала обрабатываемой заготовки электролитом служат растворы кислот или щелочей. Обрабатываемую заготовку подключают к аноду, вторым электродом-катодом служит металлическая пластина из свинца, меди, стали и т. п. Для интенсификации процесса обработки электролит подогревают до температуры 40—80 °С. При подаче напряжения на электроды начинается процесс растворения материала заготовки — анода. Растворение происходит главным образом на выступах микронеровностей поверхности вследствие более высокой плотности тока на их вершинах. Кроме того, впадины между микровыступами заполняются продуктами растворения: окислами или солями, имеющими пониженную проводимость. В результате избирательного растворения, т. е. растворения выступов, происходит сглаживание микронеровностей обрабатываемой поверхности, и поверхность приобретает металлический блеск. Электрополирование улучшает физико-механические характеристики деталей, так как уменьшается величина микротрещин. Обработанные поверхности не имеют деформированного поверхностного слоя, отсутствуют наклеп и термические изменения структуры, повышается коррозионная стойкость. Электрополирование применяют для получения поверхностей деталей под гальванические покрытия, доводки рабочих поверхностей режущего инструмента, изготовления тонких лент и фольги, очистки и декоративной отделки поверхностей деталей.

*Электрохимическая размерная обработка.* Особенностью этого способа является то, что обработка происходит в струе электролита, прокачиваемого под давлением через межэлектродный промежуток, образуемый обрабатываемой заготовкой—анодом и инструментом — катодом (рис. 131). Струя свежего электролита, непрерывно подаваемого в межэлектродный промежуток, растворяет образующиеся на аноде-заготовке продукты анодного растворения (соли) и удаляет их из зоны обработки. При этом способе одновременно обрабатывается вся поверхность заготовки, находящаяся под активным воздействием катода, что обеспечивает высокую производительность процесса. Участки заготовки, не требующие обработки, изолируют. Инструменту придают форму, обратную форме обрабатываемой поверхности. Формообразование поверхности происходит по методу отражения (копирования), при котором отсутствует износ инструмента, так как таковым является струя электролита.

Для повышения точности обработанной поверхности заготовки применяют импульсное рабочее напряжение. Точность обработки значительно повышается вследствие уменьшения рабочего зазора

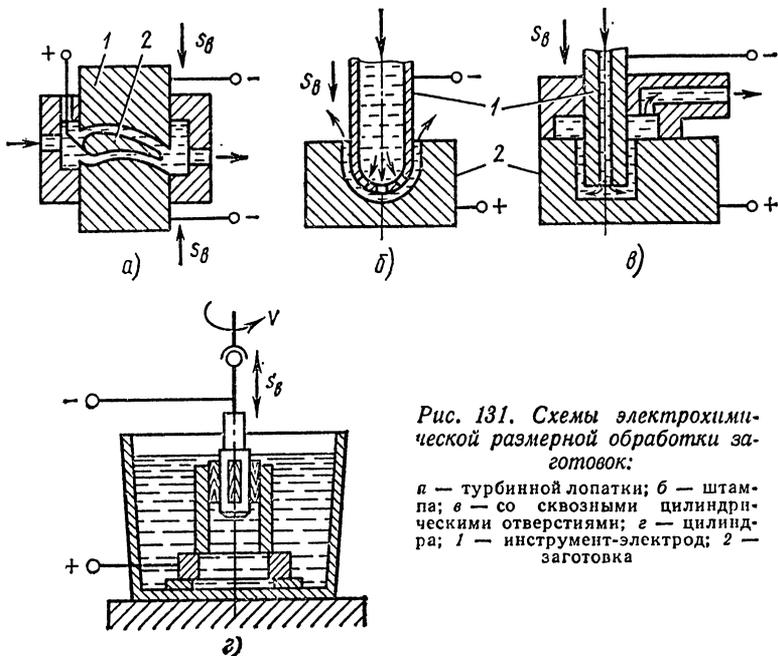


Рис. 131. Схемы электрохимической размерной обработки заготовок:

а — турбинной лопатки; б — штампа; в — со сквозными цилиндрическими отверстиями; г — цилиндра; 1 — инструмент-электрод; 2 — заготовка

между заготовкой и инструментом. Для контроля величины зазора в станках для электрохимической обработки используют высокочувствительные элементы, встраиваемые в следящую систему. Этот способ рекомендуют для обработки заготовок из высокопрочных сплавов, карбидных и других труднообрабатываемых материалов. При обработке отсутствует давление инструмента на заготовку и силы резания, что позволяет обрабатывать нежесткие тонкостенные детали, обеспечивая высокие точность и качество обработанной поверхности.

*Электроабразивная и электроалмазная обработка.* Их особенность состоит в том, что инструментом-электродом является шлифовальный круг, выполненный из абразивного материала на электропроводящей связке (бакелитовая связка с графитовым наполнителем). Между анодом—заготовкой и катодом—шлифовальным кругом имеется межэлектродный зазор вследствие наличия зерен, выступающих из связки. В зазор подается электролит. Продукты анодного растворения материала заготовки удаляются абразивными зернами, для чего шлифовальный круг имеет вращательное движение, а заготовка — движения подачи, т. е. движения, соответствующие процессу механического шлифования.

Введение в зону резания ультразвука повышает производительность электрохимического абразивного и алмазного шлифования в 2—2,5 раза при одновременном значительном улучшении качества обработанной поверхности. Электроабразивные и элект-

троалмазные способы обработки применяют для отделочной обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов, а также нежестких заготовок, так как силы резания здесь незначительны. Кроме того, при этих способах обработки прижоги обрабатываемой поверхности практически полностью исключены.

Отделочную обработку поверхностей заготовок можно проводить электрохимическим хонингованием (рис. 131, з). Кинематика процесса идентична хонингованию абразивными головками. Отличие состоит в том, что обрабатываемая заготовка устанавливается в ванне, заполненной электролитом, и подключается к аноду. Хонинговальная головка подключается к катоду. Вместо абразивных брусков в головке установлены деревянные или пластмассовые бруски. Продукты анодного растворения удаляются с обрабатываемой поверхности заготовки брусками при вращательном и возвратно-поступательном движениях хонинговальной головки. Чтобы продукты анодного растворения удалялись более активно, в электролит добавляют абразивные материалы. После того как удаление припуска с обрабатываемой поверхности закончено, осуществляется процесс «выхаживания» поверхности при выключенном электрическом токе для полного удаления анодной пленки с обработанной поверхности. Электрохимическое хонингование обеспечивает более низкую шероховатость поверхности, чем хонингование абразивными брусками. Поверхность получает зеркальный блеск. Производительность электрохимического хонингования в 4—5 раз выше, чем производительность механического хонингования.

### § 3. Анодно-механическая обработка

Анодно-механическая обработка основана на сочетании электротермических и электромеханических процессов и занимает промежуточное место между электроэрозионными и электрохимическими методами. Обрабатываемую заготовку подключают к аноду, а инструмент — к катоду. В зависимости от характера обработки и вида обрабатываемой поверхности в качестве инструмента используют металлические диски, цилиндры, ленты, проволоку. Обработку ведут в среде электролита, которым чаще всего служит водный раствор жидкого натриевого стекла. Заготовке и инструменту задают такие же движения, как при обычных методах механической обработки резанием. Электролит льется в зону обработки через сопло.

При пропускании через раствор электролита постоянного электрического тока происходит процесс анодного растворения, присущий электрохимической обработке. При соприкосновении инструмента-катода с микронеровностями обрабатываемой поверхности заготовки-анода происходит процесс электроэрозии, присущий электроискровой обработке. Кроме того, при пропускании электрического тока происходит разогрев металла заго-

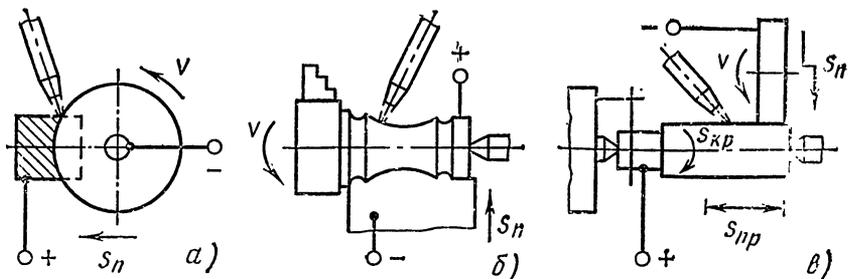


Рис. 132. Схемы анодно-механической обработки:

*а* — разрезание заготовок на части, прорезание пазов и щелей; *б* — точение поверхностей тел вращения; *в* — шлифование плоских поверхностей и поверхностей, имеющих форму тел вращения

товки в точке контакта ее с инструментом, как это имеет место при электроконтактной обработке, и материал обрабатываемой заготовки размягчается. Продукты электроэрозии и анодного растворения удаляются из зоны обработки при относительных движениях инструмента и заготовки.

Анодно-механическим способом обрабатывают заготовки из всех токопроводящих материалов, высокопрочных и труднообрабатываемых металлов и сплавов, твердых сплавов, вязких материалов и пр. (рис. 132). В станках для анодно-механической обработки используют системы ЧПУ. От программы осуществляется управление скоростями движений заготовки и инструмента, поддерживается постоянство зазора в рабочем пространстве между ними, задаются параметры электрического режима при переходе с черновой обработки на чистовую.

#### § 4. Ультразвуковая обработка

Ультразвуковая обработка (УЗО) материалов является разновидностью механической обработки. Она основана на разрушении обрабатываемого материала абразивными зернами под ударами инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой. Источником энергии служат ультразвуковые генераторы тока с частотой от 16 до 30 кГц. Инструмент получает колебания от ультразвукового преобразователя с сердечником из магнитострикционного материала. Эффектом магнитострикции обладают никель, железоникелевые сплавы (пермендюр), железоалюминиевые сплавы (альфер), ферриты и др.

В сердечнике из магнитострикционного материала при наличии электромагнитного поля домены разворачиваются в направлении магнитных силовых линий, что вызывает изменение размера поперечного сечения сердечника и его длины. В переменном магнитном поле частота изменения длины сердечника равна частоте колебаний тока. При совпадении частоты колебаний тока с собствен-

ной частотой колебаний сердечника наступает резонанс, и амплитуда колебаний торца сердечника достигает 2—5 мкм. Для увеличения амплитуды колебаний на сердечнике закрепляют резонансный волновод переменного поперечного сечения, что увеличивает амплитуду колебаний до 10—60 мкм. На волноводе закрепляют рабочий инструмент — пуансон. Под пуансоном — инструментом устанавливают заготовку и в зону обработки поливом или под давлением подают абразивную суспензию, состоящую из воды и абразивного материала. Из абразивных материалов используют карбид бора, карбид кремния, электрокорунд. Наибольшую производительность получают при использовании карбидов бора. Инструмент поджимают к заготовке с силой от 1 до 60 Н.

Процесс обработки заключается в том, что инструмент, колеблющийся с ультразвуковой частотой, ударяет по зернам абразива, лежащим на обрабатываемой поверхности, которые скалывают частицы материала заготовки (рис. 133). Заготовку 3 помещают в ванну 1 под инструментом — пуансоном 4. Инструмент установлен на волноводе 5, который закреплен в магнито-стрикционном сердечнике 7, смонтированном в кожухе 6, сквозь который прокачивают воду для охлаждения сердечника. Для возбуждения колебаний сердечника магнито-стрикционного преобразователя служит генератор 8 ультразвуковой частоты и источник постоянного тока 9. Абразивную суспензию 2 подают под давлением по патрубку 10 насосом 11, забирающим суспензию из резервуара 12. Прокачивание суспензии насосом исключает оседание абразивного порошка на дне ванны и обеспечивает подачу в зону обработки абразивного материала.

Ультразвуковым методом (рис. 134) обрабатывают заготовки из хрупких твердых материалов: стекла, керамики, ферритов, кремния, кварца, драгоценных минералов, в том числе алмазов.

Метод используют для профилирования наружных поверхностей, гравирования, изготовления деталей сложной конфигурации и т. д. Движениями подачи для указанных видов обработки являются: вертикальная подача инструмента  $s_v$  при обработке отверстий и полостей, продольная подача заготовки  $s_{пр}$  при разрезании ее на части, продольная и поперечная подачи  $s_{пр}$  и  $s_{п}$  заготовки при разрезании ее по сложному контуру. Для управления движениями заготовки и вертикальной подачей инструмента используют системы программного управления.

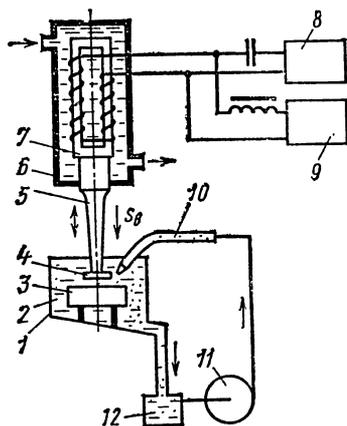


Рис. 133. Принципиальная схема ультразвукового станка

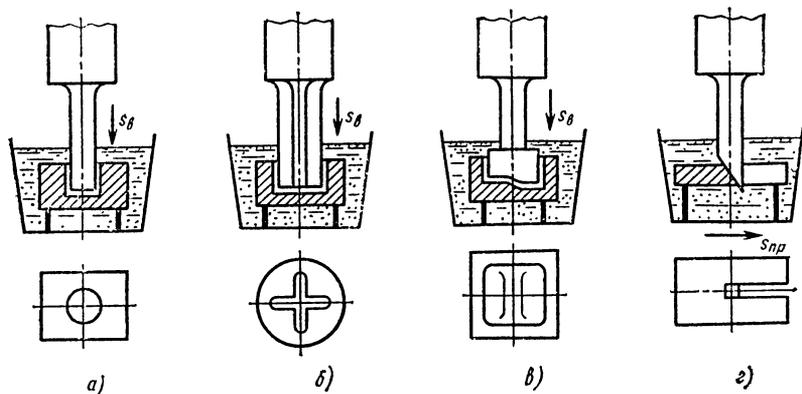


Рис. 134. Схемы ультразвуковой обработки:

а, б — сквозных и глухих отверстий с любым поперечным сечением; в — фасонных полостей; г — разрезание заготовок на части

Точность размеров и шероховатость поверхностей деталей, обработанных ультразвуковым способом, зависят от величины используемых абразивных материалов и соответствуют точности и шероховатости поверхностей деталей, обработанных шлифованием.

## § 5. Лучевые методы обработки

К лучевым методам формообразования поверхностей заготовок относят электронно- и светолучевую (лазерную) обработки. Электронно-лучевая обработка основана на превращении кинетической энергии пучка электронов в тепловую. Высокая плотность энергии сфокусированного электронного луча позволяет осуществлять размерную обработку заготовок вследствие расплавления и испарения материала с узлокального участка.

Поток электронов, получаемый вследствие электронной эмиссии вольфрамового катода электронной пушки, ускоряется напряжением, приложенным между катодом и анодом, и фокусируется магнитными линзами. Стигматор придает лучу круглую форму, а перемещение луча по поверхности заготовки осуществляется отклоняющей системой, которая может управляться от системы программного управления.

Система ПУ также управляет продольными и поперечными перемещениями стола, на котором закреплена заготовка, продолжительностью импульсов и интервалами между ними.

При размерной обработке заготовок установка работает в импульсном режиме, что обеспечивает локальный нагрев заготовки. В зоне обработки температура достигает  $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на расстоянии  $1\text{ мкм}$  от кромки луча она не превышает  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность импульса и интервалы между ними подбирают так, чтобы за один цикл успел нагреться и испариться металл только под

лучом, а теплота не успела бы распространиться на всю заготовку. Установки работают в режиме, когда длительность импульсов составляет  $10^{-4}$ — $10^{-6}$  с, а частота импульсов 50—6000 Гц. Диаметр сфокусированного электронного луча составляет несколько микрометров.

Электронно-лучевой метод наиболее перспективен при обработке отверстий диаметром от 1 мм до 10 мкм, прорезании пазов, резки заготовок, изготовлении тонких пленок и сеток из фольги и т. д. Обработке подвергают заготовки из труднообрабатываемых металлов и сплавов (тантала, вольфрама, циркония, нержавеющей сталей), а также из неметаллических материалов: рубинов, керамики, кварца.

Электронно-лучевая обработка имеет преимущества, обуславливающие целесообразность ее применения: создание локальной концентрации высокой энергии, широкое регулирование и управление тепловыми процессами. Электронно-лучевым методом обрабатывают заготовки из любых материалов. Повышенная чистота окружающей среды позволяет обрабатывать заготовки из легкоокисляющихся активных материалов. Электронный луч позволяет наносить покрытия на поверхности заготовок в виде пленок, толщиной от нескольких микрометров до десятых долей миллиметра. Недостатком обработки является то, что она возможна только в вакууме.

Светолучевая (лазерная) обработка основана на тепловом воздействии светового луча высокой энергии на поверхность обрабатываемой заготовки. Источником светового излучения является лазер — оптический квантовый генератор (ОКГ). Существуют твердотельные, газовые и полупроводниковые ОКГ. Работа оптических квантовых генераторов основана на принципе стимулированного генерирования светового излучения. Атом вещества, имея определенный запас энергии, находится в устойчивом энергетическом состоянии и располагается на определенном энергетическом уровне. Чтобы атом вывести из устойчивого (стабильного) энергетического состояния, его необходимо возбудить. Возбуждение — «накачка» активного вещества — осуществляется световой импульсной лампой. Возбужденный атом, получив дополнительный фотон от системы «накачки», излучает сразу два фотона, в результате чего происходит своеобразная цепная реакция генерации лазерного излучения.

Для механической обработки используют твердотельные ОКГ, рабочим элементом которых является рубиновый стержень, состоящий из окиси алюминия, активированного 0,05% хрома. Рубиновый ОКГ работает в импульсном режиме, генерируя импульсы когерентного монохроматического красного цвета. При включении пускового устройства ОКГ электрическая энергия, запасенная в батарее конденсаторов, преобразуется в световую энергию импульсной лампы. Свет лампы отражателями корпуса фокусируется на рубиновый стержень, в результате чего атомы

хрома приходят в возбужденное состояние. Из этого состояния они могут возвратиться в нормальное, излучая фотоны с длиной волны 0,69 мкм (красная флюоресценция рубина).

Взаимодействие фотонов с возбужденными атомами дает лавинообразные потоки фотонов в различных направлениях. Наличие торцовых зеркальных поверхностей рубинового стержня приводит к тому, что при многократном отражении усиливаются свободные колебания в направлении оси стержня рубина вследствие стимулирования возбужденными атомами. Спустя 0,5 мс более половины атомов хрома приходит в возбужденное состояние, и система становится неустойчивой. Вся запасенная энергия в стержне рубина одновременно высвобождается, и кристалл испускает ослепительный яркий красный свет. Лучи света имеют высокую направленность. Расходимость луча обычно не превышает  $0,1^\circ$ . Системой оптических линз луч фокусируется на поверхности обрабатываемой заготовки.

Энергия светового импульса ОКГ обычно невелика и составляет от 20 до 100 Дж, но она выделяется в миллионные доли секунды и сосредотачивается в луче диаметром около 0,01 мм. В фокусе диаметр светового луча составляет всего несколько микрометров, что обеспечивает температуру около 6000—8000 °С. В результате этого поверхностный слой материала заготовки, находящийся в фокусе луча, мгновенно расплавляется и испаряется.

Лазерную обработку применяют для прошивания сквозных и глухих отверстий, резки заготовок на части, вырезания заготовок из листового материала, прорезания пазов и других способов формообразования поверхностей. Этим методом можно обрабатывать заготовки из любых материалов, включая самые твердые и прочные. Перемещениями заготовки относительно светового луча управляют системы ЧПУ, что позволяет прорезать в заготовках сложные криволинейные пазы или вырезать из заготовок детали сложной геометрической формы.

## § 6. Плазменная обработка

Сущность этой обработки состоит в том, что плазму (полностью ионизированный газ), имеющую температуру 10 000—30 000 °С, направляют на обрабатываемую поверхность заготовки. Этим способом можно обрабатывать заготовки из любых материалов, выполняя прошивание отверстий, вырезку заготовок из листового материала, строгание, точение. При прошивании отверстий, резке и вырезке заготовок головку ставят перпендикулярно к поверхности заготовки, при строгании и точении — под углом 40—60°. Плазменные головки применяют также для сварки, пайки, наплавки и создания защитных покрытий на деталях.

Принципиально новым методом является метод получения деталей непосредственно из плазмы. Он заключается в том, что

в камеру головки подается порошкообразный конструкционный материал с одновременной подачей инертного газа при высоком давлении. Под действием дугового разряда конструкционный материал плавится и переходит в состояние плазмы. Струя плазмы сжимается в плазмотроне плазмообразующим газом. Выходя из сопла головки, луч фокусируется электромагнитной линзой и направляется на экран. Системы вертикальной и горизонтальной разверток обеспечивают перемещение луча по всей площади экрана.

Детали получают в результате наращивания микрочастиц конструкционного материала в определенных местах экрана. Иногда вместо экрана используют тонкостенную заготовку, на которую направляется плазма, и происходит наращивание металла по заданной толщине стенок. Специальные контрольные устройства следят за наращиванием металла и автоматически отключают систему, когда деталь готова.

### *Глава XIII*

## **ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Технологичность можно определить как «совокупность свойств конструкции детали, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке ее производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте и обеспечении технологичности сборочной единицы, в состав которой она входит». Технологичность конструкции детали, обрабатываемой резанием, зависит от рационального выбора заготовки, технологичности формы детали, правильной простановки размеров и оптимального задания точности и шероховатости поверхности.

Технологичность формы детали оценивают с учетом особенностей выбранного технологического метода обработки, технологических возможностей оборудования, характера производства и конкретных условий производства. Требования к форме детали зависят от особенностей обработки на одноплатных станках с различной степенью автоматизации цикла обработки, с различными технологическими возможностями. Например, сложная фасонная поверхность нетехнологична при ее обработке на станке с ручным управлением и технологична для станка с программным управлением.

Различают требования к форме детали при ее массовом и индивидуальном производстве, на предприятиях с различной номенклатурой оборудования, с различными производственными традициями и культурой производства. Конструкция деталей независимо от технологического метода обработки должна обеспечивать простое, удобное и надежное закрепление ее на станке. Для этого детали придают высокую жесткость. Для закрепления

нежестких деталей требуются более сложные и дорогие приспособления, а также значительные затраты времени на их установку на станке. Например, нежесткие валы закрепляют в центрах и одном или нескольких люнетах, в то время как короткие жесткие валы можно быстро и просто установить в трехкулачковом самоцентрирующем патроне. При обработке нежестких деталей нельзя использовать высокопроизводительные режимы резания, так как увеличение подачи и глубины резания приводит к значительному деформированию детали под действием сил резания. Простая конфигурация детали и развитые базовые поверхности позволяют использовать для ее закрепления такие простые и дешевые универсальные приспособления, как патроны, машинные тиски и т. д.

Размеры поверхностей детали должны соответствовать нормальному ряду длин и диаметров, так как это позволит обрабатывать их стандартным инструментом (рис. 135). В случае обработки детали нестандартного размера потребуются более дорогой нестандартный инструмент или дополнительные операции для получения заданного чертежом размера и формы поверхности. При этом эскизы, расположенные слева, характеризуют нетехнологичную, а справа — технологичную конструкцию.

Конические переходы (рис. 135, а) между ступенями вала и фаски следует обрабатывать одним из стандартных токарных проходных резцов с главным углом в плане  $\phi$ , составляющим  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ . Размеры отверстий должны соответствовать размеру стандартного сверла. Геометрические элементы детали должны быть унифицированы по форме и размерам. Это сократит номенклатуру потребного инструмента, повысит производительность обработки. Так, канавки (рис. 135, б) одной и той же детали следует обрабатывать одним канавочным резцом с шириной режущей кромки, равной ширине канавки.

Форма поверхностей должна соответствовать форме стандартного инструмента. Например, просверленные отверстия должны проектироваться с конической поверхностью (рис. 135, в), которая образуется режущей кромкой сверла. Форму шпоночного паза (рис. 135, г) следует принимать в соответствии с размерами шпоночной или дисковой фрезы. Отдельные участки режущей кромки должны работать в приблизительно одинаковых условиях. Значительное различие в скорости резания на кромке приводит к его неравномерному износу (рис. 135, д). Близко к оси вращения скорость резания мала, и инструмент не режет, а сминает материал заготовки. Наличие осевого отверстия существенно облегчает процесс резания.

Необходима безударная работа инструмента, которую обеспечивает плавное врезание его в материал заготовки и выход. Это достигается, в частности, наличием фасок и канавок для выхода инструмента. Безударную обработку торцов детали можно получить при замене прямоугольного фланца круглым (рис. 135, е).

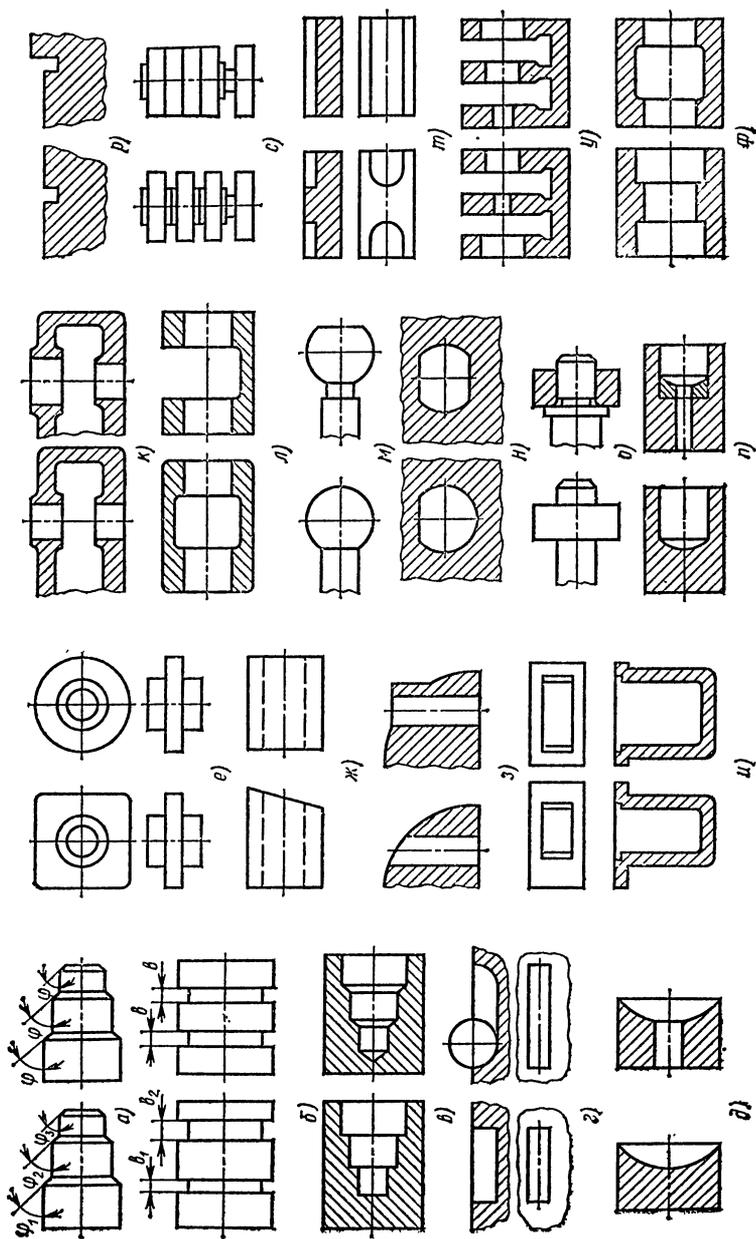


Рис. 135. Примеры технологических требований, предъявляемых к конструкциям деталей, обрабатываемых на металлорежущих станках (эскизы, расположенные слева, характеризуют нетехнологичную конструкцию)

Конструктивные элементы деталей не должны вызывать вредных изгибных деформаций инструмента, особенно на его входе и выходе из заготовки, поэтому при протягивании (рис. 135, ж), сверлении, зенкерования и развертывании (рис. 135, з) поверхность, в которую врезается инструмент, должна быть перпендикулярна направлению его движения. Это требование имеет особое значение для заготовок, обрабатываемых на агрегатных станках, автоматических линиях и станках с ПУ, на которых используют большое число осевого инструмента с недостаточной изгибной жесткостью.

Целесообразно так проектировать детали, чтобы сила резания не изменялась в процессе обработки, так как такие изменения вызывают погрешности формы. Так, ширина фрезеруемых плоских участков (рис. 135, и) детали должна быть постоянной. Изменение ширины фрезерования приводит к изменению сил резания. Свободный доступ к поверхности упрощает процесс ее обработки, поэтому при обработке внутренних торцов (рис. 135, к) доступ к ним облегчают увеличением диаметра отверстия, через которое вводится инструмент. Также по возможности следует избегать обработки закрытых поверхностей (рис. 135, л).

Следует максимально упрощать фасонные поверхности, отделять их от остальных поверхностей детали канавками (рис. 135, м), делать поверхности симметричными (рис. 135, н). Это делает обработку дешевле и позволяет использовать высокопроизводительные режимы резания. Упрощение конфигурации детали позволяет облегчить процесс ее обработки, уменьшить объем материала, удаляемого в стружку. Упрощать деталь можно расчленением ее на несколько простых, с последующим их соединением запрессовкой, сваркой и т. д. (рис. 135, о, п). Значительно облегчить процесс обработки можно разграничением (например, канавками) поверхностей, обрабатываемых различными методами или на различных операциях (рис. 135, р).

Производительность обработки резко возрастает, если конструкция детали позволяет применить многоместную обработку (рис. 135, с). Заготовки следует устанавливать без зазоров так, чтобы выход инструмента из одной заготовки совмещался со входом в другую. Предпочтительнее конструкции, допускающие обработку напроход (рис. 135, т), например, следует заменить полузакрытые пазы сквозными.

Особое внимание следует уделять технологичности корпусных деталей, для которых характерны высокая стоимость и трудоемкость обработки. Отверстия в корпусных деталях целесообразно делать соосными. Те отверстия, к которым предъявляют высокие требования по точности взаимного расположения, рационально обрабатывать, не закрепляя заготовки. Конструкция деталей должна обеспечивать обработку отверстий за один рабочий ход, а их диаметры должны последовательно изменяться (рис. 135, у, ф). Конкретные технологические методы обработки также предъяс-

ляют определенные требования к конструкции деталей. Например, детали, обрабатываемые на протяжных станках, должны иметь равномерную жесткость по длине протягивания и достаточную прочность. Детали, получаемые на станках токарной группы, должны иметь максимальное число поверхностей вращения, что облегчит их полную обработку на одном станке. Отверстия, обрабатываемые на сверлильных станках, целесообразно делать сквозными, ступенчатой формы.

Технологические особенности каждого станка также следует учитывать при проектировании детали. Так, заготовки, обрабатываемые на токарных автоматах должны иметь минимальное число различных диаметральных размеров. Многорезцовые полуавтоматы наиболее рационально использовать для обработки валов, у которых длины ступеней кратны, убывают по диаметральному размеру в одну сторону. В этом случае упрощается наладка станка, значительно сокращается основное (технологическое) время. Если конструкция вала симметрична относительно его середины, то он может быть обработан с обеих сторон при одной наладке.

При обработке на станках с программным управлением в некоторых случаях предъявляют к конструкциям обрабатываемых деталей менее жесткие требования. Например, сложные фасонные контурные и объемные поверхности могут быть получены без особых трудностей. Причем программа их обработки может быть задана даже в виде аналитической функции. Сложные детали, которые при обработке на станках с ручным управлением рационально было делать из отдельных элементов, на станках с программным управлением можно изготавливать цельными. Поверхности корпусной детали, обрабатываемой на многооперационном станке, должны быть расположены таким образом, чтобы они были обращены к шпинделю станка при повороте детали вокруг одной ее оси.

---

---

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЕЧЕННЫХ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Развитие всех отраслей промышленности, а также задача повышения надежности и качества выпускаемых изделий потребовали создания новых конструкционных материалов. Методы порошковой металлургии позволяют получать материалы и детали, характеризующиеся высокой жаропрочностью, износостойкостью, стабильными магнитными и различными свойствами, которые нельзя получить, применяя другие методы изготовления. Возможность получения псевдосплавов из таких металлов, как медь—вольфрам, серебро—вольфрам и др., обладающих высокой электропроводностью и высокой стойкостью против электроэрозионного износа, делает их незаменимыми для изготовления электроконтактных деталей.

Неметаллические материалы — пластические массы (пластмассы), резину, стекло, керамику, древесину и др. применяют почти во всех отраслях промышленности. Пластмассы характеризуются малой плотностью и относительно высокой механической прочностью, высокой химической и коррозионной стойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами. Благодаря своим свойствам пластмассы используют в машиностроении и приборостроении как машиностроительные материалы. Их применение экономит большое количество дорогостоящих цветных материалов, повышает стойкость деталей, работающих на трение или в агрессивных средах, снижает массу деталей и уменьшает трудоемкость их изготовления.

Резина как конструкционный материал существенно отличается от металлов и других материалов. Она способна выдерживать значительные деформации без разрушения. Высокая сопротивляемость изнашиванию, уплотняющая способность, газо- и водонепроницаемость, а также диэлектрические свойства делают резину одним из важнейших материалов для изготовления деталей.

Выбор типа конструкционного материала зависит от физикомеханических и

эксплуатационных свойств, на которые влияет технологический процесс получения самих конструкционных материалов и деталей из них. Процесс изготовления деталей из этих материалов характеризуется высоким коэффициентом использования материала (0,85—0,95), малой трудоемкостью, высокой механизацией и автоматизацией.

## Глава I

# ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

## § 1. Методы получения и технологические свойства порошков

Порошковая металлургия — отрасль технологии, занимающаяся производством металлических порошков и деталей из них. Из металлического порошка или смеси порошков прессуют заготовки, которые подвергают термической обработке спеканием. Промышленность выпускает различные металлические порошки: железный, медный, никелевый, хромовый, кобальтовый, вольфрамовый, молибденовый, титановый и др. Методы получения порошков условно разделяют на механические и физико-химические (табл. 4).

Распространено получение металлических порошков методами механического измельчения. Размол в мельницах различного рода применяют не только как самостоятельный метод получения порошков, но и как дополнительную операцию в производстве, основанном на физико-химических методах. Механические методы измельчения наиболее эффективны при получении порошков из отходов производства — стружки, обрезков, скрапа и т. п. Размолом получают порошки из легированных сплавов строго заданного химического состава и из хрупких материалов, таких, как кремний, бериллий и т. д.

При применении механических методов исходный продукт измельчается без изменения химического состава. К недостаткам механических методов следует отнести высокую стоимость порошков, так как в нее входит стоимость изготовления исходных литых металлов и сплавов, и относительно низкую производительность, за исключением метода распыления. К физико-химическим методам относят такие технологические процессы, в которых получение порошка связано с изменением химического состава исходного сырья или его состояния в результате химического или физического (но не механического) воздействия на исходный продукт. Физико-химические методы получения порошков более универсальны, чем механические. Возможность использования дешевого сырья (отходы производства в виде окалина, окислов и т. д.) делает многие физико-химические методы экономичными. Порошки тугоплавких металлов, а также порошки сплавов и соединений на

## Характеристика основных методов получения порошков

Метод получения	Сущность метода	Материал порошка	Особенности получаемых порошков
<i>Физико-химические методы</i>			
Восстановление окалины	Воздействие на окалину водородом, конверторным, природным газом или твердым углеродом при температуре 900—1000° С	Железо	Дешевизна, высокая чистота продукта, порошок имеет зерна осколочной формы
Восстановление окислов	Воздействие на окислы водородом, углеродом или гидридами	Никель, кобальт, титан, вольфрам, молибден и др.	Порошок имеет высокую чистоту, зерна — осколочную форму
Карбонильный	Термическая диссоциация карбониллов при температуре 200—800° С	Железо, никель, кобальт и др.	Очень высокая чистота металла, зерна сферической формы
Электролиз	Осаждение металлического порошка из водного раствора солей с помощью постоянного электрического тока	Медь, железо, кобальт, хром, некоторые другие тугоплавкие металлы	Высокая степень чистоты, форма частиц преимущественно дендритная
<i>Механические методы</i>			
Размол в шаровых, вибрационных, молотковых и вихревых мельницах	Механическое измельчение исходного продукта	Для любых материалов	Сохраняется почти полностью химический состав исходного продукта, частицы имеют преимущественно неправильную форму
Распыление	Распыление жидкого металла газом или водой	Любые материалы с температурой плавления не выше 1700—1750° С	Форма частиц преимущественно сферическая

их основе могут быть получены только физико-химическими методами.

В практике порошковой металлургии четкой границы между двумя указанными методами нет. Примером тому может быть применение механического размола спекшейся губки, получающейся при восстановлении окислов, или применение отжига порошков, полученных распылением или вихревым размолом, для снятия остаточных напряжений, обезуглероживания и восстановления окислов.

Поведение металлических порошков при прессовании и спекании зависит от свойств порошков, которые, в свою очередь, определяются методами их получения. Металлические порошки характеризуются химическим составом, а также физическими и технологическими свойствами. Химический состав порошков определяется содержанием основного металла или компонента и примесей. Физические свойства порошков определяются следующими характеристиками: размером и формой частиц, микротвердостью, плотностью, состоянием кристаллической решетки. Технологические свойства, характеризуются насыпной массой, текучестью, прессуемостью и спекаемостью порошка. Эти характеристики являются функцией совокупности всех других свойств порошков.

*Насыпная плотность* — масса единицы объема свободно насыпанного порошка. Стабильность насыпной массы обеспечивает постоянную усадку при спекании. Масса зависит главным образом от формы и размеров частиц.

*Текучесть* — способность порошка заполнять форму. Текучесть ухудшается с уменьшением размеров частиц порошка и повышением влажности. Оценкой текучести является количество порошка, вытекаемое в 1 с через отверстие диаметром 1,5—4 мм. Текучесть порошка имеет большое значение, особенно при автоматическом прессовании, при котором производительность прессы зависит от скорости заполнения формы. Низкая текучесть способствует также получению неоднородных по плотности деталей.

*Прессуемость* характеризуется способностью порошка уплотняться под действием внешней нагрузки и прочностью сцепления частиц после прессования. Прессуемость порошка зависит от пластичности материала частиц, их размеров и формы и повышается с введением в его состав поверхностно-активных веществ.

Под *спекаемостью* понимают прочность сцепления частиц в результате термической обработки прессованных заготовок.

## § 2. Формообразование и обработка заготовок

Методами порошковой металлургии получают различные конструкционные материалы со специальными физико-механическими и эксплуатационными свойствами (табл. 5). Магнитные материалы в основном можно разделить на магнитомягкие и магнитотвердые. В отдельную группу выделяют материалы специального назна-

## Классификация спеченных материалов

Группа материалов	Вид изделий	Состав материала
Электротехнические	Магниты	Порошки из чистого железа, сплавов, окислов и т. д.
	Электроконтакты	Смесь тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена и др.) с медью или серебром
	Электрощетки	Композиции графита с медью или серебром
Пористые	Фильтры	Порошки из бронзы, железа, титана, никрома нержавеющей стали и т. д. Материалы изготавливают из порошков с частицами преимущественно сферической формы, с пористостью до 50%
	«Потеющие» изделия	Материалы с пористостью до 30—40% из нержавеющей стали, никрома и др.
Фрикционные и антифрикционные	Подшипники скольжения	Композиции на основе медного или железного порошка с пористостью до 10—35%, пропитанные графитом, маслом или пластмассой
	Тормозные накладки	Композиции на основе железного или медного порошка с различными легирующими добавками (свинец, никель и др.) и неметаллическими компонентами (асбест, кварц, графит и т. д.)
Инструментальные	Пластинки из твердых сплавов	Порошки из карбидов тугоплавких металлов (вольфрама, титана, тантала). В качестве связующего используют кобальт
	Пластинки из сверхтвердых материалов	Основой являются зерна алмаза, эльбора, гексанига, связующим — более мягкие металлы
	Минералокерамические пластинки	Основой является окись алюминия с незначительным количеством примесей
Компактные конструкционные	Различные детали машин и приборов	Порошки из различных легированных и углеродистых сталей, цветных металлов и их сплавов с пористостью не более 1,0—2,0%.

Группа материалов	Вид изделий	Состав материала
Термостойкие	Жаропрочные детали различных изделий	Композиции на основе карбидов, боридов, нитридов тугоплавких металлов с чистыми тугоплавкими металлами
	Тугоплавкие детали различных изделий	Композиции на основе вольфрама, молибдена, тантала, ниобия, их карбидов и других тугоплавких металлов и сплавов
Специальные	Детали вакуумной аппаратуры	Композиции на основе железа и тугоплавких металлов
	Полупроводники	Композиции на основе германия, бора и др.

чения, имеющие сравнительно узкие области применения. Магнитомягкими материалами являются технически чистое железо, электротехнические стали, пермалои, магнитомягкие ферриты, магнитодиэлектрики. Основные магнитотвердые материалы — сплавы на основе железа, никеля, алюминия, кобальта; магнитотвердые ферриты; пластически деформируемые магнитотвердые сплавы.

Магнитные материалы изготовляют из Fe-, Ni-, Al сплавов, а также из деформируемых сплавов Cu-, Ni-Fe; Fe-, Co-Mo и т. д. Для уменьшения пористости этих материалов следует вводить легирующие присадки, подбирать давление при прессовании и условия спекания, а также применять двухкратное прессование и спекание. Пористость материалов обычно не превышает 3—5%.

Ферриты получают различными способами. Наиболее простым и распространенным способом является способ окислов, при котором в качестве исходных материалов используют окислы соответствующих металлов (железа, цинка, кобальта, магния и др.). При производстве ферритов особое внимание уделяют процессу подготовки шихты. Проверяют химический состав исходных компонентов и строго выдерживают расчет составляющих шихты.

Магнитодиэлектрики представляют собой композиции магнитных и изоляционных материалов. В качестве изоляционных материалов применяют фенольные смолы, силикаты и т. д. Электроконтактные материалы изготовляют из смеси порошков тугоплав-

ких металлов с медью и серебром. Тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден, карбид вольфрама и т. п.) являются основой и определяют механические свойства, а легкоплавкие металлы являются наполнителями и придают материалам высокую электропроводность. Высокие теплостойкость, стойкость против эрозийного износа и механическая прочность обеспечивают большой срок службы и надежность электрической аппаратуры с этими контактами.

Широко применяемые в промышленности электроугольные щетки делят на четыре основные группы: графитовые, угольно-графитовые, металлографитовые и электрографитированные. Графитовые щетки изготавливают из натурального графита без применения или с применением связующих (каменноугольные и синтетические смолы) и используют главным образом в машинах постоянного тока небольшой или средней мощности. Угольно-графитовые щетки изготавливают из графита с введением других углеродистых материалов (сажи, кокса) и связующих веществ. После прессования щетки подвергают спеканию при температуре 300—1200 °С и омедняют в электрической ванне. Щетки данного типа устанавливают в электрических машинах средней мощности и на машинах с толчкообразной нагрузкой. Металлографитовые щетки изготавливают из порошков графита и меди. В отдельных случаях добавляют свинец, олово, серебро. В щетках с большой допустимой плотностью тока меди содержится до 80—90%. Металлографитовые щетки широко применяют в промышленности при изготовлении синхронных электродвигателей, генераторов постоянного тока и т. д. Электрографитированные щетки получают из порошков графита и других углеродистых материалов с введением связующих. После прессования и отжига (спекания) заготовки подвергают графитизации. Процесс графитизации протекает при температуре 2500—2600 °С; при этом углерод исходных материалов переходит в графит. Такие щетки применяют в электрических машинах средней и большой мощности.

Методы порошковой металлургии позволяют получать материалы со специальными физико-механическими и эксплуатационными свойствами (пористые, фрикционные, антифрикционные и т. д.). Получают их из порошков самых различных металлов и сплавов. Вследствие высокой плотности механические свойства материалов практически не снижаются, а отдельные эксплуатационные свойства значительно увеличиваются.

Например, спеченный алюминиевый порошок (САП) содержит в своем составе до 15% окиси алюминия, которая в виде тонкой пленки покрывает зерна алюминия и образует в спеченном теле непрерывный каркас. Такая структура придает материалу высокую теплостойкость. Этот материал может длительное время работать при температурах до 600 °С. Преимуществом САП по сравнению с обычным алюминием является также низкий коэффициент линейного расширения. Применяют САП для изготов-

ления компрессорных лопаток, поршней, колец для газовых турбин и т. д.

Весьма перспективно применение компактных конструкционных материалов в условиях крупносерийного и массового производства деталей сложной конфигурации небольших габаритных размеров. Основным преимуществом порошковых материалов является возможность использования в качестве сырья отходов производства (стружки, обрезков, окалины и т. д.) и значительное снижение трудоемкости изготовления деталей, так как в большинстве случаев отпадает необходимость в обработке резанием.

**Приготовление смеси и формообразование заготовок.** Процесс приготовления смеси включает предварительный отжиг, сортировку порошка по размерам частиц и смешивание. Предварительный отжиг порошка способствует восстановлению окислов и снимает наклеп, возникающий при механическом измельчении исходного материала. Отжигу подвергают обычно порошки, полученные механическим измельчением, электролизом и разложением карбониллов. Отжиг проводят при температуре, составляющей 0,5—0,6 температуры плавления в защитной или восстановительной атмосфере.

Порошки с размерами частиц 50 мкм и больше разделяют по группам рассеиванием на ситах, а с более мелкими частицами — воздушной сепарацией. В металлические порошки вводят технологические присадки различного назначения: пластификаторы (парафин, стеарин, олеиновую кислоту и др.), облегчающие процесс прессования и получения заготовок высокого качества; легкоплавкие присадки, улучшающие процесс спекания; различные летучие вещества для получения деталей с заданной пористостью. Подготовленные порошки смешивают в шаровых, барабанных мельницах и других смешивающих устройствах.

Заготовки из металлических порошков формообразуют прессованием (холодным, горячим, гидростатическим) и прокаткой.

*При холодном прессовании* в пресс-форму 2 (рис. 136, а) засыпают определенное количество подготовленного порошка 3 и прессуют пуансоном 1. В процессе прессования увеличивается контакт между частицами, уменьшается пористость, деформируются или разрушаются отдельные частицы. Прочность получаемой заготовки обеспечивается силами механического сцепления частиц порошка, электростатическими силами притяжения и трения. С увеличением давления прессования прочность заготовки возрастает. Давление распределяется неравномерно по высоте прессуемой заготовки из-за влияния сил трения порошка о стенки пресс-формы, вследствие чего заготовки получаются с различной прочностью и пористостью по высоте. В зависимости от габаритных размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно- или двухстороннее прессование.

Односторонним прессованием получают заготовки простой формы с отношением высоты к диаметру меньше единицы и заго-

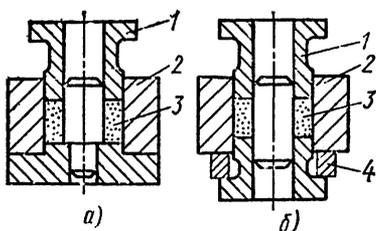


Рис. 136. Схемы холодного прессования:  
а — одностороннего; б — двухстороннего

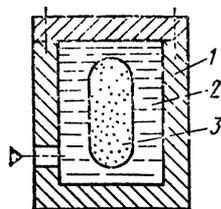


Рис. 137. Схема гидростатического прессования

товки типа втулок с отношением наружного диаметра к толщине стенки меньше трех. Двухстороннее прессование (рис. 136, б) применяют для формообразования заготовок сложной формы. После заполнения пресс-формы порошком к верхнему пуансону прикладывают усилие для предварительного прессования. Затем усилие прессования снимается и удаляется подкладка 4. В дальнейшем в процессе прессования участвуют оба пуансона. В этом случае требуемое давление для получения равномерной плотности снижается на 30—40%. Давление прессования зависит от требуемой плотности, формы прессуемой заготовки, вида прессуемого порошка и других факторов. Использование вибрационного прессования позволяет в десятки раз уменьшить требуемое давление.

В процессе прессования частицы порошка подвергаются упругим и пластическим деформациям, в результате чего в заготовке накапливаются значительные напряжения. После извлечения из пресс-формы заготовки размеры ее увеличиваются в результате упругого последействия. Режимы прессования, величина упругого последействия приведены в справочной литературе.

При *горячем прессовании* технологически совмещаются процессы формообразования и спекания заготовки. Температура горячего прессования составляет обычно 0,6—0,8 температуры плавления порошка. Благодаря нагреву процесс уплотнения протекает гораздо интенсивнее, чем при обычном прессовании. Это позволяет значительно уменьшить необходимое давление прессования. Методом горячего прессования можно получать материалы, характеризующиеся высокой прочностью, плотностью и однородностью структуры. Этот метод применяют для таких плохо прессуемых и плохо спекаемых композиций, как тугоплавкие металлородные соединения (карбиды, бориды, силициды и т. д.). Материалом для изготовления пресс-форм является, как правило, графит. Низкая производительность, малая стойкость пресс-форм (10—12 прессовок), необходимость проведения процесса в среде защитных газов — все это ограничивает применение горячего прессования и обуславливает его использование только в тех случаях, когда другие методы порошковой металлургии не имеют успеха.

*Гидростатическое* прессование применяют для получения металлокерамических заготовок, к которым не предъявляют высоких требований по точности. Сущность процесса (рис. 137) заключается в том, что порошок 3, заключенный в эластичную оболочку 2, подвергают равномерному и всестороннему обжатию в специальных герметизированных камерах 1. Отсутствие внешнего трения способствует получению заготовок равномерной плотности и снижению потребного давления. В качестве рабочей жидкости используют масло, воду, глицерин и др. Гидростатическим прессованием получают самые разнообразные по форме и размерам заготовки. К недостаткам данного метода следует отнести низкую точность получаемых заготовок.

Весьма перспективными являются методы газостатического прессования, при которых в качестве рабочей среды, создающей давление прессования, используют газ, нагретый до температуры спекания порошков. В этом случае процессы формообразования и спекания заготовок технологически совмещаются.

Способом *выдавливания* изготовляют прутки, трубки и профили различного сечения. Сущность процесса получения заготовок заключается в выдавливании порошка через комбинированное отверстие пресс-формы. В порошок добавляют пластификатор, массой до 10—12% от массы порошка, улучшающий процесс соединения частиц и уменьшающий трение порошка о стенки пресс-формы. Профиль изготавливаемой детали зависит от формы калиброванного отверстия пресс-формы. Полые профили получают с применением рассекателя. В качестве оборудования используют механические и гидравлические прессы.

*Прокатка* является одним из наиболее производительных и перспективных способов переработки порошковых материалов. Порошок (рис. 138, а) непрерывно поступает из бункера 1 в зазор между валками. При вращении валков 3 происходит обжатие и вытяжка порошка 2 в ленту или полосу 4 определенной толщины. Процесс прокатки может быть совмещен со спеканием и окончательной обработкой получаемых заготовок. В этом случае лента проходит через печь для спекания, а затем снова подвергается прокатке для получения листов заданных размеров. Ленты, идущие на приготовление фильтров и антифрикционных деталей, большей частью не подвергают дополнительной прокатке. Число обжатий, необходимое для получения беспористой ленты, зависит от пластичности композиции и режимов прокатки. Технологически можно получать ленты из различных материалов, (пористых, фрикционных, твердосплавных и др.). Применяя бункеры с перегородкой (рис. 138, б), изготовляют ленты из разных ма-

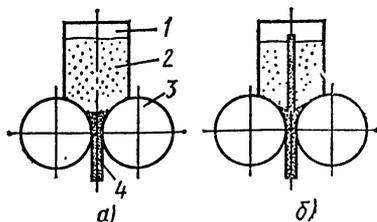


Рис. 138. Схема прокатки порошков

териалов (двухслойные). Прокаткой получают ленты толщиной 0,02—3,0 мм и шириной до 300 мм. Применение валков определенной формы позволяет получать прутки различного профиля, в том числе и проволоку диаметром от 0,25 мм до нескольких миллиметров.

**Спекание и окончательная обработка заготовок.** Спекание проводят для повышения физико-механических свойств заготовок, полученных прессованием или прокаткой. В спрессованных заготовках доля металлического контакта очень мала и спекание сопровождается ростом контактов между отдельными частицами порошка. Это является следствием протекания в спекаемом теле при нагреве следующих явлений: восстановления окислов, диффузии, рекристаллизации и др. Протекание этих явлений зависит от температуры и времени спекания, среды, в которой осуществляется спекание, и других факторов. В результате спекания изменяются размеры; чаще всего наблюдается усадка.

Температура спекания составляет 0,6—0,9 температуры плавления порошка однокомпонентной системы или она может быть ниже температуры плавления основного материала для порошков, в состав которых входит несколько компонентов. Процесс спекания рекомендуют проводить в три этапа: I — нагрев до температуры 150—200 °С (удаление влаги); II — нагрев до 0,5 температуры спекания (снятие упругих напряжений и активное сцепление частиц); III — окончательный нагрев до температуры спекания. Время выдержки после достижения температуры спекания по всему сечению составляет 30—90 мин. Увеличение времени и температуры спекания до определенных значений приводит к увеличению прочности и плотности в результате активизации процесса образования контактных поверхностей. Превышение указанных технологических параметров может привести к снижению прочности вследствие роста зерен кристаллизации.

Распространенным технологическим приемом является проведение спекания в условиях, когда легкоплавкий компонент, входящий в шихту, образует при спекании жидкую фазу. Это в большинстве случаев активизирует усадку и обеспечивает получение деталей с малой или даже нулевой пористостью и высокими физико-механическими свойствами. Например, для этого применяют пропитку тугоплавких материалов серебром или медью при производстве электроконтактных деталей.

Основным требованием к атмосфере спекания является обеспечение безокислительных условий нагрева заготовок. Помимо этого, взаимодействие с атмосферой не должно приводить к образованию соединений, ухудшающих свойства спеченных материалов. В большинстве случаев спекание проводят в восстановительной атмосфере, способствующей удалению окислов, или в вакууме. Для спекания используют электрические печи сопротивления или печи с индукционным нагревом. После спекания заготовки в некоторых случаях подвергают дополнительной обработке для по-

вышения физико-механических свойств, получения окончательных размеров и формы, нанесения декоративных покрытий и защиты поверхности деталей от коррозии.

Для повышения физико-механических свойств спеченных заготовок применяют повторное прессование и спекание, пропитку смазками антифрикционных деталей, термическую и химико-термическую обработки. Применение повторного прессования и спекания позволяет получать детали с более высокой плотностью. Промежуточные отжиги, снимая наклеп в зернах заготовки, позволяют осуществлять дальнейшее уплотнение при относительно небольшом давлении. Процесс повторного прессования осуществляют в тех же пресс-формах или в пресс-формах с повышенной точностью изготовления формообразующих деталей. В производственных условиях, как правило, ограничиваются двухкратным прессованием (в «черновых» и «чистовых» пресс-формах) и спеканием.

Спеченные материалы можно подвергать ковке, прокатке, штамповке при повышенных температурах. Горячей механической обработке подвергают, как правило, материалы из тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена и др.) для получения проволоки, листов, лент и т. п. Обработка давлением позволяет снизить пористость материалов и повысить их пластичность. Например, у спеченных брусков вольфрама с исходной пористостью 38—40% послековки пористость снижается до 2—5%, и заготовка приобретает пластичность, необходимую для протяжки через фильеры или прокатки. Перед протяжкой для снятия внутренних напряжений заготовки из вольфрама подвергают промежуточному отжигу при температурах выше 1200 °С. После протяжки заготовки из вольфрама в проволоку диаметром 0,05 мм пористость его снижается до 1%. Пропитку заготовок обычно выполняют погружением их в масляную ванну с температурой 70—140 °С. Длительность пропитки колеблется от 15 мин до 2 ч. Степень заполнения пор при этом составляет 90—95%. Большая плотность заполнения пор маслом достигается при применении вакуумной пропитки.

Основными видами термической обработки являются отжиг и закалка. Отжиг используют для повышения технологических свойств при производстве деталей из тугоплавких металлов. Отжиг снижает прочностные характеристики и в несколько раз повышает пластичность материала, что облегчает дальнейшую обработку давлением (ковку, протяжку, прокатку и т. д.). Наличие пор в материалах делает их чувствительными к окислению при нагреве и к коррозии при попадании закалочной жидкости в поры при закалке. В качестве охлаждающих сред необходимо выбирать жидкости, не представляющие опасности с точки зрения коррозии в процессе хранения и эксплуатации закаленных деталей. В некоторых случаях детали из железного порошка подвергают науглероживанию методами химико-термической обработки —

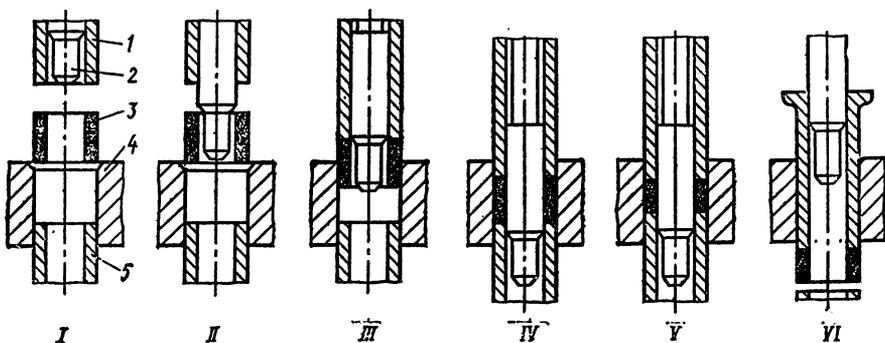


Рис. 139. Схема калибровки подшипников скольжения

нагревом в ящиках с карбюризатором или в газовой науглероживающей атмосфере. Процесс насыщения углеродом протекает значительно быстрее вследствие проникания газов внутрь пористого тела. Для повышения износостойкости деталей в определенных случаях применяют операцию сульфидирования.

Для придания спеченным заготовкам необходимых размеров и формы применяют калибрование, протягивание, штамповку и обработку резанием. Калибрование позволяет получать детали высокой точности. Операцию калибрования проводят в специальных пресс-формах или приспособлениях. Перед калиброванием заготовки должны иметь размеры на 0,5—1,0% больше (меньше для внутренних поверхностей) окончательных. Большая степень деформации при калибровании может значительно повлиять на механические свойства, повышая прочность и снижая пластичность деталей, поэтому в некоторых случаях после калибрования применяют дополнительное спекание или отжиг.

Рассмотрим схему последовательных операций калибрования подшипников скольжения на автоматическом прессе (рис. 139). Специальный захват устанавливает подшипник 3 над отверстием калибрующей матрицы 4 (положение I). Затем направляющая часть центрального стержня 2 входит во внутреннюю полость подшипника (положение II) и верхний пуансон 1 вдавливает подшипник в матрицу 4 (положение III). После этого центральный стержень продвигается вниз и его калибрующая часть проходит через подшипник (положение IV). Этим осуществляется калибрование внутреннего и наружного диаметров. Для обеспечения калибрования по высоте нижний 5 и верхний 1 пуансоны продолжают движение навстречу друг другу до заданного предела (положение V). Затем нижний пуансон отводится вниз, а центральный стержень вверх, и верхний пуансон 1 при дальнейшем своем ходе проталкивает подшипник из матрицы вниз (положение VI), после этого цикл повторяется. Такое последовательное расчленение деформаций на ряд операций позволяет снизить усилие

калибрования в 2—3 раза по сравнению с усилием калибрования при одновременном проведении деформации. Предварительная пропитка заготовок маслом значительно облегчает процесс калибрования.

Обработку резанием (точение, сверление, фрезерование, нарезание резьбы и т. д.) применяют в тех случаях, когда прессованием нельзя получить детали заданных размеров и формы. Обработка заготовок из спеченных материалов пористостью менее 5% ничем существенно не отличается от обработки обычных беспористых материалов. С повышением пористости материала характер процесса стружкообразования изменяется. Стружка дробится на отдельные элементы, появляются ударные нагрузки, снижается стойкость режущего инструмента.

Основной особенностью механической обработки заготовок из пористых материалов является необходимость применения острозаточенного режущего инструмента, больших скоростей резания и малых подач. Не рекомендуют применять обычные охлаждающие жидкости, которые, впитываясь в поры, вызывают коррозию. Пропитка маслом пористых заготовок перед обработкой также нежелательна, так как в процессе резания масло вытекает из пор и, нагреваясь, дымит. Нарезание резьбы рекомендуется производить твердосплавным инструментом. Для улучшения качества резьбы задний угол следует увеличивать примерно в 2 раза.

При обработке заготовок из пористых антикоррозионных материалов следует обращать внимание на состояние поверхностного слоя. Для предотвращения возможности закрывания пор необходимо использовать хорошо заточенный и доведенный режущий инструмент. Допустимый износ инструмента по задней поверхности должен быть уменьшен в 1,5—2 раза. Не допускается шлифование абразивными материалами во избежание попадания абразивных частиц в поры. Для обработки заготовок из тугоплавких и жаропрочных материалов применимы электрофизические и электрохимические методы обработки аналогичных литых заготовок из тех же материалов.

Защита спеченных деталей от коррозии и создание декоративных покрытий получают в результате применения химикотермической обработки, нанесения различных покрытий электрохимическими способами, оксидированием, фосфатированием и т. д.

### **§ 3. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям деталей из порошковых материалов**

Технологический процесс изготовления деталей из порошковых материалов характеризуется особенностями, которые необходимо учитывать при проектировании этих деталей. При проектировании деталей с высокими требованиями точности исполнительных размеров необходимо предусматривать припуск на их дальнейшую механическую обработку. Наружные и внутренние

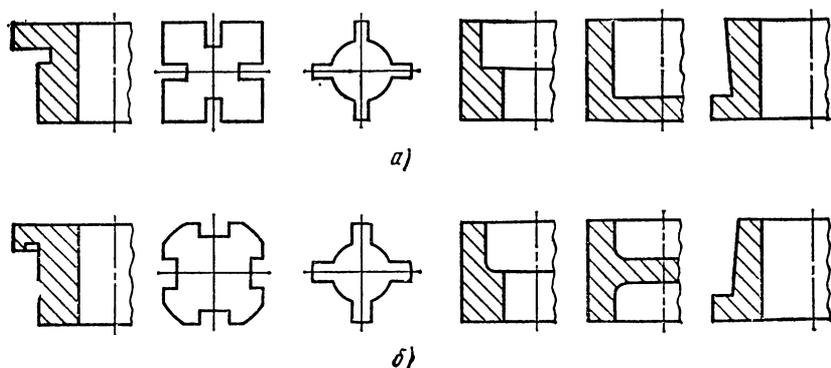


Рис. 140. Примеры конструкций деталей:  
 а — нетехнологичных; б — технологичных

резьбы следует изготовлять обработкой резанием. В конструкциях деталей необходимо избегать выступов, пазов и отверстий, расположенных перпендикулярно оси прессования (рис. 140). Их следует заменять соответствующими элементами, расположенными в направлении прессования, или изготовлять обработкой резанием. Узкие и длинные пазы или выступы следует заменять аналогичными элементами, повышающими жесткость и прочность конструкций. Процесс прессования деталей сопровождается значительной усадкой, поэтому в их конструкциях нельзя допускать значительной разностенности, которая вызывает коробление и образование трещин.

При незначительной разностенности в процессе прессования получают более равномерную плотность по высоте детали. Длинные тонкостенные конструкции необходимо заменять на равнозначные по эксплуатационным показателям с учетом получения равномерной плотности прессуемой детали. Толщина стенок должна быть не менее 1 мм. Для свободного удаления заготовки пресс-форма должна иметь незначительную конусность. При проектировании конических поверхностей необходимо исходить из удобства извлечения заготовки, обратная конусность недопустима. Радиусы перехода сопрягающихся поверхностей должны быть не менее 0,2 мм.

Глава II

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

### § 1. Классификация пластмасс

Пластическими массами (пластмассами) называют материалы, основу которых составляют природные или синтетические высокомолекулярные соединения. Высокомолекулярные соединения состоят из большого числа низкомолекулярных соединений (моно-

меров), связанных между собой силами главных валентных связей. Соединения, большие молекулы (макромолекулы) которых состоят из одинаковых структурных звеньев, называют полимерами. Макромолекулы полимеров могут иметь линейную форму, разветвленную и пространственную (сшитую).

Линейные макромолекулы (рис. 141, а) имеют форму цепей, в которых атомы соединены между собой ковалентными связями. Отдельные цепи связаны межмолекулярными силами, величина этих сил в значительной степени определяет свойства полимера. Наличие в цепях разветвлений (рис. 141, б) приводит к ослаблению межмолекулярных сил и тем самым к понижению температуры размягчения полимера. Пространственные структуры (рис. 141, в) получаются в результате химической связи (сшивки) отдельных цепей полимеров или в результате поликонденсации или полимеризации. Большое значение для свойств «сшитого» полимера имеет частота поперечных связей. Если эти связи располагаются сравнительно редко, то образуется полимер с сетчатой структурой. Полимеры с линейной структурой молекул хорошо растворяются, так как молекулы растворителя могут внедряться в промежутки между макромолекулами и ослаблять межмолекулярные силы. Полимеры с сетчатой структурой нерастворимы, они лишь набухают. При частом расположении связей полимер становится практически нерастворимым и неплавким.

Полимеры в зависимости от расположения и взаимосвязи макромолекул могут находиться в аморфном (с неупорядоченным расположением молекул) или кристаллическом (с упорядоченным расположением молекул) состояниях. При переходе полимеров из аморфного состояния в кристаллическое повышается их прочность и теплостойкость. Значительное влияние на полимерные материалы оказывает воздействие на них теплоты. В зависимости от поведения при повышенных температурах пластмассы подразделяют на термопластичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты).

Термопласты при нагревании размягчаются и расплавляются, затем вновь затвердевают при охлаждении. Переход термопластов из одного физического состояния в другое может осуществляться неоднократно без изменения химического состава. Термопласты

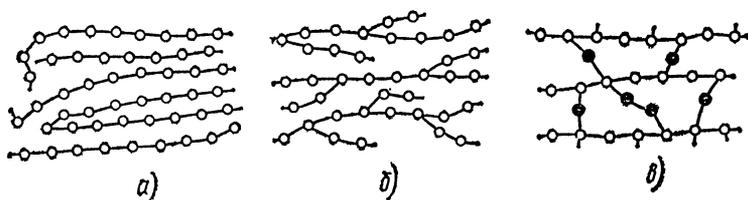


Рис. 141. Схемы строения молекул полимеров:  
а — линейная; б — разветвленная; в — пространственная

имеют линейную или разветвленную структуру молекул. Реактопласты при нагревании переходят в вязкотекучее состояние, но под действием тепла и в результате химической реакции переходят в твердое, необратимое состояние. Отвердевшие реактопласты нельзя повторным нагревом вновь перевести в вязкотекучее состояние. В процессе полимеризации под действием указанных факторов линейная структура полимера превращается в пространственную. Отдельные виды терморезистивных смол (эпоксидные, полиэфирные) относят к числу самотвердеющих при комнатной температуре. При введении отвердителя они переходят в твердое необратимое состояние.

Поведение термопластов и реактопластов под действием теплоты оказывает решающее значение на технологический процесс переработки пластмасс в детали.

В зависимости от числа компонентов все пластмассы подразделяют на простые и композиционные. Простые (полиэтилен, полистирол и т. д.) состоят из одного компонента — синтетической смолы, композиционные (фенопласты, аминопласты и др.) — из нескольких составляющих, каждая из которых выполняет определенную функциональную роль. В композиционных пластмассах смола является связующим для других составляющих. Свойства связующего во многом обуславливают физико-механические и технологические свойства пластмассы. Содержание связующего в пластмассах достигает 30—70%.

Помимо связующих в состав композиционных пластмасс входят следующие составляющие:

1) наполнители различного происхождения для повышения механической прочности, теплостойкости, уменьшения усадки и снижения стоимости композиции; органические наполнители — древесная мука, хлопковые очесы, целлюлоза, хлопчатобумажная ткань, бумага, древесный шпон и др.; неорганические — графит, асбест, кварц, стекловолокно, стеклоткань и др.;

2) пластификаторы (дибутилфталат, касторовое масло и др.), увеличивающие эластичность, текучесть, гибкость и уменьшающие хрупкость пластмасс;

3) смазывающие вещества (стеарин, олеиновая кислота и др.), увеличивающие текучесть, уменьшающие трение между частицами композиций, устраняющие прилипание к пресс-формам;

4) катализаторы (известь, магнезия и др.), ускоряющие процесс отверждения пластмасс;

5) красители (сурик, нигрозин и др.), придающие пластмассам нужный цвет.

При изготовлении газонаполненных пластмасс (поро- и пенопластов) в полимеры вводят газообразователи — вещества, которые разлагаются при нагревании с выделением газообразных продуктов.

Конструкционные пластмассы в зависимости от показателей механической прочности подразделяют на три основные группы:

низкой, средней и высокой прочности. К группе пластмасс низкой прочности относят полиэтилены, фторопласты и др. Из полиэтилена изготавливают трубы, детали для вентиляционных установок, гальванических ванн, центробежных насосов для кислот и щелочей и т. д. Фторопласты (фторопласт-4, фторопласт-3, фторопласт-40) отличаются высокой химической стойкостью, тепло- и морозостойкостью и высокими диэлектрическими свойствами. Детали, изготавливаемые из этих материалов, способны работать в агрессивных средах и при значительных колебаниях температуры.

Пластмассы средней прочности — это фенопласты, полистиролы, полиамиды и др. Фенопласты — термореактивные пластические массы на основе фенолформальдегидных смол — широко применяют для изготовления электротехнических деталей (корпусные детали приборов, панелей, разъемников, выключателей и т. д.). Фенопласты характеризуются хорошими технологическими свойствами. Полистирол, характеризующийся высокими диэлектрическими свойствами, служит для изготовления деталей радио- и электроаппаратуры. Благодаря сочетанию высокой механической прочности, износостойкости, коррозионной и химической стойкости полиамиды являются одним из важнейших конструкционных материалов. Наибольшее промышленное применение имеют капрон, капролон, полиамидная смола-610 и др. Изготавливаемые из этих материалов зубчатые колеса, подшипники скольжения и другие детали работают более плавно, с меньшим шумом, имеют меньшую массу и дешевле по сравнению с аналогичными металлическими.

К высокопрочным пластмассам относят стеклопластики, представляющие собой композиционный материал, состоящий из наполнителя (стеклянные ткани, сетки, ленты, волокна, нити и т. д.) и связующего (эпоксидные, фенолформальдегидные и кремнийорганические смолы). Из стеклопластиков изготавливают корпусные детали автомобилей, лодок, самолетов и т. д. В процессе изготовления этих деталей технологически совмещается формообразование деталей и получение самого конструкционного материала — стеклопластика. Для получения высоконагруженных конструкционных деталей небольших габаритных размеров применяют термореактивные пресс-материалы марок АГ-4С, АГ-4В, и др. Детали из этих материалов получают прессованием. В промышленности также широко применяют термопласты, армированные стекловолокном. Теплостойкость и механическая прочность этих материалов повышается в 3—4 раза при использовании в качестве наполнителей стеклянных волокон. Низкий коэффициент линейного расширения и незначительная усадка при формовании обеспечивают получение деталей высокой точности из армированных стекловолокном термопластов.

Основными технологическими свойствами пластмасс являются текучесть, усадка, скорость отвердевания (реактопластов) и термостабильность (термопластов).

*Текучесть* — способность материала заполнять форму при определенных температуре и давлении. Она зависит от вида и содержания в материале смолы, наполнителя, пластификатора, смазки, а также от конструктивных особенностей пресс-формы. Для термопластичных (ненаполненных) материалов за показатель текучести принимают «индекс расплава» — количество материала, выдавливаемого через сопло экструзионного пластометра диаметром 2,095 мм при определенных температуре и давлении в единицу времени.

Под *усадкой* понимают абсолютное или относительное уменьшение размеров детали по сравнению с размером полости пресс-формы. В абсолютной величине усадки наибольшую долю составляет разница между коэффициентами линейного расширения материала пресс-формы и материала пластмассовой детали. Величина усадки зависит от физико-химических свойств связующей смолы, количества и природы наполнителя, содержания в нем влаги и летучих веществ, температурного режима переработки и других факторов. Усадку необходимо учитывать при проектировании пресс-форм. Помимо технологической усадки пластмассовые детали характеризует также эксплуатационная усадка, связанная с релаксацией напряжений, процессом старения и т. д.

Продолжительность процесса перехода терморективного материала из высокоэластичного или вязкотекучего состояния в состояние полной полимеризации определяет скорость отверждения. Скорость отверждения (полимеризации) зависит от свойств связующего (терморективной смолы) и температуры переработки. Низкая скорость отверждения увеличивает время выдержки материала в пресс-форме под давлением и снижает производительность процесса. Повышенная скорость отверждения может вызвать преждевременную полимеризацию материала в пресс-форме, в результате чего отдельные участки формирующей полости не будут заполнены пресс-материалом, и деталь пойдет в брак.

Под термостабильностью понимают время, в течение которого термопласт выдерживает определенную температуру без разложения. Высокую термостабильность имеет полиэтилен, полипропилен, полистирол и др. Переработка их в детали сравнительно проста. Для материалов с низкой термостабильностью (полиформальдегид, поливинилхлорид и др.) необходимо предусматривать меры, предотвращающие возможность разложения их в процессе переработки; например, увеличение сечения литников, диаметра цилиндра и т. д.

В зависимости от физического состояния полимерных материалов, технологических свойств и других факторов все способы переработки пластмасс в детали наиболее целесообразно разбить на следующие основные группы:

1) переработка в вязкотекучем состоянии (прессованием, литьем под давлением, выдавливанием и др.);

- 2) переработка в высокоэластичном состоянии (пневно- и вакуум-формовкой, штамповкой и др.);
- 3) получение деталей из жидких полимеров различными способами формообразования;
- 4) переработка в твердом состоянии разделительной штамповкой и обработкой резанием;
- 5) получение неразъемных соединений сваркой, склеиванием и др.;
- 6) различные способы переработки (спекание, напыление и др.).

## § 2. Способы переработки пластмасс в детали в вязкотекучем состоянии

Большинство пластмасс перерабатывают в детали в вязкотекучем состоянии способами прессования, литья, выдавливания.

*Прямое (компрессионное) прессование* — один из основных способов переработки реактопластов в детали. В полость матрицы пресс-формы 3 (рис. 142, а) загружают предварительно таблетированный или порошкообразный материал 2. При замыкании пресс-формы под действием усилия пресса пуансон 1 создает давление на прессуемый материал (рис. 142, б). Под действием этого давления и теплоты от нагретой пресс-формы материал размягчается и заполняет формообразующую полость пресс-формы. После определенной выдержки пресс-форма раскрывается и с помощью выталкивателя 5 из нее извлекается готовая деталь 4 (рис. 142, в).

Процесс полимеризации (отвердения) сопровождается выделением летучих составляющих полимеров и паров влаги. Для удаления газов в процессе прессования выполняют так называемую подпрессовку, заключающуюся в переключении гидропресса после определенной выдержки на обратный ход, в подъеме пуансона на 5—10 мм и выдержке его в таком положении в течение 2—3 с. После этого пресс-форма снова смыкается. При прессовании крупных толстостенных деталей из материалов с повышенной влажностью подпрессовку проводят дважды.

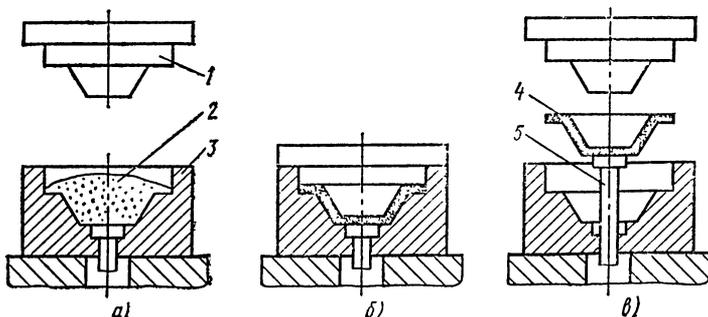


Рис. 142. Схема прямого прессования

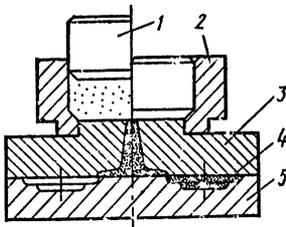


Рис. 143. Схема литьевого прессования

Температура и давление прессования зависят от вида перерабатываемого материала, формы и размеров изготавливаемой детали. Время выдержки под прессом определяют скорость отверждения и толщину прессуемой детали. Для большинства термореактивных материалов время выдержки выбирают из расчета 0,5—2,0 мин на 1 мм толщины стенки. Технологическое время может быть сокращено вследствие предварительного подогрева материала в специальных шкафах. Давление зависит от текучести пресс-материала, скорости отверждения, толщины прессуемых деталей и других факторов.

Нагрев пресс-форм осуществляют обычно электрическим нагревателем. Рабочую температуру в процессе прессования поддерживают постоянной с помощью автоматически действующих приборов. Для загрузки в полость пресс-формы определенного количества пресс-материала используют объемную дозировку или дозировку по массе. Применяют также поштучную дозировку (загружают определенное число таблеток). Прессуют на гидравлических прессах. При выпуске большого числа деталей используют прессы, работающие по автоматическому циклу.

Прямым прессованием получают детали средней сложности и небольших габаритных размеров из термореактивных материалов с порошкообразным и волокнистым наполнителями.

*Литьевое прессование* отличается от прямого тем, что прессуемый термореактивный материал загружают не в полость пресс-формы, а в специальную загрузочную камеру 2 (рис. 143). Под действием теплоты от пресс-формы прессуемый материал превращается в вязкотекучее состояние и под давлением со стороны пуансона 1 выжимается из загрузочной камеры 2 в полости матрицы пресс-формы через специальное отверстие в литниковой плите 3. После отверждения пресс-форму разъединяют и готовые детали 4 извлекают из матрицы 5.

Литьевое прессование позволяет получать детали сложной формы, с глубокими отверстиями, в том числе резьбовыми. Возможна установка сложной и тонкой арматуры. В процессе перетекания через литниковое отверстие пресс-материал прогревается одинаково, что обеспечивает более равномерную структуру прессуемой детали. При литьевом прессовании отпадает необходимость в подпрессовках, так как образующиеся газы могут выходить в зазор между литниковой плитой и матрицей.

Недостатком литьевого прессования является повышенный расход пресс-материала, так как в загрузочной камере и литниковых каналах остается часть необратимого пресс-материала. Кроме того, пресс-формы для литьевого прессования сложнее по

конструкции и дороже пресс-форм для прямого прессования.

Для прессования деталей применяют одно- и многогнездные пресс-формы. Многогнездные пресс-формы применяют для получения деталей простой формы и небольших габаритных размеров.

Форма и размеры прессуемых деталей зависят от формообразующих деталей пресс-форм, к которым предъявляют высокие требования по точности и качеству поверхности. Формообразующие детали пресс-форм изготавливают из высоколегированных или инструментальных сталей с последующей закалкой до высокой твердости. Для повышения износостойкости и улучшения внешнего вида прессуемых деталей формообразующие элементы пресс-форм полируют и хромируют.

Листы и плиты из терморезистивных материалов прессуют пакетами на прессах. Заготовки материала (из хлопчатобумажной ткани, стеклоткани и т. д.) пропитывают смолой и укладывают между горячими плитами прессов. Число уложенных слоев ткани определяет толщину листов и плит. Габаритные размеры прессуемых деталей ограничиваются мощностью гидравлического пресса. Трубы, прутки круглого и фасонного сечения получают прессованием терморезистивного материала через калиброванное отверстие пресс-формы. Процесс прессования характеризуется низкой производительностью и сложностями технологического характера.

*Литье под давлением* является высокопроизводительным и эффективным технологическим способом массового производства деталей из термопластов. Перерабатываемый материал из загрузочного бункера 8 (рис. 144) подается дозатором 9 в рабочий цилиндр 6 с электронагревателем 4. При движении поршня 7 определенная доза материала поступает в зону обогрева, а уже расплавленный материал через сопло 3 и литниковый канал — в полость пресс-формы 1, в которой формируется изготавливаемая деталь 2. В рабочем (нагревательном) цилиндре на пути потока расплава установлен рассекатель 5, который заставляет расплав протекать тонким слоем у стенок цилиндра. Это ускоряет прогрев и обеспечивает более равномерную температуру расплава. При движении поршня в исходное положение с помощью дозатора 9 очередная порция материала попадает в рабочий цилиндр. Для предотвращения перегрева выше 50—70 °С в процессе литья пресс-форма охлаждается проточной водой. После затвердевания материала пресс-форма размыкается, и готовая деталь с помощью выталкивателей извлекается из нее.

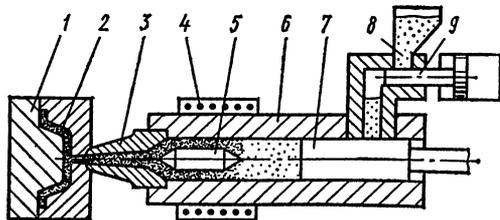


Рис. 144. Схема литья под давлением

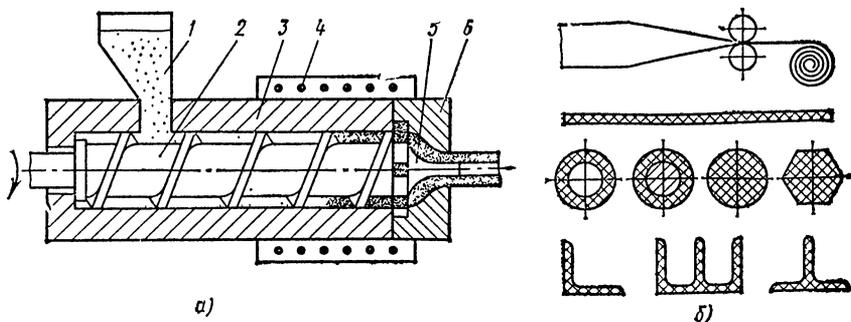


Рис. 145. Непрерывное выдавливание:  
 а — схема установки; б — профили получаемых деталей

Литьем под давлением получают детали сложной конфигурации с различными толщинами стенок, ребрами жесткости, с резьбами и т. д. Применяют литейные машины, позволяющие механизировать и автоматизировать процесс получения пластмассовых деталей. Производительность прессования, поэтому литье под давлением является одним из основных способов переработки пластических масс в детали. Качество отливаемых деталей зависит от температур пресс-формы и расплава, давления прессования, продолжительности выдержки под давлением и т. д.

При безлитниковом литье под давлением применяют литники специальной конструкции с диаметром впрыска 0,8—1,5 мм и высотой канала 0,8—1,2 мм. В процессе выталкивания готовой детали происходит ее отрыв в месте «точечного» литника. В отдельных конструкциях пресс-форм после окончания литья литник автоматически отводится, и происходит отделение литниковой системы от готовой детали. Полная автоматизация безлитникового литья резко повышает производительность процесса получения деталей.

Литьем под давлением получают также детали из отдельных терморезистивных материалов (с хорошей вязкотекучестью).

Центробежное литье применяют для получения крупногабаритных и толстостенных деталей (кольца, шкивы, зубчатые колеса и т. п.). Центробежные силы плотно прижимают залитый в форму полимерный материал к внутренней поверхности формы. После затвердевания готовую деталь извлекают из формы и заливают новую порцию расплавленного материала.

Выдавливание (или экструзия) отличается от других способов переработки термопластов непрерывностью, высокой производительностью процесса и возможностью получения на одном и том же оборудовании большого многообразия деталей (рис. 145, б). Выдавливание осуществляют на специальных червячных машинах. Перерабатываемый термопластичный материал в виде порошка

или гранул из бункера 1 (рис. 145, а) попадает в рабочий цилиндр 3, где захватывается вращающимся червяком 2. Червяк, имеющий нарезку с изменяющимся шагом и глубиной, продвигает материал, перемешивает и уплотняет его. В результате передачи теплоты от нагревательного элемента 4 и выделения теплоты при трении частиц материала друг о друга и о стенки цилиндра перерабатываемый материал переходит в вязкотекучее состояние и непрерывно выдавливается через калиброванное отверстие головки 6. Расплавленный материал проходит через радиальные канавки оправки 5. Оправку применяют для получения отверстия при выдавливании труб.

Непрерывным выдавливанием можно получить детали различного профиля (рис. 145, б). При получении пленок из термопластичных мягких материалов (полиэтилена, полипропилена и др.) используют метод раздува. Расплавленный материал продавливают через кольцевую щель насадкой головки и получают заготовку в виде трубы, которую сжатым воздухом раздувают до нужного диаметра. После охлаждения пленку подают на намоточное приспособление и сматывают в рулон. Способ раздува позволяет получить пленку толщиной до 40 мкм. Для получения листового материала используют щелевые головки шириной до 1600 мм. Выходящее из щелевого отверстия полотно проходит через валки гладильного и тянущего устройства. Здесь же происходит предварительное охлаждение листа, окончательное охлаждение — на рольгангах. Готовую продукцию сматывают в рулоны или режут на листы определенных размеров с помощью специальных ножниц.

Для нанесения защитных покрытий из полимерных материалов через насадную головку пропускают проволоку или кабель. Размеры и профиль выдавливаемых деталей определяются конструкцией насадной головки и оправки. В зависимости от типа перерабатываемого термопласта и геометрической формы выдавливаемых профилей применяют машины с одним червяком или двумя. Червяки могут быть одно- или многозаходные, с постоянным шагом или переменным, с постоянной глубиной нарезки или изменяющейся. В машинах с частотой вращения червяка до 1000 об/мин материал расплавляется только вследствие трения частиц порошка между собой, трения о стенки цилиндра и червяка. Детали ширпотреба (тара, емкости и т. д.) из термопластичных материалов изготавливают различными способами формования (раздув сжатым воздухом, ротационное литье, литье под низким давлением и т. д.).

### § 3. Обработка резанием заготовок из пластмасс

В отдельных случаях экономически целесообразнее изготовлять пластмассовые детали обработкой резанием. В качестве заготовок в этом случае используют листы, трубы, прутки, профили различного сечения. Иногда возникает необходимость в дополни-

тельной обработке заготовок, полученных литьем, прессованием и другими методами формообразования. В зависимости от способа воздействия на заготовку, используемого оборудования и инструмента применяют разделительную штамповку и обработку резанием. Основными операциями разделительной штамповки при изготовлении деталей из листовых материалов являются: вырубка, пробивка, разрезка, резка и зачистка. Наибольшее практическое применение имеют операции вырубки, пробивки и разрезки.

Операции разделительной штамповки выполняют с подогревом заготовки или без подогрева. На поверхности среза при штамповке возможно образование трещин и сколов. Для предотвращения этих дефектов применяют двухступенчатые пуансоны. С помощью пуансона меньшего диаметра получают предварительное отверстие. Основной (калибрующий) пуансон окончательно формобразует отверстие.

В качестве оборудования используют механические и гидравлические прессы. Обработку резанием применяют в качестве отделочной операции после предварительного формообразования или как самостоятельный способ изготовления деталей из поделочных материалов.

Характерной особенностью получения пластмассовых деталей прессованием, литьем и другими способами является значительное колебание усадки при затвердевании материала. Это снижает точность получаемых деталей. Для достижения заданной точности применяют дополнительную обработку резанием. Ее используют, кроме того, для удаления литниковых систем, заусенцев. Однако при механической обработке нарушается поверхностная смоляная пленка. Это приводит к снижению химической стойкости и повышению влагопоглощения пластмассовых деталей, поэтому обработку резанием следует применять только в необходимых случаях.

Особенности строения и физико-механические свойства пластмасс существенно влияют на технологию их обработки, конструкцию режущего инструмента и приспособлений. Пластмассы имеют более низкие механические характеристики по сравнению с металлом. Эту особенность можно было бы использовать для повышения скорости резания, однако низкая теплопроводность пластмасс приводит к концентрации теплоты, образующейся в зоне резания. В результате этого происходит интенсивный нагрев режущего инструмента, размягчение или оплавление термопластов, обугливание или прижог реактопластов в зоне резания. При обработке деталей из термопластов максимальная температура процесса не должна превышать 60—120 °С, деталей из реактопластов — 120—160 °С. Образующаяся теплота при обработке пластмасс отводится в основном через инструмент.

Стойкость режущего инструмента различна в зависимости от типа материала обрабатываемой заготовки. Незначительный износ можно наблюдать при обработке заготовок из термопластов

без наполнителя. При обработке заготовок из термореактивных материалов, особенно со стеклянными и другими подобными наполнителями, стойкость режущего инструмента значительно снижается. Заготовки из термопластов (органического стекла, полистирола, фторопласта и т. д.) можно обрабатывать режущими инструментами из углеродистых и быстрорежущих сталей. Материалы, оказывающие абразивное действие, обрабатывают инструментами, оснащенными твердым сплавом, алмазом, элбором.

При обработке термореактивных материалов со слоистыми и волокнистыми наполнителями охлаждающие жидкости не применяют из-за возможности набухания поверхностей материалов. Процесс стружкообразования при обработке термореактивных пластмасс характеризуется меньшими силами резания по сравнению с силами резания при обработке заготовок из металлов. Образующаяся при обработке термореактивных пластмасс пылевидная и элементная стружка плохо сходит с передней поверхности инструмента, поэтому канавки для отвода стружки делают более емкими и полируют во избежание ее прилипания. Геометрия режущего инструмента характеризуется большими величинами переднего и заднего углов. Для обработки пластмассовых заготовок используют специальное или универсальное металло-режущее оборудование.

#### **§ 4. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям деталей**

При конструировании деталей из пластмасс необходимо учитывать особенности технологического процесса, физико-механические и технологические свойства перерабатываемых материалов. Следует всегда стремиться к упрощению конструкции детали как по технологическим, эксплуатационным, так и экономическим соображениям. Чем проще конструкция детали, тем дешевле оснастка, выше производительность труда, ниже себестоимость, выше качество и точность получаемых деталей. Габаритные размеры деталей определяет мощность оборудования (пресса, литейной машины и т. д.). Оптимальной толщиной стенок считается 0,5—2,0 мм — для деталей из термопластов и 2—6 мм — из реактопластов. Процесс изготовления деталей сопровождается большой усадкой. В конструкциях не допускается значительная разностенность (рис. 146), которая вызывает коробление деталей и образование трещин. Величина разностенности не должна превышать 1 : 3. Минимальные радиусы сопряжений для деталей, полученных прессованием, составляют 1—2 и 0,5—1,0 мм для деталей, полученных литьем под давлением.

В пластмассовых деталях отверстия оформляют соответствующими стержнями в пресс-формах. Наличие стержней является основной причиной появления напряжений в деталях, так как они затрудняют свободную усадку материала. Отверстия лучше

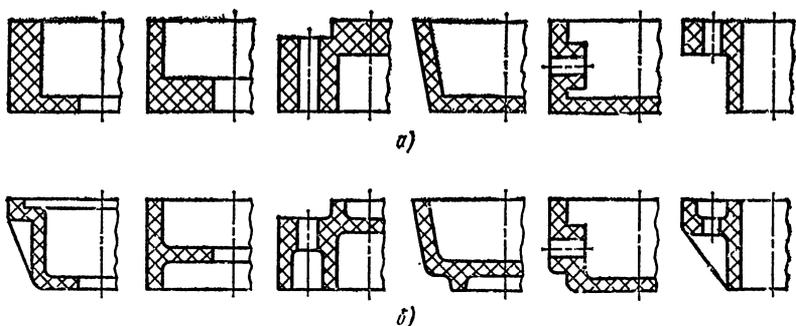


Рис. 146. Примеры конструкций пластмассовых деталей:  
а — нетехнологичные; б — технологичные

располагать не в сплошных массивах (рис. 146, а), а в специальных бобышках с тонкими стенками (рис. 146, б). Ребра увеличивают жесткость и прочность конструкций, позволяют уменьшить сечения отдельных элементов детали, снизить напряжения в местах сопряжения стенок различного сечения. Для малогабаритных деталей роль ребер жесткости могут выполнять выступы или впадины.

Правильная конструкция опорной поверхности повышает жесткость всей конструкции, особенно в случае крупных корпусных деталей. Для этого сплошные опорные поверхности необходимо заменять поверхностями с выступающими буртиками. Необходимо предусматривать технологические уклоны в конструкциях деталей для облегчения извлечения из пресс-формы деталей, получаемых прессованием и литьем под давлением. Детали с боковыми выступами следует конструировать так, чтобы обеспечить их свободный выем и не делать сложных разборных пресс-форм.

Литьем под давлением и прессованием можно получать в деталях резьбы, не требующие дальнейшей обработки. Минимально допустимый диаметр резьбы для деталей из термопластов и пресс-порошков равен 2,5 мм, для волокнистых материалов — 4 мм. Армирование значительно расширяет область применения пластмассовых деталей. Например, в электро- и радиопромышленности прессованием и литьем под давлением получают электрические разъемники, колодки, панели и т. д. Это позволяет резко (в 10—100 раз) сократить трудоемкость получения таких деталей по сравнению с трудоемкостью получения аналогичных конструкций, собранных из отдельных элементов.

Армирование позволяет также повысить точность и прочность пластмассовых деталей. Арматуру в виде винтов, гаек, штырей и т. д. (рис. 147, а, б) закрепляют с помощью кольцевых выточек, буртиков или канавок. Для предотвращения проворачивания на наружных поверхностях этих деталей делают рифления, насечку

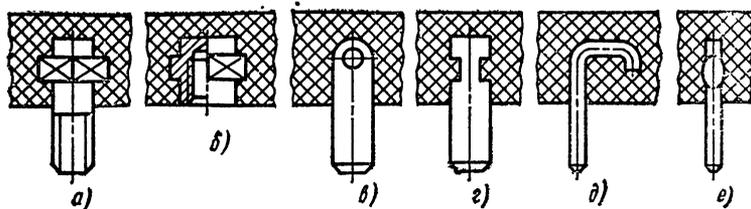


Рис. 147. Примеры армирования пластмассовых деталей

или плоские грани. Мелкую арматуру в виде пластинок (клеммы электрических разъемников) закрепляют с помощью боковых вырезов или отверстий (рис. 147, в, е). Проволочную арматуру закрепляют, расплющивая или загибая второй конец (рис. 147, д, е). Конструкция пресс-формы должна надежно фиксировать арматуру и предотвращать возможность затекания материала в гнезда для установки арматуры.

### Глава III

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ РЕЗИНОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

**Состав и свойства технических деталей.** В производстве резиновых технических деталей основным видом сырья являются натуральные и синтетические каучуки. Натуральные каучуки не нашли широкого применения, так как сырьем для их получения является каучуксодержащий сок отдельных сортов растений. Сырьем для получения синтетических каучуков являются нефть, нефтепродукты, природный газ, древесина и т. д. Каучук в чистом виде в промышленности не применяют. Каучук превращают в резину вулканизацией. В качестве вулканизирующего вещества обычно используют серу. Количество серы определяет эластичность резиновых деталей. Например, мягкие резины содержат 1—3% серы, твердые (эбонит) — до 30% серы. Процесс вулканизации происходит под температурным воздействием (горячая вулканизация) или без температурного воздействия (холодная вулканизация). Для улучшения физико-механических и эксплуатационных свойств резиновых технических деталей и снижения расхода каучука в состав резиновых смесей вводят различные компоненты,

Наполнители уменьшают расход каучука, улучшают эксплуатационные свойства деталей. Наполнители подразделяют на порошкообразные и тканевые. В качестве порошкообразных наполнителей применяют сажу, окись цинка, тальк, мел и др. К тканевым наполнителям относят хлопчатобумажные, шелковые и другие ткани. В некоторых случаях для повышения прочности деталей их армируют стальной проволокой или сеткой, стеклянной или

капроновой тканью. Количество наполнителя зависит от вида выпускаемых деталей.

Мягчители (парафин, стеариновая кислота, канифоль и др.) служат для облегчения процесса смешивания резиновой смеси и обеспечения мягкости и морозоустойчивости. Для замедления процесса окисления в резиновые смеси добавляют противостарители (вазелин, ароматические амины и др.). Процесс вулканизации ускоряют введением в смесь окиси цинка, свинцового глета и др. Красители (охра, пятисернистая сурьма, ультрамарин и др.) вводят в смесь в количестве до 10% от массы каучука,

Высокая эластичность, способность к большим обратимым деформациям, стойкость к действию активных химических веществ, малая водо- и газопроницаемость, хорошие диэлектрические и другие свойства резины обусловили ее применение во всех отраслях народного хозяйства. В машиностроении применяют разнообразные резиновые технические детали: ремни — для передачи вращательного движения с одного вала на другой; шланги и напорные рукава — для передачи жидкостей и газов под давлением: сальники, манжеты, прокладочные кольца и уплотнители — для уплотнения подвижных и неподвижных соединений; муфты, амортизаторы — для гашения динамических нагрузок; транспортные ленты — для оснащения погрузочно-разгрузочных устройств и т. д.

**Способы изготовления резиновых технических деталей.** Технологический процесс изготовления резиновых технических деталей состоит из отдельных последовательных операций: приготовления резиновой смеси, формования и вулканизации. Процесс подготовки резиновой смеси заключается в смешивании входящих в нее компонентов. Перед смешиванием каучук переводят в пластическое состояние многократным пропускаяем его через специальные вальцы, предварительно подогретые до 40—50 °С. Находясь в пластическом состоянии, каучук обладает способностью хорошо смешиваться с другими компонентами. Смешивание проводят в червячных или валковых смесителях. Необходимо иметь в виду, что первым из компонентов при приготовлении смеси вводят противостаритель, последним — вулканизатор или ускоритель вулканизации.

Резиновые технические детали в зависимости от предъявляемых к ним требований формуют каландрованием, непрерывным выдавливанием, прессованием, литьем под давлением, намоткой и т. д. Технологические процессы переработки сырой резины в детали подобны тем, которые были рассмотрены при формировании деталей из пластмасс.

*Каландрование* применяют для получения резиновых деталей в виде листов и прорезиненных лент, а также для соединения листов резины и прорезиненных лент (дублирование). Операцию выполняют на многовалковых машинах — каландрах. Валки каландров снабжают системой внутреннего обогрева или охлаж-

дения, что позволяет регулировать температурный режим. Листы резины, полученные прокаткой на каландрах, сматывают в рулоны и используют затем в качестве полуфабриката для других процессов формообразования резиновых деталей. Во избежание слипания резины в рулонах ее посыпают тальком или мелом при выходе из каландра.

В процессе получения прорезиненной ткани в зазор между валками каландров 3 (рис. 148) одновременно пропускают пластифицированную сырую резину 4 и ткань 2. Резиновая смесь поступает в зазор между верхними и нижними валками, обволакивает средний валок и поступает в зазор между средним и нижним валками, через который проходит в ткань. Средний валок вращается с большей скоростью, чем нижний. Разница скоростей обеспечивает втирание резиновой смеси в ткань. Толщину резиновой пленки на ткани регулируют, изменяя зазор между валками каландра. Многослойную прорезиненную ткань получают при пропускании определенного числа листов однослойной прорезиненной ткани через валки каландра. Полученную ткань наматывают на барабан 1 и затем вулканизируют.

*Непрерывное выдавливание* используют для получения профилированных резиновых деталей (труб, прутков, профилей для остекления). Детали непрерывным выдавливанием изготовляют на машинах червячного типа. Таким способом покрывают резиной металлическую проволоку.

*Прессование* является одним из основных способов получения фасонных деталей (манжет, уплотнительных колец, клиновых ремней и т. д.). Прессуют в металлических формах. Применяют горячее и холодное прессование. При горячем прессовании резиновую смесь закладывают в горячую пресс-форму и прессуют на гидравлических прессах с обогреваемыми плитами. Температура прессования 140—155 °С. При прессовании одновременно происходят формообразование и вулканизация деталей. Высокопрочные детали (например, клиновые ремни) после формования подвергают дополнительной вулканизации в специальных приспособлениях — пакетах. Холодным прессованием получают детали из эбонитовых смесей (корпуса аккумуляторных батарей, детали для химической промышленности и т. д.). После прессования заготовки отправляют на вулканизацию. В состав эбонитовой смеси входят каучук и значительное количество серы (до 30% от массы каучука). В качестве наполнителей применяют размельченные отходы эбонитового производства.

*Литьем под давлением* получают детали сложной формы. Резиновая смесь поступает под давлением при температуре 80—120 °С через литниковое отверстие в ли-

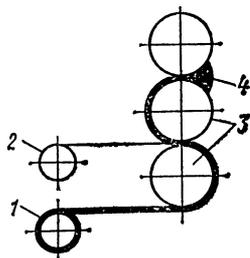


Рис. 148. Схема получения прорезиненной ткани

тейную форму, что значительно сокращает цикл вулканизации.

*Вулканизация* является завершающей операцией при изготовлении резиновых деталей. Вулканизацию проводят в специальных камерах — вулканизаторах — при температуре 120—150 °С в атмосфере насыщенного водяного пара при небольших давлениях. В процессе вулканизации происходит химическая реакция серы и каучука, в результате которой линейная структура молекул каучука превращается в сетчатую, что уменьшает пластичность, повышает стойкость к действию органических растворителей, увеличивает механическую прочность.

При массовом производстве резиновых деталей все технологические операции выполняют с помощью высокопроизводительного и автоматизированного оборудования.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- Брыцыхин Е. А. Технология пластических масс. Л.: Химия, 1974. 351 с.
- Николаев Г. А., Ольшанский Н. А. Специальные виды сварки. М.: Машиностроение, 1975. 232 с.
- Основы материаловедения/И. И. Сидорин, Г. Ф. Косолапов, В. И. Макарова; Под ред. И. И. Сидорина. М.: Машиностроение, 1976. 435 с.
- Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. М.: Машиностроение, 1976. 232 с.
- Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки/ Под ред. В. А. Кривоухова. М.: Машиностроение, 1967. 655 с.
- Технология конструкционных материалов/Под ред. А. М. Дальского и др. М.: Машиностроение, 1977. 664 с.
- Титов А. Д., Степанов Ю. А. Технология литейного производства. М.: Машиностроение, 1978. 432 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
<b>Р а з д е л А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК . . . . .</b>	<b>8</b>
<i>Глава I. Физико-механические и технологические свойства конструкционных материалов . . . . .</i>	<i>8</i>
<i>Глава II. Литейное производство . . . . .</i>	<i>16</i>
§ 1. Получение литых деталей и заготовок . . . . .	16
§ 2. Способы изготовления отливок . . . . .	22
§ 3. Общие принципы конструирования литых деталей . . . . .	36
<i>Глава III. Обработка давлением . . . . .</i>	<i>38</i>
§ 1. Виды обработки давлением и типы применяемого оборудования . . . . .	39
§ 2. Физико-механические основы обработки давлением . . . . .	43
§ 3. Холодная штамповка . . . . .	46
§ 4. Горячая объемная штамповка . . . . .	56
<i>Глава IV. Получение заготовок методами сварки . . . . .</i>	<i>63</i>
§ 1. Сварка давлением . . . . .	64
§ 2. Сварка плавлением . . . . .	69
§ 3. Свариваемость металлов и сплавов . . . . .	76
§ 4. Технологичность сварных конструкций . . . . .	79
<b>Р а з д е л Б. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН . . . . .</b>	<b>82</b>
<i>Глава I. Физико-механические основы обработки резанием . . . . .</i>	<i>82</i>
§ 1. Кинематика процесса резания . . . . .	82
§ 2. Режим резания и геометрия срезаемого слоя . . . . .	86
§ 3. Геометрия инструмента и ее влияние на процесс резания и качество обработанной поверхности . . . . .	89
§ 4. Физическая сущность процесса резания . . . . .	91
§ 5. Точность, качество и производительность обработки . . . . .	106
<i>Глава II. Инструментальные материалы . . . . .</i>	<i>108</i>
§ 1. Инструментальные стали . . . . .	108
§ 2. Металло- и минералокерамика . . . . .	110
§ 3. Абразивные и алмазные материалы . . . . .	111
<i>Глава III. Сведения о металлорежущих станках и их автоматизации . . . . .</i>	<i>112</i>
§ 1. Классификация металлорежущих станков . . . . .	112
§ 2. Кинематика станков . . . . .	116
§ 3. Автоматические станки и линии . . . . .	120
<i>Глава IV. Обработка заготовок на станках токарной группы . . . . .</i>	<i>129</i>
§ 1. Типы станков . . . . .	130
§ 2. Резцы и приспособления станков . . . . .	132
§ 3. Обработка заготовок на универсальных станках . . . . .	134
§ 4. Обработка заготовок на полуавтоматах и автоматах . . . . .	140

<i>Глава</i>	<i>V. Обработка заготовок на станках сверлильной и расточной группы . . . . .</i>	<i>143</i>
	§ 1. Типы сверлильных станков и их назначение . . . . .	144
	§ 2. Режущий инструмент и схемы обработки на сверлильных станках . . . . .	145
	§ 3. Типы расточных станков и их назначение . . . . .	150
	§ 4. Режущий инструмент и схемы обработки на расточных станках . . . . .	151
<i>Глава</i>	<i>VI. Обработка заготовок на станках фрезерной группы . . .</i>	<i>155</i>
	§ 1. Типы станков и их назначение . . . . .	155
	§ 2. Режущий инструмент . . . . .	157
	§ 3. Схемы обработки заготовок на универсальных и многооперационных станках и полуавтоматах . . . . .	160
<i>Глава</i>	<i>VII. Обработка заготовок на протяжных станках . . . . .</i>	<i>166</i>
	§ 1. Типы станков и их назначение . . . . .	167
	§ 2. Режущий инструмент и схемы обработки . . . . .	168
<i>Глава</i>	<i>VIII. Обработка заготовок на зубообрабатывающих станках</i>	<i>172</i>
	§ 1. Профилирование зубьев зубчатых колес . . . . .	172
	§ 2. Зуборезные инструменты . . . . .	174
	§ 3. Технологические методы нарезания зубчатых колес . . . . .	175
<i>Глава</i>	<i>IX. Обработка заготовок на шлифовальных станках . . . . .</i>	<i>181</i>
	§ 1. Основные типы станков . . . . .	183
	§ 2. Режущий абразивный инструмент . . . . .	185
	§ 3. Схемы обработки . . . . .	187
<i>Глава</i>	<i>X. Обработка деталей методами пластического деформирования . . . . .</i>	<i>194</i>
	§ 1. Чистовая и упрочняющая обработка поверхностей пластическим деформированием . . . . .	194
	§ 2. Формообразование поверхностей деталей пластическим деформированием . . . . .	197
<i>Глава</i>	<i>XI. Методы отделочной обработки . . . . .</i>	<i>199</i>
	§ 1. Методы отделки поверхностей чистовыми резцами и шлифовальными кругами . . . . .	199
	§ 2. Полирование поверхностей . . . . .	200
	§ 3. Абразивно-жидкостная отделка . . . . .	201
	§ 4. Притирка поверхностей . . . . .	203
	§ 5. Хонингование . . . . .	204
	§ 6. Суперфиниширование . . . . .	206
	§ 7. Отделочная обработка зубьев зубчатых колес . . . . .	208
<i>Глава</i>	<i>XII. Электрофизические и электрохимические методы обработки заготовок . . . . .</i>	<i>213</i>
	§ 1. Электроэрозионные методы . . . . .	213
	§ 2. Электрохимические методы . . . . .	216
	§ 3. Анодно-механическая обработка . . . . .	219
	§ 4. Ультразвуковая обработка . . . . .	220
	§ 5. Лучевые методы обработки . . . . .	222
	§ 6. Плазменная обработка . . . . .	224
<i>Глава</i>	<i>XIII. Технологичность конструкций деталей машин . . . . .</i>	<i>225</i>

<b>Р а з д е л В. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЕЧЕННЫХ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ . . . . .</b>	<b>230</b>
<i>Глава</i> <b>I. Изготовление деталей из спеченных материалов . . . . .</b>	<b>231</b>
§ 1. Методы получения и технологические свойства порошков . . . . .	231
§ 2. Формообразование и обработка заготовок . . . . .	233
§ 3. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям деталей из порошковых материалов . . . . .	243
<i>Глава</i> <b>II. Изготовление деталей из пластмасс . . . . .</b>	<b>244</b>
§ 1. Классификация пластмасс . . . . .	244
§ 2. Способы переработки пластмасс в детали в вязкотекучем состоянии . . . . .	249
§ 3. Обработка резанием заготовок из пластмасс . . . . .	253
§ 4. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям деталей . . . . .	255
<i>Глава</i> <b>III. Изготовление резиновых технических деталей . . . . .</b>	<b>257</b>
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>260</b>

ИБ № 2456

**Антон Михайлович Дальский, Валерий Степанович Гаврилюк,  
Леонид Николаевич Бухаркин, Валентин Петрович Каширцев,  
Николай Иванович Ляпунов, Олег Филиппович Полтавец,  
Евгений Алексеевич Соколов**

### **МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ**

Редактор **О. В. Повикова**  
Художественный редактор **И. К. Каприлова**  
Технический редактор **Ф. Н. Мельниченко**  
Корректор **Л. Я. Шабашова**  
Переплет художника **Г. Г. Саленкова**

Сдано в набор 03.11.80. Подписано в печать 04.02.81. Т-01340.  
Бумага типографская № 1. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Гарнитура литературная Печать высокая.  
Усл. печ. л. 16,5. Уч.-изд. л. 17,75. Тираж 45000 экз. Заказ 273. Цена 95 к.

Издательство «Машинное строительство», 107076, Москва, Б-76, Стромынский пер., 4

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени  
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой  
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ