

**Министерство образования Российской Федерации**

---

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

**Коротких М. Т.**

**Технология конструкционных материалов и  
материаловедение: учебное пособие**



**Санкт-Петербург  
2004**

## Аннотация

Пособие по курсу «Технология конструкционных материалов и материаловедение» предназначено для студентов заочной и дистанционной формы обучения экономических специальностей. Может быть использовано при изучении курса Технология важнейших отраслей промышленности.

Пособие в краткой, конспективной форме освещает основные разделы курса и сопровождается вопросами для самопроверки и образцами карт тестового контроля.

Ключевые слова: технология конструкционных материалов, технология важнейших отраслей промышленности, материаловедение, методы обработки материалов, методы формообразования, обработка давлением, литье, сварка, обработка резанием, абразивная обработка, электрофизическая обработка.

## Содержание

1. Основные характеристики объектов производства
  - 1.1 Свойства материала
  - 1.2 Форма поверхностей деталей
  - 1.3 Размеры поверхностей
  - 1.4 Точность размеров и формы поверхностей деталей
  - 1.5 Качество поверхности
2. Машиностроительные материалы
  - 2.1 Сплавы на основе железа
    - 2.1.1 Сталь
    - 2.1.2 Чугун
  - 2.2. Цветные металлы и сплавы
    - 2.2.1 Медь и медные сплавы
    - 2.2.2 Алюминий и сплавы на его основе
    - 2.2.3 Магний и сплавы на его основе
    - 2.2.4 Титан и сплавы на его основе
    - 2.2.5 Тугоплавкие металлы и их сплавы
    - 2.2.6 Композиционные материалы с металлической матрицей
  - 2.3 Конструкционные порошковые материалы
    - 2.3.1 Инструментальные порошковые материалы
  - 2.4 Общие сведения о неметаллических материалах
    - 2.4.1 Пластические массы
    - 2.4.2 Резиновые материалы
3. Получение металлов
  - 3.1 Добыча руды
  - 3.2 Обогащение руды
  - 3.3 Восстановление металла
    - 3.3.1 Термохимическое восстановление металла
    - 3.3.2 Восстановление металла электролизом
    - 3.3.3 Физическое отделение металла
  - 3.4 Рафинирование
4. Основы литейного производства
  - 4.1 Литье в песчано-глинистые формы
  - 4.2 Специальные виды литья
    - 4.2.1 Литье в кокиль
    - 4.2.2 Центробежное литье
    - 4.2.3 Литье в оболочковые формы
    - 4.2.4 Литье по выплавляемым моделям
    - 4.2.5 Литье под давлением
5. Методы обработки металлов давлением
  - 5.1 Прокатка
  - 5.2 Прессование
  - 5.3 Волочение
  - 5.4 Ковка

- 5.5 Горячая объемная штамповка
- 5.6 Листовая штамповка
- 6. Сварка
  - 6.1 Сварка плавлением
  - 6.2 Термомеханическая сварка
- 7. Обработка металлов резанием
  - 7.1 Физические основы резания металлов
  - 7.2 Оборудование для обработки резанием
  - 7.3 Основные процессы обработки материалов резанием
    - 7.3.1 Токарная обработка
    - 7.3.2 Фрезерная обработка
    - 7.3.3 Обработка отверстий резанием
    - 7.3.4 Способы обработки резанием
- 8. Абразивная обработка
- 9. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов
  - 9.1 Электроэрозионная обработка
  - 9.2 Химическая и электрохимическая обработка материалов
  - 9.3 Ультразвуковая обработка материалов
  - 9.4 Лучевые методы размерной обработки

Литература

# Технология конструкционных материалов и материаловедение

Пособие для экономических специальностей заочной и дистанционной формы обучения.

Автор: проф. Коротких М.Т.

## 1. Основные характеристики объектов производства

Основа современной цивилизации состоит в целенаправленном воздействии человека на природу с целью преобразования природных продуктов в изделия, удовлетворяющие те или иные потребности человека. Причем, эти изделия в настоящее время настолько отличаются от природных продуктов, что иногда даже трудно представить те исходные природные материалы, из которых они получены (например, компьютер).

Если ранее человек непосредственно мог воздействовать на природные продукты с помощью своих органов и своей энергии, то современное производство основано на применении различного рода машин, агрегатов, которые, преобразуя различные виды энергии, могут осуществлять воздействие на природные продукты значительно более эффективно.

**Машина** - *механическое устройство, выполняющее движения для преобразования энергии, материалов или информации.* Основное назначение машин - частичная или полная замена производственных функций человека с целью облегчения труда и повышения его производительности.

Машины образуют основу созданной человеком ноосферы, являются продуктом человеческого мышления и могут рассматриваться как отражение человеческой мысли, материальное воплощение человеческой психологии. Достижения всех отраслей производства базируются на достижениях в развитии соответствующих машин. Поэтому наша Цивилизация иногда характеризуется как **машинная**

**Цивилизация**, а машиностроение является **важнейшей отраслью промышленности.**

Машины, применяемые человеком для преобразования природы делятся на...

**Технологические:** металлорежущие станки, прессы, оборудование пищевой промышленности (диспергаторы, смесители и т.д.), сельскохозяйственные машины и т.д.

**Транспортные:** поезда, автомобили, суда, самолеты, конвейеры, промышленные роботы и т.д.

**Энергетические:** генераторы, турбины, двигатели внутреннего сгорания, электродвигатели, и т.д.

Кроме машин, человечество использует для воздействия на природу устройства, в которых преобразование вещества, энергии происходит не за счет механического движения, а за счет других физических, химических или

биологических процессов. Такие устройства называются **реакторами, агрегатами, аппаратами**, и т.д.

Например: атомный реактор, химические аппараты для синтеза различных веществ, биологические реакторы для получения дрожжевых бактерий...

Если устройство предназначено для получения и преобразования информации, то оно относится к категории **ПРИБОРОВ**.

(ЭВМ - конечно не машина, а прибор. Такая терминология сохранилась с тех времен, когда вычислительные устройства были основаны чисто на механическом принципе).

Каждая машина, агрегат, прибор обладают существенными для человека свойствами, среди которых имеются как полезные, так и вредные свойства. История развития этих средств отражает попытки максимизировать полезные свойства этих искусственных объектов при минимизации их отрицательного влияния на человека непосредственно или окружающую среду.

Так, скорость транспорта постоянно увеличивается, производительность технологического оборудования растет, мощность и КПД энергетических машин повышается. Набор свойств этих технических средств настолько широк, что сравнение их возможно только при сопоставлении близких, **предназначенных для выполнения одной цели** устройств. Невозможно, например, сравнение легкового и грузового автомобиля, хотя сравнение легковых автомобилей может производиться по одним и тем же техническим критериям. (Максимальная скорость, вместимость, потребление топлива на 100 км пути и т.д.).

Уровень развития цивилизации в настоящее время определяется **техническим прогрессом**, именно достигнутыми характеристиками (или техническими критериями) машин, приборов и т.д.

От достигнутых характеристик этих устройств зависит эффективность любой отрасли общественного производства, что непосредственно отражается на качестве жизни общества. Поэтому **важнейшими отраслями промышленности** следует считать именно производство средств производства.

Свойства машин возникают при сборке из отдельных элементов - деталей.

**Деталь** - изделие, изготовленное без применения сборочных операций.

Если свойства машин чрезвычайно разнообразны, то свойства деталей можно разделить на 5 основных, несводимых друг к другу категорий, которые универсальны и могут быть оценены с единых позиций.

К таким свойствам относятся:

**Свойства материалов, форма, размеры, точность, свойства поверхности.**

## 1.1 СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА:

Таблица 1

Механические	Физические	Химические	Биологические
Прочность, твердость, ударная вязкость, пластичность, упругость и т.д.	Теплопроводность, электропроводность, плотность, температура плавления, магнитные свойства и т.д.	Химическая активность, коррозионная стойкость, каталитические свойства, окалиностойкость и т.д.	Алергенная активность, токсичность и т.д.

Свойства материала деталей могут во многом определять свойства (технические критерии) производимых изделий.

Так, прочность стали, наряду с другими факторами, определяет грузоподъемность моста, защитные свойства брони, мощность передаваемую ротором турбины...

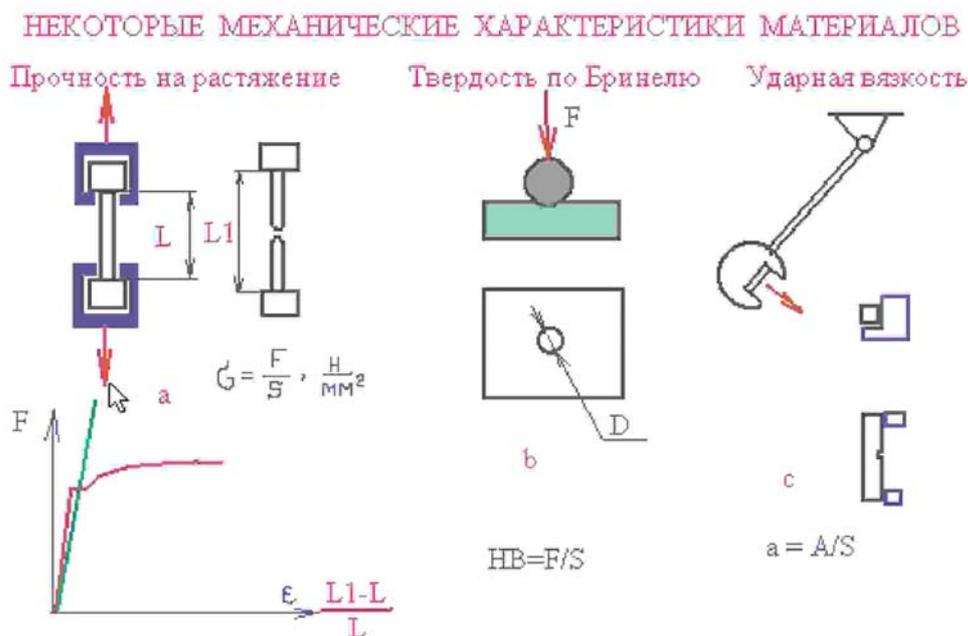


Рис.1.1

**Прочность** материалов обычно оценивается по предельному напряжению (удельной нагрузке) в поперечном сечении объекта при его разрушении. Такая величина называется пределом прочности на растяжение и у современных конструкционных материалов составляет:

конструкционные стали - 600...3000 н/мм<sup>2</sup>,  
 алюминиевые сплавы - 200...900 н/мм<sup>2</sup>,  
 титановые сплавы - 600...1600 н/мм<sup>2</sup>,

композиционные материалы - 300...20000н/мм<sup>2</sup>.

Испытание на растяжение позволяет также оценить **пластичность** материала, которая измеряется относительным пластическим удлинением образца в процессе растяжения в момент разрушения.

**Твердость** – способность материала сопротивляться внедрению в него твердого тела оценивается при стандартных условиях испытания внедрением закаленного шарика (твердость по Бринеллю), алмазной пирамидки или конуса (твердость по Виккерсу, Роквеллу). Твердость во многом определяет износостойкость деталей машин, воспринимаемые ими без разрушения контактные нагрузки, таким образом существенно влияя на технические критерии самой машины.

## 1.2 ФОРМА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

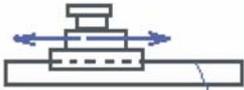
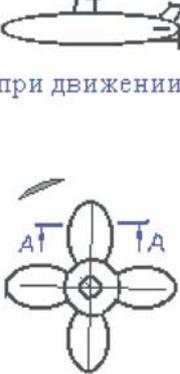
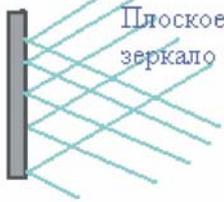
Взаимодействие деталей друг с другом.	Взаимодействие с окружающей средой		
	С жидкостью	С газовыми потоками	С излучениями
<p>Форма определяет точность движения</p>  <p>Например, плоская форма направляющих станка обеспечивает прямолинейность перемещения суппорта</p>	<p>Минимальное сопротивление при движении</p>  <p>Максимальное толкающее усилие при вращении</p>	<p>Профиль крыла - максимальная подъемная сила - меньше расход топлива: форма турбинной лопатки - КПД турбины.</p>  <p>Форма снаряда - дальность стрельбы</p>	<p>Плоское зеркало</p>  <p>Параболическое зеркало</p> 

Рис.1.2

Форма поверхностей деталей может во многом определять технические характеристики изделия. Так, поиск наиболее эффективных форм крыла самолета продолжается до сих пор и определяет такие характеристики, как грузоподъемность, расход топлива, планирующую способность. Форма лопаток турбины определяет КПД преобразования энергии; форма снаряда, ракеты определяет сопротивление воздуха, а следовательно дальность полета и т.д.

Форма профиля строительных элементов (балок, колонн...) определяет эффективность использования материала, т.е. при заданной грузоподъемности, при правильном выборе формы строительных элементов, мост может быть построен более легкий, а следовательно и более дешевый.

Профиль лопастей гидротурбины достаточно сложен, но именно он определяет КПД турбины, профиль обтекателя головной части ракеты минимизирует сопротивление воздуха при ее движении, а, следовательно, влияет на достижимую скорость, расход топлива и т.д.

Форма кузова автомобиля не только определяет эстетическое восприятие, но и существенно влияет на сопротивление воздуха его движению, т.е. на расход топлива, скорость, устойчивость его движения...

### 1.3 РАЗМЕРЫ ДЕТАЛЕЙ

**Размеры напрямую определяют многие технические характеристики изделия.** Например, размеры кузова автомобиля определяют производительность перевозок, размеры цилиндров автомобиля (емкость двигателя) определяют его мощность; размеры балки определяют несущую способность строительной конструкции (моста, фермы подъемного крана) и т.д.

Бурильная морская платформа, стартовый ракетный комплекс – это примеры изделий, детали которых могут достигать в размерах десятков и сотен метров.

Элементы интегральных схем радиоэлектроники и вычислительной техники достигают размера 0,13мкм (величины, которую невозможно увидеть в оптический микроскоп, так как она меньше длины волны видимого света).

В этом случае уменьшение размеров отдельных элементов позволяет повысить плотность интеграции, сократить общее энергопотребление. (Ведь современный процессор для ЭВМ содержит несколько десятков миллионов транзисторов, каждый из которых имеет размеры менее 0,5мкм.)

### 1.4 ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

**Номинальным размером** называется размер, определяемый исходя из функционального назначения изделия. Номинальные размеры, с целью унификации оснастки и измерительных средств, должны выбираться из ряда нормальных линейных размеров, в соответствии со стандартом.

Однако изготовить и даже измерить размер можно только с определенной степенью точности, которая также определяется из функционального назначения детали.

Разность между максимальным и минимальным допустимыми размерами детали называется **полем допуска**.

Расположение полей допусков относительно номинального размера должно выбираться в соответствии со стандартом и обозначается соответствующей латинской буквой.

Условные обозначения расположения полей допусков для размеров охватывающих поверхностей (отверстий) и охватываемых поверхностей (валов)

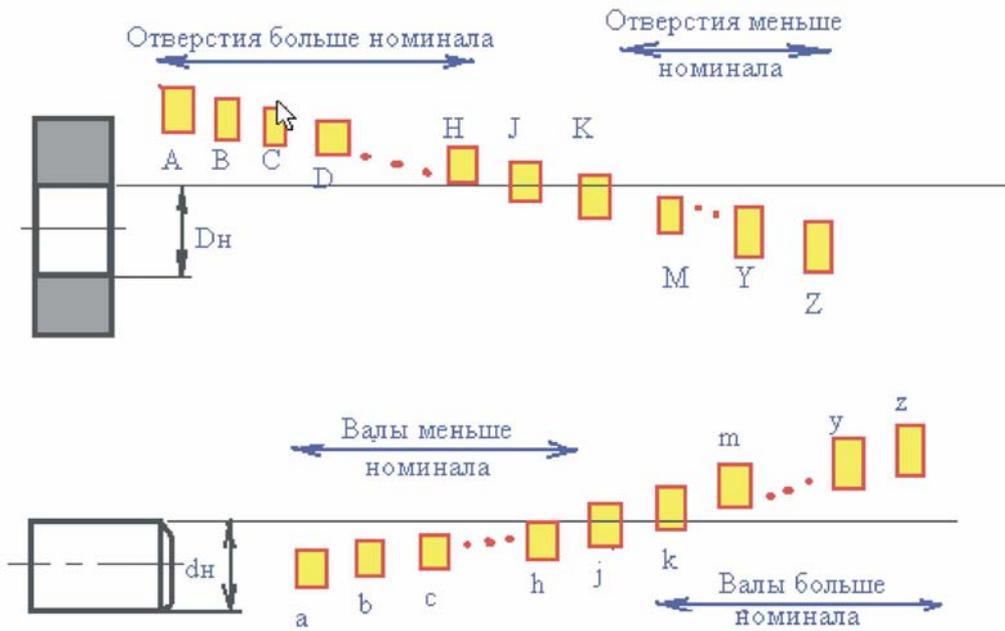


Рис.1.3

Величина же поля допуска зависит от номинального размера и качества точности, которые в соответствии со стандартом обозначаются цифрой:

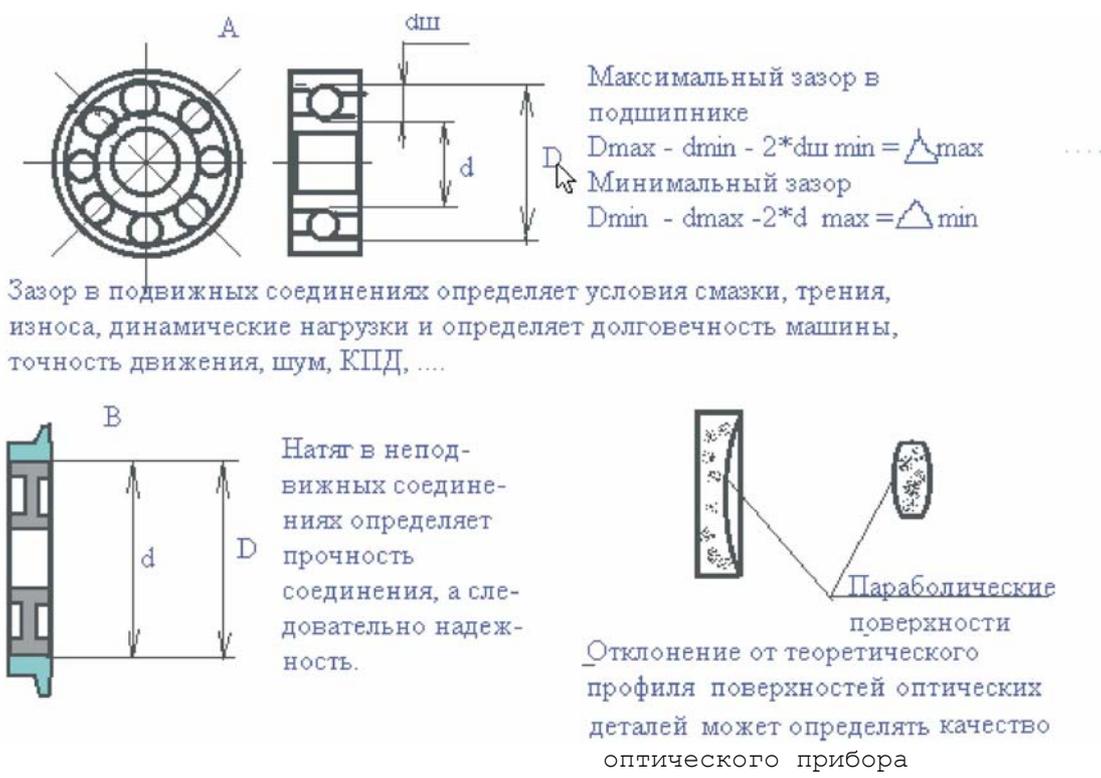
01 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Особо точные изделия  
концевые меры длины,  
детали прецизионных  
приборов, подложки  
интегральных микро-  
схем, оптические  
детали....

Сопрягаемые поверхности де-  
талей, подшипники, направля-  
ющие поверхности...  
Детали стан-  
ков, авиастро-  
ение, двигате-  
ли...

Несопрягаемые  
поверхности  
деталей машин

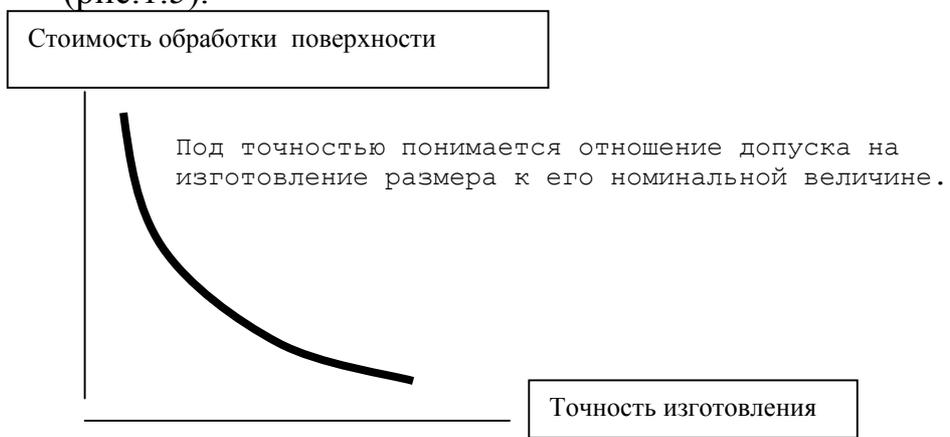
Например: 20H9 (+0,052) , 35f7( -0,025  
-0,050)



**Рис.1.4**

Точность изготовления во многом определяет качество (технические характеристики) изделия. Так, точность формы считывающей головки видеомэгнитофона определяет качество изображения, точность деталей подшипника качения определяет его долговечность, КПД машины, ее ресурс, шум.

Точность выполнения размеров сопрягаемых деталей во многом определяет технические характеристики устройств, однако ее повышение связано с большими затратами, так как требует применения более высокоточного, а следовательно, дорогого оборудования, применения многостадийных технологий, увеличивающих время обработки, а следовательно, и затраты (рис.1.5).



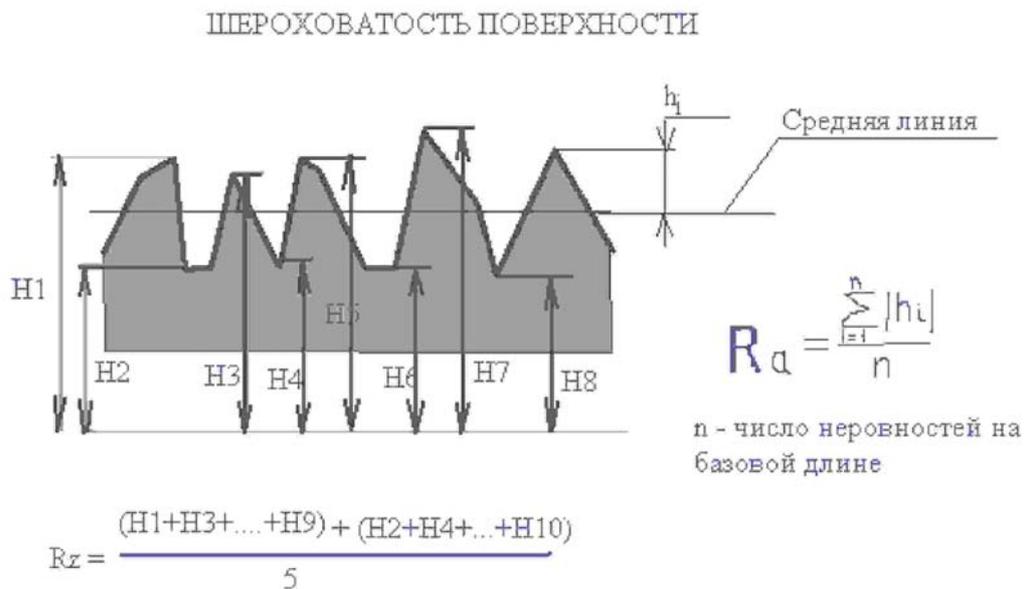
**Рис.1.5**

Уменьшение допусков на изготовление отдельных деталей машины во многих случаях существенно повышает их качество, но также и их себестоимость изготовления, поэтому должно быть оправдано достижимым эффектом в эксплуатации.

### **1.5 КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ**

Конечно, поверхность может иметь множество физических характеристик, таких как цвет, химическая активность, шероховатость и т.д. Наибольшее же значение для функционирования деталей машин имеет **шероховатость поверхности**.

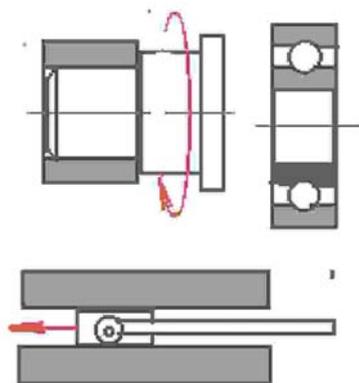
В зависимости от метода измерения шероховатость определяется средней высотой микронеровностей  $R_a$ , либо высотой неровностей по 10 точкам  $R_z$ . (рис.1.6).



**Рис.1.6**

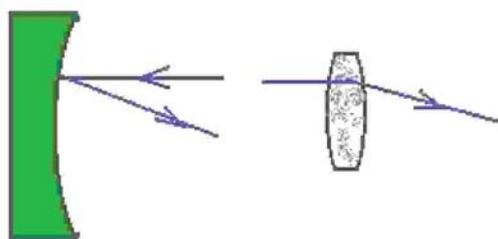
Влияние шероховатости на свойства изделия (рис.1.7) может быть весьма существенным и даже определяющим (зеркало).

На трение скольжения и качения



Трение определяет:  
потери энергии и КПД,  
износ и долговечность,  
шум и вибрации...

На оптические свойства поверхностей



Высота неровностей на оптических  
поверхностях должна быть менее 1/10  
длины волны излучения, т.е. менее  
0,1 мкм

Кроме того шероховатость определяет  
коррозионную стойкость изделия, эстетическое  
восприятие изделия, эргономичность  
контактирования изделия с человеком...

Рис.1.7

Параметры шероховатости поверхности измеряются и задаются на чертежах в микрометрах (мкм) и номинальные значения их для разных классов шероховатости стандартизованы.

Таблица 2

Rz	320;160;80;40;20;10; 6,3; 3,2; 1,6; 0,8; 0,4; 0,2; 0,1; 0,05		
Ra	80; 40;20;10; 5;2,5;1,25; 0,63;0,32; 0,16;0,08;0,04;0,02;0,01		
Область применения	Несопрягаемые поверхности деталей машин	Сопрягаемые поверхности деталей машин, пары трения...	Оптические детали, подложки микросхем, поверхности деталей накопителей информации...
Метод достижения	Литье, штамповка, резание	Резание	Резание, шлифование
			Полирование

Как свойства деталей переходят в свойства машин изучают науки проектирования, которые подразделяются по отраслевому принципу (проектирование автомобилей, проектирование турбин и т.д.)

Эти науки должны ответить на вопрос - какими свойствами должны обладать элементы, чтобы получить определенные свойства машины. (специальность - конструктор).

**Как возникают свойства деталей, веществ, какими действиями или какой совокупностью действий можно получить заданные свойства - это предмет науки "Технология" (специальность - технолог).**

Какие категории затрат обеспечивают производство того или иного изделия, как можно минимизировать эти затраты - это предмет науки "Экономика" (специальность - экономист).

Естественно, все эти три науки неразрывно связаны между собой, категории и понятия их настолько переплетаются, что иногда трудно провести грань, где кончается предмет одной науки и начинается предмет другой.

Надо отметить, что наибольшие прорывы в развитии производства последнего столетия сделали люди, являющиеся комплексными специалистами ( Генри Форд, Тейлор и т.д.).

В настоящее время многие специалисты рассматривают вопрос об интеграции этих наук в комплексную науку, рассматривающую все аспекты появления изделия по цепочке от творческого замысла, проектирования, технологии, организации производства и оптимального управления потоками информации, веществ и энергий.

**Технология**, как наука, рассматривает способы воздействия на сырье, материалы и полуфабрикаты соответствующими орудиями производства.

**Производственный процесс** - совокупность действий по превращению сырья, материалов в полезную для человека продукцию.

**Технологический процесс** - часть производственного процесса непосредственно связанная с изменением свойств сырья и материалов и их определением (контроль).

**Технологическая операция** - это часть технологического процесса, производимая непрерывно на одном рабочем месте.

Операция обычно осуществляется при воздействии на обрабатываемое изделие тем или иным методом обработки, использующим известные физические, химические, биологические явления.

**Методы обработки** - это структурные элементы технологического процесса, объединение которых в определенную последовательность позволяет достичь требуемых параметров изделия при минимизации затрат на производство.

Поэтому каждый метод нужно характеризовать его **технологическими возможностями** - получаемыми свойствами материалов, возможностями формообразования, достижимыми размерами, точностью и шероховатостью поверхностей изделий.

Для минимизации затрат при реализации метода необходимо знание об управляющих параметрах процесса, возможностях его регулирования, о материальных, энергетических и информационных потоках при его реализации.

**Технология важнейших отраслей** промышленности рассматривает основные **методы обработки**, используемые в производстве машин, аппаратов, приборов, т.е. той техники с помощью которой человек преобразует природу.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие параметры деталей определяют долговечность машины?
2. Какие машины относятся к категории энергетических? -транспортных? -технологических?
3. Чем отличается машина от прибора?
4. Какие свойства материалов определяют прочность деталей машин?
5. Какие свойства транспортных машин зависят от формы корпуса?
6. Какие свойства деталей определяются шероховатостью их поверхностей?
7. Какие свойства машин могут зависеть от точности изготовления размеров деталей?
9. Какие свойства машин могут зависеть от точности формы поверхностей деталей?
10. Какие категории свойств деталей определяют технические параметры машин, приборов и агрегатов?

Образец карты тестового контроля:

1. Укажите, в какой группе перечислены только технологические машины:
  - а). Гидротурбина, автомобиль, мясорубка, токарный станок;
  - б). Электродвигатель, фрезерный станок, конвейер, подъемный кран;
  - в). Гидравлический пресс, прокатный стан, шлифовальный станок;
2. Для какого изделия наиболее существенна высокая точность изготовления деталей и малая шероховатость поверхности:
  - а). автомобиль
  - б). телескоп
  - в). экскаватор
3. Для каких изделий наиболее важна оптимизация формы корпуса, исходя из взаимодействия с окружающей средой:
  - а). Подводная лодка, ракета, автомобиль
  - б). Самолет, токарный станок, кофемолка
  - в). Корабль, экскаватор, эскалатор
4. Детали какого устройства выполняются с большей точностью:
  - а). Телескоп
  - б). Токарный станок
  - в). Двигатель автомобиля
5. Какие величины шероховатости поверхности могут быть получены обработкой резанием:
  - а).  $R_a = 1,25 \dots 20 \mu\text{м}$
  - б).  $R_a = 0,16 \dots 80 \mu\text{м}$

## 2. Машиностроительные материалы

Технический уровень машин, аппаратов, приборов во многом определяется свойствами материалов, из которых изготовлены их отдельные элементы – детали. Спектр существующих материалов чрезвычайно широк и выбор оптимального материала для тех или иных условий применения может быть достаточно сложной задачей.

Например, мост можно построить из низкоуглеродистой стали обыкновенного качества, из высоколегированной сверхпрочной стали, из нержавеющей стали, из алюминиевого сплава и т.д. В различных вариантах, он будет иметь разный срок службы, стоимость изготовления, стоимость обслуживания. В настоящее время, применяют стали обыкновенного качества, что определяется именно экономическими преимуществами.

В то же время существуют технические объекты, создание которых было бы невозможно без разработки специальных материалов, альтернативы которым может и не существовать и, приходится мириться с их, иногда, даже чрезвычайно высокой стоимостью. Это материалы космической техники (например, керамика ракетных сопел и газовых рулей), атомной промышленности (например, циркониевые оболочки тепловыделяющих элементов атомных реакторов, гадолиниевые экраны нейтронной защиты и т.д.).

И даже в этих областях техники ведется поиск новых альтернативных материалов, повышающих как технические характеристики объекта, так и его экономическую эффективность.

### 2.1 Сплавы на основе железа

**2.1.1 Сталь** - сплав железа с углеродом при содержании углерода до 2,14%. Кроме того, в состав стали обычно входят марганец, кремний, сера и фосфор, которые попадают в сталь из руды или кокса; некоторые элементы могут быть введены для улучшения физико-химических свойств, специально (легирующие элементы).

#### Классификация сталей

Таблица 1

По химическому составу		По назначению	По качеству (по содержанию серы (S) и фосфора (P))	По степени раскисления
По содержанию углерода	По содержанию легирующих элементов			
Малоуглеродистые $C < 0,25\%$	Низколегированные, легирующих элементов $< 2,5\%$	<b>Конструкционные</b> – для строительных элементов и деталей машин и приборов, <b>инструментальные</b> – для изготовления режущего инструмента, штампов и т.д., с <b>особыми физическими свойствами</b>	Обыкновенного качества $S < 0,06\%$ , $P < 0,07\%$ Качественные $S < 0,035\%$ , $P < 0,035\%$ Высококачественные $S < 0,025\%$ , $P < 0,025\%$ Особовысоко-	Спокойные (при варке полностью раскисленные), в конце маркировки «сп»,  Полуспокойные – «пс»,  Кипящие – «кп».
Среднеуглеродистые $C 0,25 \dots 0,6\%$	Среднелегированные, легирующих элементов $2,5 \dots 10\%$			
Высокоуглеродистые $C > 0,6\%$	Высоколегированные, легирующих элементов $> 10\%$			

		(магнитные, электротехнические и т.д.), с <b>особыми химическими свойствами</b> (нержавеющие, жаростойкие и т.д.)	качественные S<0,015% , P<0,025%	
--	--	---	--	--

**Углеродистые конструкционные стали** подразделяются на стали обыкновенного качества и качественные.

**Стали обыкновенного качества** (ГОСТ380-94) изготавливают следующих марок Ст0, Ст1, Ст2,..., Ст6 (с увеличением номера возрастает содержание углерода, например, Ст4 - углерода 0.18-0.27%, марганца 0.4-0.7%).

Стали обыкновенного качества, особенно кипящие, наиболее дешевые. Стали отливают в крупные слитки, вследствие чего в них развита ликвация и они содержат сравнительно большое количество неметаллических включений.

С повышением условного номера марки стали возрастает предел прочности ( $\sigma_B$ ) и текучести ( $\sigma_{0.2}$ ) и снижается пластичность ( $\delta, \psi$ ). Например, Ст3сп имеет  $\sigma_B=380\div490$ МПа,  $\sigma_{0.2}=210\div250$ МПа,  $\delta=25\div22\%$ .

Из сталей обыкновенного качества изготовляют прокат: балки, швеллеры, уголки, прутки, а также листы, трубы. Эти стали широко применяют в строительстве для сварных конструкций.

С повышением содержания в стали углерода свариваемость ухудшается. Поэтому стали Ст5 и Ст6, с более высоким содержанием углерода, применяют для элементов строительных конструкций, не подвергаемых сварке.

**Качественные углеродистые стали** (ГОСТ1050-88) маркируют цифрами 08, 10, 15,..., 85, которые указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

**Низкоуглеродистые стали** (C<0.25%) 05кп, 08, 07кп, 10, 10кп обладают низкой прочностью и высокой пластичностью.  $\sigma_B=330\div340$ МПа,  $\sigma_{0.2}=230\div280$ МПа,  $\delta=33\div31\%$ . Высокая пластичность этих сталей позволяет изготавливать изделия штамповкой вытяжкой (детали кузовов автомобилей, металлическая посуда и т.д.).

Стали без термической обработки используют для малонагруженных деталей, ответственных сварных конструкций, а также для деталей машин, упрочняемых цементацией.

**Среднеуглеродистые стали** (0.3-0.5% C) 30, 35,..., 55 применяют после нормализации, улучшения и поверхностной закалки для самых разнообразных деталей во всех отраслях промышленности. Эти стали, по сравнению с низкоуглеродистыми, имеют более высокую прочность при более низкой пластичности ( $\sigma_B=500\div600$ МПа,  $\sigma_{0.2}=300\div360$ МПа,  $\delta=21\div16\%$ ).

**Стали с высоким содержанием углерода** (0.6-0.85% C) 60, 65,..., 85 обладают высокой прочностью, износостойкостью и упругими свойствами. Из этих сталей изготавливают пружины и рессоры, шпиндели, замковые шайбы, прокатные валки и т.д.

**Легированные конструкционные стали** (ГОСТ4543-71) применяют в тех случаях, когда выигрыш от повышения нагрузочной способности детали машины превышает повышение стоимости материала. Естественно, чем больше легирующих элементов содержит сталь, чем они дороже, тем дороже и сама сталь.

Поэтому наиболее широкое применение в строительстве получили низколегированные стали, а в машиностроении - легированные стали.

Легированные конструкционные стали маркируют цифрами и буквами. Двухзначные цифры, приводимые в начале марки, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буквы справа от цифры обозначают легирующий элемент. Пример, сталь 12Х2Н4А содержит 0.12% С, 2% Cr, 4% Ni и относится к высококачественным, на что указывает в конце марки буква "А".

Причем для обозначения легирующих элементов в марках легированных сталей приняты следующие условные сокращения:

А – азот    К – кобальт    Т – титан    Б – ниобий    М – молибден    Ф- ванадий  
В – вольфрам    Н – никель    Х – хром    Г – марганец  
П – фосфор    Ц – цирконий    Д – медь    Р – бор    Ю – алюминий  
Е – селен    С – кремний    Ч – редкоземельные металлы

Цифра после буквы, обозначающей легирующий элемент, указывает на содержание этого элемента в процентах. Если цифры нет, то сталь содержит 0,8-1,5% легирующего элемента, за исключением молибдена и ванадия (содержание которых в сталях обычно до 0,2-0,3%), а также бора (в стали с буквой Р его должно быть не менее 0,001%).

#### **Коррозионно-стойкие и жаростойкие стали и сплавы (ГОСТ5632-72)**

Жаростойкие стали и сплавы. Повышение окалинстойкости достигается введением в сталь главным образом хрома, а также алюминия или кремния, т. е. элементов, образующих в процессе нагрева защитные пленки оксидов (Cr, Fe)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (Al, Fe)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Для изготовления различного рода высокотемпературных установок, деталей печей и газовых турбин применяют жаростойкие ферритные (12Х17, 15Х25Т и др.) и аустенитные (20Х23Н13, 12Х25Н16Г7АР, 36Х18Н25С2 и др.) стали, обладающие жаропрочностью.

Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали устойчивы к электрохимической коррозии.

Стали 12Х13 и 20Х13 применяют для изготовления деталей с повышенной пластичностью, подвергающихся ударным нагрузкам (клапанов гидравлических прессов, предметов домашнего обихода), а также изделий, испытывающих действие слабо агрессивных сред (атмосферных осадков, водных растворов солей органических кислот).

Стали 30Х13 и 40Х13 используют для карбюраторных игл, пружин, хирургических инструментов и т. д.

Стали 15Х25Т и 15Х28 используют чаще без термической обработки для изготовления сварных деталей, работающих в более агрессивных средах и не подвергающихся действию ударных нагрузок, при температуре эксплуатации не ниже -20°С.

Сталь 12Х18Н10Т получила наибольшее распространение для работы в окислительных средах (азотная кислота) и в бытовой технике (посуда).

С целью экономии дорогой легированной стали применяется двухслойный листовой прокат, который состоит из основного слоя - низколегированной (09Г2, 16ГС, 12ХМ, 10ХГСНД) или углеродистой (Ст3) стали и коррозионно-стойкого слоя толщиной 1-6мм из сталей 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х13.

## Инструментальные стали

**Углеродистые стали (ГОСТ 1435-90).** Углеродистые инструментальные стали У7, У8, У10, У11, У12, У13 применяются обычно в закаленном состоянии.

Стали можно использовать в качестве режущего инструмента только для резания с малой скоростью, так как их высокая твердость (У10-У12 - 62-63HRC) сильно снижается при нагреве выше 190-200°C.

Стали У10, У11, У12, У13 применяют для режущего инструмента (фрезы, зенкеры, сверла, шабера, напильники и т. д.). Для деревообрабатывающего инструмента применяют стали У7 и У8. Количество углерода в инструментальных сталях указывается в десятых долях процента.

**Легированные инструментальные стали (ГОСТ 5950-73)** (11ХФ, 13Х, ХВСГ, 9ХС, Х, В2Ф) пригодны для резания материалов невысокой прочности ( $\sigma_{\text{в}}=500\div 600\text{МПа}$ ) с небольшой скоростью (до 5-8м/мин). Их используют для инструмента, не подвергаемого в работе нагреву свыше 200-250°C. Легированные стали по сравнению с углеродистыми обладают большей прокаливаемостью.

Количество углерода также указывается в десятых долях процента, а если его около 1 %, то не указывается вовсе.

Например, стали 11ХФ, 13Х, ХВСГ, 9ХС, Х, В2Ф и т.д.

(Сталь Х - 0.95-1% С, 0.15-0.4% Мn, 0.15-0.35% Si, 1.3-1.65% Cr, 64-65HRC).

Эти стали чрезвычайно многообразны и представлены группами сталей, разработанными для специфических областей применения, например, стали для штампов холодного деформирования (Х12Ф1, Х12М, Х6ВФ, 6Х5В3МФС, 7ХГ2ВМ) должны обладать высокой твердостью, износостойкостью и прочностью, сочетающейся с достаточной вязкостью.

Стали для штампов горячего деформирования (5ХНМ, 5ХНВ, 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС, 3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ) должны иметь высокие механические свойства (прочность и вязкость) при повышенных температурах и обладать износостойкостью, окалинстойкостью, разгаростойкостью и иметь высокую теплопроводность.

**Быстрорежущие стали** (ГОСТ ) Эти стали обладают термостойкостью в условиях резания до 650°C. Основным легирующими элементами этих сталей являются вольфрам, молибден, кобальт и ванадий.

**Быстрорежущие стали** обозначают буквой "Р", следующая за ней цифра указывает на процентное содержание вольфрама: (Р18, Р6М5, Р6М5К5, Р9К5, Р18К8М5Ф2 и т.д.)

Р6М5К5-быстрорежущая сталь, содержащая 6,0% вольфрама 5,0% молибдена 5,0% кобальта.

Пример: Сталь Р18 - 0.7-0.8% С, 3.8-4.4% Cr, 17.5-19% W, 1-1.4% V, 0.5-1% Mo.

Из этих сталей изготавливают сложный по форме инструмент для обработки металлов резанием: сверла, протяжки, фрезы и т.д. Из-за дороговизны этих сталей, которая объясняется высоким содержанием дорогого и дефицитного вольфрама, в таком инструменте только режущую часть изготавливают из этих сталей и крепят ее к корпусу или хвостовику механически, сваркой, пайкой и т.д.

### 2.1.2 Чугун

**Чугунами** называют сплавы железа с углеродом, содержащие более 2,14% углерода (но до 6,67%). Они содержат те же примеси, что и сталь, но в

большем количестве. В зависимости от состояния углерода в чугуне, различают: **белый чугун**, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде карбида, и **серый чугун**, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в виде графита.

Белый чугун чрезвычайно тверд, но очень хрупок, и в качестве конструкционного материала практически не применяется, а используется как сырьё при получении стали.

Серые чугуны подразделяется на:

1) серые – с пластинчатой или червеобразной формой графитовых включений;

2) высокопрочные - шаровидный графит;

3) ковкие - хлопьевидный графит. Чугуны маркируют двумя буквами и двумя цифрами, соответствующими минимальному значению временного сопротивления  $\sigma_b$  при растяжении в МПа<sup>-10</sup>. Серый чугун обозначают буквами "СЧ" (ГОСТ 1412-85), высокопрочный - "ВЧ" (ГОСТ 7293-85), ковкий - "КЧ" (ГОСТ 1215-85).

СЧ10 - серый чугун с пределом прочности при растяжении 100 МПа;

ВЧ70 - высокопрочный чугун с пределом прочности при растяжении 700 МПа;

КЧ35 - ковкий чугун с пределом прочности при растяжении 350 МПа.

Для работы в узлах трения со смазкой применяют отливки из антифрикционного чугуна АЧС-1, АЧС-6, АЧВ-2, АЧК-2 и др., что расшифровывается следующим образом: АЧ - антифрикционный чугун:

С - серый, В - высокопрочный, К - ковкий. А цифры обозначают порядковый номер сплава согласно ГОСТу 1585-79.

Изделия из чугунов получают методом литья. Из них изготавливаются сложные по форме детали (корпуса двигателей, станины станков, корпуса турбин, насосов, компрессоров, коленчатые валы двигателей, колеса центробежных насосов и т.д.).

## 2.2. Цветные металлы и сплавы

### 2.2.1 Медь и медные сплавы

**Медь** - металл красного, в изломе розового цвета. Температура плавления 1083°С. Кристаллическая решетка ГЦК. Плотность меди 8.94г/см<sup>3</sup>.

**Технически чистая медь** обладает высокой пластичностью и коррозионной стойкостью, высокой электропроводностью и теплопроводностью. По чистоте медь подразделяют на марки (ГОСТ 859-78):

Марка	МВЧк	МОО	МО	М1	М2	М3
Содержание Cu+Ag не менее	99,993	99,99	99,95	99,9	99,7	99,5

После обозначения марки указывают способ изготовления меди: к - катодная, б – бескислородная, р - раскисленная. Медь огневого рафинирования

не обозначается.

МООк - технически чистая катодная медь, содержащая не менее 99,99% меди и серебра.

МЗ - технически чистая медь огневого рафинирования, содержит не менее 99,5% меди.

Медь легко обрабатывается давлением, но плохо резанием и имеет невысокие литейные свойства из-за большой усадки. Поэтому полуфабрикаты меди – прокат (сортамент), листы (широко применяется медная фольга), трубы (медные трубки в гидравлических системах), проволока (диаметром от нескольких мм до нескольких мкм).

Благодаря высокой электропроводности, медь применяется, в основном, для изготовления проводов для электротехнической и электронной промышленности. Высокая коррозионная устойчивость чистой меди в атмосферных условиях позволяет использовать ее в качестве кровельного материала ответственных зданий. Так, фирмы изготовители гарантируют срок службы такой крыши более 150 лет.

Стоимость чистой меди постоянно повышается, а мировые запасы медной руды, по различным оценкам, истощатся в ближайшие 10...30 лет.

**Медные сплавы** разделяют на **бронзы** и **латуни**.

Бронзы- это сплавы меди с оловом (4 - 33% Sn ), свинцом (до 30% Pb), алюминием (5-11% Al), кремнием (4-5% Si), сурьмой и фосфором, и другими элементами (ГОСТ 493-79 , ГОСТ 613-79, ГОСТ 5017-74, ГОСТ 18175-78).

Латуни - сплавы меди с цинком (до 50% Zn) и небольшими добавками алюминия, кремния, свинца, никеля, марганца (ГОСТ 15527-70, ГОСТ 17711-80). Медные сплавы, предназначенные для изготовления деталей методами литья, называют литейными, а сплавы, предназначенные для изготовления деталей пластическим деформированием - сплавами, обрабатываемыми давлением.

Медные сплавы обозначают начальными буквами их названия (Бр или Л), после чего следуют первые буквы названий основных элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие количество элемента в процентах. Приняты следующие обозначения компонентов сплавов:

А – алюминий	Мц - марганец	С - свинец	Б - бериллий
Мг – магний	Ср – серебро	Ж - железо	Мш - мышьяк
Су – сурьма	К – кремний	Н – никель	Т – титан
Кд – кадмий	О – олово	Ф – фосфор	Х – хром
Ц - цинк			

Примеры:

БрА9Мц2Л - бронза, содержащая 9% алюминия, 2% Mn, остальное Cu ("Л" указывает, что сплав литейный);

ЛЦ40Мц3Ж - латунь, содержащая 40% Zn, 3% Mn, ~1% Fe, остальное Cu;

БрОФ8,0-0,3 - бронза содержащая 8% олова и 0,3% фосфора;

ЛАМш77-2-0,05 - латунь содержащая 77% Cu, 2% Al, 0,055 мышьяка, остальное Zn (в обозначении латуни, предназначенной для обработки

давлением, первое число указывает на содержание меди).

В несложных по составу латунях указывают только содержание в сплаве меди:

Л96 - латунь содержащая 96% Cu и ~4% Zn (томпак);

ЛБЗ - латунь содержащая 63% Cu и ~37% Zn.

Бронзы отличаются высокой коррозионной устойчивостью и антифрикционными свойствами. Из них изготавливают вкладыши подшипников скольжения, венцы червячных зубчатых колес и другие детали.

Высокие литейные свойства некоторых бронз позволяют использовать их для изготовления художественных изделий, памятников, колоколов.

Латуни, применяются в основном для изготовления деталей штамповкой вытяжкой, раскаткой, вальцовкой, т.е. процессами требующими высокой пластичности материала заготовки. Из латуни изготавливаются гильзы различных боеприпасов.

Высокая стоимость меди и сплавов на ее основе привела в 20 веке к поиску материалов для их замены. В настоящее время их успешно заменяют пластиками, композиционными материалами.

### 2.2.2 Алюминий и сплавы на его основе

**Алюминий** - металл серебристо-белого цвета. Температура плавления 650°C. Алюминий имеет кристаллическую ГЦК решетку. Наиболее важной особенностью алюминия является низкая плотность - 2.7г/см<sup>3</sup> против 7.8г/см<sup>3</sup> для железа и 8.94г/см<sup>3</sup> для меди. Алюминий обладает электрической проводимостью, составляющей 65% электрической проводимости меди. В зависимости от чистоты различают алюминий особой чистоты: А999 (99.999% Al); высокой чистоты: А995 (99.995% Al), А99, А97, А95 и технической чистоты: А85, А8, А7, А6, А5, А0 (99.0% Al) (ГОСТ 11069-74).

Технический алюминий изготавливают в виде листов, профилей, прутков, проволоки и других полуфабрикатов и маркируют АД0 и АД1.

Алюминиевая проволока используется в электротехнической промышленности в линиях электропередачи, а прокат алюминия в пищевой промышленности, в качестве кровельного материала и т.д. Чистый алюминий отличается высокой коррозионной устойчивостью, но имеет низкую прочность, что не позволяет использовать его в качестве конструкционного материала.

### Классификация алюминиевых сплавов

Наибольшее распространение получили сплавы Al-Cu, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu-Mg и другие.

Все сплавы алюминия можно разделить на **деформируемые**, предназначенные для получения полуфабрикатов (листов, плит, прутков и т. д.), а также поковок и штампованных заготовок и **литейные**, предназначенные для фасонного литья.

Сплавы алюминия, обладая хорошей технологичностью во всех стадиях передела, малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью, при достаточной прочности, пластичности и вязкости нашли широкое применение в авиации, судостроении, строительстве и других отраслях промышленности.

## **Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой**

**Дуралюмины.** Дуралюминами называются сплавы на основе элементов Al-Cu-Mg, в которые дополнительно вводят марганец. Дуралюмин, изготавливаемый в листах, для защиты от коррозии подвергают плакированию, т.е. покрытию тонким слоем алюминия высокой чистоты.

Из сплава Д16 изготавливают обшивки, шпангоуты, стрингера и лонжероны самолетов, силовые каркасы, строительные конструкции, кузова грузовых автомобилей и т.д.

Дуралюмины маркируются буквой "Д" и порядковым номером, например: Д1, Д12, Д18, но иногда и по-другому, например - АК4, АК8.

Дуралюмины можно упрочнять термообработкой, которая состоит из закалки и последующего старения. Прочность сплава при этом значительно повышается. Например, сплав Д16 -  $\sigma_{0,2}=400\text{МПа}$ ,  $\sigma_{\text{в}}=540\text{МПа}$ ,  $\delta=11\%$ .

**Сплавы авиаль (АВ).** Эти сплавы уступают дуралюминам по прочности, но обладают лучшей пластичностью в холодном и горячем состояниях. Авиаль удовлетворительно обрабатывается резанием (после закалки и старения) и сваривается контактной и аргонодуговой сваркой. Сплав обладает высокой общей сопротивляемостью коррозии, но склонен к межкристаллитной.

Из сплава АВ изготавливают различные полуфабрикаты (листы, трубы и т.д.), используемые для элементов конструкций, несущих умеренные нагрузки, кованные детали двигателей, рамы, двери, для которых требуется высокая пластичность в холодном и горячем состояниях.

Сплав АВ -  $\sigma_{0,2}=200\text{МПа}$ ,  $\sigma_{\text{в}}=260\text{МПа}$ ,  $\delta=15\%$ .

**Высокопрочные сплавы.** Предел прочности этих сплавов достигает 550-700МПа, но при меньшей пластичности, чем у дуралюминов. Представителем высокопрочных алюминиевых сплавов является сплав В95.

При увеличении содержания цинка и магния прочность сплавов повышается, а их пластичность и коррозионная стойкость понижаются. Добавки марганца и хрома улучшают коррозионную стойкость. Сплавы обладают хорошей пластичностью в горячем состоянии и сравнительно легко деформируются в холодном состоянии после отжига. Сплав В95 хорошо обрабатывается резанием и сваривается точечной сваркой, его применяют в самолетостроении и судостроении для нагруженных конструкций, работающих длительное время при  $t \leq 100-120^\circ\text{C}$ . Сплав В95 рекомендуется для сжатых зон конструкций и для деталей без концентраторов напряжений.

Сплав В95 -  $\sigma_{0,2}=530-550\text{МПа}$ ,  $\sigma_{\text{в}}=560-600\text{МПа}$ ,  $\delta=8\%$ .

**Сплавы дляковки иштамповки.** Сплавы этого типа отличаются высокой пластичностью и удовлетворительными литейными свойствами, позволяющими получить качественные слитки для последующей обработки давлением.

Сплав АК6 используют для деталей сложной формы и средней прочности, изготовление которых требует высокой пластичности в горячем состоянии. Сплав АК8 рекомендуют для тяжело нагруженных штампованных деталей.

Сплав АК8 -  $\sigma_{0,2}=300\text{МПа}$ ,  $\sigma_{\text{в}}=480\text{МПа}$ ,  $\delta=10\%$ .

**Жаропрочные сплавы.** Эти сплавы используют для деталей, работающих при температуре до  $300^\circ\text{C}$ . Жаропрочные сплавы имеют более сложный химический

состав, чем рассмотренные выше алюминиевые сплавы. Их дополнительно легируют железом, никелем и титаном.

Сплав Д20 -  $\sigma_{0,2}=250\text{МПа}$ ,  $\sigma_{\text{в}}=400\text{МПа}$ ,  $\delta=12\%$ .

### **Деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термической обработкой**

К этим сплавам относятся сплавы алюминия с марганцем или с магнием. Сплавы легко обрабатываются давлением, хорошо свариваются и обладают высокой коррозионной стойкостью. Обработка резанием затруднена.

Сплавы (АМц, АМг2, АМг3) применяют для сварных и клепанных элементов конструкций, испытывающих небольшие нагрузки и требующих высокого сопротивления коррозии.

Сплав АМг3 -  $\sigma_{\text{в}}=220\text{МПа}$ ,  $\sigma_{0,2}=110\text{МПа}$ ,  $\delta=20\%$ .

### **Литейные алюминиевые сплавы**

Сплавы для фасонного литья должны обладать высокой жидкотекучестью, сравнительно небольшой усадкой, малой склонностью к образованию горячих трещин и пористости в сочетании с хорошими механическими свойствами, сопротивлением коррозии и др.

**Сплавы Al-Si (силумины).** Отличаются высокими литейными свойствами, а отливки - большой плотностью. Сплавы Al-Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9) сравнительно легко обрабатываются резанием. Сплав АЛ9 -  $\sigma_{\text{в}}=200\text{МПа}$ ,  $\sigma_{0,2}=140\text{МПа}$ ,  $\delta=5\%$ .

**Сплавы Al-Cu.** Эти сплавы (АЛ7, АЛ19) после термической обработки имеют высокие механические свойства при нормальной и повышенных температурах и хорошо обрабатываются резанием. Литейные свойства низкие.

Сплав АЛ7 используют для отливки небольших деталей простой формы, сплав склонен к хрупкому разрушению.

Сплав АЛ7 -  $\sigma_{\text{в}}=240\text{МПа}$ ,  $\sigma_{0,2}=160\text{МПа}$ ,  $\delta=7\%$ .

**Сплавы Al-Mg.** Имеют низкие литейные свойства. Характерной особенностью этих сплавов является хорошая коррозионная стойкость, повышенные механические свойства и обрабатываемость резанием.

Сплавы АЛ8, АЛ27, АЛ13 и АЛ22 предназначены для отливок, работающих во влажной атмосфере, например, в судостроении и авиации.

Сплав АЛ8 -  $\sigma_{\text{в}}=350\text{МПа}$ ,  $\sigma_{0,2}=170\text{МПа}$ ,  $\delta=10\%$ .

**Жаропрочные сплавы.** Наибольшее применение получил сплав АЛ1, из которого изготавливают поршни, головки цилиндров и другие детали, работающие при температуре 275-300°C.

Сплав АЛ1 -  $\sigma_{\text{в}}=260\text{МПа}$ ,  $\sigma_{0,2}=200\text{МПа}$ ,  $\delta=0.6\%$ .

Следует отметить, что при обозначении алюминиевых сплавов отсутствует строгая система и о составе конкретного сплава можно судить только с привлечением специальных справочников.

### 2.2.3 Магний и сплавы на его основе

**Магний** - металл светло-серого цвета. Характерным свойством магния является его малая плотность ( $1.74\text{г/см}^3$ ). Температура плавления магния  $650^\circ\text{C}$ . Кристаллическая решетка гексагональная. Технический магний выпускают трех марок МГ90, МГ95 и МГ96. Механические свойства литого магния:  $\sigma_{\text{в}}=115\text{МПа}$ ,  $\sigma_{0.2}=25\text{МПа}$ ,  $\delta=8\%$ , 30НВ. При повышении температуры магний интенсивно окисляется и даже воспламеняется. Используется магний в пиротехнике и химической промышленности.

#### Сплавы на основе магния

Чистый магний обладает малой прочностью и пластичностью, поэтому как конструкционный материал не используется. Для улучшения свойств в магниевые сплавы вводят алюминий, цинк, марганец и другие легирующие добавки.

Магниевые сплавы подразделяют на **деформируемые** (ГОСТ 14957-76) и **литейные** (ГОСТ 2856-79). Первые маркируются буквами "МА", вторые "МЛ". После букв указывается порядковый номер сплава в соответствующем ГОСТе. Например:

МА1-деформируемый магниевый сплав №1;

МЛ19-литейный магниевый сплав №19

Сплав МЛ5 -  $\sigma_{\text{в}}=226\text{МПа}$ ,  $\sigma_{0.2}=85\text{МПа}$ ,  $\delta=5\%$ .

Сплав МА1 -  $\sigma_{\text{в}}=190-220\text{МПа}$ ,  $\sigma_{0.2}=120-140\text{МПа}$ ,  $\delta=5-10\%$ .

Сплавы магния обладают малой плотностью, высокой удельной прочностью, хорошо поглощают вибрации, что определило их широкое использование в авиационной и ракетной технике. Однако сплавы магния имеют низкий модуль нормальной упругости  $43000\text{МПа}$  и плохо сопротивляются коррозии, поэтому изделия из них даже защищают от окисления в атмосферных условиях специальными лаками.

### 2.2.4 Титан и сплавы на его основе

**Титан** - металл серого цвета. Температура плавления титана  $1668^\circ\text{C}$ . Титан имеет две аллотропические модификации: до  $882^\circ\text{C}$  существует  $\alpha$ -титан (плотность  $4.505\text{г/см}^3$ ), который кристаллизуется в гексагональной решетке с периодами  $a=0.2951\text{нм}$  и  $c=0.4684\text{нм}$ , а при более высоких температурах -  $\beta$ -титан (при  $900^\circ\text{C}$  плотность  $4.32\text{г/см}^3$ ), имеющий решетку, период которой  $a=0.3282\text{нм}$ . Технический титан изготавливают двух марок: ВТ1-00, ВЕ1-0.

Удельная прочность титана выше, чем у некоторых легированных конструкционных сталей, однако, в настоящее время, существуют легированные стали, удельная прочность которых выше, чем у титановых сплавов, при меньшей стоимости. Поэтому титановые сплавы применяются только тогда, когда требуются уникальные химические или физические свойства титана. Титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него можно изготовить сложные отливки, но обработка резанием затруднительна

(трудоемкость обработки резанием на порядок превышает таковую для конструкционной углеродистой стали). При высокой температуре титановые сплавы склонны к газопоглощению, особенно водорода. При этом пластичность их падает. Поэтому горячую обработку титана давлением, литьё, сварку приходится проводить в атмосфере защитных газов, что еще более удорожает изделия. Титан и его сплавы (ГОСТ 19807-91) маркируют буквами "BT" и порядковым номером:

BT1-00, BT3-1, BT4, BT8, BT14.

Пять титановых сплавов обозначены иначе:

OT4-0, OT4, OT4-1, ПТ-7М, ПТ-3В.

Сплавы на основе титана получили значительно большее применение, чем технический титан. Легирование титана Fe, Al, Mn, Cr, Sn, V, Si повышает его прочность ( $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0.2}$ ), но одновременно снижает пластичность ( $\delta, \psi$ ). Жаропрочность повышают Al, Zr, Mo, а коррозионную стойкость в растворах кислот - Mo, Zr, Nb, Ta и Pd. Титановые сплавы имеют высокую удельную прочность.

Например, сплав BT14 (Al - 5.5%, V - 1.2%, Mo - 3.0%) -  $\sigma_b=900-1050$  МПа,  $\delta=10\%$ ,  $KCU=0.5$  МДж/м<sup>2</sup>,  $\sigma_{-1}=400$  МПа.

Благодаря высокой коррозионной устойчивости титана в соленой воде из него изготавливают корпуса подводных аппаратов, эндопротезы, аппараты пищевой промышленности и тару для пищевых продуктов.

## 2.2.5 Тугоплавкие металлы и их сплавы

Наибольшее значение в технике имеют следующие тугоплавкие металлы: Nb, Mo, Cr, Zr, Ta и W.

Их применяют при строительстве ракет, космических кораблей, ядерных реакторов, отдельные узлы которых работают при температуре до 1500-2000°C.

Тугоплавкие металлы и их сплавы используют в основном как жаропрочные.

Молибден, вольфрам и хром обладают высокой жаропрочностью, однако они склонны к хрупкому разрушению. Ниобий и тантал - высокопластичные материалы и хорошо свариваются. Цирконий выдерживает высокие температуры в окислительной атмосфере, пластичен и прозрачен для нейтронов. Из него изготавливают корпуса теплоделяющих элементов атомных реакторов.

Сплав на основе ниобия ВН2А -  $t=1200^\circ\text{C}$ ,  $\sigma_b=850$  МПа.

Сплав на основе молибдена ЦМЗ -  $t=1200^\circ\text{C}$ ,  $\sigma_b=500$  МПа,  $\sigma_{100}=180$  МПа.

Сплав на основе вольфрама ВВ2 -  $t=1200^\circ\text{C}$ ,  $\sigma_b=130$  МПа,  $\sigma_{100}=80$  МПа.

## 2.2.6 Композиционные материалы с металлической матрицей

Композиционные материалы состоят из металлической матрицы (чаще Co, Al, Mg, Ni и их сплавы), упрочненной высокопрочными волокнами (волокнистые материалы) тонкодисперсными тугоплавкими частицами, не растворяющимися в основном металле (дисперсно-упрочненные материалы).

**Волокнистые композиционные материалы.** Композиционные материалы отличаются от обычных сплавов высокими значениями временного сопротивления и

предела выносливости (на 50-100%), модуля упругости, и пониженной склонностью к трещинообразованию. Применение этих материалов повышает жесткость конструкций при одновременном снижении ее металлоемкости.

Композиционный материал бор-алюминий (ВКА-1А) -  $\sigma_B=1300\text{МПа}$ ,  $\sigma_{\perp}=600\text{МПа}$ ,  $E=220\text{ГПа}$ ,  $\sigma_B/\gamma=500$ ,  $E/\gamma=84.6$ .

**Дисперсно-упрочненные композиционные материалы.** В отличие от волокнистых композиционных материалов в дисперсно-упрочненных композиционных материалах матрица является основным элементом, несущим нагрузку, а дисперсные частицы тормозят движение в ней дислокаций.

Композиционные материалы применяются в авиации, в космической технике, в горной промышленности, в гражданском строительстве и в других областях народного хозяйства.

## 2.3 Конструкционные порошковые материалы

Порошковыми называют материалы, изготавливаемые путем прессования металлических порошков в изделия необходимой формы и размеров и последующего спекания сформованных изделий в вакууме или защитной атмосфере при температуре  $0.75-0.8T_{пл}$ .

Антифрикционные порошковые сплавы имеют низкий коэффициент трения, легко обрабатываются, выдерживают значительные нагрузки и имеют хорошую износостойкость. Наибольшее применение получил материал ФМК-11.

Сплавы на основе цветных материалов (АЛП-2, АЛПД-2-4, БрПБ-2, ЛП58Г2-2 и др.) применяют в приборостроении и электронной технике.

Применение порошковых материалов рекомендуется при изготовлении деталей простой симметричной формы, малых массе и размеров.

### 2.3.1 Инструментальные порошковые материалы

**Твердые сплавы** (ВК3, ВК6, ВК8, ВК10, Т30К4, Т15К6, Т5К10, ТТ7К10, ТТ8К6, ТТ20К9 и др.), изготовлены методом порошковой металлургии и состоят из карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC), соединенных кобальтовой связкой. Сплавы получают прессованием и спеканием порошков с размером частиц около 1 мкм и менее при высокой температуре.

В зависимости от состава и свойств определяется целесообразная область применения этих сплавов. Они имеют твердость HRC 80...92 и термостойкость в условиях резания металлов 900...1200°C.

Обозначение этих сплавов специфично, например:

**ВК8** – 92% -WC, 8%-Co, **Т15К6** – 15%-TiC, 6%-Co, остальное – WC.

В основном, эти сплавы применяются для изготовления лезвий режущего инструмента, а также штампов, волок и деталей машин, находящихся в условиях интенсивного абразивного изнашивания, иногда и при высоких температурах.

## 2.4 Общие сведения о неметаллических материалах

Современную машину или прибор невозможно создать, применяя только металлические материалы. Ряд неметаллических материалов, полученных современной промышленностью обладают значительно более высокими физическими и химическими свойствами. В то же время, такие уникальные свойства этих материалов как электрические изолирующие свойства, эластичность, прозрачность делают эти материалы просто незаменимыми.

Неметаллические материалы условно можно разделить на искусственные и природные, органические и минеральные, однородные и композиционные.

Наибольшее распространение в технике получили неметаллические материалы на основе различных полимеров.

#### **2.4.1 Пластические массы**

Пластмассами называют искусственные материалы, получаемые на основе органических полимерных связующих веществ.

##### **Состав и свойства пластмасс**

Обязательным компонентом пластмассы является связующее вещество. В качестве связующих для большинства пластмасс используют синтетические смолы, реже применяют эфиры целлюлозы.

Другими важными компонентами пластмасс являются наполнители (порошкообразные, волокнистые и другие вещества), красители, пластификаторы, стабилизаторы. Наполнители повышают механические свойства, снижают усадку при прессовании и придают материалу те или иные специфические свойства.

Свойства пластмасс зависят от состава отдельных компонентов, их сочетания и количественного отношения, что позволяет изменять характеристики пластиков в достаточно широких пределах.

##### **Термопластичные пластмассы**

В основе термопластичных пластмасс лежат полимеры линейной или разветвленной структуры, иногда в состав полимеров вводят пластификаторы.

**Неполярные термопластичные пластмассы.** К ним относятся полиэтилен, полипропилен, полистирол и фторопласт-4.

**Полиэтилен** - продукт полимеризации бесцветного газа этилена, относящийся к кристаллизирующимся полимерам.

Чем выше плотность и кристалличность полиэтилена, тем выше прочность и теплостойкость материала. Он химически стоек и при нормальной температуре нерастворим ни в одном из известных растворителей. Недостаток его - подверженность старению.

Применяют для изготовления труб, пленок, литых и прессованных деталей, не подвергающихся интенсивным механическим нагрузкам..

**Полипропилен** - жесткий нетоксичный материал с высокими физико-механическими свойствами. Недостаток полипропилена его невысокая морозостойкость (от -10 до -20°C).

**Полистирол** - твердый, жесткий, прозрачный, аморфный полимер. Удобен для механической обработки, хорошо окрашивается, растворим в бензине. Недостаток его - невысокая теплостойкость, склонность к старению и образованию трещин.

Из полистирола изготавливают детали для радиотехники, телевидения и приборов, сосуды для воды и многое другое.

**Фторопласт-4** является аморфно-кристаллическим полимером. Разрушение материала происходит при температуре выше 415°C. Он стоек к воздействию растворителей, кислот, щелочей, не смачивается водой. Применяют его для изготовления труб, вентилях, кранов, насосов, мембран, уплотнительных прокладок, манжет и др.

#### **Полярные термопластичные пластмассы.**

**Фторопласт-3** - полимер трифторхлорэтилена. Его используют как низкочастотный диэлектрик, кроме того, из него изготавливают трубы, шланги, клапаны, насосы, защитные покрытия металлов и др.

**Органическое стекло** - это прозрачный аморфный термопласт на основе сложный эфиров акриловой и метакриловой кислот. Материал более чем в 2 раза легче минеральных стекол, отличается высокой атмосферостойкостью, оптически прозрачен. Недостатком его является невысокая поверхностная твердость, что приводит к образованию царапин на оптических поверхностях в процессе эксплуатации.

**Поливинилхлорид** является аморфным полимером. Пластмассы на его основе имеют хорошие электроизоляционные характеристики, стойки к химикатам, атмосферостойки, имеют высокую прочность и упругость. Но при нагревании он разлагается с выделением особо ядовитых веществ и при пожаре представляет значительную опасность.

Изготавливают трубы, строительные облицовочные плитки, линолеум и т.д..

**Полиамиды** - это группа пластмасс с известными торговыми названиями капрон, нейлон, и др. Они продолжительное время могут работать на истирание, ударопрочны, способны поглощать вибрацию. Стойки к щелочам, бензину, спирту, устойчивы в тропических условиях.

Из них изготавливают уплотнительные устройства, шестерни, подшипники и другие детали машин, ткани.

**Полиуретаны** в зависимости от исходных веществ, применяемых при получении, могут обладать различными свойствами, быть твердыми, эластичными.

**Полиэтилентерефталат** - сложный полиэфир, в России выпускается под названием лавсан, за рубежом - майлар, терилен. Из лавсана изготавливают шестерни, кронштейны, канаты, ремни, ткани, пленки и др.

#### **Термостойкие пластики.**

**Ароматический полиамид** - фенилон. Из фенилона изготавливают подшипники, зубчатые колеса, детали электрорадиопередатчиков.

**Полибензимидазолы** являются ароматическими гетероциклическими полимерами. Обладают высокой термостойкостью, хорошими прочностными показателями. Применяют в виде пленок, волокон, тканей специальных костюмов.

#### **Терморезистивные пластмассы**

**Пластмассы с порошковым наполнителями** (волокниты, асбоволокниты, стеловолокниты). Волокниты представляют собой композиции из волокнистого наполнителя в виде очесов хлопка, пропитанного фенолоформальдегидными связующими. Применяют для изготовления деталей работающих на изгиб и кручение. Асбоволокниты содержат наполнителем асбест, связующее фенолоформальдегидная смола. Из него получают кислотоупорные аппараты, ванны и трубы.

**Слоистые пластмассы** (гетинакс, текстолит, древеснослоистые пластики, асботекстолит) являются силовыми конструкционными материалами. Листовые наполнители придают пластику анизотропность. Материалы выпускают в виде листов, плит, труб, заготовок, из которых механической обработкой получают различные детали.

### **Газонаполненные пластмассы**

Представляют собой гетерогенные дисперсные системы, состоящие из твердой и газообразной фаз.

**Пенопласты** - материалы с ячеистой структурой, в которых газообразные наполнители изолированы друг от друга и от окружающей среды тонкими слоями полимерного связующего. Обладают хорошей плавучестью и высокими теплоизоляционными свойствами.

Применяют для теплоизоляционных кабин, контейнеров, приборов, холодильников, рефрижераторов, труб и т.п. Мягкие и эластичные пенопласты применяют для амортизаторов, мягких сидений, губок.

**Сотопласты.** Изготавливают из тонких листовых материалов. Для них характерны достаточно высокие теплоизоляционные, электроизоляционные свойства и радиопрозрачность.

Применяют в виде наполнителей многослойных панелей в авиа- и судостроении для несущих конструкций.

### **Композиционные материалы с неметаллической матрицей**

#### **Карбоволокониты**

Карбоволокониты представляют собой композиции, состоящие из полимерного связующего (матрицы) и упрочнителей в виде углеродных волокон (карбоволокон). Они сохраняют прочность при очень высоких температурах, а также при низких температурах.

Эпоксифенольные карбоволокониты КМУ-1л, упрочненный углеродной лентой, и КМУ-1у на жгуте могут длительно работать при температуре до 200°C.

Карбоволокониты отличаются высоким статическим и динамическим сопротивлением усталости, водо- и химически стойкие, имеют высокую прочность, легкие (плотность 1.4т/м<sup>3</sup>), имеют очень высокую ударную вязкость (50кДж/м<sup>2</sup>).

Высокая стоимость этих материалов сдерживает их широкое применение. Но в современной военной авиации уникальные свойства боевой техники достигаются широким их применением.

#### **Бороволокониты**

Они представляют собой композиции полимерного связующего и упрочнителя - борных волокон. Отличаются высокой прочностью при сжатии, сдвиге и срезе, низкой ползучестью, теплопроводностью и электропроводимостью.

Бороволокониты КМБ-1 и КМБ-1к предназначены для длительной работы при температуре 200°C.

Изделия из бороволокнита применяют в авиационной технике.

КМБ-1к - плотность  $2.0\text{т/м}^3$ , удельная жесткость  $10.7 \cdot 10^3\text{км}$ , ударная вязкость  $78\text{кДж/м}^2$ .

## **Органоволокниты**

Представляют собой композиционные материалы, состоящие из полимерного связующего и упрочнителей в виде синтетических волокон. Они устойчивы в агрессивных средах и во влажном тропическом климате; диэлектрические свойства высокие, а теплопроводность низкая.

Органоволокниты применяют в качестве изоляционного и конструкционного материала в электрорадиопромышленности, авиационной технике, автостроении; из них изготавливают трубы, емкости.

### **2.4.2 Резиновые материалы**

Резиной называется продукт специальной обработки (вулканизации) каучука и серы с различными добавками.

Резина отличается от других материалов высокими эластическими свойствами, которые присущи каучуку - главному исходному материалу резины. Для резиновых материалов характерна высокая стойкость к истиранию, газо- и водонепроницаемость, химическая стойкость, электроизолирующие свойства и небольшая плотность.

### **Резины общего назначения**

К группе резин общего назначения относятся вулканизаторы неполярных каучуков - НК, СКБ, СКС, СКИ.

НК - натуральный каучук. Для получения резины НК вулканизируют серой. Резины на основе НК отличаются высокой эластичностью, прочностью, водо- и газонепроницаемостью, высокими электроизоляционными свойствами.

НК - плотность каучука  $910\text{-}920\text{кг/м}^3$ , предел прочности  $24\text{-}34\text{МПа}$ , относительное удлинение  $600\text{-}800\%$ , рабочая температура  $80\text{-}130^\circ\text{C}$ .

СКБ - синтетический каучук бутадиеновый. Каучуки вулканизируют аналогично натуральному каучуку.

СКБ - плотность каучука  $900\text{-}920\text{кг/м}^3$ , предел прочности  $13\text{-}16\text{МПа}$ , относительное удлинение  $500\text{-}600\%$ , рабочая температура  $80\text{-}150^\circ\text{C}$ .

СКС - бутадиенстирольный каучук (СКС-10, СКС-30, СКС-50) - это самый распространенный каучук общего назначения.

СКС - плотность каучука  $919\text{-}920\text{кг/м}^3$ , предел прочности  $19\text{-}32\text{МПа}$ , относительное удлинение  $500\text{-}800\%$ , рабочая температура  $80\text{-}130^\circ\text{C}$ .

СКИ - синтетический каучук изопреновый. Из этих резин изготавливают шины, ремни, рукава, различные резинотехнические изделия.

СКИ - плотность каучука  $910\text{-}920\text{кг/м}^3$ , предел прочности  $31.5\text{МПа}$ , относительное удлинение  $600\text{-}800\%$ , рабочая температура  $130^\circ\text{C}$ .

### **Резины специального назначения**

**Маслобензостойкие резины** получают на основе каучуков хлоропренового, СКН и тиокола.

Наирит, резины на его основе обладают высокой эластичностью, вибростойкостью, износостойкостью, устойчивы к действию топлива и масел.

Наирит - плотность каучука  $1225\text{кг/м}^3$ , предел прочности 20-26.5МПа, относительное удлинение 450-550%, рабочая температура 100-130°C.

СКН - бутадиеновый каучук (СКН-18, СКН-26, СКН-40). Резины на его основе применяют для изготовления ремней, конвейерных лент, рукавов, маслобензостойких резиновых изделий.

СКН - плотность каучука  $943-986\text{кг/м}^3$ , предел прочности 22-33МПа, относительное удлинение 450-700%, рабочая температура 100-177°C.

**Теплостойкие резины** получают на основе каучука СКТ.

СКТ - синтетический каучук теплостойкий. В растворителях и маслах он набухает, имеет низкую механическую стойкость, высокую газопроницаемость, плохо сопротивляется истиранию.

СКТ - плотность каучука  $1700-2000\text{кг/м}^3$ , предел прочности 35-80МПа, относительное удлинение 360%, рабочая температура 250-325°C.

**Морозостойкими** являются резины на основе каучуков, имеющих низкие температуры стеклования.

Существует еще ряд различных видов резин специального назначения.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие стали, в основном, применяются при изготовлении строительных конструкций?
2. Какие стали применяются для изготовления ответственных деталей машин?
3. В каких областях техники используется чистая медь?
4. Благодаря каким свойствам применяются в технике магниевые сплавы?
5. Почему титановые сплавы не получили широкого применения в машиностроении?
6. Какие материалы рационально применять для создания емкостей для хранения и перевозки кислот?
7. В каких отраслях техники используются алюминиевые сплавы и почему?
8. Почему пластики не могут полностью заменить металлы в машиностроении?
9. Какие материалы обладают наивысшей прочностью? – теплостойкостью? – химической устойчивостью? – минимальной плотностью? – максимальной эластичностью?
10. Какими свойствами отличаются термореактивные пластмассы от термопластичных?

Образец карты тестового контроля:

По условному обозначению указать вид сплава, если это возможно, его состав, основные свойства и области применения.

Примеры заданий:

1. БСтЗкп, 08Х20Н14С2, Р9, ВТ20, МА17, СЧ25, М006, АмчЗ
1. 45ХНЗМФА, ШХ9, ОТ4-1, МА2, 20пс, АЧС-4, Бр04Ц7С5, АД0Е,
2. Х18Н9Т, ШХ15ГС, А20, АЧС-5, ЛЦ40МцЗА, АЛ21, ВТ1-0, МЛ4

### 3. Получение металлов

Металлы и их сплавы в настоящее время являются основным материалом для производства машин, приборов и других технических устройств.

Это определяется сочетанием их свойств, которым в данное время не обладают другие конструкционные материалы.

К таким свойствам относятся:

- механические: прочность, твердость, пластичность, ударная вязкость ...
- теплофизические: жаропрочность, теплопроводность, низкий коэффициент линейного расширения...
- химические: устойчивость в агрессивных средах, биологическая инертность
- технологические: свариваемость, литейные свойства (жидкотекучесть, степень усадки при затвердевании, склонность к ликвации элементов), пластичность...

Естественно, каждый металл обладает определенным набором свойств, определяющих рациональность его применения в тех или иных условиях.

Металлы в природе, в основном, встречаются в виде соединений, которые могут находиться как в концентрированном виде, так и весьма рассредоточено. Так соединения железа встречаются в виде огромных (млрд.тонн) залежей при содержании соединения железа более 20%. Для ряда же металлов содержание их соединений в породе выше 0,1% считается достаточно экономичным для добычи.

Именно высокое содержание соединений железа в месторождениях определяет широкое применение черных металлов (чугуна и стали).

Производственные процессы получения различных металлов весьма своеобразны, но все они включают следующие основные стадии:

**Добыча руды - обогащение руды - получение металла - рафинирование.**

**3.1 Добыча руды** - ведется открытым способом, в карьерах, если глубина залегания руды невелика (менее 100м), а толщина рудного тела большая, и в шахтах, если руда залегает глубоко, а толщина рудных пластов малая.

Открытый способ добычи более экономичен, однако связан с существенным изменением ландшафта и выемкой огромной массы пустой породы, расположенной над рудным телом. Добыча же руды в шахтах требует больших затрат труда и только при достаточно мощных по толщине пластах и пологом их залегании может быть механизирована и автоматизирована.

При открытом способе добычи руды работа включает:

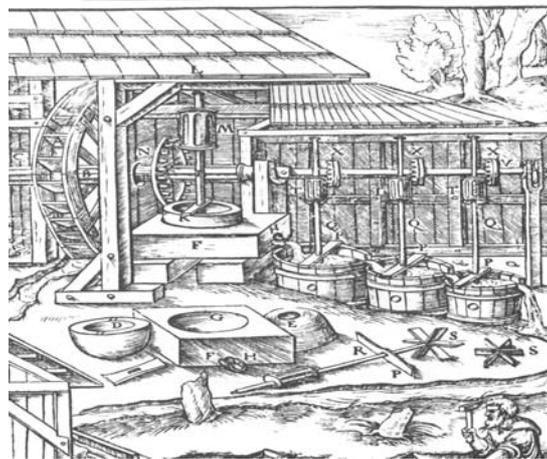
- подготовку земной поверхности (рубка леса, осушение болот, отвод русел рек в сторону и т.д.)
- вскрышные работы (удаление горных пород, залегающих над рудным телом)

- добычные работы (извлечение полезного ископаемого), которые включают в себя буровзрывные работы и выемку, производимую экскаваторами.

Это основной способ добычи железной руды. Также добывают руды алюминия, титана...

### 3.2 Обогащение руды

Для извлечения металла из руды необходимо повысить его содержание. Но так как соединение металла перемешано с пустой породой, то для его отделения приходится руду тщательно дробить и даже размалывать в тончайший порошок. И чем меньше частицы соединения металла по размерам, тем в более мелкий порошок должна быть измельчена добытая руда. Это чрезвычайно трудоемкая работа, которая была механизирована уже в средние



века (рис.3.1).



**Рис.3.1**

На старинных гравюрах изображено, как энергия падающей воды использовалась для дробления руды на куски и размол ее в тонкий порошок с последующей промывкой и отделением нужной составляющей гидравлическим способом.

В настоящее время применяются различные виды дробилок и мельниц для превращения руды и породы в порошок.

Мельчайшие частицы этого порошка можно отделить друг от друга используя отличие свойств соединения металла от свойств пустой породы. Так некоторые виды соединений железа обладают магнитными свойствами и их легко отделить магнитной сепарацией. Если используется различная смачиваемость частиц руды и пустой породы, то используется метод флотации. В некоторых случаях применяется химическое отделение, основанное на растворении соединения извлекаемого элемента в различного рода растворителях. Естественно пустая порода в этом растворителе не должна растворяться.

### 3.3 Восстановление металла

#### 3.3.1 Термохимическое восстановление металла

Осуществляется воздействием на соединение металла каким-либо восстановителем при высокой температуре.

Например, железо обычно содержится в руде в виде окислов  $Fe_2O_3$  или  $Fe_3O_4$  и восстанавливается угарным газом (CO), образующимся при горении кокса (продукта переработки каменного угля) в доменных печах (рис.3.2).

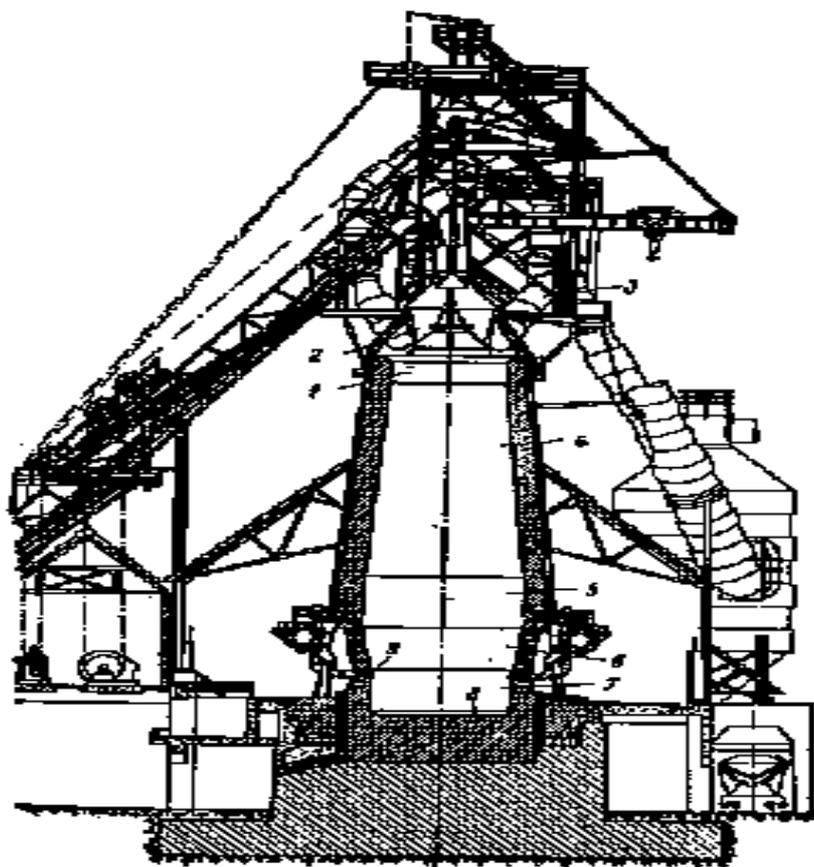
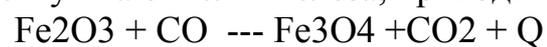


Рис.3.2

1-устройство для загрузки руды, кокса и флюсов, 2 -фурмы для подачи воздуха, 3 - под печи, 4 –шахта, 5 – распар, 6 -горн, где накапливается жидкий металл. 7 - заплечики

В зонах 4-6 происходит горение кокса в потоке воздуха поступающего через фурмы и образуется угарный газ при температуре 1600-1750 °С, который, воздействуя на окислы железа, приводит к их восстановлению:



Образующееся железо, в виде капель, стекает в горн, откуда периодически выпускается. Сверху печи также периодически происходит подсыпка шихты (смеси руды, кокса и флюсов). Таким образом горение в печи поддерживается непрерывно в течении длительного времени, от 5 до 10 лет.

Баланс материалов доменного процесса.

(на 1 т выплавленного чугуна)

**Таблица 3.1**

Загрузка	Кол-во, кг	Получено	Кол-во, кг
Кокс	700	Чугун	1000
Агломерат		Шлак	733
(обогащенная и обработанная руда)	1708	Газ	3382
Сортированная руда	320	Колошниковая пыль	77
Известняк	43	Влага	28
Металлодобавки	40		
Воздух (влажное дутье)	2420		

В образующемся железе при высокой температуре растворяется углерод кокса, что приводит к получению сплава железа с углеродом, при содержании последнего выше 2% (но не более 6,67%). Такой сплав весьма тверд и хрупок и называется чугуном .

Суточная производительность доменной печи достигает 2500 тонн чугуна.

Хотя чугун, как конструкционный материал, применяется для отливки заготовок различных деталей машин (станины, корпуса двигателей, зубчатые колеса и т.д.) , но большая его часть перерабатывается в сталь - сплав железа с углеродом при содержании углерода менее 2%.

Понизить содержание углерода в чугуне и, тем самым, превратить его в сталь можно окисляя избыточный углерод в жидком чугуне. Для этого применяются конвертерный и мартеновский методы получения стали.

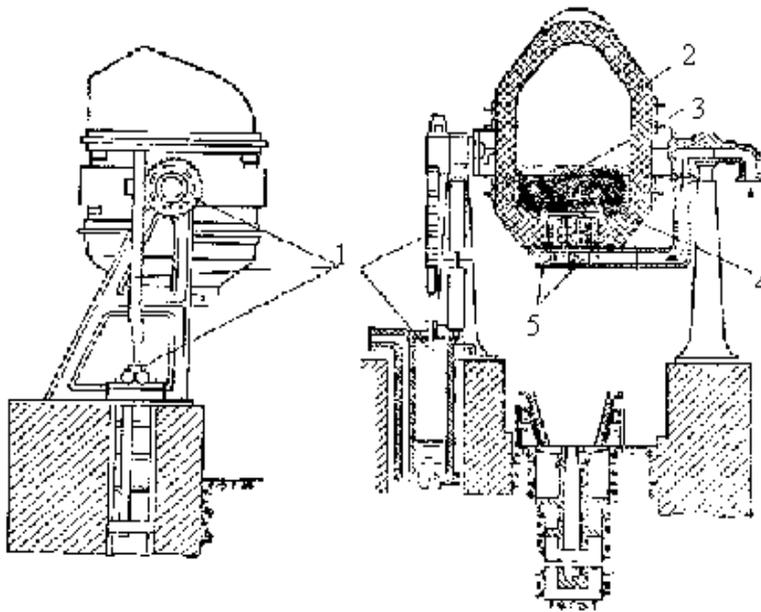
### ***Конвертерный способ получения стали***

Сущность конвертерного метода производства стали состоит в окислении избыточного углерода продувкой через жидкий чугун кислорода. При этом, естественно, сгорает и некоторая часть железа. Реакция является

экзотермической, поэтому в жидкий чугун можно добавить некоторую часть металлического лома, который при продувке кислородом расплавляется. Процесс протекает довольно быстро (менее 20мин).

Производительность процесса зависит от объема конвертера (от 3 до 250тонн).

### Конвертер для получения стали



**Рис.3.3**

1-механизм поворота, 2-огнеупорная футеровка, 3- шлак на поверхности жидкого металла, 4- жидкий металл, 5-каналы для подачи кислорода

При таком производстве стали химический состав ее зависит от содержания примесей в руде. Невозможно получить высококачественные легированные стали и переработка стального лома возможна только в ограниченных количествах, в то время как в промышленности накапливается его огромная масса.

### *Мартеновский способ получения стали*

В мартеновских печах получается свыше 80% производимой стали. Плавка шихты осуществляется за счет горения топлива, в качестве которого используются горючие газы, мазут, угольная пыль...

Емкость мартеновских печей от 35 до 500 тонн, но длительность процесса составляет несколько часов. При этом возможно производить контроль состава, вводить легирующие элементы.

В зависимости от вида процесса, в печь загружаются:

- жидкий чугун + руда - "рудный процесс".
- твердый чугун + металлический лом - "скраппроцесс"

- жидкий чугун+ металлический лом + руда -"скрапрудный процесс".

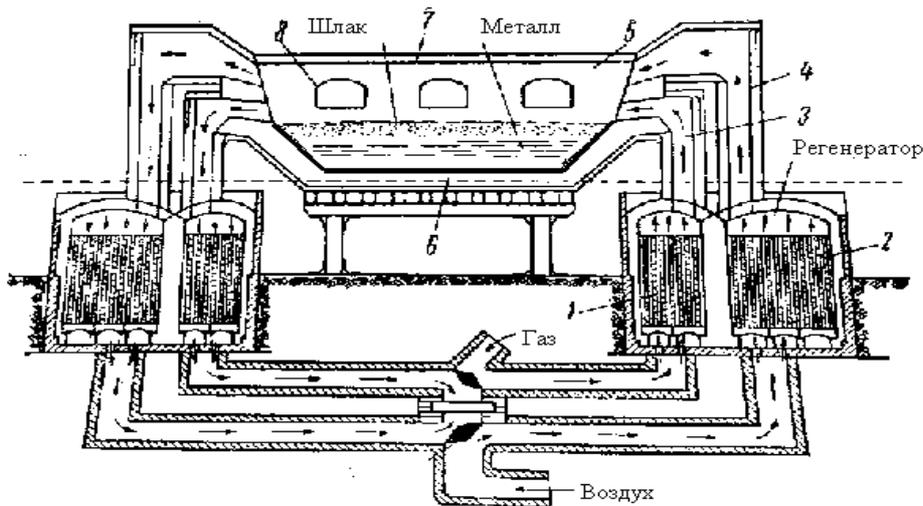


Рис.3.4 Схема мартеновской печи.

Термохимическим способом восстанавливают многие металлы, например, медь. Плавку медных руд ведут в пламенных печах (рис.3.5), в которых происходит восстановление меди, но из-за высокого содержания в руде соединений железа и серы образуется "медный штейн", в котором содержится 20-50% меди, 20-40% железа и 22-25% серы.

Пламенная печь для плавки медной руды

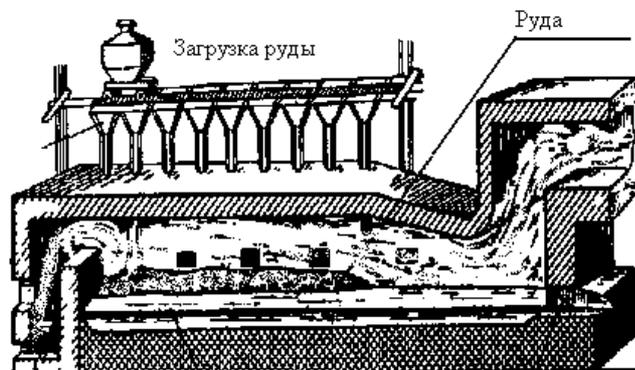


Рис.3.5

Полученный штейн перерабатывается в черновую медь в конвертерах (рис.3.6). Продувая через жидкий штейн воздух, проводят окисление железа, которое всплывает на поверхности в виде окислов, сера выгорает с образованием огромного количества окиси серы, используемой как сырьё для производства серной кислоты.

Конвертер для получения черновой меди

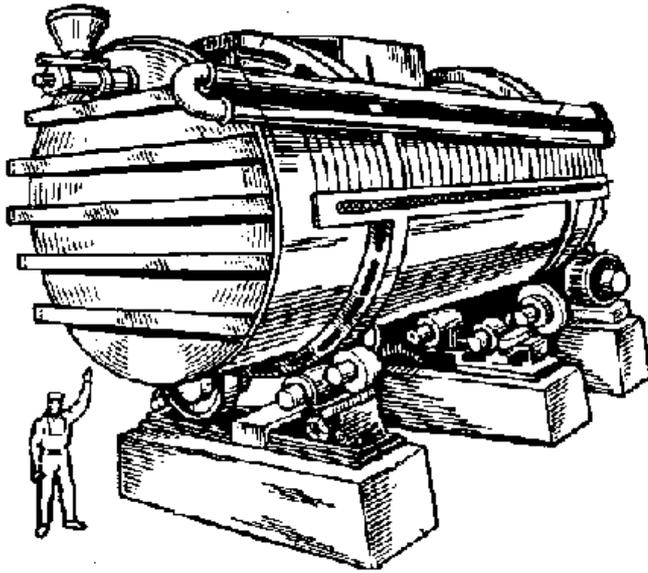


Рис.3.6

В результате процесса получают черновую медь (98,5-99,5%Cu), которую можно использовать для производства медных сплавов, но которая не пригодна для электротехнической промышленности (для производства проводов).

### 3.3.2 Восстановление металла электролизом

Ряд металлов, из-за их высокой химической активности, сложно восстанавливать термохимическим путем. Поэтому их восстановление проводят электролизом расплавленных соединений. В настоящее время это основной способ получения алюминия и магния.

Схема установки для получения алюминия электролизом представлена на

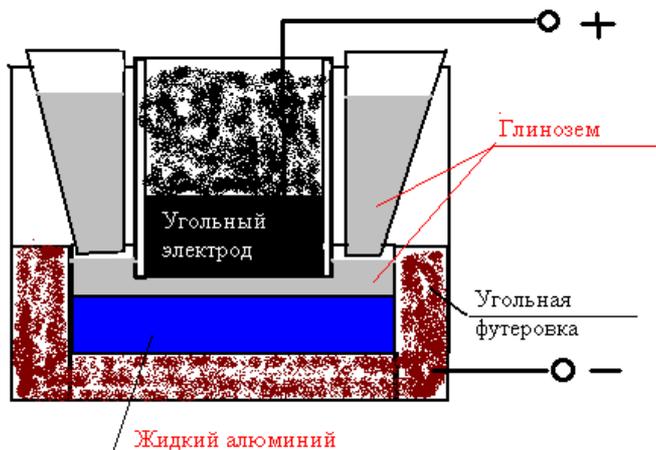


рис.3.7

Рис.3.7

Затраты материалов и энергии при получении 1 тонны алюминия

Таблица 3.2

Составляющие	Количество
--------------	------------

Глинозем ( $Al_2O_3$ )	2000кг
Криолит ( $Na_3AlF_6$ )	100кг
Угольные электроды	600кг
Электроэнергия	16000 – 18500 кВт.час

Таким образом, затраты на электроэнергию являются преобладающими и алюминиевые комбинаты целесообразно строить рядом с источниками дешевой электроэнергии.

### 3.3.3 Физическое отделение металла

Физические методы отделения металлов используются в настоящее время для получения встречающихся в самородном состоянии металлов (золото, платина). При этом используются такие процессы как промывка, растворение в ртути (амальгамирование) с последующим выпариванием ртути.

### 3.4 Рафинирование

Многие металлы после их получения термохимическим методом, электролизом содержат недопустимо большое количество примесей.

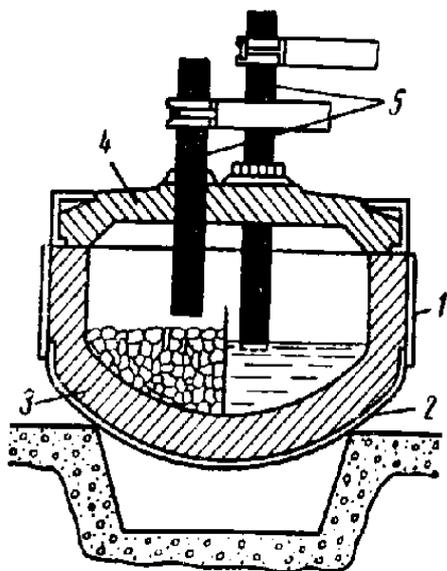
Так, содержание примесей в алюминии или меди выше 0,1% делает их непригодными для применения в качестве проводников тока.

Содержание серы или фосфора в стали выше 0,025% существенно ухудшает ее механические свойства как в холодном, так и горячем состоянии.

Методы рафинирования (очистки) позволяют получить чистые металлы, но естественно приводят к дополнительным затратам. Поэтому чистый металл может быть существенно дороже.

Так алюминий чистотой 99,7%, применяемый для производства сплавов, стоит 1,5 \$/кг, в то время как сверхчистый алюминий для электронной промышленности чистотой 99,9999% стоит в тысячи раз дороже.

Для очистки сталей от вредных примесей и введения в них полезных легирующих элементов применяют переплав стали под слоем специальных шлаков поглощающих вредные примеси. Плавку ведут в электродуговых (рис.3.8) или индукционных печах с контролируемой атмосферой или в вакууме.



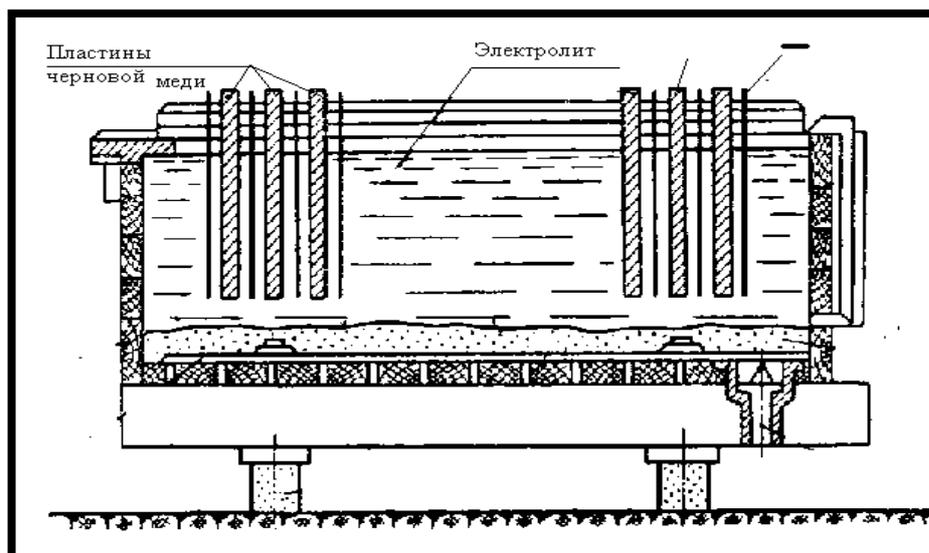
1-кожух , 2-днище, 3-под, 4-свод, 5-электроды

**Рис.3.8**

Для очистки меди применяют электролитическое рафинирование (до 95% всей производимой в стране меди).

При этом полученную черновую медь растворяют в электролите (10-16%медного купороса + 10-15% серной кислоты).

Растворение происходит при пропускании через раствор электрического тока. Растворенная медь (ионы) осаждаются на катодах, заранее выполненных из тонких листов чистой меди (рис.3.9).



**Рис.3.9**

Процесс длится 10-12 суток, причем на каждом катоде (всего их в ванне 20-40штук) осаждается 60-90 кг чистой меди (99,95%). При этом электрическая мощность ванны достигает 2000кВт.

Таким же образом получают чистый никель.

Основная масса металлов применяется в промышленности в виде сплавов. Это объясняется более высокими механическими свойствами сплавов. Из чистых металлов практически невозможно изготовить детали машин, так как прочность их на порядок меньше, чем прочность сплавов на их основе. Поэтому чистые металлы применяются только в тех случаях, когда требуются их другие физические свойства (электропроводность, теплопроводность, химическая устойчивость, способность поглощать или пропускать нейтроны и т.д.).

Вопросы для самопроверки:

1. Каков состав шихты, загружаемой в доменную печь при получении чугуна?
2. Сплавы на основе какого металла наиболее широко применяются в технике?
3. Какие металлы извлекаются из руды методом физического отделения?
4. Какие металлы получают из их химических соединений электролизом расплава?
5. Что образует стоимость основных затрат при производстве алюминия?
6. С какой целью производят рафинирование металлов?
7. В чем состоят основные преимущества мартеновского способа производства стали?
8. Что загружают в конвертер при получении стали конвертерным способом?
9. Что такое медный штейн?
10. Какими способами производят рафинирование металлов?

Образец карты тестового контроля:

1. В каких случаях добычу руды производят открытым способом:
  - а). Если в руде содержится высокое содержание металла
  - б). Если рудное тело залегает неглубоко и пласт руды относительно толстый
  - в). Если месторождение находится недалеко от промышленно развитых районов
2. С какой целью производят дробление руды:
  - а). Для последующего отделения соединения металла
  - б). Для ускорения процесса термохимического восстановления металла
  - в). Для извлечения металла электролизом
3. Почему основные, используемые сплавы создаются на основе железа:
  - а). Из-за меньших затрат при получении железа
  - б). Из-за высокого содержания соединений железа в земной коре
  - в). Из-за высоких механических свойств соединений железа
4. Почему алюминий восстанавливают электролизом:
  - а). Из-за невозможности восстановления его другими способами

б). Из-за дешевизны способа

в). Из-за высокой производительности способа

5. В каких случаях применяются чистые металлы:

а). При потребности в материалах с уникальными физическими свойствами

б). При потребности в высокопрочных материалах

в). При невозможности получения сплавов используемого металла

## 4. Основы литейного производства

Литьё - получение изделий путем заливки жидкого металла в формы и его последующего затвердевания.

Теоретически, литьем можно получить сколь угодно сложное по форме изделие. На практике, литьё, как и все методы формообразования, имеет существенные ограничения.

Они связаны:

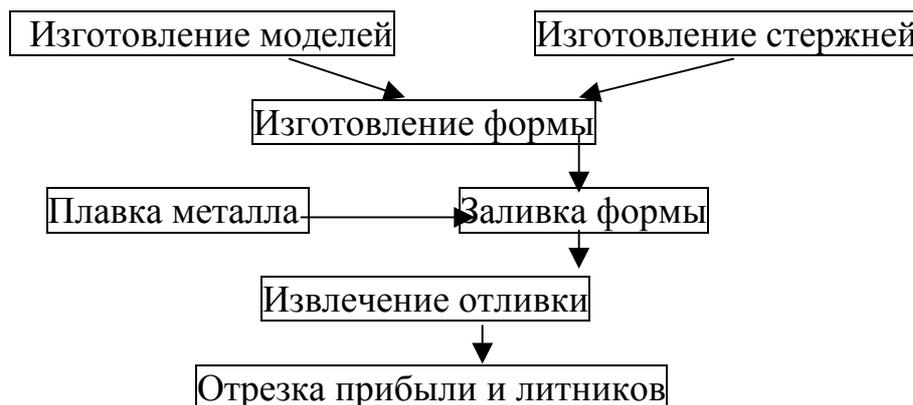
- с трудностями изготовления формы для заливки жидкого металла;
- с невозможностью заполнения жидким металлом сколь угодно тонкого рельефа; это технологическое свойство металла, называемое "жидкотекучестью", связано с вязкостью жидкого металла, его поверхностным натяжением, смачиваемостью материала формы жидким металлом и рядом других факторов;

- с усадкой металла при застывании, которая определяется разностью объемов, занимаемых жидким и затвердевшим металлом и изменением его объема (размеров) при охлаждении до комнатной температуры. Усадка, а особенно неравномерное охлаждение отливки в форме, приводит к ее короблению, возникновению внутренних напряжений, а, иногда, даже к разрушению.

Однако литьё позволяет получать самые сложные по форме изделия, в том числе и произведения искусства...

Литьё - древнейший технологический процесс. Одно из чудес света в античные времена - статуя Зевса была изготовлена литьем по выплавляемой модели. В средние века литьем изготавливали колокола для церквей, пушки, монументы и т.д.

Обобщенная структура процессов литейного производства.



### 4.1 Литье в песчано-глинистые формы

Одним из первых методов литья, освоенных человечеством, было литье в песчано-глинистые смеси, "землю". При этом виде литья, в данной смеси, состоящей из песка, глины и воды образуют форму.

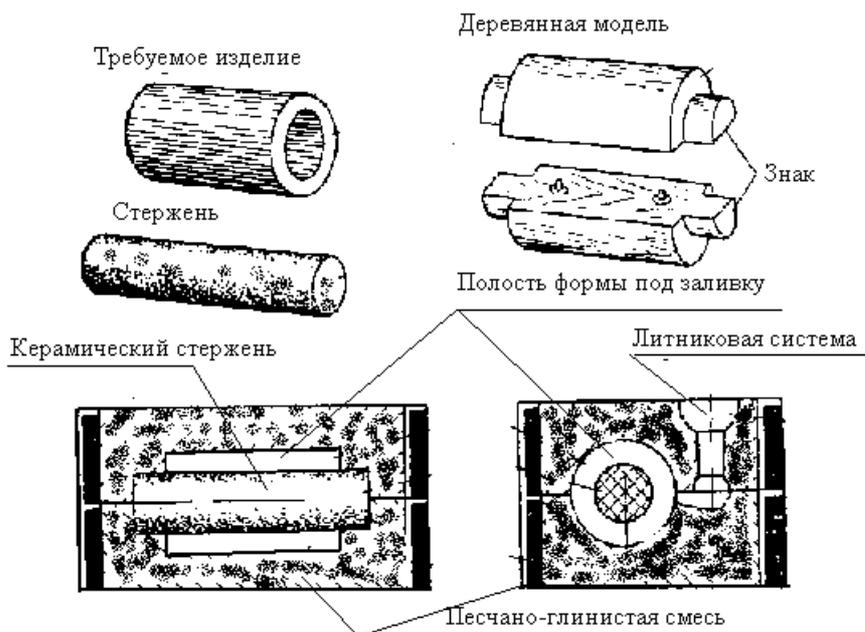
Используется свойство смеси при уплотнении сохранять приданную ей форму, для придания которой используется модель. Модель обычно

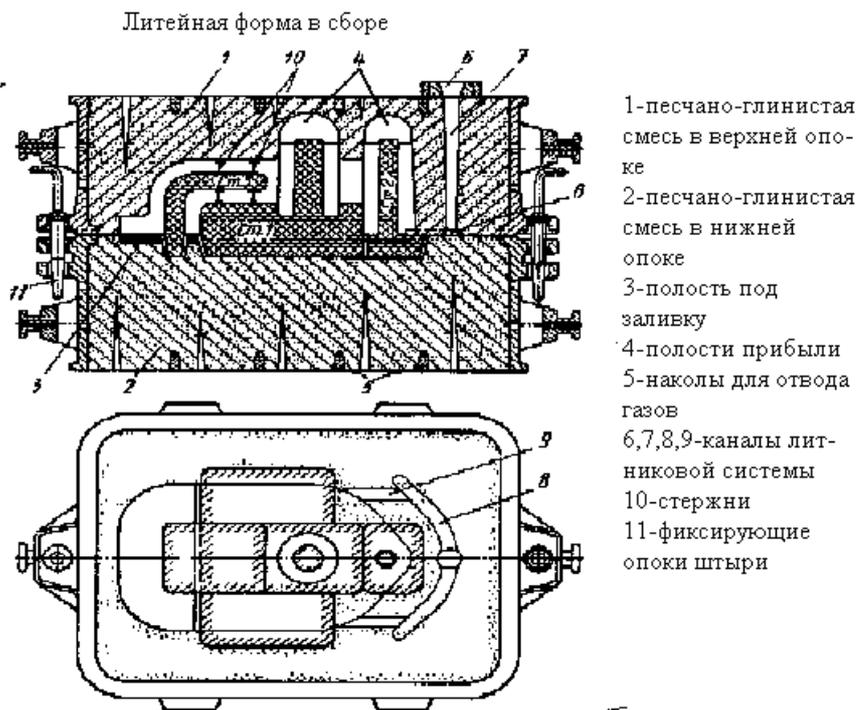
изготавливается из дерева, но в тех случаях, когда она используется часто (серийное производство) из алюминиевых сплавов.

Особенностью такого метода получения формы (рис.4.1) является необходимость извлечения модели. Поэтому формовка обычно осуществляется в двух полуформах, для чего используются специальные ящики без дна (опоки). Для извлечения модели из смеси на ней выполняют специальные (литейные) уклоны. Поэтому модель изготавливается по специальному чертежу, учитывающему особенности формовки, изменение размеров в процессе остывания, припуски на последующую обработку, и т.д. Модель всегда больше изделия на величину усадки и выполняется разъемной по одной или нескольким плоскостям.

При изготовлении формы необходимо образовать канал, через который жидкий металл будет заполнять полость формы (литниковая система). При застывании металла объем его уменьшается и внутри отливки образовалась бы усадочная раковина. Для предотвращения этого в форме делают специальную полость, объем которой может быть достаточно велик (иногда больше, чем объем самой формы для изделия). Этот объем тоже будет заполнен металлом, но должен застыть в последнюю очередь и раковина образуется в нем. Эта часть отливки называется "прибыль" и после извлечения отливки из формы должна быть отрезана или удалена при последующей механической обработке.

СХЕМА ЛИТЬЯ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ





**Рис.4.1**

Литье в песчано-глинистые формы самый распространенный вид литья (более 90% по массе всех, получаемых в промышленности, отливок).

Этот вид литья применяется как в индивидуальном, так и массовом производстве.

Его технологические возможности:

1. В основном, в качестве материала отливок используется серый чугун, обладающий хорошей жидкотекучестью и малой усадкой (1%), малоуглеродистая сталь ( $< 0,35\%C$ ). Весьма ограничено производятся таким способом отливки из медных и алюминиевых сплавов.

Качество металла отливок весьма низкое, что связано с возможностью попадания в металл неметаллических включений, газовой пористостью (из-за бурного газообразования при заливки металла во влажную форму).

2. Форма отливок может быть весьма сложной, но все же ограничена необходимостью извлечения модели из формы.

3. Размеры отливки теоретически неограничены. Таким способом получают самые крупные отливки (до сотни тонн). Это станины станков, корпуса турбин и т.д.

4. Точность получаемых отливок обычно грубее 14 квалитета и определяется специальными нормами точности.

5. Шероховатость поверхности отливок превышает 0,3мм, на поверхности часто наличествуют раковины и неметаллические включения. Поэтому сопрягаемые поверхности деталей, заготовки которых получают таким методом, всегда обрабатывают резанием.

## 4.2 Специальные виды литья

Низкие технологические возможности литья в песчано-глинистые формы привели к разработке ряда специальных видов литья, наиболее распространенными из которых являются литье в кокиль

(металлические формы), под давлением, по выплавляемым моделям, в оболочковые формы

#### 4.2.1 Литье в кокиль

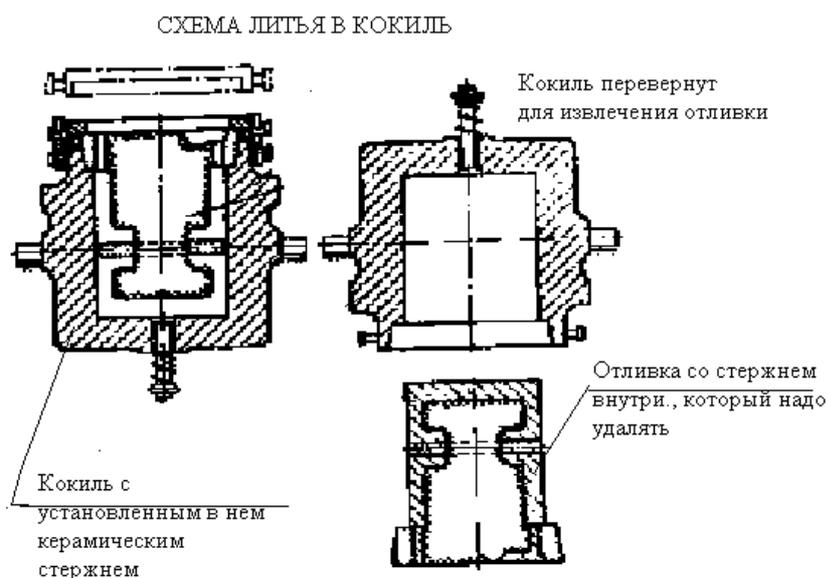
Особенностью литья в металлическую форму (в кокиль) (рис.4.2) является невозможность разрушения формы после заливки, поэтому кокиль проектируется так, чтобы отливку можно было извлечь простым переворачиванием формы или разъемом ее по плоскостям стыка.

**Это определяет ограничение по форме получаемых отливок: форма должна быть достаточно простой, иметь уклоны для легкого извлечения. Естественно, материал формы должен обладать достаточной жаростойкостью. Обычно таким способом производятся отливки из медных сплавов (температура плавления менее 1000°С) и из алюминиевых сплавов (температура плавления менее 650°С).**

Поэтому кокили изготавливают из стали ( $T_{пл}=1559^{\circ}\text{C}$ ) или чугуна.

Масса отливок ограничена возможностью изготовления крупногабаритных кокилей и обычно не превышает 250кг.

Преимуществом является многократное использование формы, простота автоматизации процесса, низкая себестоимость отливок, большая точность получаемых отливок, низкая шероховатость поверхности,



отсутствие в металле отливки неметаллических включений.

Рис.4.2

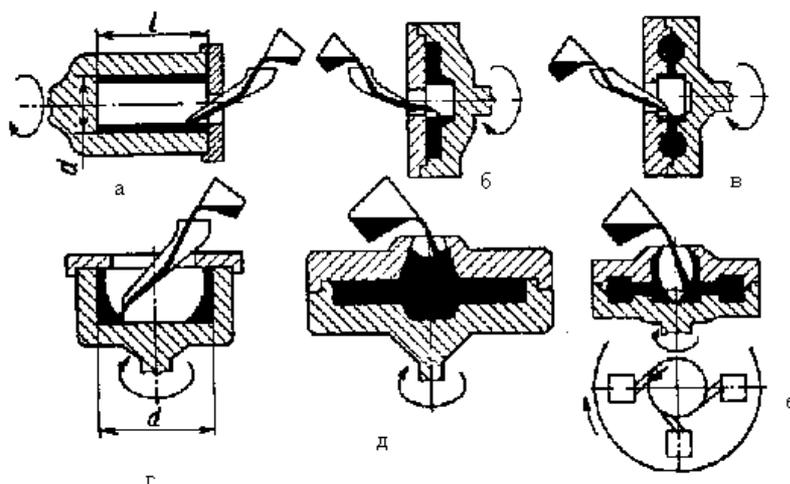
#### 4.2.2 Центробежное литьё

Заполнение формы жидким металлом определяется его жидкотекучестью и силами, действующими на частицы жидкости. При обычных методах литья такие силы создаются за счет гравитационного поля земли (силы тяжести).

Однако, в ряде случаев, этих сил недостаточно, чтобы обеспечить проникновение жидкости в тончайшие каналы формы. За счет быстрого вращения формы можно создать дополнительные, центробежные силы, действующие на расплав, которые могут значительно превышать силы тяжести и обеспечивать заполнение жидкостью тонких элементов формы. С помощью этих сил можно даже производить формообразование отливки, как, например, при литье труб, втулок, дискообразных изделий (рис.4.3).

Центробежное литье широко применяется в ювелирной промышленности, когда требуется получение тонкого профиля на поверхности отливок, а сами они достаточно ажурны и форма для их отливки имеет тонкие каналы, куда, при обычных условиях заливки, жидкий металл просто не проникнет.

СХЕМЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ



а - отливка труб, б, в, д - отливка дисков, г - отливка втулок,  
е - отливка деталей произвольной формы (центробежные силы  
используются только для уплотнения структуры металла)

Рис.4.3

### 4.2.3 Литье в оболочковые формы

Литье в оболочковые формы появилось как попытка автоматизировать изготовление разрушаемых форм. На нагретую модель, выполненную из металла, насыпается смесь песка с частицами неполимеризованного терморезистивного материала (рис.4.4). Выдержав эту смесь на поверхности нагретой заготовки определенное время, получают слой смеси, в котором частицы пластмассы расплавились и полимеризовались, образовав твердую корку (оболочку) на поверхности модели. При переворачивании резервуара излишняя смесь сыпается, а корка, с помощью специальных выталкивателей, снимается с модели (а). Далее, полученные таким образом оболочки, соединяют между собой склеиванием силикатным клеем, устанавливают в опоках и засыпают песком, для обеспечения прочности при заливке металла (в). Также получают керамические стержни для формирования внутренних полостей отливок (б).

Основное преимущество этого вида литья по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы - простота автоматизации получения форм.

Но надо отметить, что таким способом невозможно получать крупногабаритные отливки, изделия особо сложной формы.

Таким способом отливают, например, радиаторы парового и водяного отопления, детали автомобилей и ряда машин.

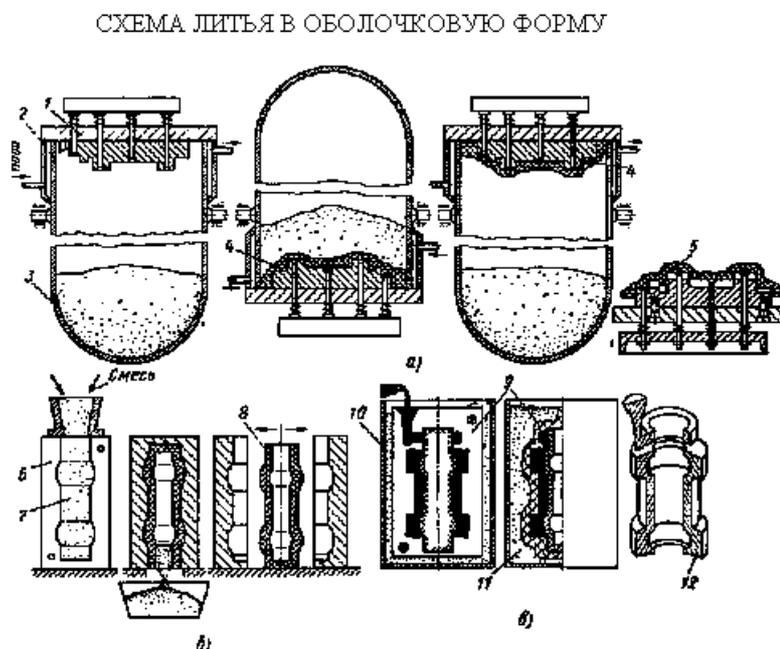


Рис.4.4

#### 4.2.4 Литьё по выплавляемым моделям

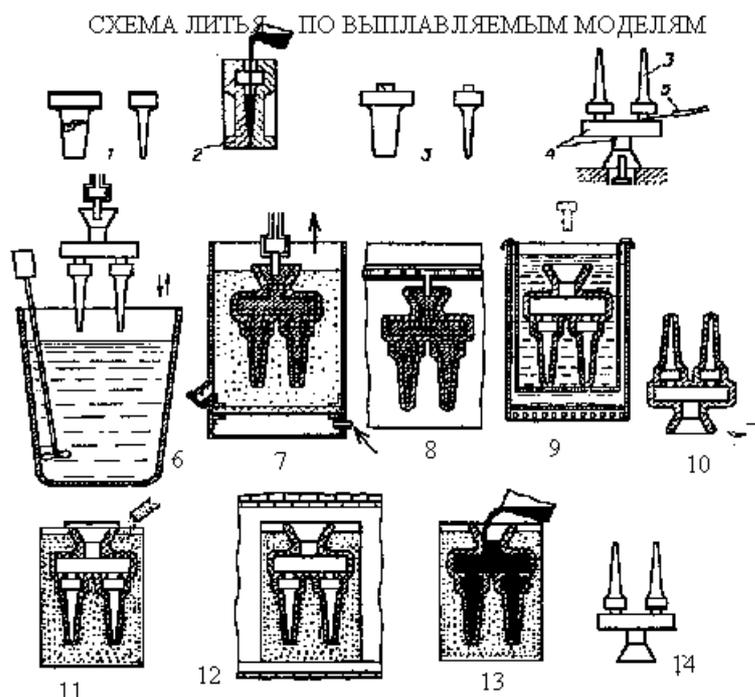
Обычно, трудности создания формы связаны с необходимостью извлечения модели из формы после ее уплотнения или затвердевания. Понятно, что не любая модель может быть извлечена и в ряде случаев желательно, чтобы после формовки модель как бы исчезла, "испарилась", освободив полость под заливку жидкого металла. С древнейших времен известно литье по выжигаемым моделям, когда модель, выполненная из дерева или другого органического материала, выжигалась из формы при ее прокаливании на огне. Но такой метод литья может быть оправдан только при создании уникальных художественных отливок, так как изготовление новой модели было бы чрезвычайно трудоемко.

В настоящее время модели изготавливаются из легкоплавкого материала - смеси стеарина и парафина, которая извлекается из формы выплавлением.

Изготовление модели осуществляется отливкой в специальной металлической форме (2) (рис.4.5), которая выполняется с высокой точностью и поверхность ее полируется.

Полученные модели (восковки) (3) собираются в куст на модель литниковой системы (4) выполненной также из легкоплавкой смеси парафинов. Сборка их

весьма проста, так как они легко соединяются местным расплавлением контактных зон, что производится нагретым ножом (шпателем) (5). Полученная групповая модель погружается в суспензию, состоящую из мелкомолотого кварцевого песка и связующего (этилсиликат) (6). На поверхности модели многократным окунаем в суспензию и взвесь песка (7) и высушиванием создается толстая (4-8мм) керамическая корка. Извлечение модели из корки производят выплавлением (9) в горячей воде, а остатки парафина удаляются при последующем прокаливании формы (10). Перед заливкой металла форма устанавливается в ящик и засыпается песком (11).



**Рис.4.5**

Преимуществом данного вида литья является возможность получения чрезвычайно сложных по форме отливок (например, турбинных лопаток). Так как форма может быть получена из любой жаропрочной керамики, то нет ограничений по температуре плавления заливаемого металла. Высокая точность и низкая шероховатость поверхности получаемых изделий обеспечивается применением тонкодисперсных материалов для изготовления керамической формы. В основном применяется для отливки изделий из стали, жаропрочных сплавов (детали двигателестроения, турбин и т.д.). Метод не позволяет получать крупногабаритные изделия, хотя в художественном литье возможности метода при создании уникальных изделий неограничены. В этом случае модель (восковку) изготавливает художник вручную.

#### **4.2.5 Литье под давлением**



оболочко- вые формы		размеры и форма ограниче-ны		массовое производство
Литье в кокиль	Алюмини- евые и медные сплавы	Масса до 250 кг, форма ограниче- на условиями извлечения отливки из кокиля	12...14 кв, Rz >40	Серийное и массовое производство
Литье под давлением	Алюмини- евые, цинковые, реже медные сплавы	Масса до 200кг, форма ограниче- на условиями раскрытия прессфор-мы	7...12 кв., Rz=0,63...40	Крупносерийное и массовое производство
Литье по выплавля- емым моделям	Сталь, спец. сплавы, медные сплавы	Форма не ограниче- на, масса до 10кг, в худож. литье не ограниче-на	10...14кв., Rz =2,5...40	Серийное производство сложных по форме изделий, в том числе из тугоплавких сплавов

Вопросы для самопроверки:

- 1.Какой метод литья обеспечивает наибольшую точность получаемой отливки?
- 2.Какие методы литья не требуют изготовления моделей?
- 3.В чем преимущества литья по сравнению с другими методами получения заготовок деталей машин?
- 4.Какие изделия получают центробежным литьем?
5. В чем состоят преимущества литья в кокиль?
- 6.Из каких сплавов производят отливки литьем под давлением?
- 7.Каким методом литья можно получить отливку станины станка длиной 10м и массой 10тонн?
- 8.Каким методом литья целесообразно отливать корпуса замков из алюминиевого сплава?
- 9.Какими физическими факторами определяется жидкотекучесть сплава при заполнении им формы?
- 10.Из каких материалов изготавливается форма при литье под давлением?

Образец карты тестового контроля:

1. Каким методом литья целесообразно получить отливку из силумина массой 10 кг с точностью размеров по 12 качеству:
  - а). Литьем в песчано-глинистую форму
  - б). Литьем под давлением
  - в). Литьем по выплавляемым моделям
2. Каким методом изготавливают бронзовое художественное литье:
  - а). Литьем в кокиль
  - б). Литьем под давлением
  - в). Литьем по выплавляемым моделям
3. В каких методах литья не применяют стержни:
  - а). в литье под давлением
  - б). В литье по выплавляемым моделям
  - в). В литье в кокиль
4. Каким методом литья невозможно изготовить стальную отливку массой 200кг
  - а). Литьем под давлением
  - б). Литьем в оболочковые формы
  - в). Литьем в песчано-глинистые формы
5. Какой метод литья обеспечивает получение отливок наиболее сложной формы
  - а). Литье под давлением
  - б). Литье в кокиль
  - в). Литье по выплавляемым моделям

## 5. Методы обработки металлов давлением

Благодаря пластичности металлов, проявляющейся при деформации в холодном или горячем состоянии, можно изменять форму исходной заготовки, полученной, естественно, каким либо другим методом.

Возможность обработки металлов давлением во многом определяет их широкое применение. Это технологическое свойство настолько существенно, что когда-то даже было основой определения металла (Металл - это светлое тело, которое можно ковать).

При пластической деформации металла происходит смещение атомных слоев друг относительно друга внутри кристаллов и смещение кристаллов относительно друг друга. Важной особенностью этого вида деформации является отсутствие разрушения. Конечно разные металлы и их сплавы обладают различной способностью деформироваться без разрушения. Пластичность металлов оценивается величиной относительного удлинения стандартного образца при разрыве. Эта величина у пластичных металлов колеблется от 10 до 50 %. В настоящее время разработаны сверхпластичные сплавы, относительное удлинение которых при разрыве может достигать сотен процентов.

К сплавам, обладающим высокой пластичностью, которые могут обрабатываться методами давления относятся: низкоуглеродистые стали, сплавы алюминия, меди (латуни), многие легированные стали.

Пластичность металлов существенно увеличивается при их нагреве, поэтому обработку давлением в основном производят в "горячем" состоянии. При нагреве кроме того существенно снижается прочность металлов, поэтому усилия для их деформирования значительно ниже, что позволяет применять более простое оборудование и инструмент.

Наиболее распространенными технологическими методами обработки металлов давлением являются: прокатка, прессование, волочение, ковка, штамповка.

### 5.1 Прокатка

Более 80% производимой стали и около 50% цветных металлов перерабатывается прокаткой. Таким способом (рис.5.1) получают длинные заготовки определенного профиля - сортамент. Эти изделия служат заготовками для производства различных деталей машин или имеют собственное применение - трубы, рельсы, профили для строительных конструкций.

Прокаткой получают листовый материал, который после дальнейшей обработки применяется для производства корпусов судов, машин, самолетов и т.д.

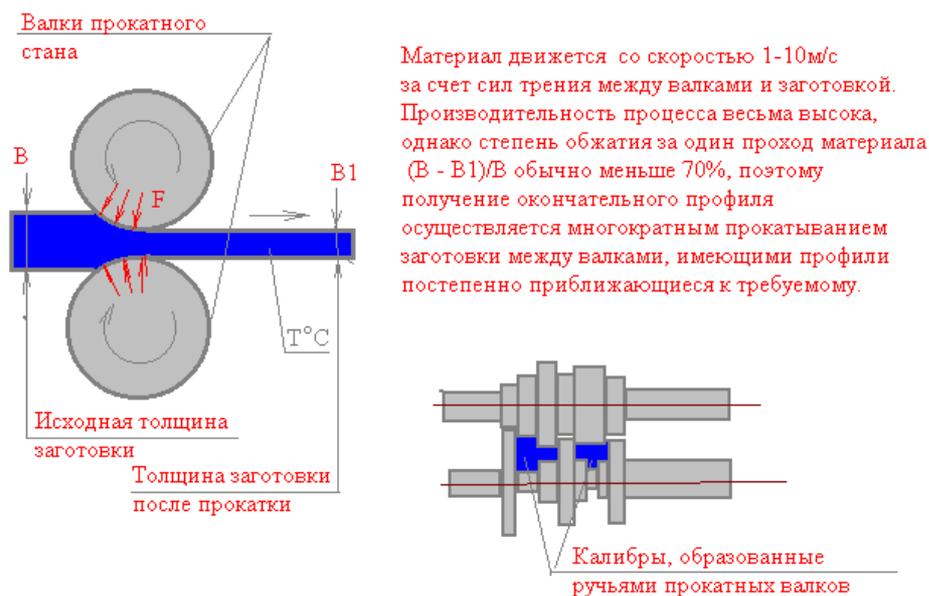


Рис.5.1

Оборудование - прокатные станы.

Станы для производства заготовок для последующего получения сортамента называются **блюминги**, а для производства заготовок под последующий листовой прокат - **слябинги**. В качестве заготовок на этих станах используются слитки. Естественно, что для снижения расхода энергии рационально прокатывать слитки в горячем состоянии, после разливки металла и его затвердевании. Поэтому такие станы обычно устанавливаются на металлургических комбинатах, производящих (варящих) сплав (сталь).

### Технологические возможности прокатки

1. Возможна прокатка только пластичных металлов в горячем или холодном состоянии (фольга является продуктом прокатки чистого алюминия в холодном состоянии).

2. Форма. Форма (рис.5.2) может быть достаточно сложной, но существуют существенные ограничения, связанные с условиями прохода металла через прокатные валки. Трудно получить поверхности перпендикулярные осям прокатных валков, поэтому необходимо предусматривать специальный наклон таких стенок. Трудно или иногда невозможно получать профили сортамента с закрытыми, замкнутыми поверхностями.

3. Размеры. Диапазон размеров (толщин) прокатываемого металла довольно широк. От толстолиствого проката (>200мм) до фольги толщиной до 0,001мм.

4. Точность. Если при прокатке в горячем состоянии точность составляет десятые доли мм, что соответствует 12-14 квалитетам точности, то при прокатке без нагрева точность может быть существенно выше и при прокатке фольги достигает тысячных долей миллиметра.

5. Шероховатость. Также зависит от наличия нагрева и при горячей прокатке шероховатость существенно выше (до Rz 320), при холодной же прокатке (фольга) может быть получена весьма низкая шероховатость (менее Ra0,63).

#### ОСНОВНЫЕ ПРОФИЛИ СОРТОВОГО ПРОКАТА



Рис.5.2

## 5.2 Прессование

Прессованием называется процесс выдавливания металла из замкнутой полости (контейнера) через профильное отверстие матрицы (рис.5.3).

Оборудование. Горизонтальные и вертикальные гидравлические прессы с усилием 300-25000 тонн.

Матрицы, пуансоны для прессования изготавливают из особопрочных сталей и сплавов, так как давления при прессовании весьма велики. Поэтому таким методом получают в основном изделия из алюминиевых и медных сплавов.

Форма получаемого профиля может быть весьма сложной, этот метод обеспечивает получение наиболее сложных профилей, таких как оребренные трубы для теплообменных аппаратов, строительные профили (профили рам из легких сплавов).

Точность и качество поверхности получаемых профилей также весьма высоки, так как практически определяются качеством матрицы, точность и шероховатость поверхностей которой может быть достигнута в процессе изготовления. Конечно в процессе работы матрица изнашивается, что ухудшает вышеуказанные параметры изделия.

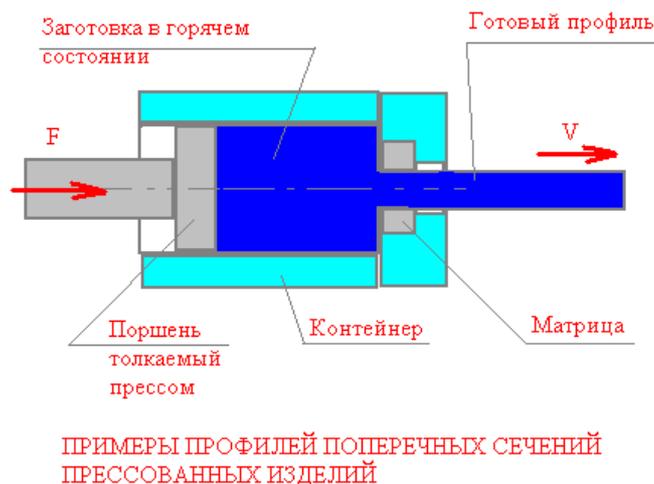


Рис.5.3

### 5.3 Волочение

Процесс обжатия металла заготовки при протаскивании ее через волоку - инструмент с отверстием, сечение которого меньше исходного сечения заготовки (Рис.5.4).

В результате процесса поперечное сечение заготовки уменьшается, а длина ее увеличивается. Волочение применяется без нагрева заготовки для получения тонкой проволоки (от 0,002мм до 4мм).

За один цикл обжатия в волоке нельзя значительно уменьшить сечение заготовки, так как усилие может быть приложено только к выходящему из волоки концу заготовки и, при чрезмерном усилии, проволока может просто порваться.

Волочением можно также калибровать (с целью повышения точности) прутки различного профиля, тонкостенные трубы и т.д.

Оборудованием являются специальные волочильные станы, на которых за один цикл проволока может получать несколько обжатий.

Заготовками для волочения является продукция прокатного производства (проволока "катанка" диаметром 6мм).

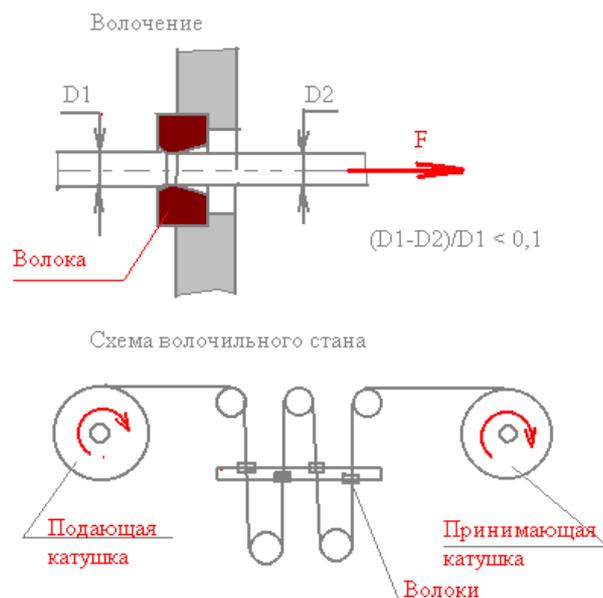


Рис.5.4

Волочением получают всю проволоку для электротехнической и электронной промышленности, стальную проволоку для машиностроения, строительства и т.д.

Точность профиля достигает 6 качества, а шероховатость поверхности может быть обеспечена менее 0,32мкм.

Волоки, работающие в чрезвычайно напряженном режиме и подвергающиеся интенсивному истиранию, выполняются из сверхтвердых металлокерамических сплавов и кристаллов (алмаз).

## 5.4 Ковка

Ковкой называется процесс горячей обработки металлов давлением, при котором на заготовку воздействуют ударами кувалды, бойка молота, нажатием бойка пресса или другим универсальным инструментом.

Исходная заготовка при ковке - слиток или отрезок проката.

Ручная ковка в настоящее время применяется в ремонтных работах и художественной обработке металла.

Машинная ковка осуществляется на кузнечно-прессовых машинах:

ковочных молотах с массой падающих частей от 0,5 до 16т, ковочных прессах с усилием от 500 до 100000т.

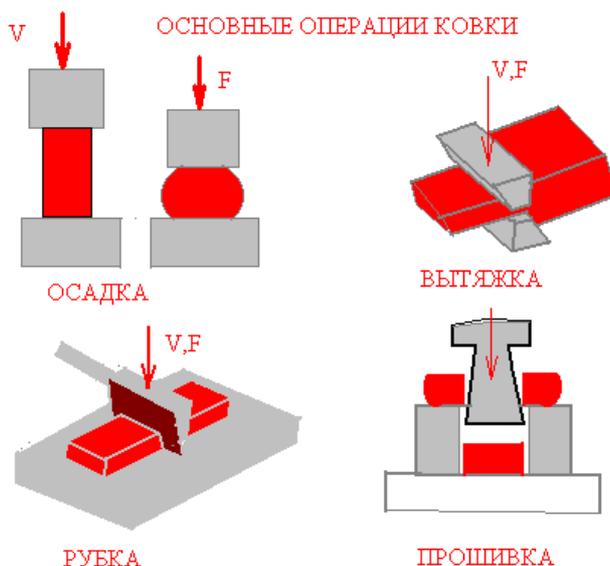


Рис.5.5

#### Технологические возможности

Материал заготовки. В основном производятся стальные поковки, которые коуются при температуре 900-1300°C. Хотя ограничено производятся поковки из цветных материалов. Свойства материала при ковке значительно улучшаются, так как происходит дробление кристаллов металла, выравнивание химического состава, может быть создана целесообразно направленная мелкокристаллическая структура металла.

Поэтому в ряде случаев ковку применяют при изготовлении заготовок ответственных деталей машин (валов, роторов турбин, стволов пушек...).

Форма получаемых в промышленности изделий обычно весьма проста, хотя в художественной ковке форма ограничена только фантазией художника.

Размеры заготовок могут быть очень велики. Например, поковка гребного вала корабля, ротора крупной турбины. Масса поковок может составлять десятки тонн. Конечно невозможно было бы пластически деформировать такую огромную заготовку всю целиком из-за отсутствия соответствующего оборудования, но при ковке возможна местная пластическая деформация заготовки и, естественно, крупногабаритные поковки проковывают последовательно по участкам.

Точность поковок соответствует 14 качеству и грубее, а шероховатость поверхности обычно весьма высока ( $> 300\text{мкм}$ ), поэтому поковки обрабатываются резанием и другими методами при получении из них деталей машин.

Применение при ковке универсального инструмента значительно удешевляет подготовку производства, поэтомуковка применяется в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

#### 5.5 Горячая объемная штамповка

При этой обработке металл заготовки деформируется во всем объеме, причем течение его ограничивается полостью штампа. При этом форма

получаемого изделия соответствует форме штампа. Естественно, что по сравнению со свободной ковкой процесс значительно более производительен, но требует изготовления специальной оснастки штампов (рис.5.6).

Поэтому в основном применяется в серийном и массовом производстве.

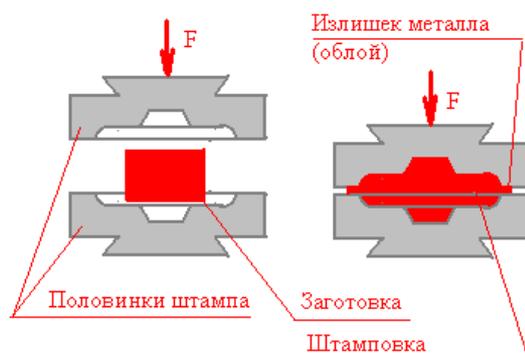


Рис.5.6

Деформация всего объема заготовки требует, несмотря на ее нагрев, значительных усилий, действующих на штамп, поэтому габариты (масса) заготовок обычно ограничена (менее 250кг).

Материал при высоких степенях пластической деформации также как и при ковке уплотняется, измельчается зерно, что приводит к улучшению механических свойств изделия. Поэтому процесс применяется при производстве заготовок весьма ответственных изделий: валов, зубчатых колес, турбинных лопаток и т.д.

Точность получаемых заготовок также значительно выше, чем при ковке и достигает 12 качества.

Шероховатость же поверхности, из-за наличия окалины на поверхности нагретой заготовки высока (100 - 500мкм).

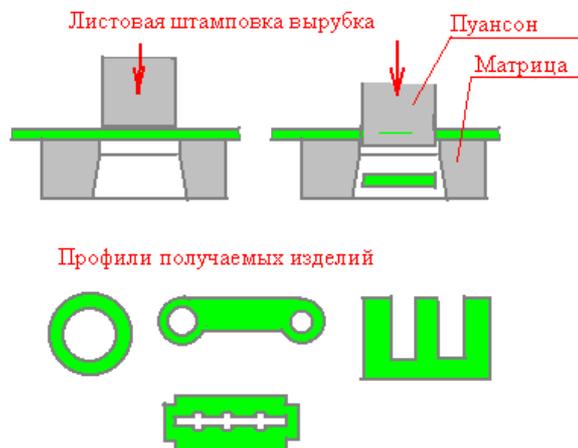
Объемная штамповка иногда проводится в холодном состоянии и в этом случае точность и шероховатость могут быть значительно улучшены. Однако трудно обеспечить большую степень пластической деформации заготовки и инструмент (штамп) быстро изнашивается.

## 5.6 Листовая штамповка

Листовой штамповкой называется процесс деформации листовой заготовки на прессе с помощью штампа.

При **штамповке вырубке** (рис.5.7) происходит срез материала между краями сложноконтурного пуансона и эквидистантной к нему по контуру матрицей. Пуансон и матрица выполняются из материалов значительно более твердых, чем материал заготовки (закаленная сталь, металлокерамический твердый сплав).

Обычно тонколистовой материал (< 10мм) вырубает без подогрева заготовки, при большей же толщине требуется подогрев. Таким образом производятся заготовки сложного контура из



пластичных металлов.

Размеры заготовок определяются размерами штампов и обычно не превышают 1м.

Точность определяется точностью изготовления матрицы и может достигать 6-7 квалитетов.

Шероховатость же поверхности среза в зоне разрушения материала высока, но может быть уменьшена с помощью специальных приемов (чистовая штамповка вырубка).

Рис.5.7

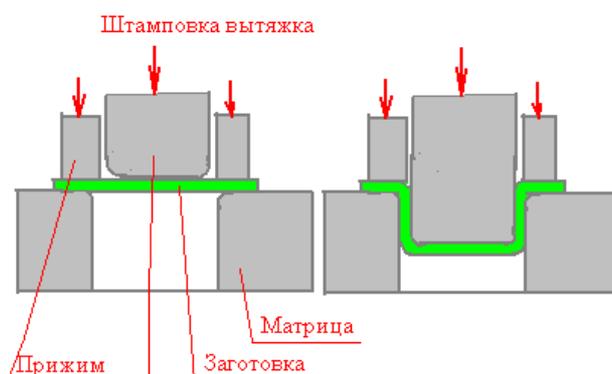
Штамповка вырубка широко применяется в машиностроении, радиоэлектронной промышленности, аэрокосмической промышленности.

**Штамповка вытяжка** (рис.5.8) позволяет создавать из плоского листа объемные детали за счет значительной пластической деформации, при которой происходит не только гибка, но и вытяжка материала со значительным изменением его толщины. Поэтому такой метод обработки позволяет обрабатывать только особо пластичные материалы (малоуглеродистая сталь <math><0,1\%C</math>, алюминиевые сплавы, латунь).

Штамповке вытяжке обычно предшествует штамповка вырубка для получения контурной плоской заготовки.

Как штамповка вытяжка, так и вырубка чрезвычайно производительные процессы ( до нескольких сот заготовок в минуту). Поэтому они применяются в серийном и массовом производстве.

Штамповкой вытяжкой получают детали кузова автомобиля, металлическую посуду, боеприпасы, консервные банки и многое другое.



### Рис.5.8

Применение их в мелкосерийном и индивидуальном производстве экономически не целесообразно в связи со значительными затратами на подготовку производства (стоимость штампов).

Вопросы для самопроверки:

- 1.Какие свойства материала определяют возможность обработки его методами давления?
- 2.Какой вид заготовок используют при прокатке?
- 3.Какими факторами определяется точность профиля прессованных изделий?
- 4.Почему при волочении невозможно получить большую степень утонения (обжатия) заготовки?
- 5.Почему ограничена сверху масса получаемых объемной горячей штамповкой заготовок?
- 6.От чего зависит точность контура заготовки при штамповке вырубке?
7. Какое свойство материала заготовки определяет возможность применения для ее обработки штамповки вытяжки?
- 8.Почему в индивидуальном производстве нецелесообразно применение горячей объемной штамповки?
9. Какие материалы перерабатываются методом прессования?
10. С какой целью нагревают материал при обработке давлением?

Образец карты тестового контроля:

1. Какие изделия получают прокаткой:
  - а). рельсы, прутки
  - б). листы, кастрюли
  - в). втулки, зубчатые колеса
2. Изделия какой массы можно получить горячей объемной штамповкой:
  - а). более 1000 кг
  - б). менее 250 кг
  - в). менее 10 кг
3. Каким способом получают стальную проволоку  $\varnothing 2$ мм
  - а). прокаткой
  - б). волочением
  - в). прессованием
4. Каким способом изготавливают алюминиевые кастрюли:
  - а). штамповкой вырубкой
  - б). штамповкой вытяжкой
  - в). объемной штамповкой
5. Какой способ обработки давлением позволяет получать наиболее сложные по форме изделия:
  - а). прокатка
  - б). прессование
  - в). волочение

## 6. Сварка

**Сварка металлов** - это технологический процесс получения неразъемных соединений за счет создания межатомных связей.

Межатомные связи между частями заготовок могут быть получены в результате совместной кристаллизации после расплавления определенных зон соединяемых частей, за счет местной пластической деформации и при взаимной диффузии атомов соединяемых частей.

В зависимости от температуры нагрева соединяемых частей заготовки, различают сварку плавлением и термо-механическую сварку.

Сварка применяется для создания сложных по форме заготовок и деталей, при больших габаритах изделий, при необходимости электрического контакта между частями изделия. Практическое применение сварка нашла во всех отраслях промышленности: машиностроении, судостроении, приборостроении, строительстве и т.д.

### 6.1 Сварка плавлением

Основная проблема при сварке плавлением - обеспечить расплавление локальных зон соединяемых частей при сохранении формы и свойств материала основной (большой) части заготовок.

Для обеспечения этого условия необходим мощный локальный источник нагрева в качестве которого может выступать электрическая дуга, плазменная струя, лазерный луч и поток электронов.

#### Электродуговая сварка

Разработана русскими учеными Бенардосом Н.Н., Петровым В.В.

Применяется в двух видах :

сварка неплавящимся электродом и сварка плавящимся электродом (рис.6.1).

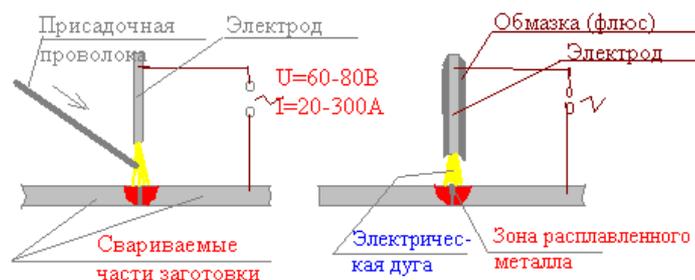


Рис.6.1

Сварка плавлением обычно возможна только в тех случаях , когда свариваемые металлы образуют при расплавлении единую сварочную ванну, т.е. растворяются друг в друге в жидком состоянии. Поэтому применяется для сварки однородных металлов. Такая сварка применяется в основном в индивидуальном производстве, при ремонте и сварке малоуглеродистых сталей в полевых условиях.

**Автоматическая сварка под слоем флюса** (рис.6.2) позволяет значительно увеличить мощность сварочной дуги, что позволяет за один проход сваривать стальные листы толщиной до 25мм. Горение дуги под слоем флюса позволяет защитить свариваемый металл от окисления. Такая сварка может быть полностью автоматизирована. При этом перемещение сварочной дуги (всего аппарата относительно заготовки, перемещение проволоки в зону дуги) обеспечивается специальными следящими системами.

Применяется при сварке стальных конструкций (корпуса химических агрегатов, цистерны, корпуса судов и т.д.)



**Рис.6.2**

Установка движется относительно детали со скоростью образования сварного шва. Проволока, являющаяся плавящимся электродом, подается со скоростью ее плавления, таким образом, чтобы длина электрической дуги оставалась постоянной.

**Электродуговая сварка в защитном газе** (рис.6.3) применяется в тех случаях, когда свариваемые металлы очень активны химически и при высокой температуре интенсивно взаимодействуют с кислородом воздуха (окисляются или даже сгорают). К таким металлам относятся сплавы на основе алюминия, титана и ряда других, редко применяемых в технике.

При этом виде сварки поток защитного газа должен омывать нагретые участки сварного шва и зону горения сварочной дуги, так как в ней непосредственно происходит плавление присадочной проволоки, выполненной из того же, что и свариваемые заготовки, материала.

В качестве защитных применяются обычно инертные газы (аргон, гелий). При сварке стали высокой эффективностью в качестве защитного обладает углекислый газ.

Расход защитного газа существенно удорожает получение сварных конструкций этим методом.

Такой вид сварки широко применяется в судостроении, машиностроении, аэрокосмической промышленности.

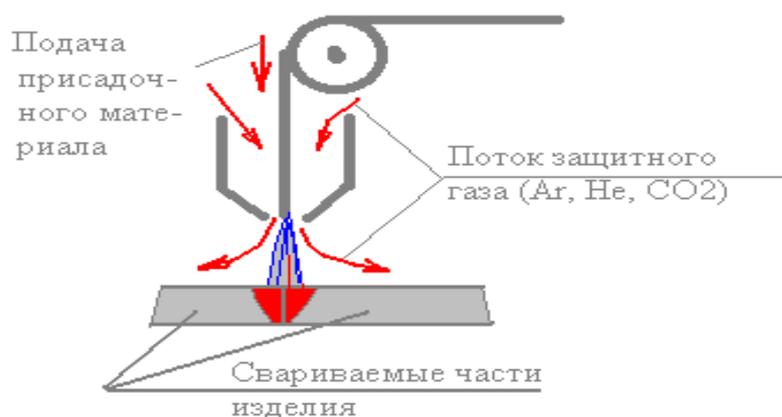
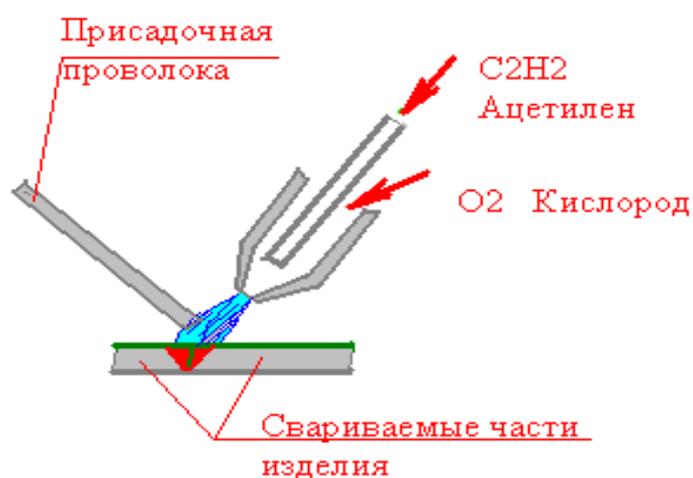


Рис.6.3

### Газовая сварка (рис.6.4)

Конечно расплавить металл в зоне сварного шва можно не только электрической дугой, но и пламенем, образующимся при сгорании некоторых газов в кислороде. Так при горении в кислороде водорода, ацетилена и ряда других, реже используемых газов, температура пламени превышает  $3000^{\circ}\text{C}$ .

Однако пламя конечно является менее концентрированным источником энергии, поэтому таким методом можно сваривать только тонкие заготовки ( $< 5\text{мм}$ ). Применяется такая сварка весьма ограниченно: в полевых условиях, где отсутствуют источники электрического тока, в строительстве (сварка трубопроводов в труднодоступных местах) и т.д.



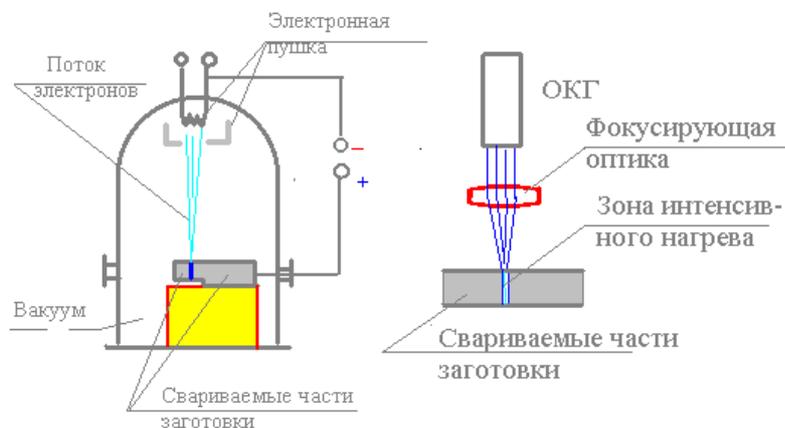
**Рис.6.4**

Кислород и ацетилен обычно поступают из баллонов, которые транспортируются к месту сварки.

Технико-экономические показатели некоторых распространенных способов сварки плавлением

**Таблица 6.1**

Способ сварки	Свариваемые металлы и область применения	Мощность источника энергии и его параметры	Расход газа	Производительность
Электродуговая ручная	Сталь низкоуглеродистая. В строительстве, судостроении, машиностроении	5...18кВт U = 55...60В I = 100...300А	нет	1...12 м/час
Электродуговая автоматическая под флюсом	Сталь. В машиностроении, в судостроении	5...50кВт	нет	25...80 м/час
Аргонодуговая ручная	Алюминиевые сплавы, нержавеющие стали. В машиностроении и судостроении	5...10кВт	180...540 л/час	8...30 м/час
Аргонодуговая автоматическая	То же	5...15кВт	1000...2000 л/час	20...30 м/час
Газовая ручная	Сталь, медные сплавы. В строительстве, при ремонте в полевых условиях, в ювелирном деле	нет	60...360 л/час	4...8 м/час



Применение современных концентрированных источников тепловой энергии позволило разработать новые виды сварки, электроннолучевую и лазерную (рис.6.5), отличающиеся локальностью воздействия на обрабатываемый материал, позволяющие сваривать зачастую разнородные металлы с высокой производительностью. При этом зона расплавления может быть значительно меньше, что повышает качество соединения.

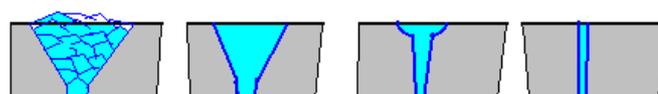
Применяются данные виды сварки в аэрокосмической, судостроительной промышленности, в атомном и общем машиностроении.

Рис.6.5

## 6.2 Термомеханическая сварка

Самым древнейшим способом соединения стальных заготовок является кузнечная сварка (рис.6.6), при которой заготовки при высокой температуре

Зона расплавления при различных видах сварки:



ручная электродуговая многопроходная

электродуговая автоматическая под слоем флюса

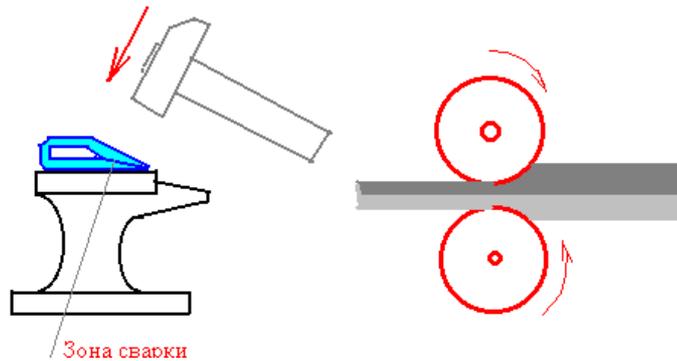
электроннолучевая

лазерная

совместно проковываются, разделяющая их пленка окислов железа разрушается, а в результате пластической деформации кристаллы металла из

различных частей заготовки сближаются на межатомные расстояния и происходит их соединение.

Такая сварка применяется сейчас в основном в художественной ковке. Однако сам физический принцип такого соединения широко используется, например, при получении биметаллических листов совместной прокаткой (рис.6.6). Так можно получать, например, листы из алюминиевого сплава покрытые слоем чистого алюминия, стальные листы со слоями



коррозионностойкой стали и т.д.

**Рис.6.6**

Электроконтактные виды сварки (рис.6.7) основаны на нагреве зоны контакта двух частей заготовки в зоне их стыка при их механическом сдавливании. Процесс может быть реализован, если электрическое сопротивление контакта заготовок превышает сопротивление всей электрической цепи. Тогда в зоне контакта будет выделяться тепловая мощность

$$W = I^2 * R_k$$

где  $I$  - величина эл.тока в цепи,  $R_k$  - сопротивление контакта.

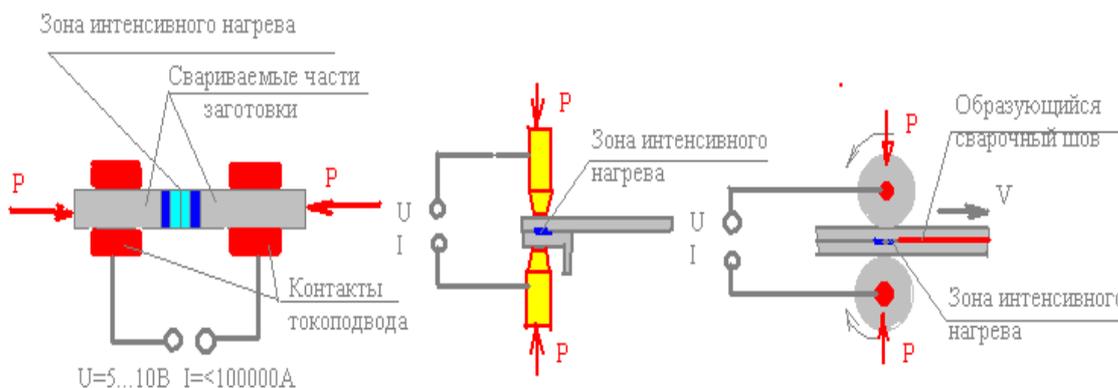


Рис.6.7

Таковыми способами сваривают прутки из различных металлов встык ( при производстве инструмента) , листовой материал ( кузова автомобилей, корпусные изделия из тонколистового материала и т.д.)

Технологические возможности методов сварки.

1.Свариваемые материалы. Методы сварки практически позволяют соединять все виды металлов и даже неметаллов. Однако каждый конкретный метод сварки предназначен для сварки определенного набора материалов.

2.Форма. Сварка позволяет получать изделия самой сложной формы, что и естественно, так как соединяя между собой даже части простейшей формы можно получить сколь угодно сложную по форме конструкцию. Так телевышка, мост состоят из простейших по форме деталей стержневой формы.

3.Размеры. Не ограничены. Пролеты мостов, вышки длиной сотни метров, а сварные трубопроводы для нефти и газа - сотни км.

В то же время сварка применяется и в микроэлектронике для соединения изделий размером менее 0,01мм.

4.Точность. Данный параметр определяется в очень широких пределах. Если электродуговая сварка приводит к значительной тепловой деформации заготовки и точность ее весьма невелика - допустимые отклонения выше 0.1мм и могут составлять более 1мм, то в микроэлектронике погрешность может не превышать 0.01мм.

5,Шероховатость.Шероховатость наиболее распространенных видов сварки весьма высока и превышает 0,1мм. Поэтому сварные швы на важных в функциональном отношении поверхностях обрабатываются механически , например, шлифованием. Так при сварке труб для газопровода или нефтепровода образующиеся неровности на внутренней поверхности трубы приводят к увеличению сопротивления прокачиванию. Поэтому они должны быть обработаны, что в технологическом отношении представляет определенные трудности.

Вопросы для самопроверки:

- 1.Почему при сварке плавлением необходим мощный концентрированный источник тепловой энергии?
- 2.В каких случаях применяются методы сварки?
- 3.Перечислите рациональные области применения сварки в защитных газах.
- 4.Каково основное условие сварки металлов плавлением?
- 5.Каково основное условие электроконтактной сварки?
- 6.В каких случаях рационально применять газовую сварку?
- 7.Каковы ограничения размеров сварных конструкций?
- 8.В чем состоят преимущества лазерной и электроннолучевой сварки?
9. Перечислите составляющие затрат при аргодуговой сварке; - при электродуговой ручной сварке.
10. Какой вид сварки наиболее производительный?

Образец карты тестового контроля:

1. Каким видом сварки возможно соединение листов из алюминиевого сплава Амгб:
  - а). Электродуговой, автоматической под флюсом;
  - б). Аргонодуговой, электроконтактной;
  - в). Газовой, электроннолучевой
2. Какой вид сварки наиболее дорогой:
  - а). Электродуговой;
  - б). Аргонодуговой;
  - в). Газовый;
3. Какими способом сварки соединяют трубы при прокладке магистральных газопроводов:
  - а). Электродуговым, электроконтактным;
  - б). Электродуговым под флюсом, аргонодуговым;
  - в). Газовым;
4. Какие виды сварки используются при строительстве корпусов судов из стали:
  - а). Электродуговая, автоматическая под флюсом;
  - б). Электроконтактная;
  - в). электроннолучевая;
5. Для каких целей используется стыковая электроконтактная сварка:
  - а). Для сварки заготовок инструмента;
  - б). Для сварки строительных конструкций;
  - в). Для сварки корпусов судов;

## 7. Обработка металлов резанием

Резание металла является в настоящее время самым распространенным способом окончательного формообразования деталей машин и, несмотря на появление принципиально новых способов формообразования, такое положение сохранится еще не одно десятилетие.

Это определяется:

- широкими возможностями формообразования (резанием можно получить как форму простейшего ступенчатого валика, так и форму лопатки турбины)
- относительно низкими энергозатратами процесса
- высокой точностью и низкой шероховатостью поверхностей, достижимой в процессах резания
- достаточно широким спектром обрабатываемых материалов
- возможностью применения универсального режущего инструмента
- наличием широкой номенклатуры оборудования, обеспечивающего получение различных по форме поверхностей.

К существенным недостаткам процесса следует отнести :

- большой, в ряде случаев, отход материала в виде стружки,
- низкую производительность
- сложности автоматизации (из-за сложной кинематики процесса и трудностей контроля параметров изделия в процессе резания).

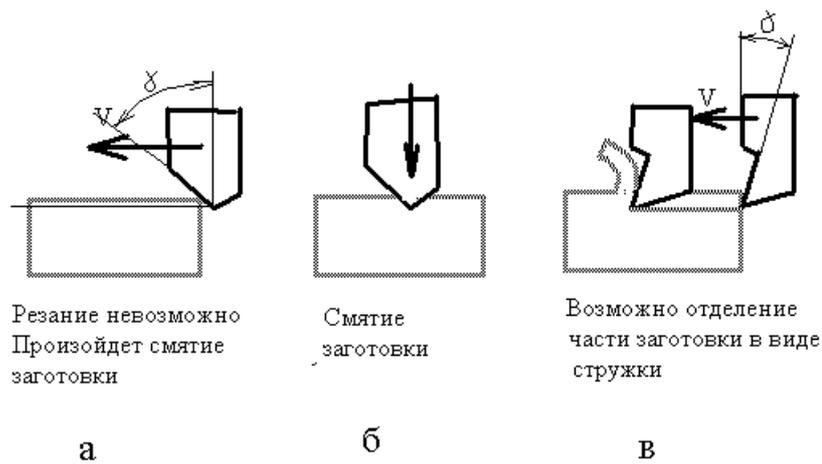
### 7.1 Физические основы резания металлов

Процесс резания состоит в отделении слоя материала заготовки за счет внедрения в неё режущего клина инструмента.

Естественно, не каждый клинообразный предмет может внедряться в материал заготовки.

Для этого твердость его должна быть выше, чем твердость материала заготовки.

Не всякий клин при внедрении способен отделять определенный слой материала, для этого он должен обладать определенными геометрическими параметрами и двигаться по определенному направлению относительно поверхности заготовки (рис.7.1).



**Рис.7.1**

Для формирования требуемой геометрии обработанной поверхности режущий клин должен двигаться по определенной траектории, которую обеспечивает металлорежущее оборудование - станок.

При внедрении режущего клина инструмента сначала происходит его упругий контакт с заготовкой, потом он переходит в пластический контакт смятие и, далее, при нормальных условиях резания, возникает преимущественное развитие пластической деформации в срезаемом слое, реализуемое за счет сдвига слоев металла относительно друг друга (рис.7.2). При обработке пластичных материалов резанием, конечно, пластически деформируется и определенный слой на обработанной поверхности, что приводит к повышению его твердости (наклеп) и возникновению остаточных (обычно растягивающих) напряжений.

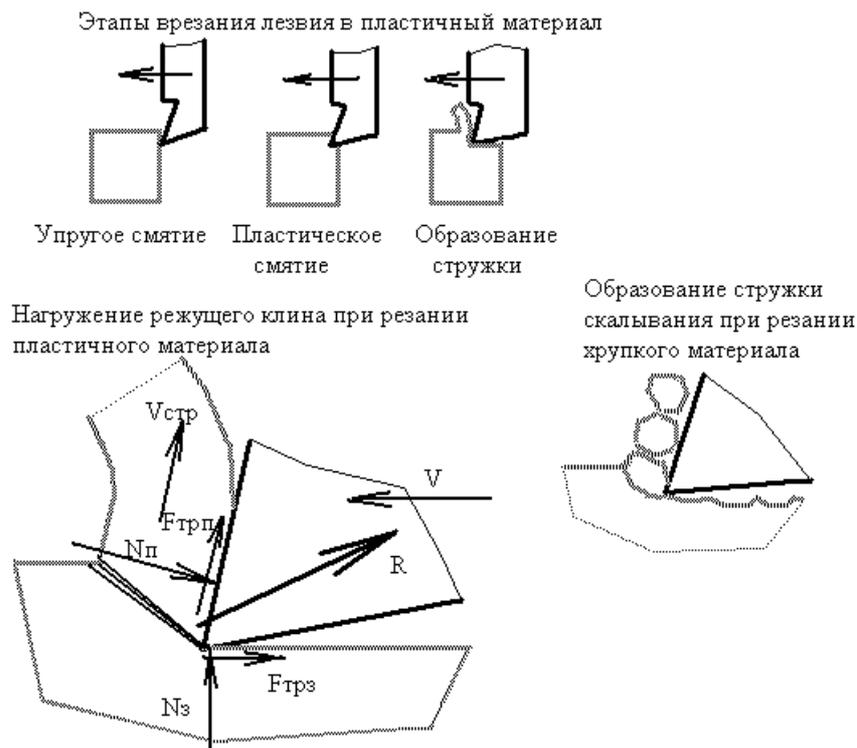


Рис.7.2

Возможно конечно и резание хрупких материалов – в этом случае сразу после стадии упругого контакта наступает стадия разрушения обрабатываемого материала – его скалывание. Так как траектория линий скалывания отличается от траектории движения вершины лезвия, на обработанной поверхности образуются щербинки. Поэтому хрупкие материалы достаточно сложно обработать резанием с низкой шероховатостью поверхности.

В зависимости от свойств обрабатываемого материала и условий резания образуется тот или иной вид стружки. Вид стружки существенно определяет условия ее удаления из зоны резания, иногда существенно затрудняя протекание процесса.

При движении режущего клина относительно заготовки в процессе резания на него действуют силы давления со стороны деформируемого срезаемого слоя  $N_p$ , силы трения сходящей по передней поверхности стружки  $F_{трп}$ , силы давления и трения со стороны пластически деформируемых слоев на обработанной поверхности  $N_z$ ,  $F_{трз}$  (или поверхности резания) (рис.7.2). Равнодействующая этих сил  $R$ , зависящая от прочности обрабатываемого материала и условий резания, нагружает режущий клин и державку инструмента и при неправильно установленных параметрах процесса может привести к их разрушению.

Работа сил трения

$$A_{тр} = F_{трп} * V_{стр} + F_{трз} * V$$

полностью переходит в тепло, которое распространяется в стружку, заготовку, инструмент и окружающую среду.

Наибольшее влияние на ход процесса оказывает тепло распространяющееся в инструмент, так как нагрев его приводит к потере твердости и, следовательно, к износу и разрушению.

Стремление повысить производительность процесса наталкивается на ограничения связанные с нагревом инструмента при увеличении скорости его движения относительно заготовки (скорости резания). Прогресс развития процесса резания во многом связан с разработкой термостойких инструментальных материалов, сохраняющих свою прочность и твердость при высоких температурах.

Основные инструментальные материалы, применяемые при резании.

**Таблица 7.1**

Название и состав	Термостойкость, °С	Скорость резания при точении стали 45, м/мин	Область применения, время изобретения и использования
Углеродистые Инструментальные стали (У8-У13) (С 0,8-1,3%)	150...200	<5	Инструмент слабо нагревающийся в процессе работы: напильники, зубила, деревообрабатывающий инструмент. С неизвестных времен по настоящее время/
Инструментальные легированные стали ХВГ, 9ХС, Х6ВФ и др. С 0,8-1,5%, легированы хромом, марганцем, ванадием, молибденом, вольфрамом и др, элементами.	200...300	<8	Для инструментов, работающих при малых скоростях резания: протяжек, разверток, метчиков, деревообрабатывающего инструмента. Применяется с 19 века по настоящее время.
Быстрорежущие стали Р18, Р6М5, Р18Ф2К8М и др. Легированы вольфрамом, молибденом, хромом, ванадием, кобальтом	600...700	<30	Инструмент сложной формы: фрезы, сверла, фасонные резцы и т.д. С конца 19 века по настоящее время

Металлокерамические твердые сплавы. Получены Методом порошковой металлургии и состоят из карбидов вольфрама, карбидов титана, карбидов тантала. Связка - обычно кобальт.	800...1000	<100	Основная масса режущего инструмента. Применяются с 20-х годов 20 века по настоящее время
Минералокерамика (ЦМ332, ВОК60 и др). Состав: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + карбиды и оксиды др.металлов.	1100... 1200	<300	Резцы для чистового точения при отсутствии ударных нагрузок. Данные материалы весьма твердые, но чрезвычайно хрупкие. Применяются с 50-х годов 20 века по н.в.
Поликристаллические искусственные алмазы	800	<600	Резцы для обработки цветных сплавов, особо твердых материалов. Применяются с 60-х годов 20 века по н.в.
Поликристаллы кубического нитрида бора-ЭЛЬБОР, КОМПОЗИТ	1500	<600	Резцы и резцовые вставки фрез для обработки сталей, в том числе закаленных. Применяются с 70-х годов 20 века.

Инструментальные материалы достаточно дороги, поэтому инструмент изготавливают обычно составным, выполняя из инструментального материала только режущую часть, которая соединяется с остальной частью ( корпусом, державкой...) с помощью сварки, пайки или механического крепления (рис.7.3).

## Способы создания составного режущего инструмента

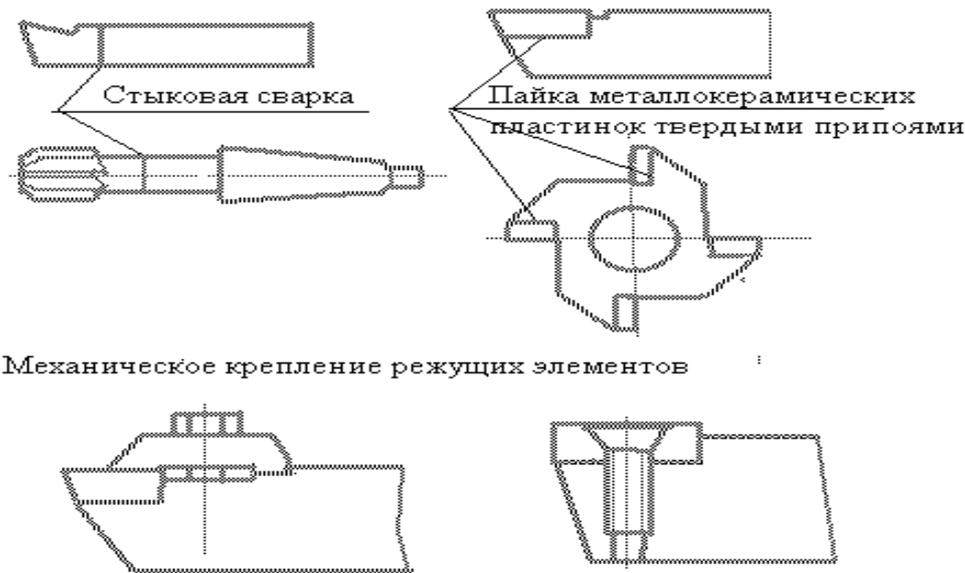


Рис.7.3

## 7.2 Оборудование для обработки резанием

Оборудование для обработки резанием – металлорежущие станки, в зависимости от кинематики движения инструмента и заготовки подразделяется на 10 групп, среди которых основными являются:

- токарные;
- сверлильные и расточные;
- фрезерные;
- шлифовальные и заточные;
- строгальные, долбежные и протяжные;
- зубообрабатывающие;

Основное требование к станку - точность реализации заданной кинематики движений. Так как в процессе резания на инструмент и заготовку действуют значительные усилия, то станок должен обладать существенной жесткостью, иначе точность получаемой поверхности будет ухудшаться. Станки выполняются поэтому достаточно массивной конструкции, а их подвижные элементы выполняются с высочайшей точностью. Легко представить, что если, например, направляющая поверхность станка, обеспечивающая прямолинейность движения резца, не достаточно прямая, то и все детали, получаемые на этом станке, будут иметь соответствующий дефект.

В процессе движения режущего клина в материале заготовки могут возникать автоматически поддерживающиеся колебания, нарушающие нормальный ход процесса и приводящие к ухудшению точности и шероховатости поверхности, а, в ряде случаев, и к разрушению инструмента. Поэтому важнейшей характеристикой металлорежущего станка является виброустойчивость.

Металлорежущий станок должен также обеспечивать выбор управляющих параметров процесса во всем возможном диапазоне их изменения.

### 7.3 Основные процессы обработки материалов резанием

#### 7.3.1 Токарная обработка

Известна многие столетия, но образ токарного станка, в основном соответствующего сегодняшнему облику, появился в 18 веке. Токарные станки - самый распространенный тип металлорежущего оборудования, что связано с простотой их кинематики, заимствованной в древности, по-видимому, от гончарного круга.

Основным признаком этой схемы обработки является вращение заготовки при поступательном движении инструмента (рис.7.4).

Управляющими параметрами процесса являются:

- **скорость резания** - скорость перемещения режущего клина относительно материала заготовки. Она практически равна окружной скорости заготовки в точке контакта ее с вершиной резца. Тогда, при выбранной скорости, требуемая частота вращения заготовки может быть определена:

$$n = 1000 V / \pi D \text{ об/мин}$$

- **подача (S)** - перемещение инструмента за один оборот заготовки, обеспечивающее непрерывное врезание режущего клина. Измеряется при точении в мм/об.

- **глубина резания (t)** - расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по направлению к нормали к обработанной поверхности.

#### Технологические возможности токарной обработки

1. **Материал** обрабатываемого изделия. Возможна обработка практически всех известных материалов. В настоящее время, с появлением резцов из алмаза и эльбора ограничений по твердости обрабатываемого материала не существует.

Однако, в обычных производственных условиях, в настоящее время, токарным методом обрабатываются заготовки из незакаленных сталей, цветных металлов, дерева.

Хотя при токарной обработке происходит некоторое изменение свойств материала поверхностных слоев заготовки за счет наклепа, обычно таким изменением свойств можно пренебречь.

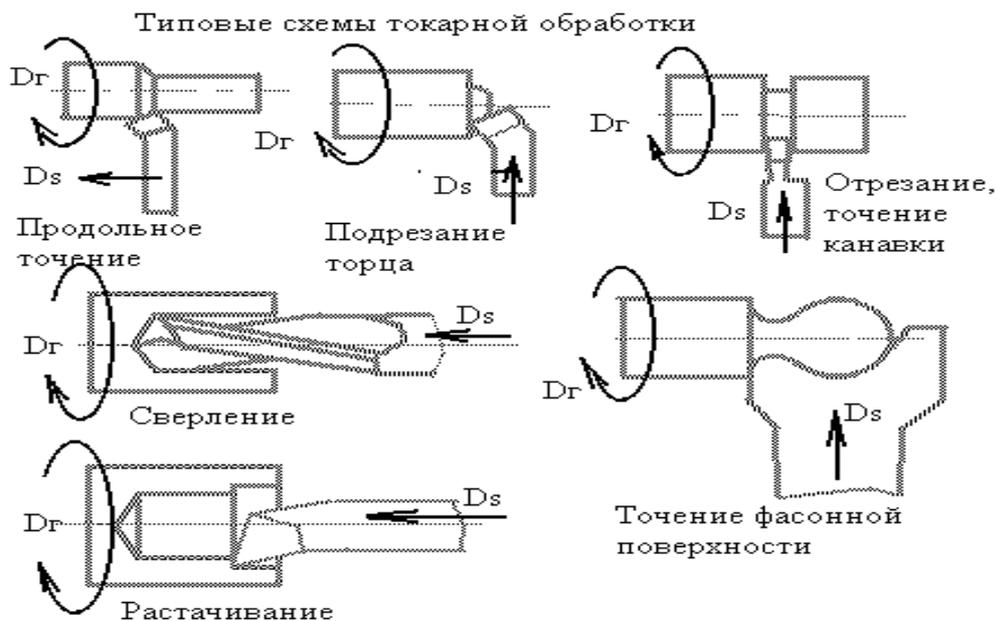


Рис.7.4

2. **Форма и размеры.** Особенности кинематики процесса позволяют получать только поверхности вращения, спиральные и винтовые поверхности. Хотя это кажется довольно сильным ограничением, надо отметить, что такие поверхности составляют основную часть формообразующих поверхностей деталей машин.

Размеры обрабатываемых токарным методом изделий могут быть от 0,05мм (станки для часовой промышленности) до 20 метров (токарно-карусельные станки для изготовления деталей энергетического машиностроения).

3. **Точность** при обработке на станках нормального класса точности, в экономически оптимальных условиях - 7-14 квалитет. В настоящее время созданы уникальные токарные станки, обеспечивающие точность обработки менее 0,05мкм (1...2 квалитеты), которые применяются для изготовления элементов информационных накопителей вычислительной техники, изготовления прессформ лазерных носителей информации.

4. **Шероховатость** поверхности во многом определяется выбранной подачей и геометрическими параметрами вершины резца.

Она также существенно зависит от колебаний инструмента относительно заготовки в процессе обработки. При обработке на станках нормальной точности шероховатость обработанных поверхностей обычно находится в пределах Rz 80- Rz5. На специальных станках, при применении алмазного инструмента может быть получена шероховатость поверхности до Ra-0,05мкм.

### Выбор управляющих параметров процесса токарной обработки

Повысить производительность процесса можно за счет увеличения любого из управляющих параметров, однако возможности такого увеличения существенно ограничены.

1. Выбор глубины резания ( $t$ )мм

Обычно глубина резания определяется припуском на обработку, т.е. величиной слоя подлежащего удалению ( $h$ ). Величина этого слоя зависит от метода получения заготовки (от точности этого предшествующего метода). Сила, действующая на инструмент, почти прямо пропорциональна глубине резания, поэтому при определенной глубине резания прочность инструмента может оказаться недостаточной и он сломается. Это обуславливает необходимость многопроходной обработки при наличии значительных припусков. Таким образом, применение более точного метода получения заготовки (уменьшение припусков), может позволить существенно повысить производительность последующей обработки резанием.

2. При выборе подачи также действует силовое ограничение. Установлено, что сила резания существенно зависит от подачи, поэтому при определенных, больших подачах инструмент может разрушиться. Кроме того, величина подачи определяет шероховатость получаемой поверхности, поэтому ее величина, в случае чистовой обработки, должна выбираться с учетом требуемой шероховатости.

3. Скорость резания. Скорость резания практически не влияет на силу резания, поэтому инструмент не сломался бы при любом увеличении скорости. Однако при повышении скорости резания существенно повышается температура инструмента, которая может достичь предела его термостойкости. В этих условиях инструмент будет чрезвычайно быстро изнашиваться и выигрыш от повышения производительности будет сведен к нулю экономическими потерями, связанными с затратами на покупку и восстановление инструмента.

Установлены экспериментальные зависимости периода нормальной работы инструмента (периода стойкости) и скорости резания. На основе этих закономерностей, приводимых в специальной литературе, и определяется оптимальная скорость резания.

4. Проводится проверка соответствия мощности потребной на резание

$$N_{рез} = P_z * V$$

и эффективной мощности станка  $N_{рез} < N_{эф}$

Вопросы для самопроверки:

1. Назовите управляющие параметры процесса резания.
2. Какой из управляющих параметров практически не влияет на величину силы резания?
3. Почему нельзя производить обработку на максимальных скоростях резания?
4. Какие факторы ограничивают величину подачи при точении?
5. Какие факторы определяют величину припуска, подлежащую удалению при токарной обработке?
6. Почему режущий инструмент выполняют составным – из инструментального материала и конструкционной стали?
8. Почему все инструменты не изготавливают из сверхтвердых материалов: алмаза и композита?

8. Какой инструментальный материал применяется для изготовления дереворежущего инструмента и почему?

9. Какие поверхности по форме можно получить токарным методом?

10. Возможно ли токарным способом получить плоскую поверхность?

### 7.3.2 Фрезерная обработка

Кинематической особенностью фрезерования является вращение инструмента и поступательное или сложное движение заготовки (рис.7.5).

При фрезеровании происходит прерывистое нагружение лезвий инструмента, что приводит к значительным динамическим усилиям и является причиной возникновения вибраций. Поэтому при фрезеровании сечение среза одним лезвием инструмента существенно меньше, чем при точении. При фрезеровании в большей степени, чем при точении, геометрия обработанной поверхности зависит от формы инструмента. Типаж фрез очень широк, а кинематика процесса позволяет получать сколь угодно сложные поверхности (рис.7.6).

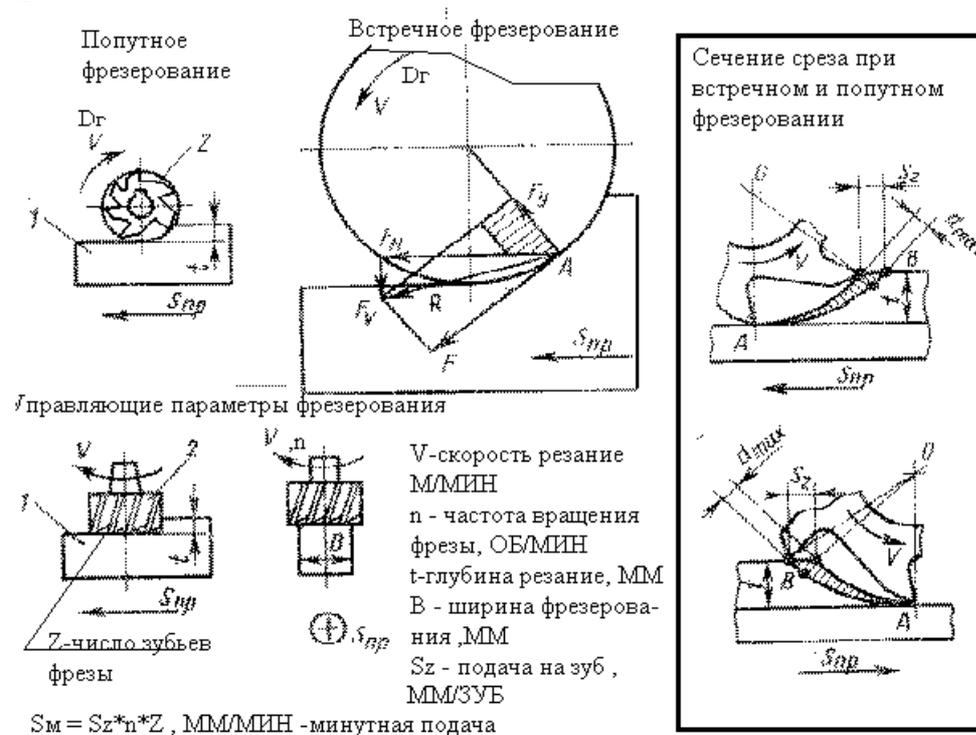


Рис.7.5

Время обработки поверхности при фрезеровании:

$$T = \frac{L}{S_m} = \frac{L}{S_z n Z} = \frac{L * \sqrt[4]{D_{фр}}}{1000 * V * S_z * Z}, \text{ МИН}$$

где L- длина прохода фрезы, D<sub>фр</sub> - диаметр фрезы, Z - число зубьев фрезы, V - скорость резания, S<sub>z</sub> - подача на зуб.

Производительность обработки могла бы быть сколь угодно высокой, если бы величина управляющих параметров не была ограничена физическими факторами.

Так же, как и при точении, скорость резания ограничена теплостойкостью инструментального материала, и при превышении определённого предела быстрый износ инструмента делает процесс экономически невыгодным.

Выбор глубины резания и подачи на зуб должен быть увязан с прочностью режущего инструмента. При выборе величины подачи на зуб следует также учитывать требования к шероховатости обработанной поверхности.

## **Технологические возможности фрезерования**

**1. Обрабатываемый материал.** Обычно это незакаленные стали, цветные металлы, сплавы с твердостью менее HRC40. Появление современных сверхтвердых материалов позволяет, в ряде случаев, обрабатывать плоские поверхности закаленных сталей, но процесс не нашел широкого применения из-за узких технологических возможностей (только открытые плоские поверхности) и недостаточной точностью обычных фрезерных станков.

**2. Форма и размеры получаемой поверхности** может быть чрезвычайно сложной. Например, при обработке на копировально-фрезерных станках лопаток турбин, гребных винтов судов и т.д. Фрезерные станки могут быть чрезвычайно малых размеров (гравировально-фрезерные) и гигантских размеров, для обработки деталей с размерами более 20м (продольно-фрезерные и специальные станки).

**3. Экономическая точность** обработки при фрезеровании 9-14 квалитеты. Шероховатость  $Rz=80 - Rz=10$ . В ряде случаев точность может достигать 7 квалитета, при шероховатости  $Rz=5$ .

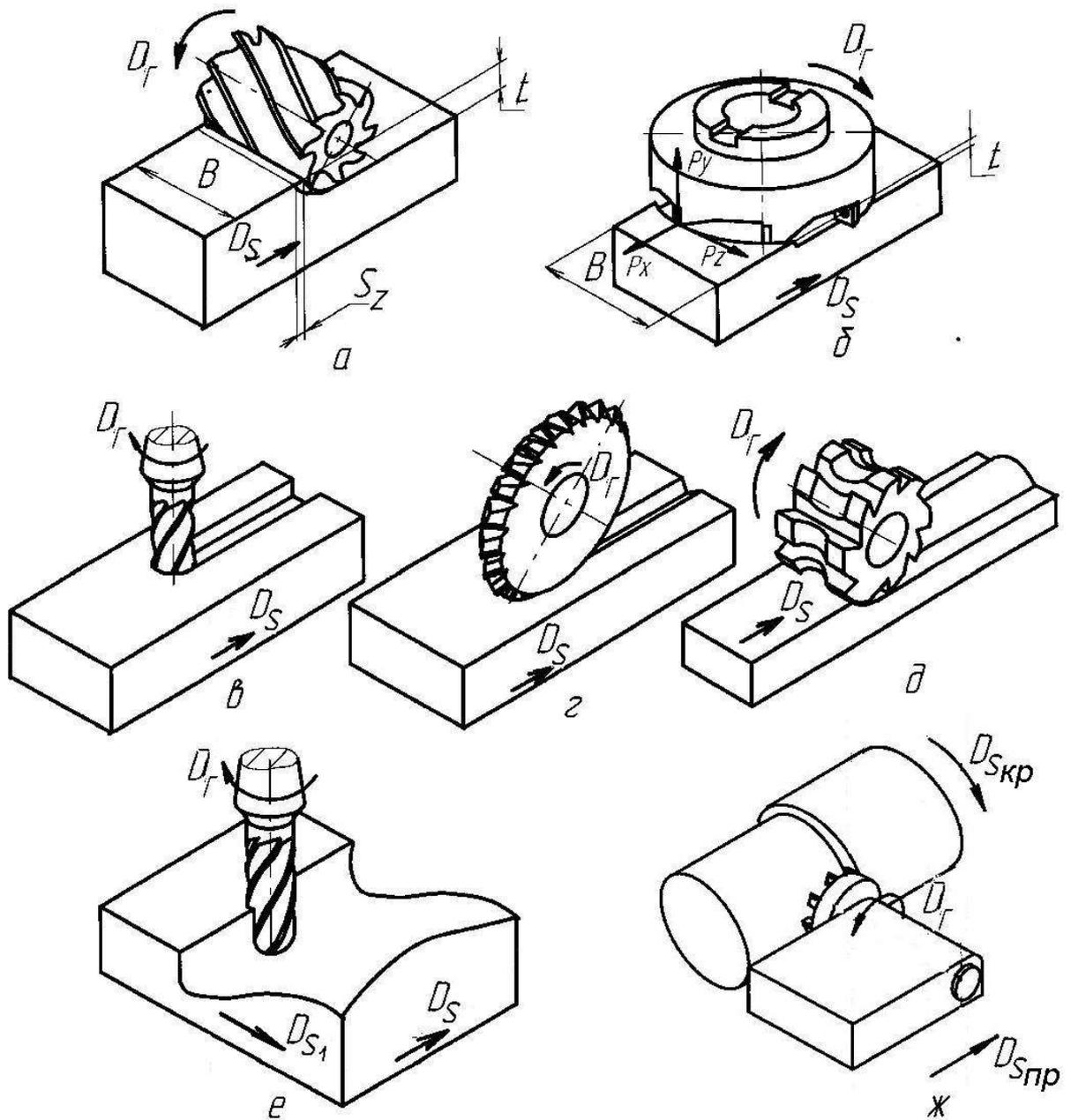


Рис.7.6 , Различные схемы обработки поверхностей фрезерованием: а,б- плоскости цилиндрической и торцевой фрезой, в,г- паза концевой и дисковой фрезой, д - профильной поверхности фасонной фрезой, е - поверхности двойной кривизны концевой фрезой при перемещении ее по сложной траектории, ж- фрезерование вращающейся заготовки (ротационное фрезерование)

Вопросы для самопроверки:

1. Выбор каких управляющих параметров определяет производительность обработки конкретной поверхности?
2. Почему максимально допустимое сечение срезаемого слоя одним лезвием инструмента при фрезеровании меньше, чем при точении?
3. Какие виды поверхностей невозможно обработать фрезерованием?
4. Какова достигаемая фрезерованием точность и шероховатость обработанных поверхностей?
5. В каких единицах измеряются: частота вращения фрезы, подача на зуб, глубина фрезерования, ширина фрезерования?

### **7.3.3 Обработка отверстий резанием**

Обработка отверстий настолько распространенная операция, что для ее выполнения, наряду с токарными, применяются специальные станки: вертикально- и радиально-сверлильные, горизонтально-расточные, координатно-расточные, алмазно-расточные и т.д.

Наиболее сложной при обработке отверстий является операция сверления сплошного материала. В данном случае на инструмент действуют большие силы резания, но конструкция его должна обеспечить отвод большого количества стружки. Для этого на инструменте выполняют глубокие канавки, что уменьшает его жесткость и прочность (рис.7.7). В настоящее время для сверления отверстий в сплошном материале применяют спиральные сверла (с 19-го века). Однако при обработке глубоких отверстий, при глубине более 10 диаметров, спиральные сверла не могут обеспечить выход стружки, поэтому приходится применять специальные сверла (ружейные, пушечные), в которых выход стружки обеспечивается подачей жидкости под большим давлением.

Из-за высоких нагрузок на режущие кромки, низкой жесткости инструмента, царапания стенок отверстия отводимой стружкой, сверление спиральным сверлом может обеспечить только 12-14 квалитеты точности, при шероховатости  $R_z=40-80\text{мкм}$ .

Спиральное сверло и управляющие параметры процесса сверления

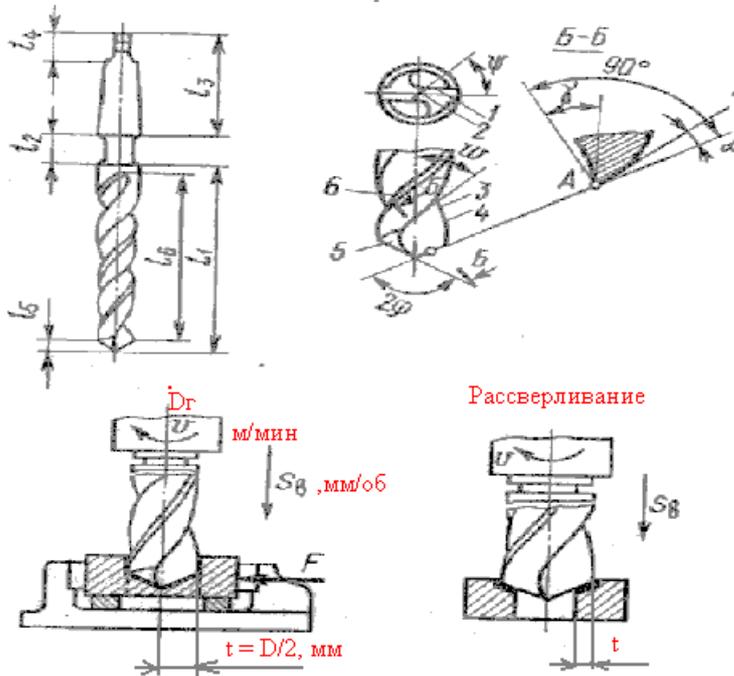


Рис.7.7

Существенное повышение точности можно получить, проводя окончательную обработку дополнительным рассверливанием (рис.7.7). При этом можно выбрать глубину резания "t" достаточно малой, чтобы обеспечить существенно меньшие силы резания и объем стружки, не повреждающий стенки обработанного отверстия.

При рассверливании точность может быть повышена до 10-12 квалитетов.

При обработке более точных отверстий, после сверления, применяют операции зенкерования и развертывания.

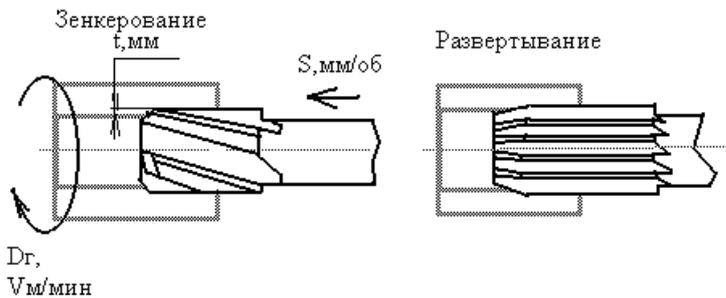


Рис.7.8

За счет увеличения количества режущих кромок инструмента при существенном снижении глубины резания (нагрузок) удастся повысить точность отверстий - при зенкерованиях до 9-10 квалитетов точности ( $Ra = 2,5 - 5$ ), а при развертывании до 6-8 квалитетов точности ( $Ra = 0,63 - 1,25$ ).

### 7.3.4 Способы обработки резанием

Кроме указанных, применяются и ряд более редких схем обработки металлов резанием: строгание, долбление, протягивание, шевингование и т.д.

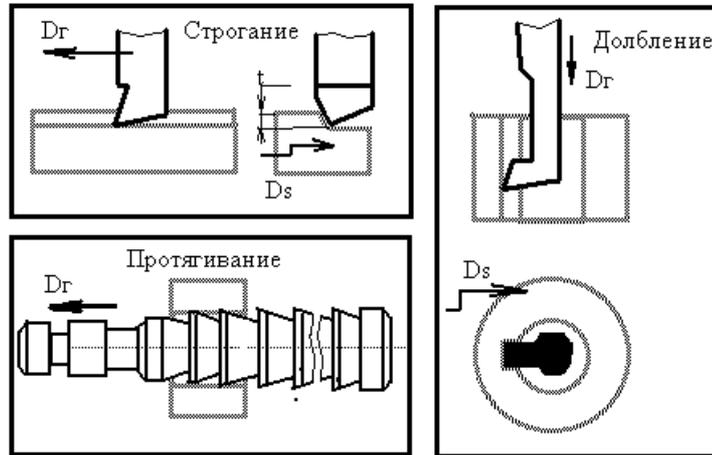


Рис.7.9

Контрольные вопросы:

1. Почему при сверлении трудно обеспечить низкую шероховатость обработанной поверхности?
2. Почему спиральным сверлом невозможно обрабатывать "глубокие" отверстия?
3. Какими методами обработки резанием, кроме фрезерования, можно получить плоскую поверхность?
4. С какой целью производится развертывание отверстий?
5. На каких металлорежущих станках невозможно обрабатывать отверстия?

Образец карты тестового контроля:

1. Какие поверхности по форме возможно получить токарным методом:
  - а). плоские и цилиндрические;
  - б). поверхности вращения и винтовые поверхности;
  - в). любые поверхности
2. Какой метод обработки отверстий позволяет получать более точные поверхности:
  - а). сверление;
  - б). развертывание;
  - в). зенкерование;
3. Почему обработка более точной поверхности резанием дороже:
  - а). из-за необходимости снижения скорости резания;
  - б). из-за применения более дорогого станка и инструмента;
  - в). из-за обработки поверхности за несколько проходов;

4. Почему получение резанием поверхности с малой шероховатостью дороже, чем с большой:
  - а). из-за необходимости уменьшения подачи;
  - б). из-за применения более дорогого станка и инструмента;
  - в). из-за обработки поверхности за несколько проходов;
5. Какими фрезами обрабатывают сложные по форме поверхности:
  - а). фасонными и концевыми;
  - б). цилиндрическими и концевыми;
  - в). фасонными и грибковыми;

## 8. Абразивная обработка

Осуществляется воздействием на заготовку множеством неориентированных лезвий.

При этом, в зависимости от ориентации зерна и его остроты может происходить резание, царапание или трение зерна и обрабатываемого материала (рис.8.1) :

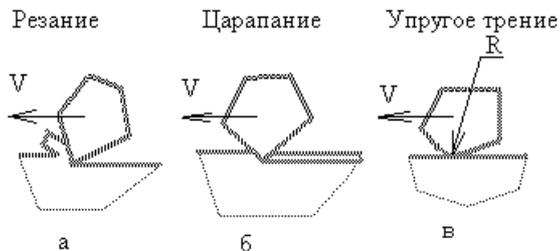


Рис.8.1

Характер протекающего явления при воздействии одного лезвия (абразивного зерна) зависит от переднего угла и радиуса округления лезвия ( $R$ ). При воздействии множеством абразивных зерен сьем материала будет определяться процессами микрорезания, осуществляемыми благоприятно ориентированными зернами.

В качестве абразивного материала применяют мелкие (до 2мм) кристаллы сверхтвердых веществ. Наиболее широко используются: электрокорунд ( $Al_2O_3$ ), карбид кремния ( $SiC$ ), карбид бора ( $B_4C$ ), искусственные алмазы, кубический нитрид бора (эльбор,  $BN$ ).

Из кристаллов абразивного материала с помощью связки получают шлифовальный инструмент требуемой формы (круги, бруски и т.д.) (рис.8.2).

Для объединения кристаллов в прочный инструмент применяются керамические, металлические, органические связки, имеющие свои конкретные преимущества в определенных условиях применения.

Так, керамические связки обеспечивают высокую прочность инструмента, но хрупки и не выдерживают ударных и вибрационных нагрузок. Органические связки могут быть прочными и эластичными, но не обладают достаточной термостойкостью (менее  $200^{\circ}C$ ), поэтому разрушаются при нагреве инструмента.

Важнейшей характеристикой связки является прочность удержания ею зерен абразивного материала. Эта характеристика, называемая твердостью круга, во многом определяет его работоспособность в конкретных условиях обработки. Дело в том, что работают только зерна, находящиеся на поверхности круга, и при любых условиях они в конце концов затупляются. При этом они перестают резать, а только нагревают поверхность заготовки. Поэтому прочность связки должна быть выбрана так, чтобы при затуплении зерна и возрастании действующих на него нагрузок оно отделилось (вылетело) от инструмента. По мере удаления затупленных зубьев обнажаются зерна, находившиеся в глубине и обладающие острыми кромками.



Схема круглого наружного шлифования  
цилиндрической поверхности

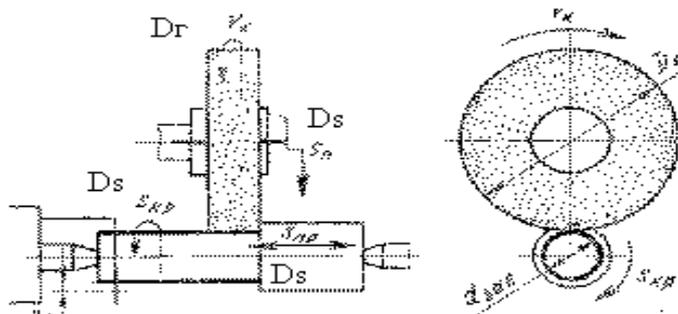


Рис.8.4

Схема внутреннего шлифования

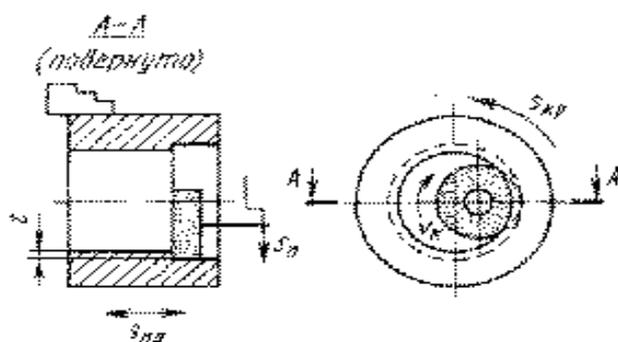


Рис.8.5

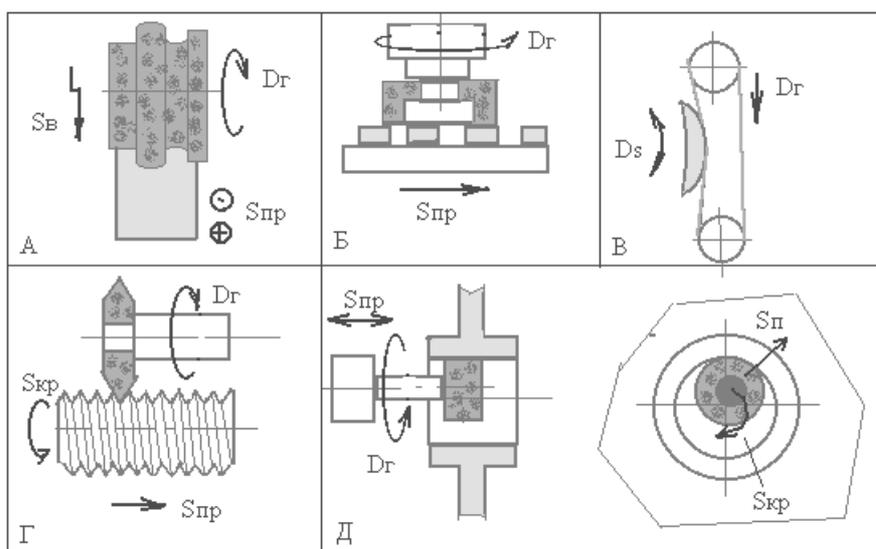


Рис.8.6 А – схема профильного шлифования, Б – плоское шлифование торцем круга, В – ленточное шлифование, Г – шлифование резьбы, Д – внутреннее планетарное шлифование

Для реализации различных схем шлифования существует широкий типаж шлифовальных станков, определяемых обычно по виду получаемых поверхностей (плоскошлифовальные, круглошлифовальные, внутришлифовальные, зубошлифовальные, заточные и др. шлифовальные станки). Характерной особенностью процессов шлифования является высокая скорость главного движения  $D_g$  (обычно 30-80м/с, иногда до 300м/с). Глубина же резания и подача обычно не велики и действующие на заготовку и инструмент силы незначительны. Поэтому шлифованием можно получить наиболее высокую точность обработки при минимальной шероховатости поверхности (до 3-4 качества точности, Ra до 0,1мкм).

Высокие скорости резания могут приводить к существенному нагреву поверхностных слоев заготовки, что может отразиться на качестве получаемого изделия. Поэтому при шлифовании обычно применяют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Применение жидкостного охлаждения при шлифовании существенно снижает запыленность рабочей зоны разрушенными частицами абразива и связки, которые вредно действуют на здоровье обслуживающего персонала и могут приводить к возникновению профессиональных заболеваний (силикоз).

Характерной особенностью шлифования является зависимость достигаемой точности и шероховатости от параметров инструмента. Так величина зерна (характеристика - зернистость) определяет производительность процесса и шероховатость. Чем крупнее зерна абразива в круге, тем больше производительность удаления материала заготовки, но выше шероховатость. Поэтому часто шлифование проводят в два этапа: на первом удаляют основной припуск и увеличивают точность, а на втором, другим (мелкозернистым) инструментом достигают заданной точности и шероховатости.

Шлифованием можно обрабатывать сколь угодно твердые материалы, естественно, что абразивный материал должен применяться более твердый, чем обрабатываемый. Шлифованием обрабатывают точные поверхности деталей машин, выполненные из различных материалов, стеклянные изделия (линзы, хрусталь), кристаллы (например, драгоценные камни: алмаз, рубин, изумруд) и т.д. Во многих случаях шлифование является единственным методом достижения заданной точности и шероховатости (например, в оптике, микроэлектронике).

## Последовательность выбора управляющих параметров процесса при шлифовании

### 1. Выбор характеристики круга

Рекомендуемый материал абразивных зерен Таблица 8.1

Обрабатываемый материал	Материал абразивных зерен
Сталь конструкционная, незакаленная и закаленная, инструментальные стали, нержавеющие и жаропрочные стали	Электрокорунд, монокорунд, эльбор
Титановые сплавы, сплавы на основе меди	Карбид кремния зеленый, черный
Металлокерамические твердые сплавы, стекло, кристаллы драгоценных камней	Искусственный алмаз

Зернистость выбирают по требуемой шероховатости обрабатываемой Поверхности.

Твердость круга обычно выбирается с учетом правила: - чем тверже обрабатываемый материал, тем мягче следует применять круг. Надо помнить, что твердость круга не связана с твердостью абразивных зерен, а всего лишь определяет прочность их удержания в структуре круга.

При обработке закаленных сталей обычно используют круги твердостью МЗ ...СМ2.

Конструкция инструмента обычно определяет предельную окружную скорость резания, поэтому на этом этапе определяется и скорость главного движения (20 ...80 м/с).

2. Выбирают глубину резания  $t$  (либо поперечную подачу  $S_p$ ).

На черновых проходах  $t = 0,05-0,1$  мм/дв.ход

На чистовых проходах  $t = 0,005 - 0,02$  мм/дв.ход

3. Определяют продольную (круговую) подачу по рекомендациям нормативов для конкретных условий обработки.

4. Определяют мощность потребную на шлифование и корректируют режимы в случае необходимости.

5. Определяют машинное время, потребное для обработки поверхности.

Ряд процессов обработки связанным абразивом производится на относительно невысоких скоростях резания и применяется в специфических условиях получения строго цилиндрических внутренних и наружных поверхностей (рис.8.7).

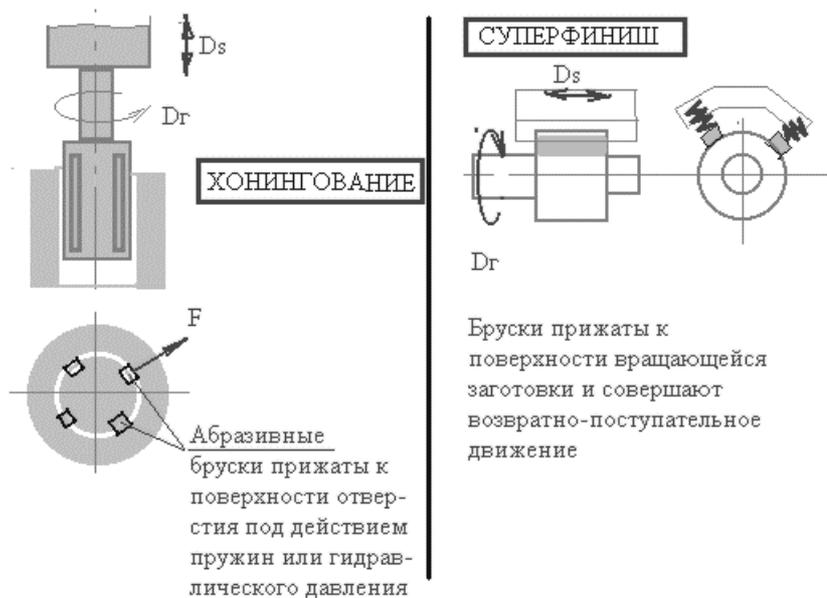


Рис.8.7

Хонингование в настоящее время широко применяется при обработке цилиндров двигателей, компрессоров, т.к. позволяет создать рельеф поверхности хорошо удерживающий смазку.

Абразивная обработка несвязанным абразивным порошком применяется обычно в тех случаях, когда нужно обеспечить только низкую шероховатость поверхности при невысоких требованиях к ее точности (рис.8.8).

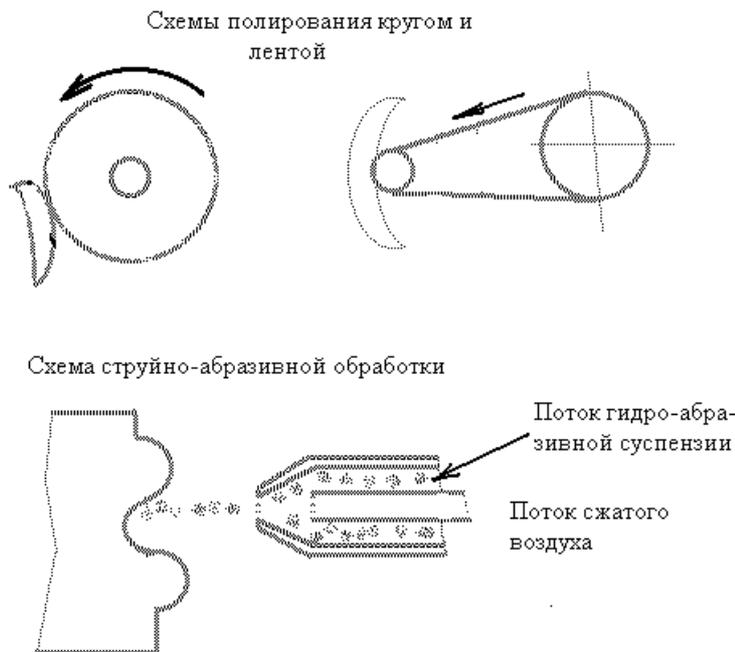


Рис.8.8

В этих случаях абразивный материал применяется в виде порошка, паст, наносимых на поверхность эластичного и мягкого носителя (круги из кожи, фетра, различные тканевые ленты и т.д.).

Достижимая шероховатость может быть предельной (менее 0,05мкм) и зависит от величины зерен применяемого абразивного материала. (Самый мелкий из применяемых абразивных порошков имеет величину зерна менее 1мкм).

Абразивный порошок в процессе шлифования или полирования может находиться и в струе быстродвижущейся жидкости (гидроабразивная обработка). При этом воздействие зерен происходит за счет их кинетической энергии и гидравлического напора. Такая обработка позволяет полировать труднодоступные для обычных методов полирования поверхности.

Следует отметить, что наибольшую точность при минимальной шероховатости поверхности обеспечивает **притирка** (рис.8.9), при которой абразив в виде пасты или порошка наносится на специальный инструмент - притир, который выполняется из материала менее твердого, чем обрабатываемый.

#### СХЕМЫ ПРИТИРКИ ТОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

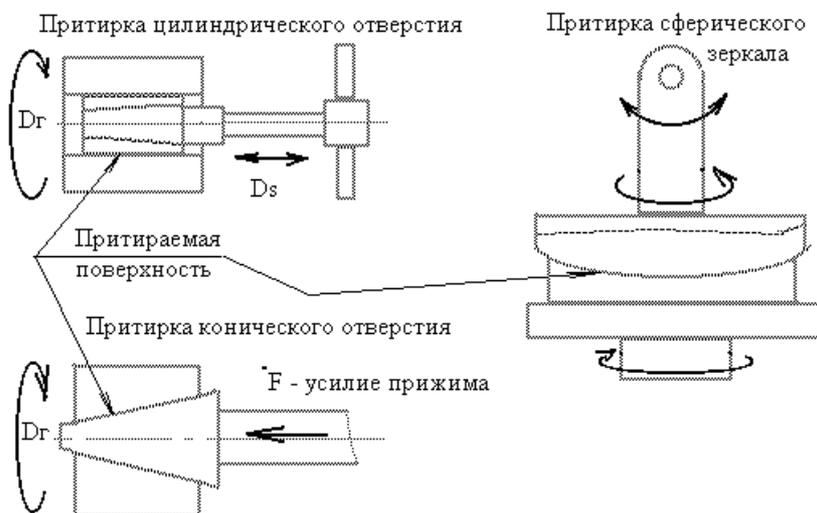


Рис.8.9

В процессе движения поверхности притира относительно обрабатываемой поверхности частицы абразива внедряются в поверхность притира "шаржируют" его. При этом они снимают тончайшие стружки с поверхности обрабатываемого изделия. При притирке обрабатываемая поверхность приобретает геометрические параметры поверхности притира, или ее геометрия определяется кинематикой движения притира и заготовки друг относительно друга.

Притирка позволяет повысить точность до 1-2 квалитетов и, в ряде случаев, получить шероховатость поверхности до  $Ra=0,05\text{мкм}$ .

Вопросы для самопроверки:

1. Какие материалы используются в технике в качестве абразивных?
2. Какие виды связок применяются при изготовлении абразивного инструмента?
3. Что характеризует твердость шлифовального круга?
4. За счет чего происходит самозатачивание шлифовального круга?
5. С какой целью проводится шлифование заготовок деталей машин?
6. Какова основная цель полирования поверхностей деталей машин?
7. С какой целью проводится притирка поверхностей деталей машин?
8. Из каких составляющих состоит абразивный инструмент?
9. Чем обусловлена предельная скорость вращения шлифовального круга?
10. Назовите типичный диапазон скоростей главного движения при шлифовании.

Образец карты тестового контроля:

1. Какие материалы абразивных зерен следует применять при шлифовании стали:
  - а). Электрокорунд, эльбор
  - б). Карбид кремния, алмаз
  - в). Карбид бора
2. Какую наивысшую точность размеров можно достичь при обработке шлифованием:
  - а). 1...2 квалитет
  - б). 6...8 квалитет
  - в). 9...14 квалитет
3. Какие параметры заготовки и процесса шлифования определяются величиной зерен шлифовального круга:
  - а). шероховатость, производительность
  - б). точность, себестоимость
  - в). нагрев заготовки, самозатачиваемость шлифовального круга
4. Какие материалы можно обрабатывать шлифованием:
  - а). только твердые и хрупкие
  - б). все
  - в). кристаллические
5. Почему шлифованием нельзя полностью заменить обработку резанием:
  - а). из-за низкой производительности
  - б). из-за вредности процесса
  - в). из-за шаржирования абразивными зёрнами обработанной поверхности

## 9. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов

Развитие этих методов было обусловлено:

- появлением ряда конструкционных материалов, обработка которых традиционными методами была невозможна или весьма непроизводительна,
- обеспечением новых условий и возможностей формообразования, недоступных традиционным методам резания и шлифования,
- высокой производительностью, значительно превышающей производительность "обычных" методов обработки.

### Классификация методов

Электроразрядные (Электроэрозионные, электроконтактные, абразиво-эрозионные)	Электрохимические	Ультразвуковые	Лучевые (Лазерные, электронно-лучевые, плазменные)
---	-------------------	----------------	---

#### 9.1 Электроэрозионная обработка

Электроэрозионные методы основаны на явлении электрической эрозии - разрушения электропроводящих материалов в результате теплового действия импульсных электрических разрядов между электродом-инструментом и электродом-заготовкой.

При приближении электрода - инструмента к заготовке и достаточно высокой разности потенциалов между ними происходит электрический (искровой) разряд, температура в канале которого достигает  $10000^{\circ}\text{C}$ . Микрообъемы материала заготовки и инструмента в зоне разряда плавятся и частично испаряются (рис.9.1).

Роль межэлектродной жидкости для протекания процесса чрезвычайно важна. За счет ее нагрева в канале искрового разряда создаются ударные волны, воздействующие на поверхность электродов в зоне расплава и выбрасывающие капли металла в окружающую жидкость. Выброшенный расплавленный металл с поверхности электродов не может привариться к противоположному электроду, так как застывает в жидкости в виде мельчайших гранул. Таким образом, при данном процессе обрабатываются оба электрода - заготовка и инструмент. Естественно, электрод-инструмент следует изготавливать из материала, хорошо сопротивляющегося эрозионному разрушению. К таким материалам относятся электропроводные материалы с высокой температурой плавления и теплопроводностью (графит, вольфрам, медь ...).

Так как в месте разряда на электродах образуются кратеры, то следующий разряд произойдет в другом месте, там, где расстояние между электродами меньше. При протекании процесса автоматически поддерживается определенный зазор между электродами и профиль инструмента (если считать,

что он не изнашивается) копируется в профиле заготовки в виде некоторой эквидистантной поверхности.

При проведении процесса специальная следящая система движения электрода-инструмента обеспечивает отсутствие его механического контакта с заготовкой, поддерживая среднюю величину зазора близкой к величине, при которой происходит электрический (искровой) пробой промежутка. Так как величина напряжения между электродами обычно невелика (200-300В), то и величина зазора достаточно мала (5-300мкм), что позволяет с большой точностью копировать профиль инструмента.

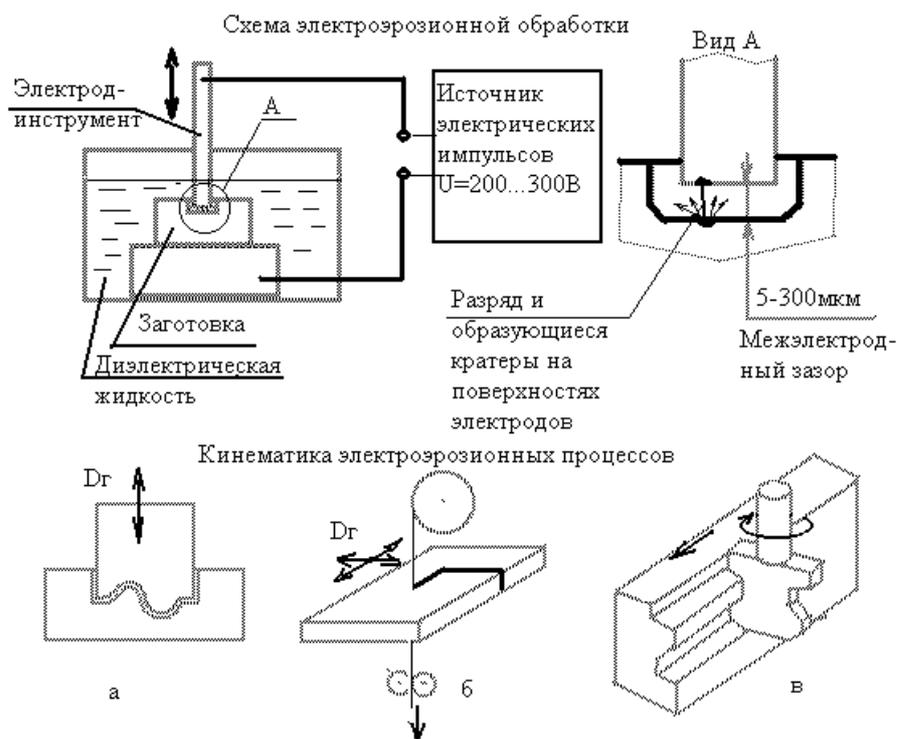


Рис.9.1

## Технологические возможности метода

### 1. Обрабатываемый материал.

На ход процесса совершенно не влияет твердость материала заготовки, что позволяет обрабатывать твердые и сверхтвердые электропроводные материалы (т.е. практически любые металлы).

### 2. Размеры, форма поверхностей.

Размеры обрабатываемых поверхностей принципиально не ограничены. Технологические задачи, решаемые таким методом обработки, обусловили выпуск оборудования, позволяющего обрабатывать заготовки с максимальными габаритами менее 1м. Форма обрабатываемой поверхности может быть сколь угодно сложной и зависит от профиля электрода инструмента при реализации процессов копирования (рис.9.1а,в) или задаваться программой перемещения электрода при реализации схемы профильной вырезки электродом-проволокой (рис.9.1б).

3. Точность и шероховатость поверхностей. Отсутствие значительных силовых нагрузок на заготовку и инструмент в процессе обработки позволяет

получать точность до 4-5 квалитетов. Шероховатость поверхности зависит от размеров кратеров, образующихся при каждом элементарном разряде.

Уменьшая мощность разрядов можно достичь шероховатости до Ra 0,1. Уменьшение мощности разрядов приводит к падению производительности обработки. Поэтому процесс часто проводят в два этапа: на черновых режимах удаляют основную массу припуска, а затем на пониженных режимах достигают заданной шероховатости поверхности.

НЕДОСТАТКОМ процессов электроэрозионной обработки являются значительные энергозатраты, на порядок и более превышающие энергозатраты при обработке резанием. Поэтому процесс следует применять только в тех случаях, когда обработка резанием невозможна.

Типичные области применения процесса:

- производство штампов и прессформ для изготовления изделий сложной формы , например, турбинных лопаток,
- обработка штампов из металлокерамических и других твердых материалов, обработка резанием которых невозможна,
- обработка сложнопрофильных матриц для реализации процесса прессования.

## **9.2 Химическая и электрохимическая обработка материалов**

Химическая обработка (рис.9.2) основана на растворении определённых областей обрабатываемого изделия в активных растворителях. Большинство металлов растворяется в кислотах, но есть металлы (например, алюминий) хорошо растворяющиеся в щелочах. Ограничение областей растворения осуществляется за счет покрытия защищаемых зон каким либо веществом, не реагирующим с растворителем.

Художественная обработка металлов таким способом известна со средних веков, когда в качестве растворителей использовали соляную кислоту, а в качестве защитного покрытия пчелиный воск.

В настоящее время процесс широко применяется в промышленности для получения проводников и контактных площадок на печатных платах, применяемых для монтажа радиоэлектронной аппаратуры.

Недостатком процесса является необратимый расход электролита, значительные расходы на его регенерацию.

Электрохимическая обработка обладает значительно большими технологическими возможностями и позволяет производить полирование Изделий (рис.9.2), их размерную профильную обработку(рис.9.2,б), механическую обработку ряда труднообрабатываемых материалов (рис.9.2,а).

## СХЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

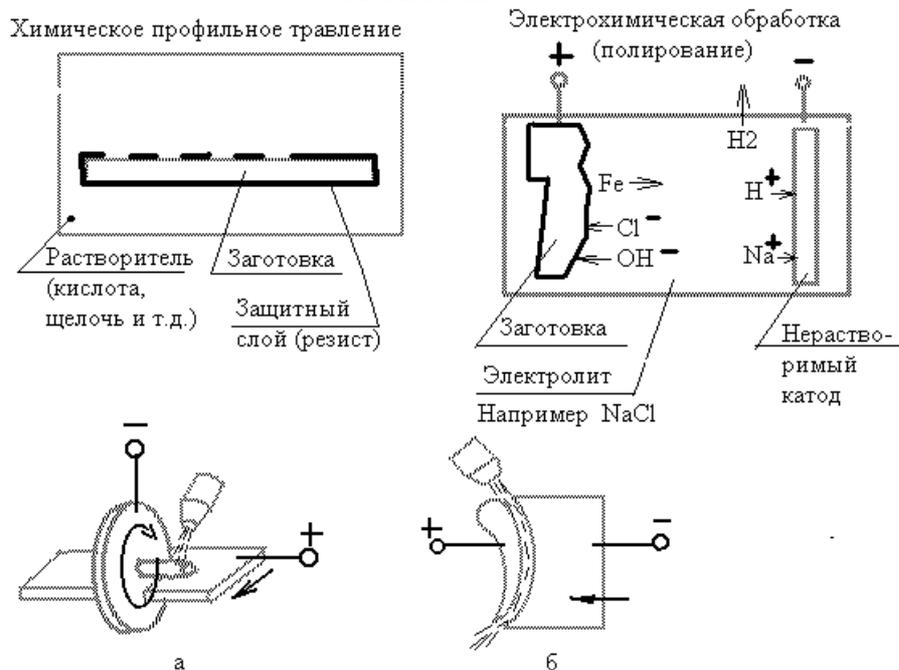


Рис.9.2

Процесс основан на анодном растворении при прохождении электрического тока через электролитический раствор.

Более интенсивное растворение анода происходит в тех областях, где плотность электрического тока выше. Более высокая плотность тока образуется там, где электроды расположены ближе друг к другу. Поэтому, по истечении определенного периода после начала процесса, профиль анода (заготовки) становится эквидистантен профилю катода (инструмента) (б). При работе такого оборудования специальная следящая система поддерживает определенный средний зазор между электродами, перемещая катод - инструмент по мере растворения анода-заготовки.

Таким способом можно обрабатывать сложные по форме поверхности: лопатки турбин, лопасти гребных винтов, поверхности штампов и прессформ. Отличительной особенностью процесса является независимость его протекания от механических свойств материала заготовки.

НЕДОСТАТКОМ же процесса является значительный (на 2-3 порядка) больший расход энергии, чем при механической обработке, что связано с разрушением обрабатываемого материала до молекулярного уровня.

Естественно, что способ позволяет обрабатывать только электропроводные материалы (металлы), не образующие прочных диэлектрических пленок на поверхности при анодном электролитическом процессе.

### 9.3 Ультразвуковая обработка материалов

Основана на использовании энергии ультразвуковых колебаний частотой 22-44кГц.

Для возбуждения интенсивных ультразвуковых колебаний применяют магнитострикционные и пьезокерамические преобразователи. При прохождении ультразвука в жидкости содержащей мелкие частицы абразива (суспензия) возникают также колебания этих частиц с максимальной скоростью

$$V = 4 \cdot A \cdot f,$$

где  $A$  - амплитуда колебаний,  $f$  - частота колебаний.

Частицы производят микроудары по поверхности заготовки, выкалывая микрочастицы с ее поверхности. Так как таких ударов много, то образующиеся микрократеры сливаются и образуется единая обработанная поверхность.

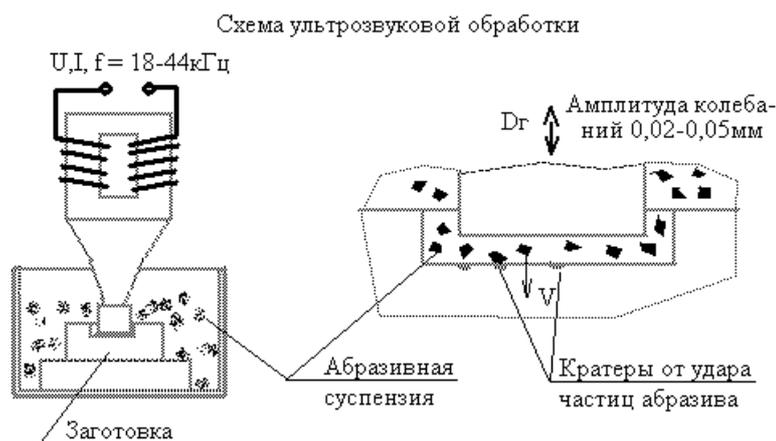


Рис.9.3

Интенсивность колебаний частиц абразива велика только в непосредственной близости от индентора-инструмента и обработка происходит, в основном, в зазоре между ним и заготовкой. Поэтому профиль колеблющегося индентора копируется (с некоторым небольшим зазором) на заготовке, позволяя обрабатывать поверхности сложной формы.

Обработка таким способом пластичных материалов либо невозможна, либо чрезвычайно неэффективна. Это связано с тем, что при ударе частиц абразива о поверхность не происходит хрупкого выкола, а только смятие материала, без его удаления. Поэтому инденторы - инструменты, для уменьшения их износа, целесообразно выполнять из пластичных материалов (стали).

Частицы абразива должны находиться в жидкой среде, так как только она способна передавать на них колебательные движения индентора. В качестве такой жидкости применяют воду, минеральные масла и т.д.

Таким методом можно обрабатывать хрупкие электропроводные и диэлектрические материалы любой твердости, применяя абразивный порошок ещё большей твердости. Можно обработать даже заготовки из самого твердого из известных веществ - алмаза. Суспензия при этом также будет содержать алмазный порошок и обработка возможна только из-за различной случайной ориентации частиц абразива в процессе обработки. Так как твердость кристаллических веществ различна по разным кристаллографическим направлениям, то поворачиваясь в процессе обработки (случайно) своими

более твердыми, чем заготовка, вершинами частицы производят выколы поверхности алмаза.

Метод применяется для обработки деталей из стекла, ситаллов, керамики, различных кристаллов, ферритов и др.

#### **9.4 Лучевые методы размерной обработки**

Такие методы основаны на удалении обрабатываемого материала испарением и плавлением под действием лучевых потоков или высокоэнергетических струй с плотностью энергии  $10^7 - 10^9$  Вт/см<sup>2</sup>

При электронно-лучевой обработке, сфокусированный поток электронов испаряет вещество заготовки образуя кратер (отверстие) соответствующее пятну фокусировки. Так как пучок электронов можно сфокусировать в пятно размером до 0,01мм, этим методом можно обрабатывать отверстия малого диаметра или производить чрезвычайно тонкиерезы на материалах любой твердости, независимо от их электропроводности.

Процесс может быть реализован только в условиях достаточно глубокого вакуума ( $< 10^{-5}$  мм рт.ст.). Поэтому наиболее перспективно его применение в космических условиях, хотя и в земных условиях он достаточно широко применяется, для чего используются вакуумные камеры различных размеров (вплоть до 10м в диаметре).

Оборудование для реализации метода обычно работает в многоимпульсном режиме с частотой следования импульсов 10 -1000Гц и длительностью импульсов 15-100мкс. При этом диаметр электронного пучка в фокальной плоскости составляет 10 - 50мкм, а плотность энергии  $10^7-10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

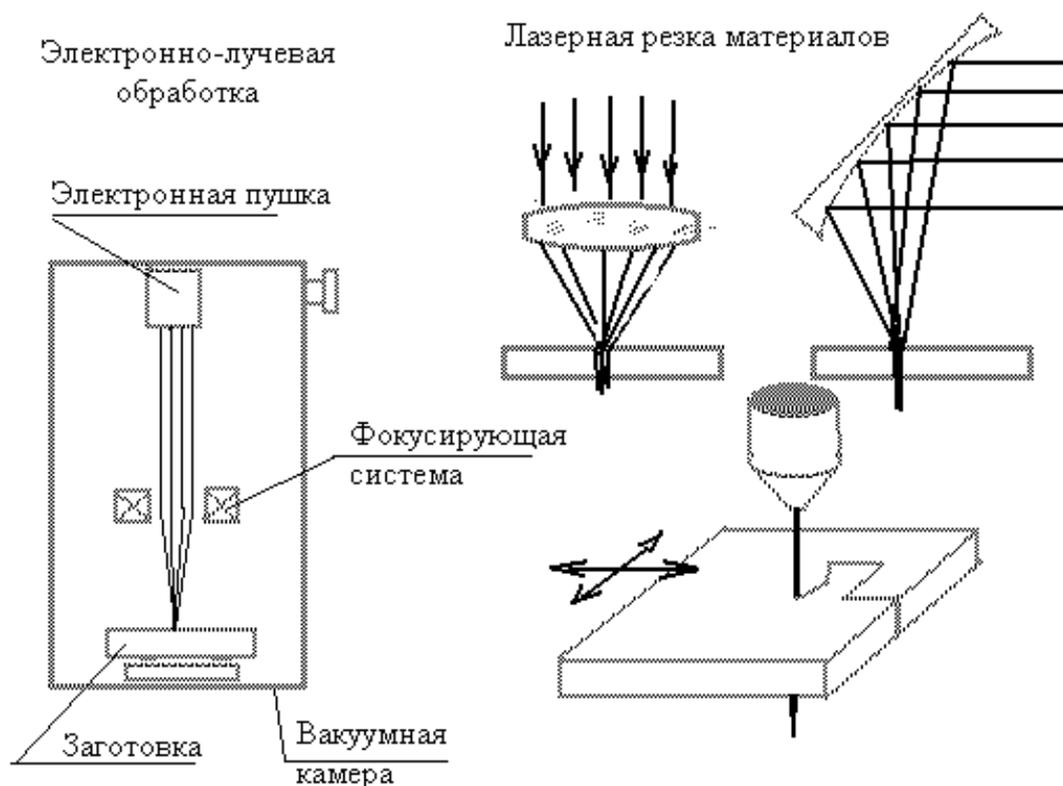


Рис.9.4

При лазерной обработке используются как импульсные лазеры, так и лазеры с непрерывным потоком излучения. Для обработки отверстий чаще используют импульсные лазеры, постепенно испаряя слой за слоем материал заготовки. Лазером можно производить резку самых различных материалов, перемещая луч относительно заготовки по любому, сколь угодно сложному контуру. В настоящее время таким способом производят резку металлов толщиной до 10 мм, различных пластиков, тканей, кожи и т.д. Метод также позволяет обрабатывать заготовки любой твердости. Так, с помощью лазерной обработки, получают алмазные волокна для производства проволоки, камни рубиновых подшипников (для часов).

Недостатком лазерной обработки является чрезвычайно низкий КПД современных лазеров (1-2%) и наличие на поверхности реза термически изменённого слоя, что иногда недопустимо или может затруднять последующую обработку.

Некоторые сравнительные характеристики электрофизических методов обработки.  
Таблица 9.1

Способ обработки	Механизм процесса удаления материала	Плотность энергии Вт/см <sup>2</sup>	Рабочая среда	Виды обрабатываемых материалов, достижимая точность, шероховатость
Электро-эрозионный	Тепловое расплавление и испарение материала, выброс расплава в жидкость	$10^4-10^8$	Диэлектрическая жидкость	Электропроводные, независимо от механических свойств, точность 4-9квалитеты, Ra0,16 и более
Электро-химический	Растворение анода-заготовки при прохождении эл. тока через раствор электролита	$10^2-10^3$	Электролит	Электропроводные, независимо от мех. свойств, точность 9-14квалитеты, Ra1,25 и более
Ультразвуковой	Механическое разрушение под действием ударов частиц абразива	$10^3-10^4$	Абразивная суспензия	Твердые и хрупкие металлы и неметаллы, точность 6-9квалитеты, Ra0,08 и более
Электронно-лучевой	Испарение и расплавление	$10^6-10^8$	Вакуум	Электропроводные, независимо от мех. свойств, точность 6-12квал.
Лазерный	----	$10^6-10^8$	Воздух, кислород, инертные газы	Любые материалы

Вопросы для самопроверки:

1. В каких случаях рационально производить обработку электро-физическими методами?

2. Какие материалы целесообразно обрабатывать электроэрозионным способом?

3. Какова роль жидкости при электроэрозионной обработке?

4. Какие жидкости используются при химической обработке?

5. Какой процесс обеспечивает удаление материала при электрохимической обработке?

6. Почему при электрохимической обработке заготовка принимает форму близкую к форме электрода-инструмента?

7. Какие материалы целесообразно обрабатывать ультразвуковым способом?

8. Какие виды поверхностей получают при электронно-лучевой обработке?

9. Какие материалы можно обрабатывать электронно-лучевым методом?

10. За счет каких процессов происходит удаление материала при лазерной обработке?

Образец карты тестового контроля:

1. Какой метод целесообразно использовать при обработке отверстий в стеклянных заготовках:

- а). Химический
- б). Ультразвуковой
- в). Лазерный

2. Какие группы материалов возможно обработать электроэрозионным методом:

- а). Стекло, кварц, корунд
- б). Закаленная таль, металлокерамический твердый сплав
- в). Дерево, пластмасса

3. При каком методе обработке плотность потока энергии. Воздействующая на обрабатываемую поверхность заготовки, выше:

- а). При лазерной
- б). При электроэрозионной
- в). При электрохимической

4. При применении какого метода обработки в структуру затрат входят: затраты на электроэнергию, стоимость специальной жидкости, стоимость абразивного порошка...:

- а). Электроэрозионного
- б). Электрохимического
- в). Ультразвукового

5. Какой из электрофизических методов обеспечивает наименьшую шероховатость поверхности:

- а). Лазерный
- б). Электрохимический
- в). Электроэрозионный

## ЛИТЕРАТУРА.

### Основная:

1. Дриц М.Е., Москалев М.А. Технология конструкционных материалов и материаловедение. М.: Высшая школа, 1989.
2. Технология конструкционных материалов. Под ред. Дальского А.М. М.: Машиностроение, 1985 - 448с.

### Дополнительная

5. Петруха П.Г. и др. Технология обработки конструкционных материалов. 1991г.