



# **ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**СКИФ**



**Кафедра «Автотранспортные, строительные и  
дорожные средства»**

**Лекционный курс**

**Авторы**

**Смирнов И.И.,**

**Смирнов И.И., Кротова К.В.**

## Аннотация

Содержание настоящего курса лекций соответствует объему, изучаемому студентами специальностей дорожно-транспортного факультета ДГТУ.

Настоящий курс лекций следует рассматривать как краткое изложение программных вопросов курса, облегчающее усвоение учебного материала и подготовку к зачету. Пользование конспектом ни в коем случае не исключает подготовки по учебникам, а лишь выделяет основные положения, соответствующие курсу "Технология конструкционных материалов" по машиностроительным и механическим специальностям. В ряде мест конспекта приводятся указания на вопросы, которые необходимо подготовить только по учебникам, так как, за краткостью изложения, в конспект они не вошли. Это касается, главным образом, описательной стороны курса.

## Авторы

Смирнов Иван Иванович – к.т.н., доцент, доцент  
кафедры «АСиДС»

Смирнов Иван Иванович – инженер

Кротова Кристина Вадимовна – аспирант

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
Лекция 6: «Основы размерной обработки» .....	5
Общая характеристика размерной обработки .....	5
Технологические возможности способов резания .....	6
Технологические методы отделочной (финишной) обработки поверхностей.....	14
Лекция 7: «Специальные методы размерной обработки металлов» .....	18
Характеристика электрофизических и электрохимических методов .....	18
Электроэрозионные методы обработки .....	18
Электрохимические методы обработки.....	22
Ультразвуковая обработка .....	23
Плазменная и лазерная обработка.....	24
Лекция 8: «Технология обработки неметаллических материалов» .....	27
Обработка материалов резанием.....	27
Обработка материалов давлением и прессованием .....	38
Библиографический список.....	43

## Введение

Достижения промышленности в любом развитом обществе неизменно связаны с достижениями технологии конструкционных материалов. Качество обработки и производительности изготовления изделий являются важнейшими показателями уровня развития государства.

Учебная дисциплина «Технология конструкционных материалов» посвящена изучению методов получения материалов и формирования из них заготовок, деталей и изделий.

Цель дисциплины – вооружить выпускников знаниями и умениями, позволяющими при конструировании обоснованно выбирать материалы и форму изделия, учитывая при этом требования технологичности, а также влияние технологических методов получения и обработки заготовок на качество деталей.

Основная задача дисциплины – изучение студентами физико-химических основ и технологических особенностей процессов получения и обработки материалов, принципов устройства типового оборудования, инструментов и приспособлений, технико-экономических и экологических характеристик технологических процессов и оборудования, а также областей их применения.

## Лекция 6: «Основы размерной обработки»

Вопросы лекции:

6.1 Общая характеристика размерной обработки.

6.2 Технологические возможности способов резания.

6.3 Технологические методы отделочной (финишной) обработки поверхностей

### Общая характеристика размерной обработки

Рассмотренные в предыдущих лекциях высокопроизводительные и экономичные способы формообразования деталей методами литья, обработки давлением и способы с применением сварки по своим технологическим возможностям не в состоянии обеспечить заданную точность, необходимую для изготовления большинства деталей машин и механизмов. Поэтому полученные указанными методами изделия используются в качестве заготовок. Эти заготовки изготавливают несколько больших размеров с технологическим припуском. Наличие припуска позволяет методами размерной обработки получать деталь требуемой точности путем управляемого съема металла припуска. Чем точнее изготовлена заготовка, тем меньше требуемая величина припуска и тем ниже трудоемкость последующей размерной обработки заготовки. Многообразие используемых в современных конструкциях деталей различного типоразмера и материала требует применения эффективных способов размерной обработки.

Все способы размерной обработки деталей классифицируют по виду используемой энергии на механические, физико-химические и комбинированные.

Схема технологических методов размерной обработки деталей показана на рис. 6.1.

Механическая обработка поверхностей заготовок является одной из основных завершающих стадий изготовления деталей машин.

Одна из актуальных задач машиностроения – дальнейшее развитие, совершенствование и разработка новых технологических методов обработки заготовок деталей машин, применение новых конструкционных материалов и повышение качества обработки деталей машин.

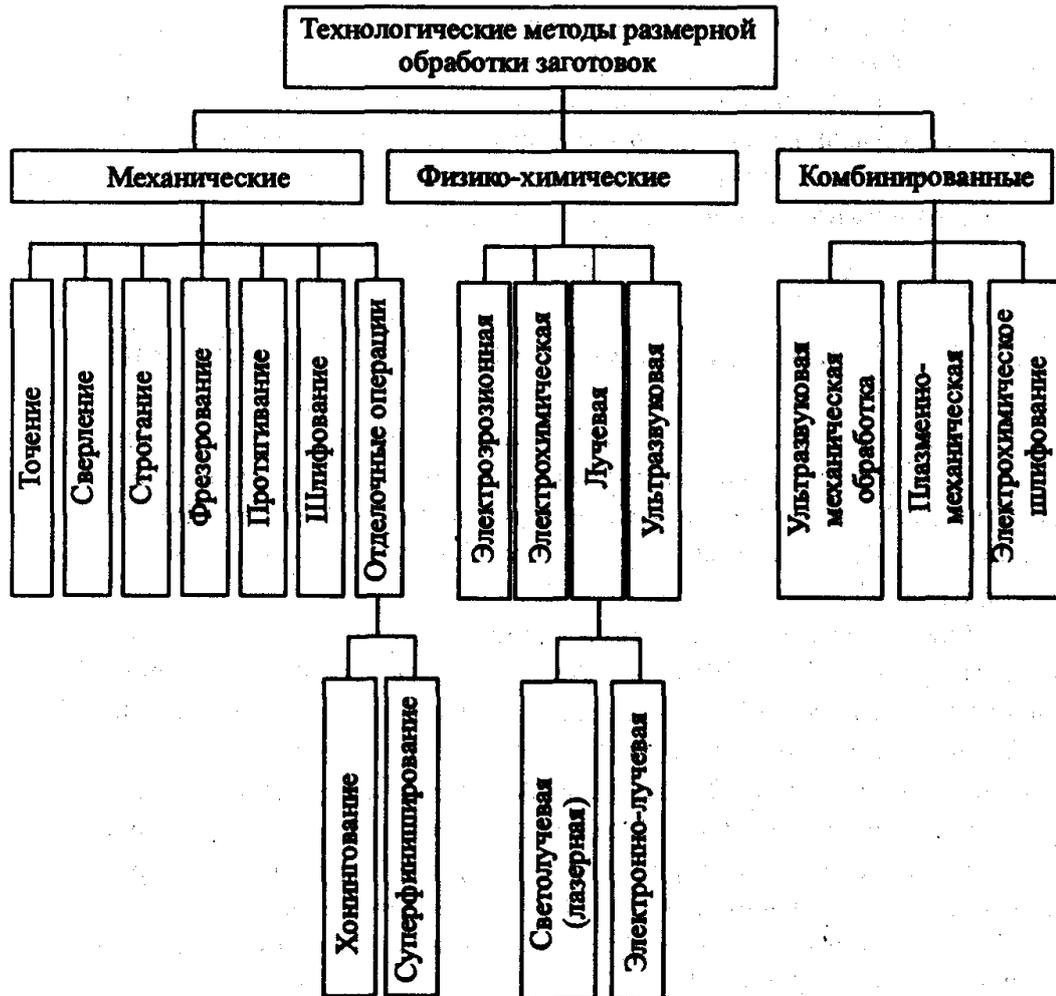


Рис. 6.1

### Технологические возможности способов резания

Обработка резанием является универсальным методом размерной обработки. Метод позволяет обрабатывать поверхности деталей различной формы и размеров с высокой точностью из наиболее используемых конструкционных материалов. Он обладает малой энергоемкостью и высокой производительностью. Вследствие этого обработка резанием является основным, наиболее используемым в промышленности процессом размерной обработки деталей.

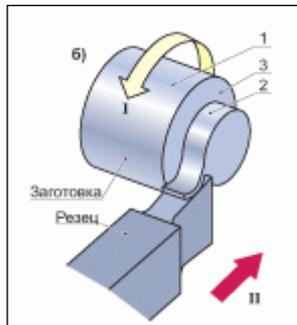
Обработка металлов резанием – процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали. Чтобы срезать с заготовки слой металла, необходимо режущему инструменту и заготовке сообщать относительные движения. Инструмент и заготовку устанавливают на рабочих органах станков, обеспечивающих движение.

Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя материала или вызывают изменение состояния обработанной поверхности заготовки, называют движениями резания:

## Технология конструкционных материалов

- главное движение I (рис. 6.2) – определяет скорость деформирования материала и отделения стружки (Дг);
- движение подачи II (рис. 6.2) – обеспечивает врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки (Дс);

Движения могут быть непрерывными или прерывистыми, а по характеру – вращательными, поступательными, возвратно-поступательными.



Движение подачи может быть: продольным, поперечным, вертикальным, круговым, окружным, тангенциальным.

В процессе резания на заготовке различают: (рис.6.2):

- обрабатываемую поверхность (1);
- поверхность резания (2);
- обработанную поверхность (3).

Рис. 6.2

Кроме главного движения и движения подачи в ходе резания имеют место:

- установочные движения – движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя металла;
- вспомогательные движения – транспортирование заготовки, закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов.

Основным способом обработки поверхностей тел вращения является **точение**.

Процесс резания при точении осуществляется на токарных станках при вращении обрабатываемой заготовки (главное движение) и перемещении резца (движение подачи).

Движение подачи осуществляется:

- параллельно оси вращения заготовки (продольная);
- перпендикулярно оси вращения заготовки (поперечная);
- под углом к оси вращения заготовки (наклонная).

Схемы обработки поверхностей заготовки точением представлены на рис. 6.3.

С помощью точения выполняют обтачивание – обработку наружных поверхностей (рис. 6.3, а); растачивание – обработку внутренних поверхностей (рис. 6.3, б); подрезание – обработку торцевых поверхностей (рис. 6.3, в); резку – разрезание заготовки на части (рис. 6.3, г); резьбонарезание – нарезание резьбы (рис. 6.3, д).

Технология конструкционных материалов

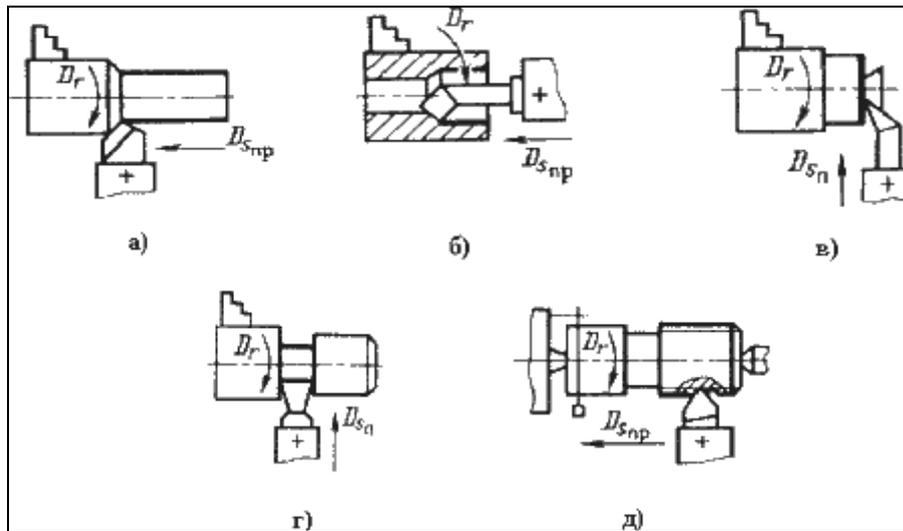


Рис. 6.3

По технологическим возможностям точение условно подразделяют на: черновое, получистовое, чистовое, тонкое.

В качестве режущего инструмента при точении используют резцы.

Главным принципом классификации резцов является их технологическое назначение.

Различают резцы:

- проходные – для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей;
- расточные – проходные и упорные – для растачивания глухих и сквозных отверстий;
- отрезные – для отрезания заготовок;
- резьбовые – для нарезания наружных и внутренних резьб;
- фасонные – для обработки фасонных поверхностей;
- прорезные – для протачивания кольцевых канавок;
- галтельные – для обтачивания переходных поверхностей между ступенями валов по радиусу.

По характеру обработки – черновые, получистовые, чистовые.

По направлению движения подачи – правые и левые (справа на лево и слева на право).

По конструкции – целые, с приваренной или припаянной пластиной, со сменными пластинами.

Установка к закреплению заготовки зависит от типа станка, вида обрабатываемой поверхности, характеристики заготовки, точности обработки и других факторов.

Основным способом получения глухих и сквозных цилиндрических отверстий в сплошном материале заготовки является **сверление**.

В качестве инструмента при сверлении используется сверло, имеющее две главные режущие кромки.

Для сверления используются сверлильные и токарные станки.

Технология конструкционных материалов

На сверлильных станках сверло совершает вращательное (главное) движение и продольное (движение подачи) вдоль оси отверстия, заготовка неподвижна (рис. 6.4, а).

При работе на токарных станках вращательное (главное движение) совершает обрабатываемая деталь, а поступательное движение вдоль оси отверстия (движение подачи) совершает сверло (рис. 6.4, б).

Диаметр просверленного отверстия можно увеличить сверлом большего диаметра. Такие операции называются **рассверливанием** (рис. 6.4, в).

При сверлении обеспечиваются сравнительно невысокая точность и качество поверхности.

Для получения отверстий более высокой точности и чистоты поверхности после сверления на том же станке выполняются зенкерование и развертывание.

**Зенкерование** – обработка предварительно полученных отверстий для придания им более правильной геометрической формы, повышения точности и снижения шероховатости. Многолезвийный режущим инструментом – зенкером, который имеет более жесткую рабочую часть (рис. 6.4, г).

**Развертывание** – окончательная обработка цилиндрического или конического отверстия разверткой в целях получения высокой точности и низкой шероховатости. Развертки – многолезвийный инструмент, срезающий очень тонкие слои с обрабатываемой поверхности (рис. 6.4, д).

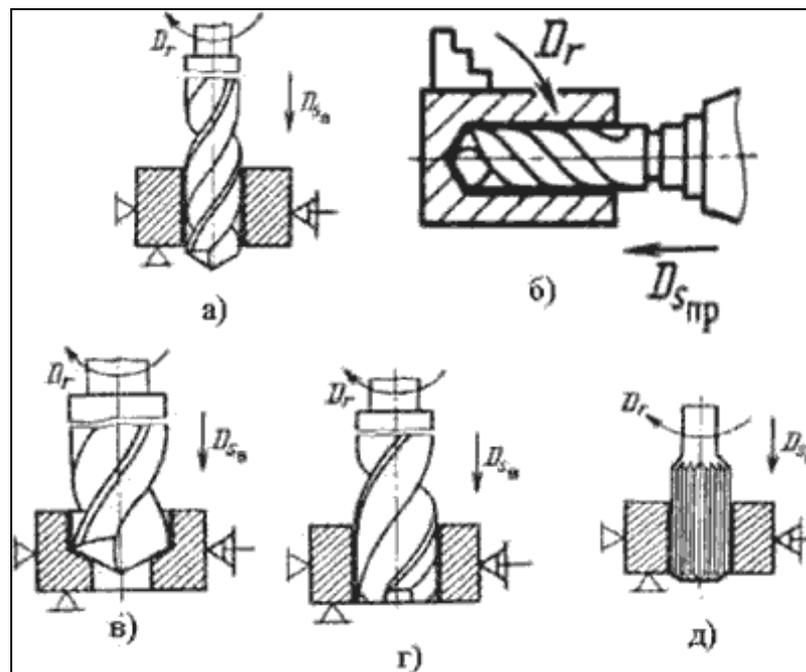


Рис. 6.4

Высокопроизводительным методом обработки деталей разнообразных форм, обеспечивающим высокую точность формы и размеров обрабатываемой поверхности, является **протягивание**. Применяется протягивание в крупносерийном производстве.

Технология конструкционных материалов

При протягивании используется сложный дорогостоящий инструмент – **протяжка**. За каждым формообразующим зубом вдоль протяжки изготавливается ряд зубьев постепенно увеличивающейся высоты.

Процесс резания при протягивании осуществляется на протяжных станках при поступательном главном движении инструмента относительно неподвижной заготовки за один проход.

Движение подачи отсутствует. За величину подачи  $S_z$  принимают подъем на зуб, т.е. разность размеров по высоте двух соседних зубьев протяжки;  $S_z$  является одновременно и глубиной резания.

Протяжные станки предназначены для обработки внутренних и наружных поверхностей. По направлению главного движения различают станки: вертикальные и горизонтальные.

Схемы обработки заготовок на протяжных станках представлены на рисунке 6.5.

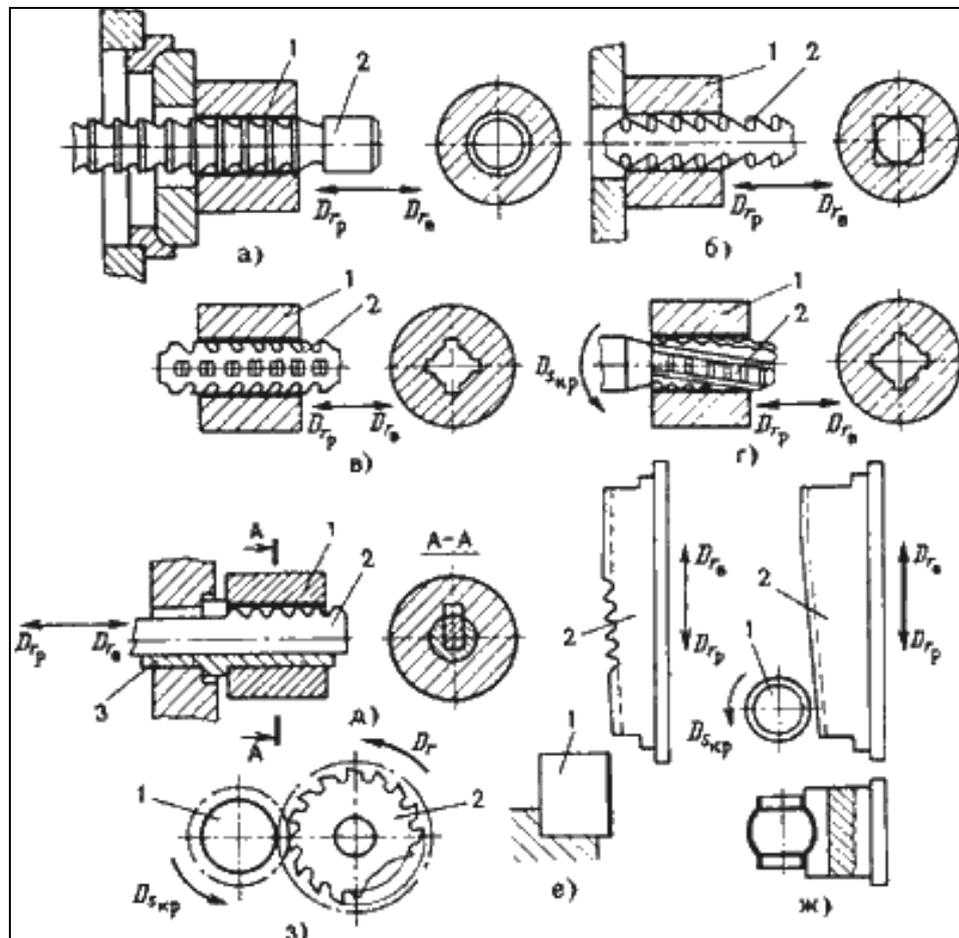


Рис. 6.5

Отверстия различной геометрической формы протягивают на горизонтально-протяжных станках для внутреннего протягивания. Размеры протягиваемых отверстий составляют 5...250 мм.

Цилиндрические отверстия протягивают крупными протяжками после сверления, растачивания или зенкерования, а также литые или штампованные

## Технология конструкционных материалов

отверстия. Длина отверстий не превышает трех диаметров. Для установки заготовки с необработанным торцом применяют приспособление со сферической опорной поверхностью (может самоустанавливаться по оси инструмента), либо упор в жесткую поверхность (рис. 6.5, а).

Шпоночные и другие пазы протягивают протяжками, форма зубьев которых в поперечном сечении соответствует профилю протягиваемого паза, с применением специального приспособления – направляющей втулки 3 (рис. 6.5, б).

Наружные поверхности различной геометрической формы протягивают на вертикально-протяжных станках для наружного протягивания.

Схема протягивания вертикальной плоскости показана на рис. 6.5, в.

Наружные поверхности заготовок типа тел вращения можно обрабатывать на специальных протяжных станках рис. 6.5, г.

Высокопроизводительный и распространенный метод обработки поверхностей заготовок – **фрезерование**. Для фрезерования используется многолезвийный режущий инструмент – фреза.

Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы, а вспомогательным поступательное перемещение заготовки. Движение подачи может быть и вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося стола или барабана (карусельно- фрезерные, и барабанно-фрезерные станки). Каждый режущий зуб при вращении фрезы врезается в заготовку и осуществляет резание только в пределах определенного угла поворота фрезы, а затем вращается в холостую до следующего врезания. Таким образом, особенностью процесса фрезерования является периодичность и прерывистость процесса резания каждым зубом фрезы, причем, процесс врезания зуба сопровождается ударами.

По исполнению фрезы делятся на цилиндрические, когда зубья располагаются только на цилиндрической поверхности фрезы и торцевые, у которых режущие зубья располагаются на торцевой и цилиндрической поверхности фрезы.

Схемы обработки заготовок на станках фрезерной группы представлены на рис. 6.6.

Технология конструкционных материалов

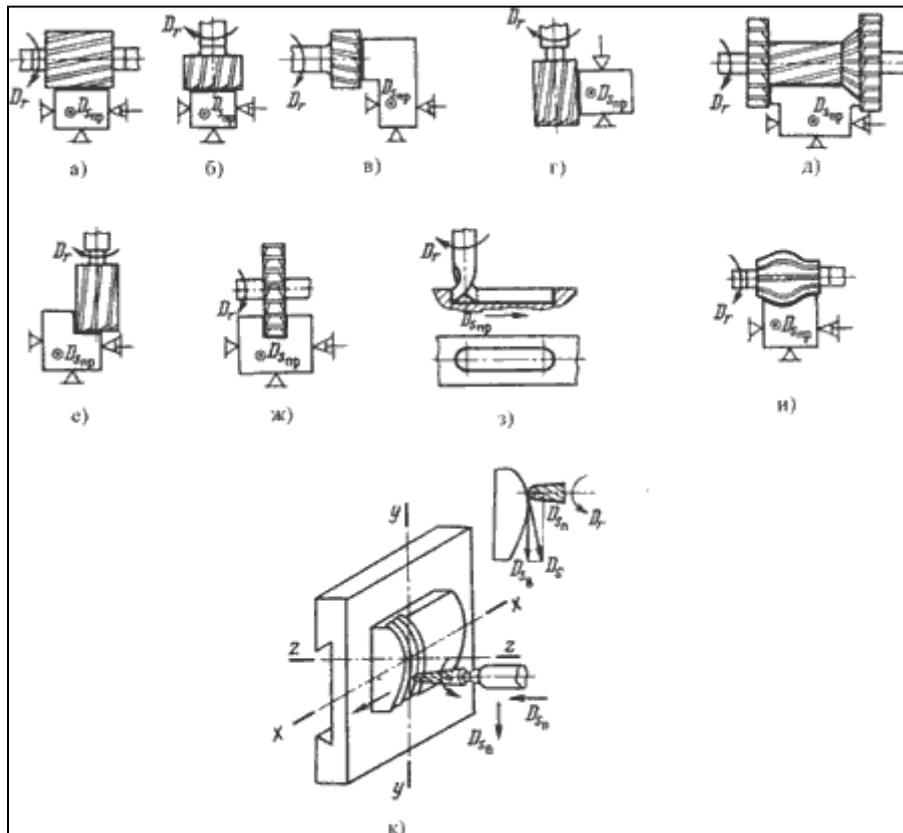


Рис. 6.6

Горизонтальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках цилиндрическими фрезами (рис. 6.6, а) и на вертикально- фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 6.6, б).

Вертикальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 6.6, в) и торцовыми фрезерными головками, а на вертикально-фрезерных станках – концевыми фрезами (рис. 6.6, г).

Комбинированные поверхности фрезеруют набором фрез (рис. 6.6, д) на горизонтально- фрезерных станках.

Уступы и прямоугольные пазы фрезеруют концевыми (рис. 6.6, е) и дисковыми (рис. 6.6, ж) фрезами.

Шпоночные пазы фрезеруют концевыми или шпоночными фрезами на вертикально-фрезерных станках (рис. 6.6, з).

Фасонные поверхности незамкнутого контура с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей фрезеруют фасонными фрезами соответствующего профиля (рис. 6.6, и).

Пространственно- сложные поверхности обрабатывают на копировально-фрезерных автоматах (рис. 6.6, к). Обработку производят специальной концевой фрезой. Фрезерование ведут по трем координатам:  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (объемное фрезерование).

Процесс обработки заготовок резанием с помощью инструментов (кругов), состоящих из абразивного материала называется **шлифованием**.

## Технология конструкционных материалов

Абразивные зерна расположены беспорядочно. При вращательном движении в зоне контакта с заготовкой часть зерен срезает материал в виде очень большого числа тонких стружек (до 100000000 в мин.).

Процесс резания каждым зерном осуществляется мгновенно. Обработанная поверхность представляет собой совокупность микро-следов абразивных зерен и имеет малую шероховатость.

Шлифование применяют для чистовой и отделочной обработки деталей с высокой точностью.

Главным движением при шлифовании является вращение шлифовального круга, а перемещение круга относительно детали является движением подачи.

Различают следующие основные схемы шлифования: плоское, круглое, внутреннее (рис. 6.7).

При плоском шлифовании (рис. 6.7, а) возвратно-поступательное движение заготовок необходимо для обеспечения продольной подачи  $S_{пр}$ . Для обработки поверхности на всю ширину  $b$  заготовка или круг должны иметь поперечную подачу  $D_{сп}$ , которая осуществляется прерывисто при крайних положениях заготовки в конце продольного хода. Периодически осуществляется движение вертикальной подачи  $D_{св}$ , в крайних положениях заготовки в конце поперечного хода.

Плоское шлифование может осуществляться периферией или торцом шлифовального круга.

При круглом шлифовании (рис. 6.7, б) движение продольной подачи осуществляется возвратно-поступательным перемещением заготовки. Подача  $S_{пр}$  соответствует осевому перемещению заготовки за один ее оборот. Вращение заготовки является движением круговой подачи. Подача  $S_{п}$  на глубину резания происходит при крайних положениях заготовки.

Движения, осуществляемые при внутреннем шлифовании, показаны на рис. 6.7, в.

Для выполнения процесса шлифования наружных поверхностей деталей используются кругло-шлифовальные, плоско-шлифовальные и бесцентрово-шлифовальные станки. Для обработки сложных фасонных поверхностей используются специальные ленто-шлифовальные станки.

В ленто-шлифовальных станках применяется инструмент в виде бесконечной абразивной ленты. Лента в процессе шлифования поверхности сложной формы (например: лопатки турбин) огибает сложную поверхность и перемещается в осевом и продольном направлениях.

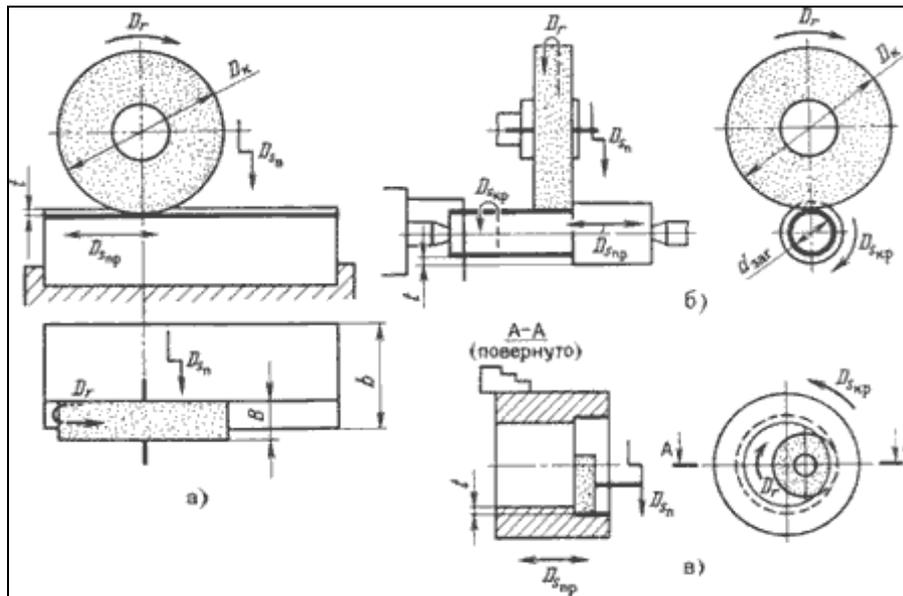


Рис. 6.7

Абразивный слой наносят на бумажную или тканевую основу ленты.

Шлифованием обрабатываются только жесткие детали, не формирующиеся в процессе обработки. Данный способ не допускает обработки малых отверстий.

### Технологические методы отделочной (финишной) обработки поверхностей

Дальнейшее развитие машиностроения связано с увеличением нагрузок на детали машин, увеличением скоростей движения, уменьшением массы конструкции.

Выполнить эти требования можно при достижении особых качеств поверхностных слоев деталей.

От качества поверхностных слоев зависят:

- износостойкость;
- коррозионная стойкость;
- контактная жесткость;
- прочность соединений и другие свойства.

С этой целью широко применяются отделочные методы обработки, для которых характерны малые силы резания, незначительное тепловыделение, малая толщина срезаемого слоя.

Для получения поверхностей высокой точности и малой шероховатости, а также для создания специфического микро-профиля обработанной поверхности в виде сетки (для удержания смазочного материала на поверхности деталей) применяют **хонингование**.

Поверхность неподвижной заготовки обрабатывается мелкозернистыми абразивными брусками, закрепленными в хонинговальной головке (хоне). Бруски вращаются и одновременно перемещаются возвратно- поступательно вдоль оси обрабатываемого отверстия (рис. 6.8, а). Соотношение скоростей движений составляет 1,5...10, и определяет условия резания.

Технология конструкционных материалов

При сочетании движений на обрабатываемой поверхности появляется сетка микроскопических винтовых царапин – следов перемещения абразивных зерен. Угол  $\theta$  пересечения этих следов зависит от соотношения скоростей (рис. 6.8, б).

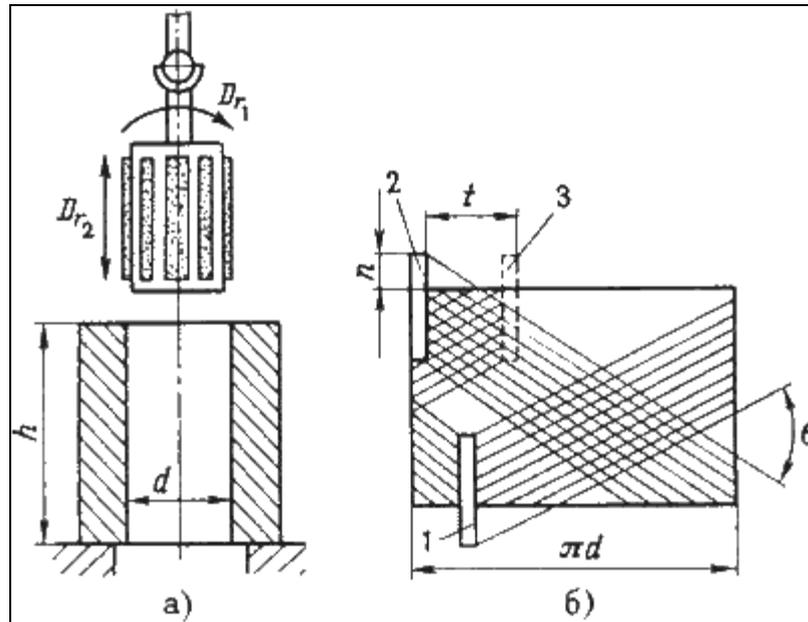


Рис. 6.8

Абразивные бруски всегда контактируют с обрабатываемой поверхностью, так как могут раздвигаться в радиальном направлении. Давление бруска контролируется.

Хонингованием исправляют погрешности формы от предыдущей обработки, а чистовое – для повышения качества поверхности.

Этот процесс осуществляется на специальных хонинговальных установках.

Для уменьшения шероховатости поверхности, оставшейся от предыдущей обработки, применяют **суперфиниширование**. В ходе обработки получают очень гладкую поверхность, сетчатый рельеф, благоприятные условия для взаимодействия поверхностей.

Поверхности обрабатывают абразивными брусками, установленными в специальной головке. Для суперфиниширования характерно колебательное движение брусков наряду с движением заготовки (рис. 6.9).

Процесс резания происходит при давлении брусков  $(0,5...3) \cdot 10^5$  Па в присутствии смазочного материала малой вязкости.

Амплитуда колебаний 1,5...6 мм. Частота колебаний 400...1200 мин<sup>-1</sup>. Бруски подпружинены и самоустанавливаются по обрабатываемой поверхности. Соотношение скоростей  $D_{скр}$  к  $D_{спр}$  в начале обработки составляет 2...4, а в конце – 8...16.

Для уменьшения шероховатости поверхности применяют также **полирование**.

Технология конструкционных материалов

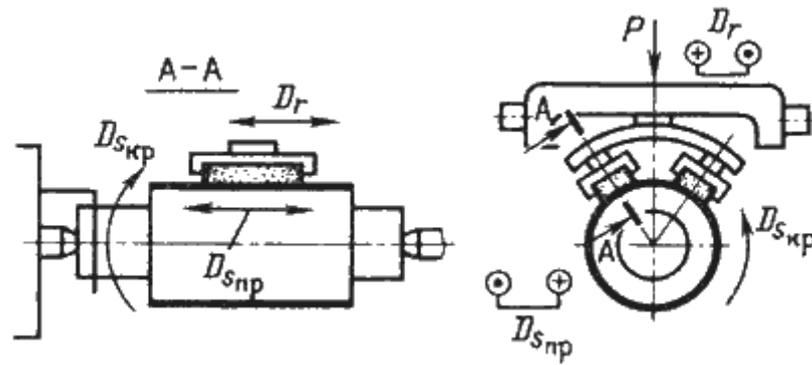


Рис. 6.9

Этим способом получают зеркальный блеск на ответственных частях деталей (дорожки качения подшипников) либо на декоративных элементах (облицовочные части автомобилей). Используют полировальные пасты или абразивные зерна, смешанные со смазочным материалом. Эти материалы наносят на быстровращающиеся эластичные круги (фетровые) или на колеблющиеся щетки.

Хорошие результаты дает полирование быстродвижущимися абразивными лентами (шкурками). При этом одновременно протекают следующие процессы:

- тонкое резание;
- пластическое деформирование поверхностного слоя;
- химические реакции (воздействие на металл химически активных веществ).

Схема полирования представлена на рис. 6.10.

Для процесса характерны высокие скорости, до 50 м/сек. Заготовка поджимается к кругу силой  $P$  и совершает движения подачи  $D_{скр}$  и  $D_{спр}$  в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности.

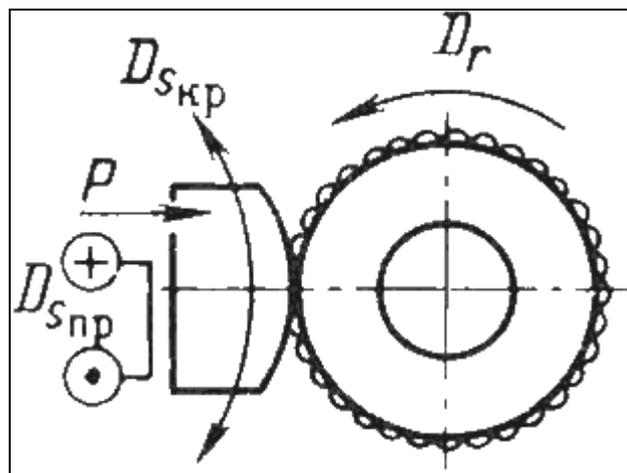


Рис. 6.10

В процессе полирования не исправляются погрешности формы.

Для отделки объемно-криволинейных, фасонных поверхностей применяется **абразивно-жидкостная отделка**.

## Технология конструкционных материалов

На обрабатываемую поверхность, имеющую следы предшествующей обработки, подают струи антикоррозионной жидкости со взвешенными частицами абразивного порошка.

Водно–абразивная суспензия перемещается под давлением с большой скоростью. Частицы абразива ударяются о поверхность заготовки и сглаживают микронеровности.

Интенсивность съема материала регулируется зернистостью порошка, давлением струи и углом, под которым подают жидкость.

Жидкостная пленка играет важную роль в данном процессе. Зерна, попадающие на выступы, легко преодолевают их, а зерна, попадающие во впадины – встречают сопротивление, съем материала затрудняется, шероховатость сглаживается.

Метод жидкостного полирования успешно применяется при обработке фасонных внутренних поверхностей. Сопло вводится в полость заготовки, которая совершает вращательное и поступательное перемещения в зависимости от профиля обрабатываемой поверхности.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие используют методы обработки резанием на станках?
2. В каких единицах измеряется скорость резания при различных видах обработки?
3. Каковы размерности подачи при различных способах резания?
4. Из каких элементов состоит рабочая часть резца?
5. Какие явления возникают в процессе резания?
6. Какая количественная характеристика определяет износ инструмента?
7. От каких характеристик зависит производительность при резании?
8. Как зависит стойкость инструмента от скорости резания?
9. Сколько режущих лезвий может быть в развертках?
10. Какие основные типы фрез используются на фрезерных станках?
11. Что такое хонингование?
12. Как проводится правка шлифовальных кругов?

## Лекция 7: «Специальные методы размерной обработки металлов»

Вопросы лекции:

7.1 Характеристика электрофизических и электрохимических методов обработки

7.2 Электроэрозионные методы обработки.

7.3 Электрохимические методы обработки.

7.4 Ультразвуковая обработка.

7.5 Плазменная обработка.

### Характеристика электрофизических и электрохимических методов

В современных конструкциях очень широко применяются высокопрочные стали и сплавы, тугоплавкие металлы и сплавы, металлокерамика, нержавеющие и жаропрочные стали, титановые сплавы.

Изготовление деталей из этих металлов и сплавов традиционными механическими способами бывает очень затруднено, а иногда практически невозможно. Это обстоятельство настоятельно требовало создания новых, нетрадиционных, специальных методов обработки металлов. Эти методы дополняют и расширяют технологические возможности традиционных методов и позволяют обрабатывать детали сложных форм из токопроводящих материалов независимо от их твердости или вязкости.

В настоящее время из нетрадиционных методов обработки широкое применение получили такие методы, как:

- электроэрозионный;
- электрохимический;
- электронно-лучевой;
- плазменный;
- ультразвуковой;
- лазерный.

В основе электроэрозионных методов обработки лежит явление направленного разрушения материала под действием тепла, выделяющегося при электрическом импульсном разряде между рабочим инструментом и заготовкой. Такое явление износа металла получило название электрической эрозии.

### Электроэрозионные методы обработки

**Электроэрозионный метод** обработки включает в себя следующие его разновидности:

- электроискровой;
- электроимпульсный;
- электроконтактный;
- анодно-механический.

## Технология конструкционных материалов

В основе электроискрового метода обработки лежит явление электрического разряда между двумя электродами, который наступает при их сближении на определенное расстояние.

Основой электроискровой установки (рис. 7.1) является ее электрическая часть, генерирующая импульсы тока определенной мощности и длительности, подводимые в зону обработки.

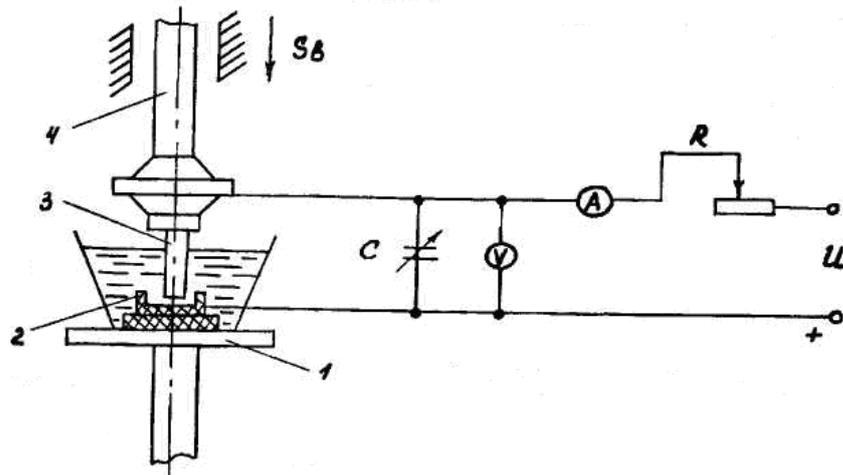


Рис. 7.1

Схема обеспечивает получение энергии большой мощности от весьма маломощных источников тока и позволяет регулировать импульсы тока по величине в зависимости от точности обработки и требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности. Обрабатываемую заготовку 2 (анод) закрепляют через изолятор на столе 1, имеющем установочное вертикальное перемещение. Инструмент – электрод (катод) 3, связанный с отрицательным полюсом, закрепляется в шпинделе станка 4, который имеет вертикальное перемещение относительно оси.

Для того, чтобы на электрод-инструмент не налипал металл, а также для резкого уменьшения мощности разряда на боковых поверхностях процесс осуществляется в ванне с диэлектрической жидкостью. При сближении электрод-заготовки (анода) и электрод-инструмента (катода) вначале происходит электрический разряд в том месте, где расстояние между ними кратчайшее. Это, очевидно будут микронеровности шероховатости поверхностей. Затем разряд наступает на соседнем участке, так как с предыдущего участка частички металла уже унесены. Этот процесс повторяется до тех пор, пока напряжение на емкости окажется недостаточным для возникновения разряда, и процесс автоматически прекратится. Чтобы его возобновить необходимо опять сблизить электроды.

Расстояние между электродами (5...100 мкм) при заданном напряжении поддерживается специальным автоматическим регулятором, который перемещает шпиндель станка вместе с инструментом.

## Технология конструкционных материалов

Точность и шероховатость поверхности зависят от мощности и длительности разрядов: чем меньше энергия импульсов и больше частота их следования, тем более чистой получается обрабатываемая поверхность.

В зависимости от материала заготовки, из которой изготавливается деталь, и режима обработки электроды-инструменты изготавливают из графита, медно-графитовой композиции, меди, латуни и других материалов.

Температура разряда при этом методе достигает 10000 °С. Это приводит к быстрому износу электрод-инструментов, что является одним из недостатков этого метода.

**Электроимпульсный метод** является разновидностью электроэрозионной обработки. Также как при электроискровой обработке, процесс ведется в ванне с диэлектрической жидкостью (рис. 7.2)

Рабочий контур питается независимо от генератора импульсов (МГИ) достаточно большей мощности (4...40 кВт). При этом виде обработки между инструментом 1 (анод) и заготовкой 2 (катод) происходит импульсно-дуговой разряд большой мощности.

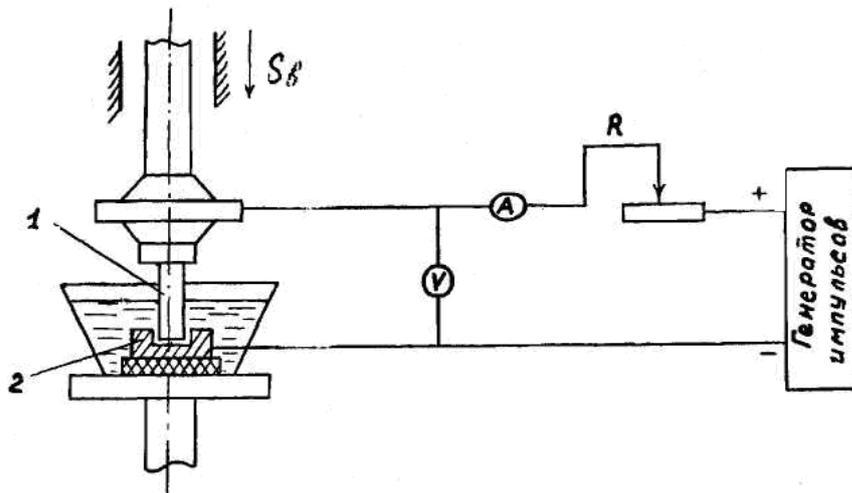


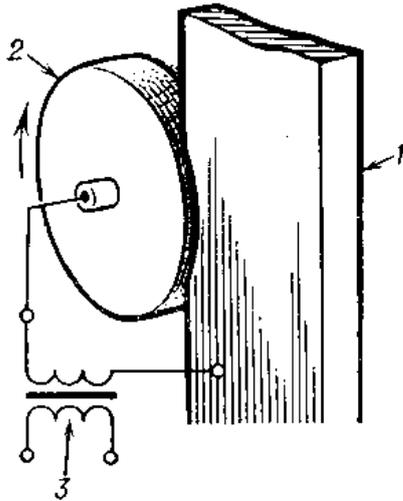
Рис. 7.2 Схема электроимпульсной обработки

При этом выделяется достаточно большое количество тепла со световым эффектом, но температурой (4000...5000 °С) ниже, чем при электроискровом разряде. Паузы между импульсами значительно меньше, что дает экономию энергии и повышение производительности, а также уменьшает износ инструмента. После электроимпульсной обработки на поверхности образуется измененный слой с различными трещинами, рыхлостями и включениями. Этот дефектный слой удаляется на последующих технологических операциях, поэтому электроимпульсный метод чаще применяется для черновой обработки.

**Электроконтактный метод** представляет собой термомеханический процесс, в котором используются энергия дугового разряда и тепло Джоуля-Ленца при контактировании электродов. Размягченный металл заготовки уносится с обрабатываемой поверхности вращающимся электрод-инструментом.

Технология конструкционных материалов

Схема процесса электроконтактной обработки представлена на рис. 7.3.



Обрабатываемая заготовка 1 закрепляется в приспособление, имеющее перемещение в направлении подачи. Электрод-инструмент (металлический диск) 2 и заготовка подключаются к источнику переменного или постоянного тока 3.

При прохождении тока по замкнутой цепи выделяется тепло в местах соприкосновения инструмента с заготовкой в результате высокого контактного сопротивления. Металл заготовки (детали) расплавляется и удаляется быстровращающимся инструментом (скорость вращения 30...80 м/с).

Рис. 7.3

Электрод-инструмент нагревается меньше, чем обрабатываемая деталь, так как охлаждается за счет большой скорости вращения.

Этот метод применяется при резании проката, стальных труб, сложных фасонных профилей, круглом, торцевом и плоском шлифовании твердосплавных точных деталей и т.п.

**Анодно-механический метод** объединяет методы размерной обработки, основанные на совместном использовании электрохимического и электротермического воздействий для удаления металлов или других токопроводящих материалов. Схема анодно-механической обработки (рис. 7.4) имеет общие черты с электроконтактным методом.

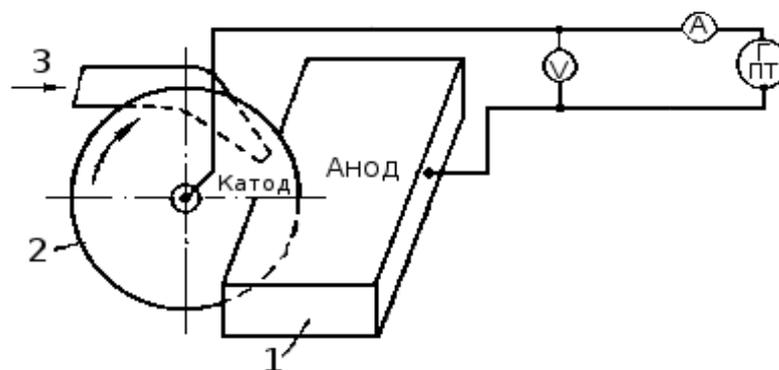


Рис. 7.4

Различие состоит в том, что в рабочую зону между инструментом и заготовкой подается электролит 3. Электрическая цепь питается от источника постоянного тока. В качестве электрод-инструмента могут использоваться металлические диски, движущаяся лента или абразивный инструмент. При прохождении тока через инструмент 2, заготовку 1 и электролит происходит

Технология конструкционных материалов

анодное разрушение (растворение) заготовки, которое приводит к образованию на обрабатываемой поверхности токонепроводящей пленки, и процесс анодного растворения заготовки прекращается.

Для продолжения процесса инструмент или заготовку перемещают, при этом инструмент, контактируя с заготовкой, удаляет пленку. В этом заключается непрерывность электрохимического разрушения металла, электротермическое (электроэрозионное) разрушение происходит в результате возникновения дуговых разрядов между инструментом и участками заготовки, где пленка удалена. Происходит процесс электроэрозии металла и на поверхности заготовки образуется впадина. Разряд на этом участке прекращается, но происходит на других участках. Частицы металла уносятся движущимся инструментом. Очевидно, при черновом методе обработки эффективнее электротермический процесс, а при чистовом – электрохимический.

**Электрохимические методы обработки**

В электрохимических методах используется процесс анодного растворения металлов при пропускании через раствор электролита постоянного тока.

При этом заготовка для обработки используется в качестве анода, на котором происходят химические реакции, и на поверхности заготовки образуются окислы и другие химические соединения. Эти соединения удаляются с поверхности заготовки под действием электрического поля.

Электрохимическая обработка делится на электрохимическое травление и электрохимическое полирование.

**Электрохимическое травление** (рис. 7.5, а) применяется для очистки поверхностей металлов и сплавов от окислов, ржавчины и различных загрязнений. Обрабатываемую заготовку – анод 1 и катод 2 – подключают к источнику постоянного тока напряжением 3...12 В и помещают в ванну 3 с электролитом. В качестве электролита используют растворы кислот и щелочей. Процесс идет при подогретом электролите до температуры 60...80 °С и плотности тока 0,5...2 А/см<sup>2</sup>. При таком режиме образовавшаяся на поверхности заготовки пленка из окислов не может удержаться и удаляется с поверхности анода под действием электрического поля. Катод изготавливается в виде пластин из материалов, не вступающих в химическую реакцию с электролитом (свинец, титан, цветные металлы).

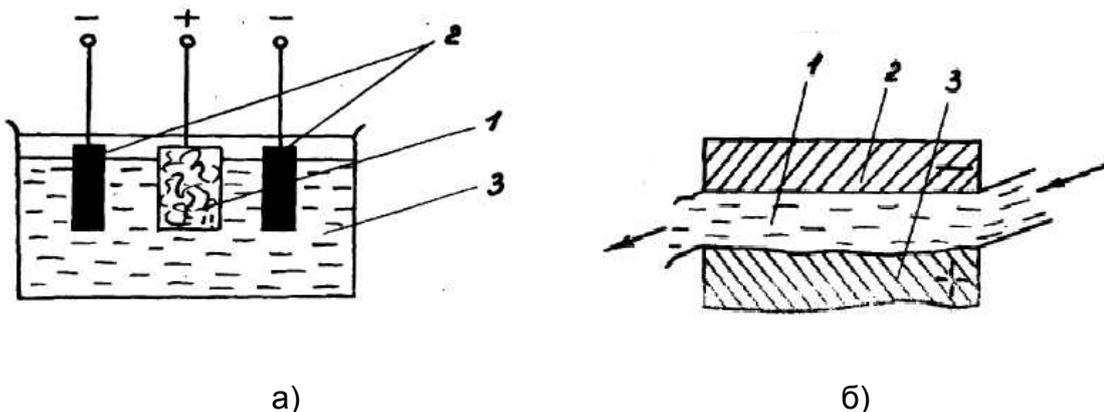


Рис. 7.5

## Технология конструкционных материалов

**Электрохимическое полирование** проводится в проточном электролите (рис. 7.5, б). Электролит 1 большой скоростью протекает в зазоре между катодом 2 и анодом 3, в качестве которого используется обрабатываемая заготовка. При пропускании тока движущийся электролит интенсивно растворяет выступы микронеровностей на обрабатываемой поверхности. Преимущественное разрушение выступов происходит благодаря высокой плотности тока, способной непрерывно удалять пленку солей с выступов, в то время как во впадинах пленка удерживается и защищает их от действия тока

В качестве электролита используются фосфорная и серная кислоты или хромовый ангидрид. Величина зазора – 0,1...0,3 мм, а плотность тока – 0,05-0,6 А/см<sup>2</sup>.

Электрохимическое полирование применяется как окончательная чистовая обработка. Кроме электрохимического травления в технологии часто применяется и чисто химический процесс, называемый "химическим фрезерованием".

Химическое фрезерование представляет собой химическое травление. Оно может быть общим, сквозным или избирательным, и представляет собой процесс удаления металла за счет растворения его в травящих средах. Процесс химического фрезерования осуществляется в растворах щелочей и кислот в ваннах из химически стойких сталей, стеклопластика или из конструкционных сталей, облицованных пластмассой или керамикой. При общем фрезеровании, когда необходимо снять слой металла со всей поверхности, заготовка помещается в ванну с раствором путем окунания.

При сквозном фрезеровании поверхность листовой заготовки покрывается с двух сторон защитным покрытием. По трафарету или шаблону с одной стороны наносится контур заготовки (детали) путем прорезания защитного покрытия режущим инструментом.

При избирательном фрезеровании, не подлежащие травлению участки, покрывают химически стойкими защитными покрытиями. Преимуществами химического фрезерования по сравнению с механической обработкой являются: возможность обработки листовых заготовок одновременно с двух сторон, получение поверхностей сложной конфигурации и одновременная обработка большого количества заготовок. Основным недостатком способа являются длительность процесса и недостаточная чистота поверхности.

## Ультразвуковая обработка

Ультразвуковая обработка по характеру воздействия на обрабатываемую заготовку (деталь) является, по сути, разновидностью механической обработки. Она, как правило, применяется для обработки твердых и хрупких материалов, таких как стекло, керамика, твердых сплавов и т.п. Обработка производится в жидкой среде. Основным элементом ультразвуковой установки (рис. 7.6) является колебательная система, которая служит для приведения в действие рабочего инструмента, и для придания ему колебательного движения с ультразвуковой частотой.

В колебательной системе используется пьезоэлектрический или магнитострикционный эффект, т.е. свойства кристаллов из некоторых материалов изменять свои линейные размеры под действие электрического или магнитного

### Технология конструкционных материалов

полей. Частота механических колебаний кристаллов соответствует частоте изменения электрического или магнитного полей. Установка включает ультразвуковой генератор 4, магнитострикционный преобразователь или вибратор 3 и акустический концентратор 5. Обрабатываемая заготовка 1 помещается в ванну 7 с абразивной эмульсией.

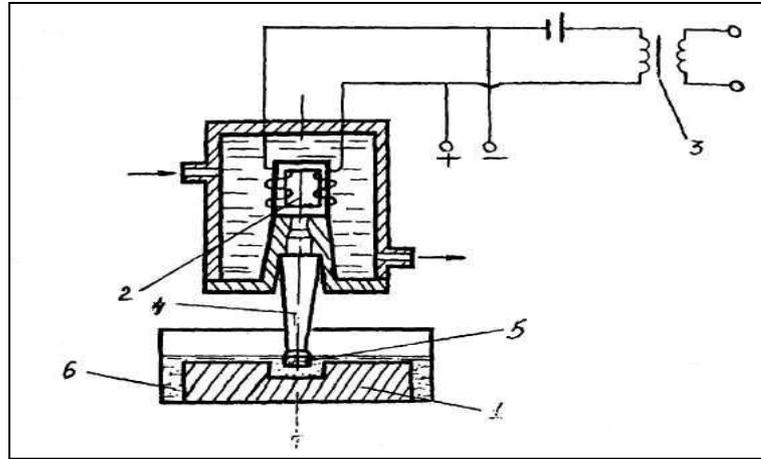


Рис. 7.6

Инструмент 6 прикрепляется к нижней части концентратора, получающего ультразвуковые колебания от вибратора. Вибратор преобразует электрические колебания ультразвукового генератора в механические колебания с частотой 15...30 кГц и амплитудой 0,02...0,06 мм. Кроме того, инструмент получает поступательную подачу с небольшим нажимом, 75...300 кПа. Подача абразивной суспензии осуществляется центробежным насосом. Сущность метода состоит в том, что частицы абразива, будучи взвешенными в воде или в масле, поступают под торцовую поверхность инструмента, вибрирующего с ультразвуковой частотой. Инструмент наносит удары по абразивным частицам и заставляет их внедряться в обрабатываемый материал. Абразивные частицы откалывают и выбивают частички материала. Кроме этого, при колебании жидкости на поверхности обрабатываемой детали в образовавшихся микротрещинах и углублениях появляются кавитационные пузырьки, и происходит явление микрогидроударов, способствующих отслоению отколовшихся частиц. В свою очередь, циркуляция суспензии в зоне обработки способствует уносу выкрошенных частиц. В результате под инструментом образуются углубления, соответствующие форме и размерам инструмента. Этим методом можно получать отверстия любой конфигурации в труднообрабатываемых материалах.

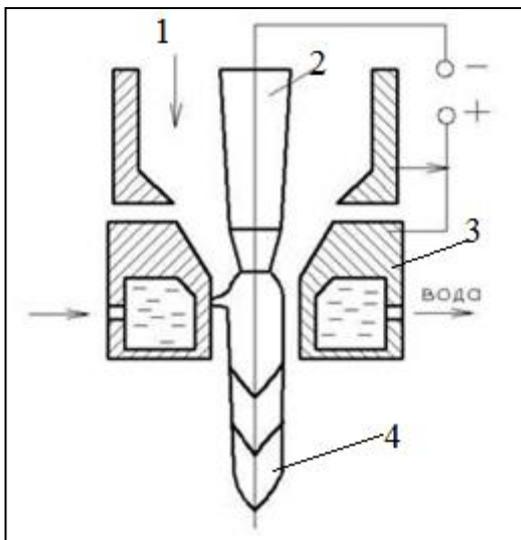
### Плазменная и лазерная обработка

Плазменная обработка относится к группе, так называемых, лучевых методов, которые основаны на возможностях концентрации светового, электронного или ионного (плазменного) луча с высокой плотностью энергии на очень малой площади. В качестве примера рассмотрим плазменную обработку.

Технология конструкционных материалов

В качестве источника энергии в данном методе используется плазменная струя, представляющая собой поток ионизированных частиц, обладающих большим запасом энергии.

Схема установки для создания плазменной струи представлена на рис.5.7.



Плазменная струя 4 создается дуговым разрядом значительной длины, возбуждаемым между электродами 2 и 3 с отверстием в последнем, выполняющим роль сопла. Дуга горит в замкнутом цилиндрическом канале, электрически изолированном от сопла и электрода. Канал и сопло охлаждаются водой. Через канал вдоль столба дуги под давлением подается инертный газ 1. Охлажденный инертный газ обжимает столб дуги в узком канале, в результате чего температура дуги резко повышается, достигая 10000...20000 °С.

Рис. 5.7

Проходя от электрода к соплу через плазму дуги, газ поляризуется и выходит из сопла в виде яркой плазменной струи 4. Струя имеет яркое ядро, которое окружено менее ярким факелом. Изменяя длину дуги, величину тока, размеры сопла и канала, можно изменять длину ядра дуги от 2...3 до 30...50 мм. Выделенная из столба плазменная струя, используется как независимый источник нагрева. Наиболее широкое применение плазменная струя получила для резки металлов и неметаллических материалов, для нанесения тугоплавких покрытий, для сварки металлов с неметаллическими материалами.

В последние годы интенсивно развивается **лазерная обработка** материалов, основанная на принципиально новых источниках энергии – лазерах.

Лазер, или оптический квантовый генератор (ОКГ), создает мощный импульс монохроматического когерентного светового излучения. Благодаря этому лазерное излучение можно сфокусировать на чрезвычайно малую площадь, соизмеримую с квадратом длины волны излучения, и получить рекордные уровни концентрации энергии. Такая концентрация энергии создает возможности для обработки самых различных материалов.

Сущность процесса получения мощного потока световых лучей заключается в том, что атомы любого вещества могут находиться в стабильных и возбужденных состояниях и при переходе из возбужденного состояния в стабильное, они выдают энергию возбуждения в виде квантов лучистой энергии.

Метод обработки лучом лазера основан на использовании внутренней энергии атомов и молекул некоторых веществ для создания мощного светового луча.

Луч, сфокусированный и направленный на поверхность твердого тела (детали), трансформирует лучистую энергию квантов (фотонов) в тепловую и

Технология конструкционных материалов

температура твердого тела резко возрастает и может достигать температуры плавления и испарения.

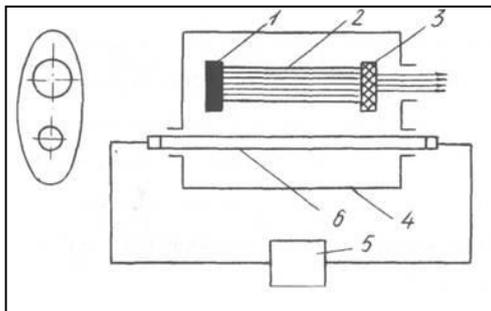
В настоящее время чаще всего для обработки материалов применяются лазеры 3-х типов:

- твердотельные с использованием иттрий-алюминиевого граната, легированного ниодимом (ИАГ, Nd);
- твердотельные на стекле, также легированного ниодимом (Ст, Nd);
- газовые или молекулярные на диоксиде углерода CO<sub>2</sub>.

Приведенные выше типы лазеров обладают большой выходной мощностью. У твердотельных лазеров выходная мощность составляет 50...500 Вт, а у газовых – более 15 кВт. В твердотельных лазерах легирующие элементы, в частности ниодим Nd, добавляются в качестве генерирующих лазерное излучение.

Лазерные установки высокоинтенсивного нагрева имеют в своей основе оптические квантовые генераторы (лазеры).

На рис. 7.8 показан лазер с рубиновым стержнем в качестве рабочего тела. Стержень 2, изготовленный из рабочего вещества, помещен между двумя



зеркалами 1 и 3. Зеркало 1 полностью отражает все падающие на него лучи, а зеркало 3 является полупрозрачным, для накачки энергии используется газоразрядная лампа-вспышка 6, которая помещена вместе со стержнем внутрь отражающего кожуха 4, с поперечным сечением в форме эллипса (показано слева).

Рис. 7.8

Выходящие лучи фокусируются оптической системой и с высокой плотностью и концентрацией энергии направляются на обрабатываемую поверхность детали. Лазеры работают как в режиме непрерывного, так и в режиме импульсного излучения. Лазерный луч выгодно отличается от электронного луча тем, что позволяет обрабатывать материалы в любой среде, передающей луч света. Можно обрабатывать детали, помещенные в герметичные стеклянные ампулы. Луч лазера с помощью зеркал или призм можно направить в труднодоступные для обычной обработки места. В настоящее время лазер находит широко применение при обработке стекла, керамики, алмазов, металлов. При этом могут выполняться самые различные технологические операции, такие как: прошивание отверстий, резка, прорезание узких пазов и щелей, сварка деталей, термическая обработка и др.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова физическая сущность электрофизических методов размерной обработки?
2. Какова сущность электрохимической обработки (ЭХО) и область ее применения?

## Лекция 8: «Технология обработки неметаллических материалов»

Вопросы лекции:

8.1 Обработка материалов резанием.

8.2 Обработка материалов давлением и прессованием.

### Обработка материалов резанием

Придание материалам на основе полимеров соответствующей конструкционной формы с помощью прессования, литья, штамповки и других методов формования не всегда возможно, что связано с усложнением конструкций прессформ и самих процессов формирования. Поэтому возникает необходимость в механической обработке (сверление отверстий, выборка пазов, образование поверхностей соприкосновения и др.). Большинство материалов на основе полимеров хорошо поддается обработке резанием и выполняется на обычном металлорежущем оборудовании. Однако скорость резания и скорость подачи, а также инструмент для их обработки должен быть несколько видоизменен в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Следует учитывать также и температурный режим в зоне резания, так как возможны деформирование деталей, деструкция материала, выделение вредных газообразующих продуктов и пыли.

**Токарная обработка деталей из пластмасс** обычно ведется на универсальных металлорежущих станках и токарных автоматах при высоких скоростях резания, но со снятием тонкой стружки. В большинстве случаев охлаждающую жидкость не применяют, однако при обработке термопластичных материалов допустимая температура в зоне резания не должна превышать 100...120 °С, а для термореактивных – 200...300 °С. Следует учитывать, что температура в зоне резания определяется не только скоростью резания, скоростью подачи, глубиной резания, свойствами обрабатываемого материала, но и правильностью и качеством заточки режущего инструмента и свойствами материала режущего клина.

При токарной обработке деталей из пластмасс применяются резцы, режущий клин которых изготовлен из быстрорежущей стали (марок Р9, Р12, Р6М3, Р10К5Ф5 и др.), твердых сплавов (ВК4, ВК8, Т15К6 и др.), минералокерамики (ЦМ332), кубического нитрита бора (эльбор) и алмазов, т.е. тех материалов, которые имеют высокую теплостойкость и теплопроводность.

Токарные резцы для обработки пластмасс отличаются от аналогичных для обработки металлов углами заточки.

При обработке пластмасс необходимо увеличивать задний угол  $\alpha$  резца до 15...25°, так как вследствие высоких упругих свойств пластмасс увеличивается площадь контакта резца с деталью, что приводит к быстрому износу режущей кромки резца и повышенному тепловыделению. Для материалов со сливной стружкой, например, как у термопластов, оптимальный передний угол у резца находится в пределах 10...20°. При обработке термореактивных материалов с

## Технология конструкционных материалов

ломкой стружкой передний угол  $\alpha$  выбирают в пределах  $0...5^{\circ}$ , а вершину резца выполняют с радиусом  $1,5...3,0$  мм. Главный угол  $\varphi$  в плане для проходных резцов составляет  $45^{\circ}$ , а вспомогательный  $0...5^{\circ}$ , угол наклона режущей кромки  $\lambda = 0^{\circ}$ .

Скорость резания выбирают исходя из обрабатываемого материала и типа режущего инструмента. Для термопластов, обрабатываемых быстрорежущими резцами, скорость резания выбирается в диапазоне  $600...900$  м/мин, а при обработке резцами из инструментальной углеродистой стали – до  $100$  м/мин. Подача при черновой обработке составляет  $0,3... 0,6$  мм/об, при чистовой  $0,05...0,2$  мм/об. При обработке терморезистивных материалов с дисперсными наполнителями скорость резания, в зависимости от вида пластмасс, выбирается в диапазоне  $100...500$  м/мин. Подача до  $0,3$  мм/об.

Слоистые пластики типа текстолита и гетинакса обрабатывают быстрорежущими резцами при скоростях резания  $50... 120$  м/мин и твердосплавными – при скоростях  $200...300$  м/мин и подаче  $0,1...0,3$  мм/об. Пластики, наполненные стекло- и асболовном, углеграфитными и борными волокнами, обрабатывают твердосплавными резцами при скоростях  $125...150$  об/мин. Применение алмазного инструмента позволяет повысить скорость резания до  $1300$  м/мин при подаче  $0,05$  мм/об и глубине резания до  $1$  мм. Параметры резца следующие:  $\gamma = 0...3^{\circ}$ ;  $\alpha = 8...12^{\circ}$ ;  $\varphi = 30...90^{\circ}$ ;  $\varphi_1 = 0...10^{\circ}$ ;  $\lambda = 0^{\circ}$ ;  $r = 0,2...0,3$  мм.

От режимов обработки зависит не только производительность процесса, но и шероховатость поверхности, на которую наибольшее влияние оказывает подача. Чем меньше подача, тем меньше высота микронеровностей. При обработке термопластов устойчиво получается шероховатость в пределах  $Ra 2,5...10$ , а при чистовом –  $Ra 0,63...1,25$  мкм. При обработке терморезистивных материалов шероховатость достигается в пределах  $Ra 2,5... 10$  мкм. Меньшей шероховатости можно достичь лишь при обработке алмазным инструментом. Его целесообразно применять для обработки оргстекла с целью получения полной прозрачности обрабатываемой поверхности.

**Фрезерованием** обрабатываются обычно кромки для последующей стыковки отдельных деталей, листов, реже для дополнительной обработки сложных контуров на уже сформированной детали.

Фрезерование пластмасс осуществляется на обычных горизонтально- или вертикально-фрезерных станках, оснащенных специальными устройствами для улавливания и отсоса стружки и пыли, а также различными зажимными приспособлениями и устройствами.

Обработка ведется цилиндрическими или коническими фрезами со специальным спиральным зубом и углом наклона главных режущих кромок к оси фрезы  $\omega = 20...25^{\circ}$ , торцевыми и фасонными фрезами.

Фрезы для обработки пластмасс, в отличие от фрез для обработки металла, должны иметь по возможности меньшее число зубьев, так как при этом увеличивается объем стружечных канавок, большие задние углы, простую форму передней поверхности. Большой угол наклона главных режущих кромок к оси фрезы выполняется с целью обеспечения плавности работы и снижения ударной нагрузки на режущие кромки зубьев. Передний угол обычно выбирается в диапазоне  $10... 15^{\circ}$ , задний –  $10...25^{\circ}$ .

Технология конструкционных материалов

При обработке термопластичных материалов угол наклона зубьев к оси фрезы выбирается равным  $20...25^\circ$ , при заточке допускается фаска на задней поверхности зубьев размером до 0,03 мм. Фрезерование деталей из термопластов производится при скоростях 300...900 м/мин, а реактопластов – 80...200 м/мин, глубина резания рекомендуется не более 2,5...3,0 мм. Охлаждение зоны резания производится струей воздуха, в отдельных случаях используют эмульсии. Фрезы изготавливаются из быстрорежущей стали или из твердых сплавов.

Для обработки реактопластов используют фрезы из быстрорежущей стали или с твердосплавными пластинами. Применяют обычно фрезы с углом наклона спирали  $45...50^\circ$ ,  $\alpha = 16...25^\circ$ ,  $\gamma = 5...8^\circ$ . Использование фрезы с наклонным зубом обеспечивает плавность ее врезания в материал и уменьшает количество пыли при обработке наполненных пластмасс.

При обработке слоистых пластиков фрезерованием следует применять специальные фрезы из быстрорежущих сталей с меньшим числом зубьев, чем для металла (обычно 5), с углом наклона главной режущей кромки  $\omega = 55^\circ$ , чтобы направление вращения фрезы совпадало с направлением подачи во избежание расслаивания и сколов материала. Скорость резания выбирают в диапазоне 50...400 м/мин, подача 0,04...0,5 мм/зуб.

Слоистые пластики, армированные стекло- и асболовном, углеродными волокнами, рекомендуется обрабатывать фрезами с твердосплавными пластинами при скоростях резания 125...300 м/мин и подачах 0,1...0,3 мм/зуб. При хлопчатобумажных наполнителях –  $V=300...500$  м/мин и  $S=0,3...0,5$  мм/зуб. На прорезных фрезах необходимо заточить режущие кромки и по торцу, что снижает трение и улучшает тепловой режим резания.

Плоскости и уступы обрабатываются торцовыми фрезами с твердосплавными пластинами со следующими углами заточки:  $\alpha = 20...25^\circ$ ;  $\gamma = 0...16^\circ$ ;  $\varphi = 45...90^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ . Скорость резания для термопластов составляет 200...500 м/мин, для реактопластов стеклонаполненных 40...400 м/мин, других 200...600 м/мин. Подача для термопластов выбирается в диапазоне 0,3...0,6 мм/зуб, для реактопластов стеклонаполненных 0,03...0,2 мм/зуб, содержащих другие наполнители 0,2...0,7 мм/зуб.

Для обработки фасонных поверхностей деталей применяются фасонные фрезы. При обработке слоистых материалов такими фрезами рекомендуется скорость резания не более 200 м/мин при подаче 0,03...0,08 мм/зуб.

**Сверление** может быть как окончательной операцией, так и предварительной перед зенкерованием, развертыванием и нарезанием резьб. В качестве режущих инструментов используют перовые и спиральные сверла из быстрорежущей стали, сверла с твердосплавными пластинами, алмазные сверла, вырезные резцы.

Отверстия большого диаметра в листовом материале могут вырезаться специальным циркульным резцом (рис. 8.1).

## Технология конструкционных материалов

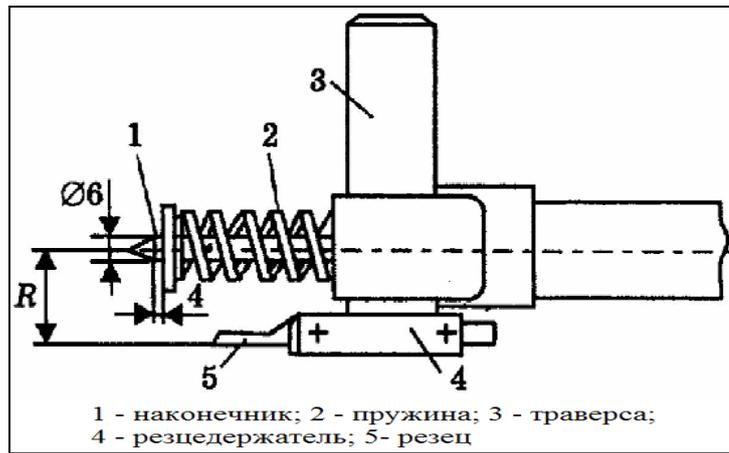


Рис. 8.1

Сначала сверлится малое отверстие для фиксирования хвостовика инструмента, а затем производят вырезание отверстия необходимого диаметра. При сверлении в пластмассах необходимо учитывать сужение отверстий после обработки на 1..2 % вследствие высоких упругих свойств материалов. Соответственно необходимо выбирать сверло большего диаметра. Кроме того, для уменьшения трения ширину направляющей ленточки сверла необходимо делать не более 0,5 мм.

Во избежание выламывания или выкрашивания пластмасс на выходе сквозное сверление нужно производить на гладких прокладках из более мягкого материала, например, из древесины. При глубине сверления более 2,5 диаметров отверстия необходимо периодически извлекать сверло из отверстия для удаления стружки и охлаждения. Желательно охлаждение производить сжатым воздухом. Для лучшего удаления стружки сверло должно иметь больший угол  $\omega$  (15... 17°) и широкую стружечную канавку с полированной поверхностью.

Во избежание выкрашивания материала в процессе обработки тонкостенных и полых деталей, а также листового материала из термопластичных материалов применяют сверла с углом при вершине  $2\varphi = 55...60^\circ$ , а для сверления оргстекла – с двойным углом заточки  $2\varphi_0 = 70^\circ$ ,  $2\varphi = 130...140^\circ$  (рис. 8.2). Сверление осуществляется при скорости резания 40...50 м/мин и подаче 0,05...0,1 мм/об.

Лист необходимо зажимать в тисках или между прижатыми пластинами во избежание расслоения. Подача и скорость резания выбираются в зависимости от типа пластика.

Сверление термопластичных материалов может производиться сверлами как из быстрорежущей стали, так и оснащенными твердосплавными пластинами. Сверлами из быстрорежущей стали сверлятся отверстия небольшого диаметра и в реактопластах. Отверстия диаметром более 5 мм в стекло- и асбонаполненных пластмассах обрабатывают твердосплавными сверлами. Скорость резания составляет 45...90 м/мин, а подача – 0,05...0,1 мм/об.

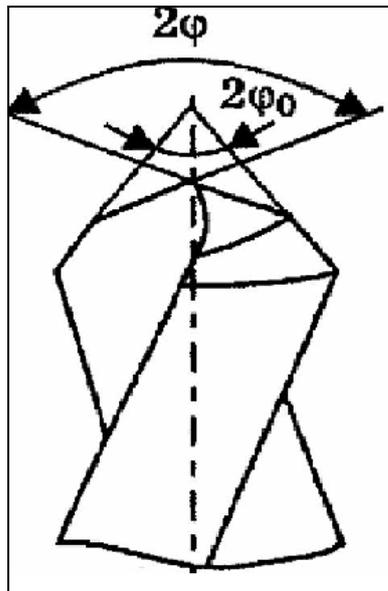


Рис. 8.2

Отверстия малого диаметра в композитах с дисперсным наполнителем выполняют сверлами с углом заточки  $2\phi = 30...40^\circ$ . Отверстия диаметром более 10 мм необходимо предварительно обработать сверлом диаметром 5...6 мм, а затем рассверлить их большими сверлами.

Для уменьшения трения и износа сверл задние углы делают больше, чем при обработке металла. Обычно  $\alpha = 10...25^\circ$ . Передний угол сверл выбирается в пределах  $0...15^\circ$ .

При сверлении отверстий в пенопластах используются спиральные сверла, пустотелые сверла-пилы или трубчатые сверла. Отверстия диаметром 10...20 мм обрабатывают спиральными сверлами из углеродистых сталей У8А, У10А. Подрезающие кромки затачивают под углом  $30^\circ$ . Задние поверхности сверла затачивают под углами  $\alpha = 25^\circ$  и  $\alpha_0 = 60^\circ$ . Скорость резания выбирается в диапазоне 40...250 м/мин, подача – 0,3...0,5 мм/об. Сверло необходимо периодически извлекать из отверстия для удаления стружки. Отверстия диаметром до 10 мм можно выполнять с помощью коронок, представляющих собой полый закаленный металлический стержень из стали У10А с заостренной режущей частью. Производится прошивка отверстий без вращения. Отверстия диаметром более 20 мм выполняют трубчатыми сверлами и сверлами-пилами.

При необходимости получения отверстий с более точными размерами после сверления производится **развертывание** посредством разверток при скоростях резания 40...90 м/мин с подачей 0,1...0,6 мм/об. Обычно под развертку оставляют припуск 0,1...0,2 мм. Достигается 6-7-й квалитеты точности обрабатываемой поверхности.

Используются цилиндрические и конические развертки с прямыми или спиральными зубьями из быстрорежущих сталей с углами заточки  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 8^\circ$ .

**Нарезание резьбы** в пластмассовых деталях возможно двумя путями: без снятия и со снятием стружки. В первом случае резьба воспроизводится непосредственно при изготовлении детали в форме (однако вследствие усадки

пластмасс при отверждении точность такой резьбы невысока). Этот способ применяется для деталей с малонагруженными или неответственными резьбовыми соединениями.

Резьба со снятием стружки оформляется в деталях на металлорежущих станках. Наружную резьбу выполняют резбонарезными головками, плашками, резцами, резьбовыми гребенками, абразивными кругами, а внутреннюю – метчиками и резцами. Режущий инструмент изготавливается из быстрорежущей стали и твердых сплавов. Твердосплавные метчики применяются с двумя-тремя полированными канавками, несколько более широкими, с передним углом от  $-10^\circ$  до  $+10^\circ$ . Наружный и средний диаметры метчиков увеличивают на  $0,05...0,13$  мм.

**Распиливание** пластмасс производится с помощью дисковых, ленточных и циркулярных пил, а для ряда пластмасс – термоэлектрическим методом.

Выбор конструкции режущего инструмента и режимов резания нужно производить с учетом особенностей пластмассы, ее упругих свойств, возможности оплавления в зоне резания и налипать на режущий инструмент, ее теплопроводности и т.д. При заточке зубьев фрез на задних и боковых поверхностях цилиндрические фаски не допускаются. Для обработки пластмасс нельзя использовать фрезы с большим шагом и малым числом зубьев. В контакте с материалом должны находиться одновременно минимум два зуба, что повышает качество реза и предотвращает сколы материала.

Распиловку тонкого листового материала рекомендуется производить пилами с соответствующей формой пластин из твердого сплава (рис. 8.3) или из быстрорежущей стали с симметричным зубом и разводом  $0,3...0,5$  мм на сторону. Для распиловки термопластичных материалов толщиной до 15 мм используются фрезы и пилы из легированных сталей 9Х5ВФ, 9Х8, У8А, а также из быстрорежущих сталей диаметром  $100...250$  мм с числом зубьев  $120...140$ , толщиной до 5 мм, с углами заточки  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$ . Зубья пил должны быть разведены симметрично в обе стороны.

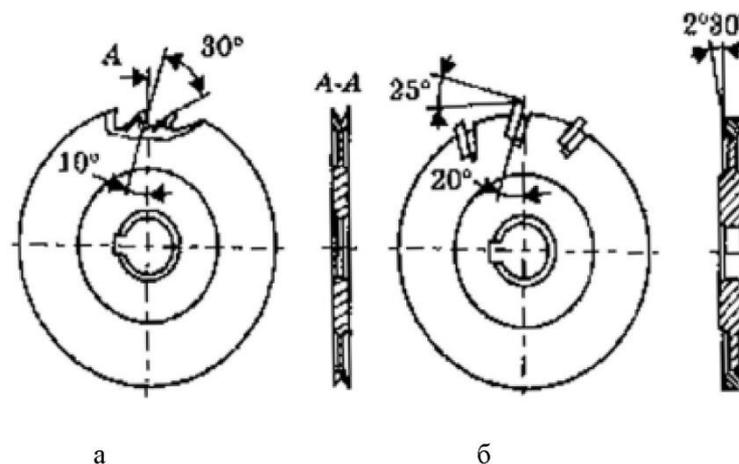


Рис. 8.3

## Технология конструкционных материалов

Листовой материал из реактопластов типа гетинакса и текстолита толщиной до 45 мм разрезают дисковыми фрезами из быстрорежущей стали или фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами. При распиловке инструментом из быстрорежущей стали рекомендуется выбирать скорости резания 150...400 м/мин и подачи 0,2...0,5 мм/зуб, а твердосплавным инструментом – соответственно 600...1000 м/мин и 0,07...0,3 мм/зуб.

Разрезку стекло- и асбонаполненных реактопластов производят также корундовыми и алмазными абразивными кругами. Обработку корундовыми кругами толщиной 3...6 мм и диаметром 350 мм следует производить со скоростями резания до 50-60 м/с и подачи 0,01...0,6 м/мин – в зависимости от толщины и направления распиловки относительно армирующих волокон. При разрезке алмазными кругами диаметром 200 мм и толщиной 1,2...2,0 мм на металлической связке высокое качество реза и высокую стойкость инструмента обеспечивают скорости резания 25...30 м/с с подачей 1,0... 1,5 м/мин и охлаждение водой.

Для получения деталей фасонного профиля, резки труб, стержней и других профилей применяют разрезку на ленточных станках. Используют стандартные ленточные пилы (рис. 8.4) шириной 10...25 мм, толщиной 1,0... 1,5 мм с 1,5...5,0 зубьями на 10 мм длины пилы. Зубья пил затачиваются под углами  $\gamma = 5..8^\circ$  и  $\alpha = 15..40^\circ$ . Листовой материал толщиной до 2 мм режут полотнами с мелким зубом без развода. Распиловку более толстых листов производят пилами с более крупным зубом и разводом в обе стороны на половину толщины пилы. Скорость резания выбирают в диапазоне от 300 до 600 м/мин.

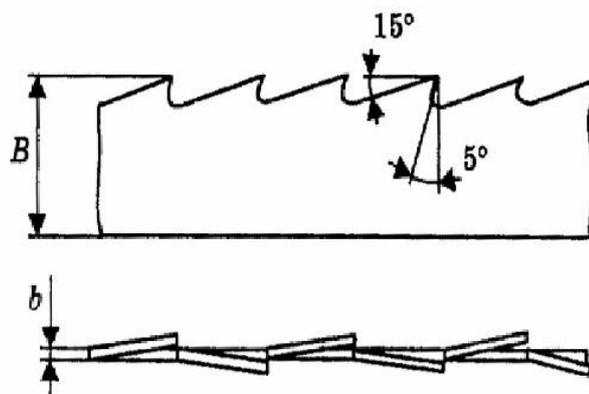


Рис. 8.4

Тонкий листовой материал можно разрезать ручными ножницами для металла или на механических гильотинах. При этом необходимо обеспечить зазор между лезвиями не более 0,1...0,2 мм, плотно прижимать лист к столу у линии реза. Без подогрева хорошее качество реза обеспечивается на текстолитах и гетинаксах толщиной до 0,8 мм, на штамповочном гетинаксе, текстолите с плотной тканью, асботекстолите толщиной до 1,5 мм, стеклотекстолите до 3 мм. При предварительном подогреве листов до 120 °С можно резать на гильотинных ножницах листы толщиной до 3,0 мм, а стеклотекстолит – до 9 мм. Листовые

Технология конструкционных материалов

термопласты толщиной до 2,0...2,5 мм, за исключением полистирола и оргстекла, можно резать ножницами без подогрева. Жесткие и хрупкие материалы, например, полистирол, оргстекло, дисперснонаполненные феноло-формальдегидные и мочевино-формальдегидные композиции раскрою ножницами не подлежат.

Вырезку круглых заготовок из листового материала (оргстекла, винипласта) производят циркульным резцом.

Пенопласт можно разрезать как механическим путем на ленточных и круглопильных станках, так и термоэлектрическим методом. Круглые пилы применяют с профилем зуба в виде равностороннего или равнобедренного треугольника с мелким зубом и разводом на 0,15 мм на сторону. Ленточные пилы применяют с прямоугольным профилем, косой заточкой и разводом на 0,15 мм на сторону. Скорость подачи материала должна быть не выше 1,25 м/мин.

**Термоэлектрический метод** резки схематически представлен на рис. 8.5.

Разрезаемая заготовка 4 помещается между двумя опорными поверхностями 2. Проволока 6 из высокоомного сплава (например, нихрома) подключается к низковольтному источнику питания 7 и, нагреваясь до температуры 400...500 °С, расплавляет материал. Под тяжестью траверсы 1 она автоматически перемещается вниз, разрезая заготовку. На специальных электролобзиках можно вырезать этим методом любые фасонные изделия.

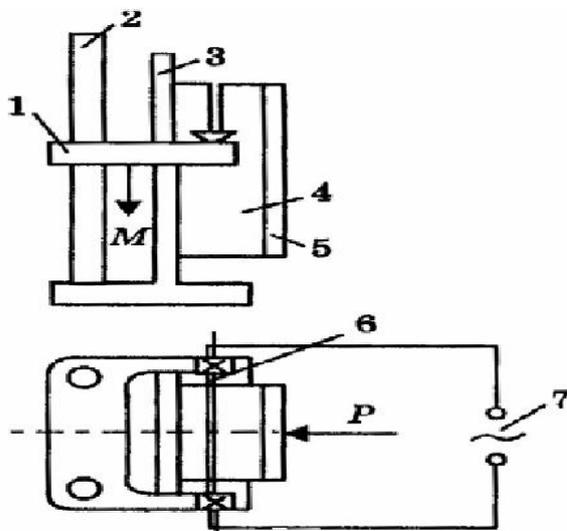


Рис. 8.5

**Шлифование** пластмасс можно производить на станках, оснащенных специальными дисками, или ручным способом с помощью наждачной шкурки. Используют этот процесс в основном для снятия заусенцев с деталей, полученных прессованием, для подготовки деталей к склеиванию, а также для обработки поверхностей, подвергающихся механической обработке, если это требуется по условиям эксплуатации.

Для черного шлифования деталей из amino- и фенопластов рекомендуется карборундовые круги твердости M1, M2, C1, CM2 с зернистостью 20...36. Режимы резания следующие: скорость 35...40 м/с, продольная подача 0,07...0,20 мм, поперечная подача 0,1...0,2 мм. Чистовую обработку производят аналогичными кругами, но зернистостью 60...80 при скорости резания 30...40 м/с, глубине 0,01...0,10 мм и поперечной подаче 0,01...0,10 мм.

Текстолит обрабатывают абразивными кругами зернистостью 30...40 на мягкой связке, со скоростью резания не менее 25 м/с при глубине 0,1 мм и поперечной подаче 3...5 мм/дв.х.

## Технология конструкционных материалов

Термопласты шлифуют мягкими кругами, набранными из плотного полотна (муслина или сукна), смазанного пастой из тонкоизмельченной пемзы. Для исключения «прижога» материала при обработке необходимо, чтобы длительность контакта круга с изделием была не более 1,5 с, а давление не более 0,05...0,15 МПа.

Полирование деталей производят с целью устранения с их поверхностей следов предшествующих технологических операций и поверхностных дефектов, полученных в процессе изготовления (например, матовости поверхностей), а также придания им блеска.

Полировальные круги изготавливают наборными из тканей (хлопчатобумажной, байковой, суконной). Твердые полировальные круги набираются в шайбы (диаметром 200...400 мм) и толщиной 60... 100 мм, зажатые с двух сторон металлическими прокладками. Применяют их для выведения рисок, царапин и других глубоких дефектов.

Окончательное полирование производят мягкими и самоохлаждающимися дисками. Самоохлаждающиеся диски изготавливают путем набора и уплотнения пакета из хлопчатобумажных дисков диаметром 150...300 мм и 40...75 мм, чередуя каждый диск большого диаметра двумя малыми. Толщина пакета обычно составляет 100... 120 мм. В качестве полировальных паст для сухого полирования используют абразивные компоненты (карборунд, корунд, оксид хрома и др.) в различных соотношениях с воскообразными веществами или маслами (парафином, церезином, пчелиным воском, машинным, веретенным и другими маслами).

«Сухое» полирование применяют для реактопластов. Для термопластов применяют «мокрое» полирование составом, состоящим из измельченной пемзы двух сортов, взятых в соотношении 0,5... 1,5, замешанных на воде до густой пасты, наносимой на полировальные круги. Эти составы используют для грубой полировки. После промывки выполняют окончательное «сухое» полирование.

При обработке оргстекла может применяться «огневое» полирование, заключающееся в воздействии водородно-воздушного пламени в течение нескольких секунд на предварительно обработанную поверхность.

Характерной особенностью неметаллических конструкционных материалов (пьезокерамика, вакуумная и конденсаторная керамика, керамика, стекло, ферриты, полупроводники, двуокиси кремния, талька, кварца и др.) является их низкая обрабатываемость, высокая твердость, износостойкость и склонность к разрушению при местной даже незначительной концентрации напряжений. Обработка этих материалов режущим инструментом затруднена, а абразивным – малопроизводительна. На обработанной поверхности деталей часто возникают сколы, трещины и микротрещины, которые очень трудно вывести при последующих чистовых операциях.

Широко распространенным методом механической обработки таких материалов является обработка алмазными кругами.

Алмазные круги, как и абразивные, характеризуются геометрической формой, материалом абразивного зерна, типом связки, величиной зерен, степенью твердости, структурой, расположением зерен и т.д. Одним из основных

## Технология конструкционных материалов

параметров характеристики является зернистость алмазов в алмазоносном слое круга.

Шлифование проводят с охлаждением струей 2 %-ного водного раствора экстрадиола в количестве 10... 12 л/мин.

При обработке неорганических материалов алмазными кругами изменение сил резания носит пульсирующий характер. Циклическое действие сил резания и температурные факторы создают благоприятные условия для разрушения алмазных зерен и износа алмазного круга, что определяет стойкость алмазного инструмента. В зависимости от формы, а также прочностных характеристик алмазные зерна обладают различной способностью противостоять действию внешних сил; если нагрузка превышает некоторый определенный для данных конкретных зерен предел, то наступает разрушение. Температурные воздействия могут создавать благоприятные условия для появления термических трещин на поверхности зерен алмаза. Циклическое действие силы приводит к вырыванию отдельных участков из основной массы алмазного зерна. Интенсивность износа круга по мере его эксплуатации неравномерна (вначале износ незначителен, спустя 50...80 мм износ достигает пикового значения, затем снижается в 2- 3 раза и удерживается постоянным на протяжении 210...270 мин, после чего начинает интенсивно возрастать). В период стабильного износа круга по мере увеличения времени работы производительность процесса снижается, а шероховатость обработанной поверхности детали растет.

Наибольшую эффективность механической обработки хрупких неорганических конструкционных материалов обеспечивает процесс шлифования с применением кругов типа АПП200 из синтетических алмазов АСР зернистостью 200/160 и 100% концентрации алмазов на поверхности круга. Керамические материалы на основе двуоксида кремния (керсил, ниасит и др.), а также кварцевое стекло рекомендуется обрабатывать кругами на связках Т02, МК и МI, стекла группы тяжелых флинттов – кругами МК, Т02 и М52, а боросиликатные стекла – кругами М52 и МI.

При резании труднообрабатываемых материалов очень широко применяется ультразвук. Этот метод особенно эффективен при изготовлении отверстий и полостей сложной формы, получение которых другими методами затруднено или вообще невозможно.

При ультразвуковой обработке достигается высокое качество поверхностного слоя, что приводит к существенному повышению износостойкости и усталостной прочности твердосплавных штампов, матриц, пресс- форм, фильер и др. Зачастую ультразвуковой способ обработки совмещают с электрохимическим, при этом производительность обработки повышается в 10 раз, а износ инструмента снижается в 8...10 раз.

Метод ультразвуковой размерной обработки сводится к подаче в зону работы инструмента абразивной суспензии (зачастую под давлением) и ультразвуковых колебаний от концентратора колебаний, подключенного к ультразвуковому генератору. Для повышения производительности процесса применяют одновременное сообщение вращательных движений инструменту и заготовке.

Для ультразвуковой обработки стекла, минералокерамики и других хрупких материалов используется способ обработки непрофилированным инструментом –

### Технология конструкционных материалов

тонкой проволокой. Получается своеобразный «ультразвуковой лобзик», который позволяет вести контурную вырезку, обработку узких пазов (шириной менее 0,1 мм), разрезку заготовок (при толщине обрабатываемого материала более 10 мм).

При механической обработке твердых неметаллических материалов, особенно при сверлении отверстий малого диаметра на большую глубину, применяется ультразвуковое резание с обработкой вращающимся алмазным инструментом. Для этой цели используются специальные ультразвуковые вращающиеся головки, устанавливаемые на обычных металлорежущих станках. Также возможно применение специализированных ультразвуковых станков (например, марки МЭ-22).

Ультразвуковое сверление стекла, керамики и ситаллов алмазным инструментом на металлических связках является высокопроизводительным способом обработки глубоких отверстий (диаметром 3...10 мм и глубиной до 500 мм). Наиболее высокие режущие свойства имеют синтетические монокристалльные алмазы САМ и натуральные алмазы. Технологические характеристики алмазного сверления существенно зависят от прочностных свойств связки, увеличение прочности связки в 1,5-2 раза приводит к повышению производительности на 50...60% и снижению удельного расхода алмазов в 2 раза. Наиболее высокие режущие свойства имеют сверла на металлических связках М5-6 и М5-10. Оптимальные режимы сверления отверстий малого диаметра: удельная сила подачи  $p=200...400 \text{ Н/см}^2$ , число оборотов  $n = 1800...2400 \text{ об/мин}$ , амплитуда колебаний режущего инструмента 10...11 мкм, зернистость алмазов АМ160/125 и САМ 160/125, концентрация  $K= 100... 150 \%$ .

Большинство резиновых материалов легко поддается обработке резанием. Однако высокая эластичность резиновых материалов не позволяет при обычной температуре придать резиновому изделию соответствующую конфигурацию с требуемой точностью. Исключение составляют эбониты и многослойно армированные резиновые материалы. Благодаря высокой твердости эбонита он хорошо обрабатывается резанием на металлорежущих станках с применением тех же режущих инструментов, что и для обработки конструкционных сталей. Эбонит хорошо обрабатывается точением, фрезерованием, легко сверлится, разворачивается, поддается нарезанию резьбы, очень хорошо полируется и т.д., однако достаточно хрупок.

В основном требуемая форма резиновых изделий получается формовкой с последующей вулканизацией. Однако на практике зачастую возникает необходимость обработки резины резанием. Для придания резине требуемой твердости заготовку замораживают до достаточно низкой температуры, например, помещают на некоторое время в жидкий азот. Затем осуществляют обработку резанием. Следует учитывать, что после замораживания линейные размеры полученной детали изменяются (увеличиваются) за счет значительного температурного коэффициента линейного расширения. Точность изготовления детали зависит от опыта специалиста по обработке материалов резанием. Процесс замораживания и последующего размораживания может также привести к незначительному изменению физико-механических свойств материала обработанной детали.

## Обработка материалов давлением и прессованием

Обработка материалов давлением и прессованием предусматривает ряд технологических методов (прямое прессование, литьевое прессование, литье под давлением, центробежное литье, экструзия, штамповка, пневмо- и вакуумформование и др.), от которых зависит устройство и вид технологического оборудования, причем в большинстве случаев обработка материалов осуществляется при определенной температуре.

Схема изготовления детали **методом прямого прессования** аналогична схеме для обработки металла. Она предусматривает наличие пуансона, толкателя для удаления детали из пресс-формы, матрицы и устройства, создающего требуемое давление. Загрузка материала для прессования строго дозирована. Если обработка материала идет при температуре, отличной от температуры окружающей среды, то осуществляется подогрев материала и пресс-формы. Подогрев может осуществляться самыми различными методами, наиболее распространенными из которых являются спиральный (терморезистивный) и нагрев токами высокой частоты (10...20 МГц).

Длительность нахождения материала в пресс-форме зависит от свойств обрабатываемого материала. В зависимости от природы обрабатываемого материала удаление готового изделия из пресс-формы может осуществляться либо сразу после формирования, либо оно требует охлаждения (нагрева) вместе с пресс-формой (технологический процесс требует наличия большого количества пресс-форм). Готовая деталь извлекается из формы только после полного отверждения материала. При такой обработке вес пресс-формы с материалом не должен превышать 20 кг.

Метод прямого прессования наиболее прост, однако имеет много недостатков: сложность организации массового производства деталей, трудность изготовления тонкостенных изделий и деталей сложной конфигурации.

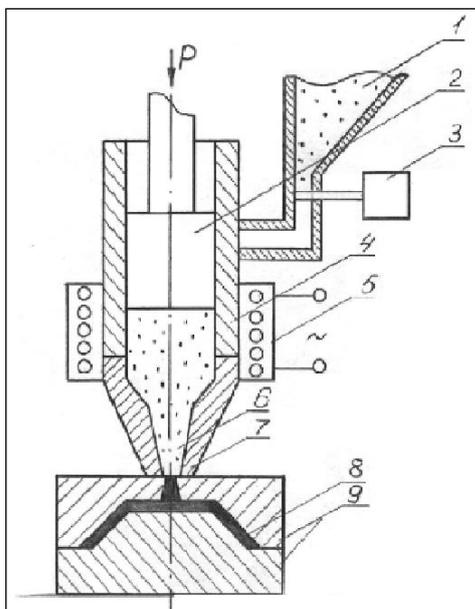


Рис. 8.6

**При литьевом давлении и прессовании** (рис. 8.6) перерабатываемый материал 6 загружают в обогреваемую камеру 4, содержащую воронку для загрузки материала 1, корпус, пуансон 2 и литниковую систему 7. Замкнутая пресс-форма перемещается к обогреваемой камере так, чтобы литниковая система состыковалась с литником пресс-формы.

## Технология конструкционных материалов

После нагрева пресс-массы до температуры перехода в вязкотекучее состояние материал под давлением пуансона через литниковую систему подается в формующую полость пресс-формы 8. После отверждения массы деталь извлекается из формы. Зачастую требуется предварительный подогрев пресс-формы, а также иногда требуется охлаждение детали в пресс-форме на воздухе, обдувом или в другой среде.

К пресс-форме предъявляется ряд требований в части выдержки технологических углов изготавливаемой детали, шероховатости рабочих поверхностей пресс-формы (обычно шлифование с последующим никелированием) и др. При обработке некоторых материалов на внутреннюю полость пресс-формы наносят антиадгезионные материалы.

Отличие литьевого прессования от литьевого давления заключается в том, что при прессовании в техническом цикле изготовления детали используется весь материал, загружаемый во внутреннюю полость обогреваемой камеры. Это особенно важно для терморезистивных материалов, время нахождения которых в вязкотекучем состоянии мало. Для этого используют специальное дозирующее устройство или ограничивают объем обогреваемой камеры.

Пресс-форма может состоять из двух и более деталей – в зависимости от сложности конфигурации изготавливаемого изделия.

Этот метод более технологичен, чем метод прямого прессования, и позволяет изготавливать тонкостенные детали самой сложной конфигурации. Литье может производиться как в одно-, так и в многоместные формы, что определяется геометрическими размерами и массой деталей, а также возможностями литьевой машины.

При наличии большого количества пресс-форм и автоматизации процесса изготовления деталей литье под давлением можно использовать и для тех материалов, время нахождения которых в вязкотекучем состоянии мало. Для этого используется шнековая подача материала. При шнековой подаче материал захватывается из бункера червяком и перемещается по винтовому каналу вдоль цилиндра к соплу, при этом происходит перемешивание материала, его уплотнение и равномерный нагрев. Причем нагрев осуществляется не только за счет внешнего источника теплоты, но и за счет трения и сдвиговых усилий в канале червяка, особенно в момент перемещения к соплу очередной пресс-формы, когда сопло перекрыто. Необходимая доза впрыска материала в пресс-форму осуществляется поступательным перемещением червяка под действием гидроцилиндра.

Для материалов, требующих значительного давления при прессовании, применяются литьевые машины с отдельными цилиндрами пластикации и ижекции. Из пластикационного канала под создаваемым червяком давлением материал, находящийся в вязкотекучем состоянии, поступает в ижекторный цилиндр, откуда под действием плунжера впрыскивается в литьевую форму. Для литья многоцветных изделий применяются литьевые машины с несколькими парами пластикационных и ижекторных цилиндров, причем последние работают на одно сопло с последовательным или одновременным впрыскиванием.

Технология конструкционных материалов

Машины для центробежного литья представляют собой формующую матрицу, которая имеет горизонтальное, вертикальное или пространственное вращение. Расплавленная масса заливается в форму и приводится во вращение.

Под действием центробежных сил расплав заполняет периферийную зону матрицы и, застывая, приобретает нужную форму и размеры. Для качественной переработки материала матрица предварительно подогревается до требуемой температуры.

Для изготовления фасонных изделий, длина которых во много раз превосходит размеры поперечного сечения (полосы, пленки, шланги, трубы и др.), применяют методы экструзии, каландрирования, экструзокаландрирования, экструзионно-раздувного формования. При этом подача перерабатываемого материала может быть как шнековой, так и плунжерной, шнек-плунжерной.

**Плунжерная обработка материала** заключается в загрузке определенной дозы материала в рабочий цилиндр, создание соответствующего температурного режима обработки и выдавливания материала через литьевое отверстие (фильер), имеющее соответствующую форму профиля изготавливаемого изделия. На выходе литьевого отверстия устанавливают обрезной механизм. Готовые изделия обрезаются на требуемую длину, подвергаются соответствующей обработке и укладываются в лотки.

При шнековой подаче материала процесс экструзии осуществляется непрерывно. Пример изготовления труб этим методом представлен на рис. 8.7.

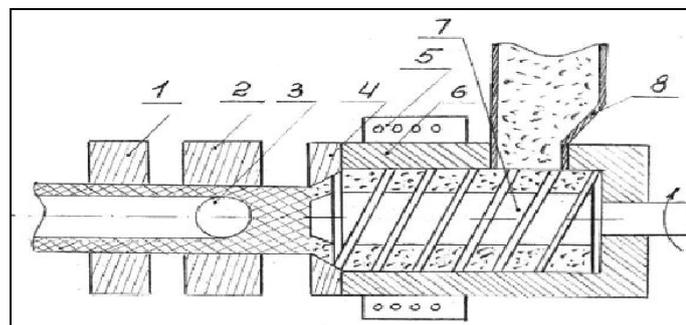


Рис. 8.7

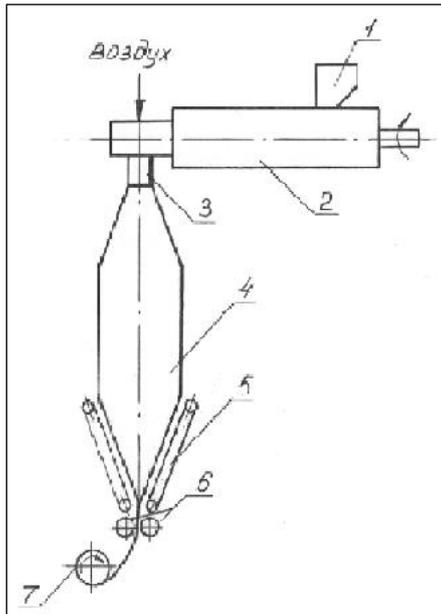
Материал загружается в бункер 8 и с помощью вращающегося шнека 7 передвигается вдоль обогреваемого цилиндра 6 к фильеру 4, имеющему соответствующий профиль. Формирование внутреннего диаметра трубы осуществляется с помощью дорна 3, а внешнего – калибрующим мунштуком 2. Для уплотнения материала по мере продвижения к фильеру и создания необходимого давления шнек изготавливается или с переменным шагом, уменьшающимся по ходу перемещения материала, или с переменным живым сечением, уменьшающимся в том же направлении. Выходящее из экструдера изделие охлаждается в охлаждающем устройстве 1 и наматывается на барабан или скручивается в бухту.

Для изготовления труб большого диаметра используются экструзионно-обмоточные станки, в которых выходящая из экструдера гладкая или профилированная лента наматывается по спирали на вращающийся цилиндр и

Технология конструкционных материалов

затем сваривается внахлест. Сварка может осуществляться как за счет подогрева цилиндра (сплавление полимеров, резины и др.), так и с помощью сварочного оборудования. При этом способе в качестве армирующего материала также возможно использование лент на тканевой, сетчатой и других основах.

Для получения тонких пленок используют метод раздува горячей цилиндрической заготовки 4, поступающей из экструдера 2 или щелевой головки (рис. 8.8). Внутри трубчатой заготовки под определенным давлением сжатый воздух, деформирующий ее во всех направлениях до определенной толщины, пленка отверждается на воздухе, обжимается валками 6 и поступает на приемный барабан 7.



Для изготовления многослойных и армированных пленок применяют метод соэкструзии, при котором используется несколько шнековых экструдеров, работающих на одну общую рабочую головку.

Метод экструзионно-раздувного формования (рис. 8.9) также используется для изготовления различных емкостей (канистр, фляг, бутылок и др.). Процесс осуществляется в две стадии: на первой изготавливается трубчатая заготовка 1 и днище 2, на второй – под действием давления воздуха в пресс-форме формируется изделие 3, после охлаждения готовое изделие извлекается из формы или поступает на вулканизацию 4.

Рис. 8.8

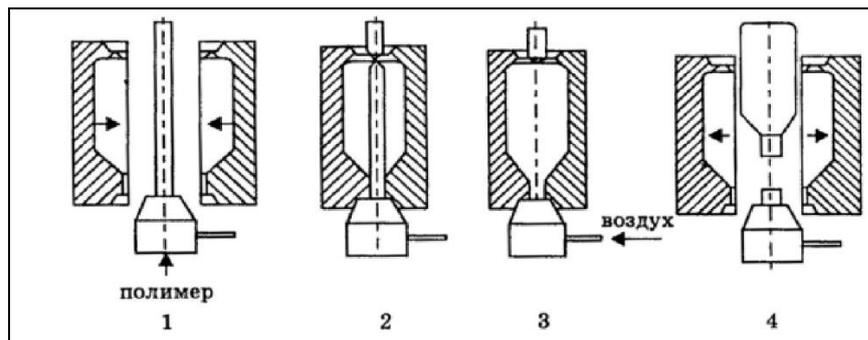


Рис. 8.9

Формирование листовых материалов, а также изготовление изделий из них осуществляется методами прессования, штамповки, пневмо- и вакуумформования.

При прессовании листовых материалов перерабатываемое сырье или заготовка размещаются между двумя плитами статического пресса. Создается давление, которое выдерживается на протяжении определенного времени в

### Технология конструкционных материалов

зависимости от вида обрабатываемого сырья. Формы смыкающихся плит имеют форму готового изделия. Для придания изделию требуемых свойств материал подвергают соответствующей термической обработке.

Штамповка материалов осуществляется в прессах динамического (ударного) действия. При этом процесс придания материалу определенной конфигурации и формы может сопровождаться его обрезкой.

Штампы содержат матрицу и пуансон, имеющие соответствующую готовому изделию конфигурацию. В зависимости от прочности обрабатываемой заготовки количество ударов пуансона о материал, находящийся на матрице, может быть различным. Процесс легко автоматизируется.

Пневмо- и вакуумформование применяется для изготовления изделий сравнительно большого размера.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите особенности обработки неметаллических материалов резанием.
2. Назовите достоинства метода прямого прессования.
3. Что изготавливают методом экструзионно-раздувного формирования?

## Библиографический список

1. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебник для студ. машиностроит. спец. вузов / А. М. Дальский [и др.]; под ред. А.М. Дальского. – 5-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2004.
2. Чумаченко Ю.Т. Материаловедение для автомехаников [Текст]: учеб. пособие для нач. проф. образования / Ю.Т. Чумаченко, Г.В. Чумаченко, А.И. Герасименко. – 5-е изд., перераб. и доп. – Ростов-н/Д : Феникс, 2008.
3. Чумаченко Ю.Т. Материаловедение [Текст]: учебник для студ. техн. колледжей и проф. лицеев / Ю. Т. Чумаченко, Г. В. Чумаченко. – 6-е изд. – Ростов-н/Д : Феникс, 2008.
4. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. В. С. Чередниченко. – 6-е изд., стер. – М.: Омега-Л, 2010.