

Министерство образования Республики Мордовия  
**ГБПОУ РМ «Саранский государственный  
промышленно-экономический колледж»**

## **МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

по дисциплине

### **«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

для профессий:

15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной  
сварки (наплавки))

15.01.35 Мастер слесарных работ

15.01.33 Токарь на станках с числовым программным  
управлением

15.01.34 Фрезеровщик на станках с числовым  
программным управлением

Печатается по решению  
методического совета  
ГБПОУ РМ «Саранский  
государственный промышленно-  
экономический колледж»

**Методическое пособие по дисциплине  
«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

для профессий:

15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки  
(наплавки))

15.01.35 Мастер слесарных работ

15.01.33 Токарь на станках с числовым программным  
управлением

15.01.34 Фрезеровщик на станках с числовым программным  
управлением

Составитель: преподаватель специальных дисциплин ГБПОУ РМ  
«СГПЭК» Никифорова О.В.

Рецензент: Мишаров С.В., заместитель директора по УПР ГБПОУ РМ  
«СГПЭК»

# Содержание

1. Предисловие	3
2. Введение	4
3. Раздел I. Строение кристаллизация материалов и сплавов	5
Тема 1. Строение металлов	5
Тема 2. Кристаллизация металлов и сплавов	6
Тема 3. Методы исследования металлов и сплавов	8
Тема 4. Механические свойства металлов и сплавов	11
Тема 5. Основные сведения из теории сплавов	12
Тема 6. Диаграммы состояния двойных сплавов	15
Тема 7. Диаграмма состояния железотемнит	18
Тема 8. Деформация металлов и сплавов	20
Тема 9. Термическая обработка. Основы теории	22
Тема 10. Термическая обработка стали	25
Тема 11. Химико-термическая обработка стали	30
4. Раздел II. Материалы, применяемые в машиностроении и приборостроении	32
Тема 1. Конструкционная прочность	32
Тема 2. Углеродистые стали	33
Тема 3. Легированные стали	35
Тема 4. Материалы с особыми технологическими свойствами	36
Тема 5. Железоуглеродистые сплавы с высокими литейными свойствами	38
Тема 6. Медные сплавы	39
Тема 7. Материалы с высокой износостойкостью	41
Тема 8. Материалы с высокими упругими свойствами	43
Тема 9. Материалы с малой плотностью	44
Тема 10. Материалы с высокой удельной прочностью	48
Тема 11. Материалы, устойчивые к воздействию температуры и окружающей среды	51
Тема 12. Неметаллические материалы	53
5. Раздел III. Материалы с особыми физическими свойствами	56
Тема 1. Материалы с особыми магнитными свойствами	56
Тема 2. Материалы с особыми тепловыми свойствами	59
Тема 3. Материалы с особыми электрическими свойствами	60
Тема 4. Полупроводниковые материалы	63
Тема 5. Диэлектрики. Лаки. Эмали. Компаунды	65
6. Раздел IV. Инструментальные материалы	67
Тема 1. Инструментальные материалы	67
7. Раздел V. Порошковые и композиционные материалы	69
Тема 1. Порошковые материалы	69
Тема 2. Композиционные материалы	73

## Предисловие

В различных отраслях промышленности, в строительстве и в быту находят широкое применение различные конструкционные материалы. Происходит непрерывное усовершенствование свойств традиционных сплавов и создание новых видов материалов, расширяются области их применения. Все это ставит перед выпускниками технических специальностей средних специальных учебных заведений новые задачи по углубленному изучению свойств, методов обработки и применению материалов.

Методическое пособие по дисциплине «Материаловедение» составлено для реализации требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников.

Основное назначение методического пособия - помочь студентам вышеуказанных специальностей при подготовке домашнего задания по дисциплине «Материаловедение». Пособие может быть использовано и для самостоятельной работы студентами дневной формы обучения. Студентами вечерней и заочной форм обучения пособие может применяться и на аудиторных занятиях, и при подготовке к экзаменам и зачетам.

Для лучшего усвоения и осмысления изучаемого материала в конце каждой темы имеются вопросы для самопроверки. В них актуализируются наиболее важные понятия, изучаемые в данной теме. Вопросы для самопроверки помогают обратить внимание на особенности термической обработки, свойств и применения изучаемых материалов.

Материал, изложенный в пособии, основывается на сведениях по физике, химии, технической механике. Дисциплина «Материаловедение» является базовой для изучения специальных дисциплин, поэтому методическое пособие может служить хорошим подспорьем для преподавателей специальных дисциплин. Темы, рассматриваемые в пособии, помогут провести межпредметные связи при изучении дисциплин технического цикла, расширить кругозор молодых преподавателей при ознакомлении со свойствами и применением различных конструкционных материалов, используемых в современных промышленных отраслях.

## Введение. 1. Цели и задачи предмета.

**Материаловедение** изучает свойства различных конструкционных материалов. Свойства материалов в большой степени зависят от структуры, т.е. внутреннего строения сплавов.

Предмет изучает также основы производства и переработки металлов и сплавов.

Внутреннее строение, т.е. структуру металлов и сплавов, необходимо знать для того, чтобы иметь представление о свойствах материалов. Превращения происходящие в металлах при их нагреве и охлаждении, также зависят от химического состава и строения металла. Различные превращения в металлах и сплавах сильно влияют на свойства конструкции. Для улучшения свойств проводится термическая обработка. В материаловедении изучаются основы переработки конструкционных материалов в изделия.

## 2. Основные конструкционные материалы применяемые в промышленности.

Наиболее широкое применение в промышленности находят черные металлы: железоуглеродистые сплавы: сталь и чугун.

Сталь - прочная, пластичная. Её можно обработать давлением. Чугун имеет высокую твердость, хрупкость. Такое отличие в свойствах стали и чугуна обусловлено их химическим составом: сталь содержит углерода теоретически до 2,14%, а практически до 1,3%. Чугуны, применяемые в промышленности, содержат углерода 2,3-4%).

Цветные металлы также находят применение в машиностроении. Наиболее распространены: алюминий, медь, свинец, цинк, титан, хром, никель, олово и т.д.

Цветные металлы в промышленности чаще применяются в сплавах, т.к. сплавы дешевле и имеют лучшие механические, технологические и эксплуатационные свойства. К сплавам относятся: дюралюмины, авиали, бронзы, латуни.

К конструкционным материалам, применяемым в технике относятся также и неметаллические материалы: пластмассы, резины, лакокрасочные покрытия, древесина и т.д.

## Вопросы для самопроверки.

1. Какие основные понятия изучаются в материаловедении?
2. В чем отличие свойств стали и чугуна?
3. Почему цветные металлы в машиностроении чаще применяются в сплавах?

## Раздел I Структура и кристаллизация металлов и сплавов

### Тема: Структура и кристаллизация металлов.

#### 1. Кристаллическое строение металлов.

Все материалы по-своему строению делятся на аморфные (смолы, стекла) и кристаллические. В аморфных веществах атомы расположены хаотично. В кристаллических веществах атомы расположены в пространстве упорядоченно и образуют кристаллическую решетку. Кристаллические решетки бывают трех типов:

1. Кубическая объемно-центрированная (К8).
2. Кубическая гранецентрированная (К12).
3. Гексагональная (плотнупакованная) (Г12).

Плотность упаковки атомов в решетке характеризуется координационным числом (К8, К12, Г12).

#### 2. Параметры кристаллических решёток.

**Параметры кристаллических решеток** - это период и координационное число.

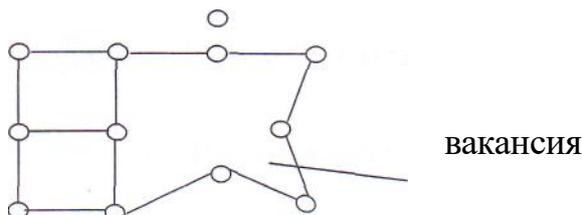
**Периодом** называется расстояние между ближайшими атомами в кристаллических решетках. Период измеряется в нм.

**Координационное число** - показывает какое количество атомов находится на ближайшем расстоянии от данного атома в определенной кристаллической решетке.

#### 3. Несовершенство кристаллических решеток.

##### а) Точечные несовершенства, вакансии.

В реальных кристаллах атомы располагаются не всегда упорядоченно.

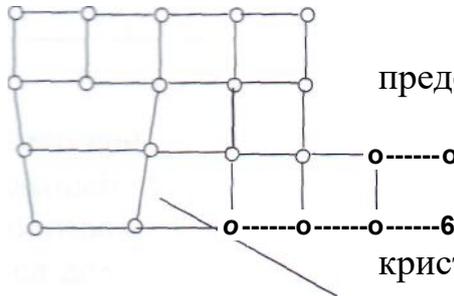


За счет нарушения расположения атомов образуются вакансии. **Вакансией** называется то место, откуда ушел атом. С повышением температуры количество вакансий увеличивается, кристаллическая решетка из-за вакансий искажается. Вакансии играют большую роль в процессах диффузии.

### б) Линейные несовершенства.

**Дислокации** - возникают при кристаллизации металлов и сплавов, при обработке давлением, при термической обработке.

дислокация



Линейные несовершенства или дислокации представляют собой сдвиг одних слоев

кристаллических решеток относительно других. дальнейшей деформации дислокации

перемещаются, поэтому дислокации снижают механическую прочность конструкций.

### в) Поверхностные несовершенства.

Все металлы и сплавы имеют зернистое строение, т.е. состоят из большого количества произвольно-ориентированных кристаллов. На границах зёрен накапливаются вакансии и дислокации.

Совокупность вакансий и дислокаций, расположенных на поверхности зёрен называются **поверхностными несовершенствами**.

### Вопросы для самопроверки.

1. Каких типов бывают кристаллические решетки?
2. Дать определение периода и координационного числа.
3. Как образуются вакансии?
4. При каких условиях возникают дислокации?
5. Как влияют дислокации на механическую прочность деталей?

### Тема: Кристаллизация металлов и сплавов.

#### 1. Процесс кристаллизации металлов.

**Кристаллизацией** называется процесс перехода металла из жидкого состояния в твердое. Процесс кристаллизации может быть изображен графически. На кривой кристаллизации 3 участка: 1-охлаждение жидкого металла, 2-кристаллизация металла, 3-охлаждение жидкого металла.

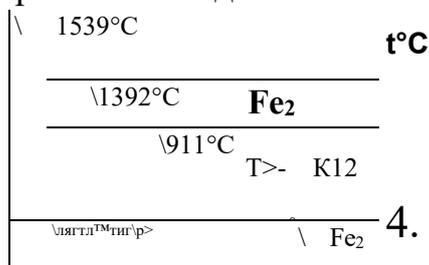
Процесс кристаллизации начинается с образования центров кристаллизации или зародышей. На зародышах образуются новые кристаллы. Если кристаллы растут произвольно, то они имеют разветвленное состояние и в этом случае образуются дендриты. Дендритная структура имеет низкие механические свойства.

При быстром охлаждении образуется много центров кристаллизации, и строение слитка будет мелкозернистое, такая структура имеет хорошие механические свойства. Ускорить процесс кристаллизации можно искусственно. При этом в расплавленный металл вводят модификаторы. На частичках модификаторов, как на зародышах, начинают расти кристаллы и структура измельчается.

### 3. Аллотропия или полиморфизм металлов.

Изменение структуры и свойств металла в твердом состоянии при изменении температуры называется **аллотропией** или **полиморфизмом**. Полиморфные превращения свойственны не только железу, они наблюдаются у титана, кобальта, марганца, олова. При температуре ниже 18°C белое олово превращается в серое олово.

Кривая охлаждения железа.



### 4. Анизотропия кристаллов.

Плотность атомов в кристаллических решетках различна, в зависимости от направления. Значит, и свойства кристалла в разных направлениях будут разными. Такое различие свойств в кристаллах, в зависимости от направления называется **анизотропией**. Металлы имеют поликристаллическое строение, т.е. состоят из множества хаотично ориентированных кристаллов, поэтому они имеют квазиизотропные свойства (ложный, мнимый). Если в деталях волокнистое

строение, то проявится анизотропия свойств: свойства вдоль и поперек волокон различны.

## 5. Особенности строения слитков стали.

Слиток стали, имеет неравномерное строение. Поверхностный слой расплавленного металла соприкасается со стенками холодной формы и металл быстро остывает, образуя мелкозернистую структуру. Следующий слой зёрен-крупные. Они вытянутые от центра к периферии - это дендритная структура. Внутри слитка также за счет медленного охлаждения структура получается крупнозернистая, но зерна располагаются хаотично. Мелкозернистая структура имеет высокие механические свойства. Крупнозернистая структура - низкие механические свойства. Слитки стали с разнородной структурой применять для изготовления деталей нельзя. Методами термической обработки строение стальных слитков выравнивают.

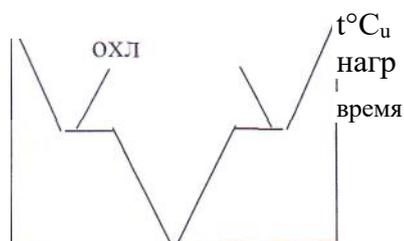
### Вопросы для самопроверки.

1. Что называется кристаллизацией металла?
2. В какой последовательности идет процесс кристаллизации материалов?
3. При каком охлаждении образуется мелкое зерно в материалах?
4. Какова роль модификации?
5. Что называется аллотропией или полиморфизмом?
6. Сколько полиморфных модификаций имеет железо?
7. Дайте определение анизотропии?
8. Перечислите зоны различных зерен, образующиеся при кристаллизации слитка стали.

Тема: Методы исследования металлов и сплавов. 1.

### Термический анализ.

При изучении процессов кристаллизации опытным путем строят кривые охлаждения. Для этого сплав помещают в печь, нагревают, расплавляют. Через равные промежутки времени записывают температуру. На основании этих записей строят кривые нагревания и охлаждения сплавов, в осях координат  $t$  - время.



На графиках получаются перегибы. Эти перегибы соответствуют критическим температурам или фазовым изменениям сплава.

## 2. Макроскопический анализ.

**Макроскопический анализ** - проводится на глаз, или при небольшом увеличении. Макроанализ выполняют по излому образца или по макрошлифу. По излому можно судить о размере зерна, увидеть некоторые дефекты. Обычно, чем мельче зерна в изломе, тем лучше механические свойства металлов и сплавов. По излому можно сделать вывод о пластичности сплава.

По макрошлифу выявляют несплошности (трещины, раковины), неоднородность металла, волокнистость его структуры.

Для макроскопического анализа изготавливают макрошлиф - это образец вырезанный из конструкции, одна сторона которого шлифуется, а затем протравливается. На протравленной поверхности выявляется структура металла.

## 3. Микроскопический анализ.

**Микроскопический анализ** - применяется для исследования микроструктуры металлов и сплавов. Микроанализ проводят с помощью металлографического микроскопа. Для этого изготавливают микрошлиф - образец вырезанный из конструкции шлифуют, полируют, а затем протравливают. Процесс травления идет сильнее по границам зёрен. Под микроскопом при увеличении в 50-2000 раз зёрна хорошо видны. Микроанализ является основным методом изучения металлов и сплавов.

## 4. Рентгеноструктурный анализ.

**Рентгеноструктурный анализ** - позволяет определить расположение атомов в кристаллических решетках. Этот метод основан на том, что рентгеновские лучи с малой длиной волны, отражаются рядами атомов в кристаллических решетках. Отраженные лучи регистрируются на рентгенограмме. По ним определяются размеры и вид кристаллов.

## 5. Дилатометрический анализ.

**Дилатометрический анализ** - основан на том, что при критических температурах, при различных превращениях, меняется объем образца, а значит, меняется и длина образца. Чувствительный прибор - **дилатометр** регистрирует это небольшое изменение длины образца. График строится в координатах  $t$  - длина образца. Дилатометры бывают механические, оптические и электронные.

## 6. Метод измерения электросопротивления.

$$\rho = R \cdot l$$

$\rho$  - Удельное сопротивление.

S - Площадь поперечного сечения.

L - Длина образца.

R - Электрическое сопротивление.

При фазовых превращениях изменяются геометрические размеры образца. Следовательно, будет изменяться удельное сопротивление материала. На графиках, построенных в координатах  $t^\circ$ - $\rho$ , такие фазовые изменения будут соответствовать перегибам, на кривых охлаждения или нагревания сплавов.

## 7. Магнитный метод исследования.

**Магнитный метод исследования** - основан на том, что при фазовых превращениях меняются магнитные свойства сплава.

Магнитные свойства меняются скачкообразно при критических температурах при нагреве и охлаждении металла. Специальными приборами регистрируются изменения магнитной индукции и т.д.

## 8. Контроль изделий проникающими излучениями.

Применяется для выявления внутренних дефектов в отливках, в сварочных швах без их разрушения. Лучи, проходя через изделия, частично поглощаются плотным металлом, а частично проходят. Дефекты выявляются на экране или на фотопленке в виде светлых или темных пятен.

### Вопросы для самопроверки.

1. Как строят кривые нагревания и охлаждения металлов и сплавов?
2. Какие выводы можно сделать по излому образца?
3. Какие дефекты выявляются на макрошлифе?
4. Что собой представляет макрошлиф?
5. Чем отличается микрошлиф от макрошлифа?
6. Для чего применяется микроскопический анализ?
7. Что позволяет определить рентгеноструктурный анализ?
8. Что происходит с образцами стали при критических температурах?
9. В связи с чем меняется удельное сопротивление материала?
10. Как меняются магнитные свойства материала при критических температурах?

11.С какой целью применяется контроль изделий проникающими излучениями?

**Тема: Механические свойства металлов.**

**Испытание металлов.**

**1. Прочность.**

**Прочность** - это сопротивление детали, образца, разрушающему действию нагрузки. Прочность определяется при статических испытаниях. Испытания проводятся на специальных машинах. Стандартные образцы испытываются на сжатие, на изгиб, на кручение, на срез. Наиболее часто проводятся испытания на растяжение. При этом определяется предел прочности образца, предел упругости, предел текучести и т.д. При испытании на изгиб, определяется прогиб образца.

**2. Твёрдость.**

**Твёрдость** - это сопротивление материала образца внедрению в поверхность образца - индикатора. Твёрдость оценивают по глубине отпечатка на поверхности образца. При испытании по методу Бринелля в поверхность образца вдавливают стальной, закаленный шарик диаметром 10, 5 или 2,5 мм, при нагрузке до 3-х тонн. На поверхности образца будет отпечаток. По этому отпечатку определяют твердость сплава. Твёрдость при таких испытаниях обозначается HB.

При определении твердости методом Роквелла, в зависимости от условия испытания твердость может обозначаться HRA, HRB, HRC. Методом Роквелла можно испытывать очень твердые сплавы.

Метод Виккерса (HV), применяется для определения твердости очень тонких поверхностных слоев или тонких листов металлов.

**3. Ударная вязкость.**

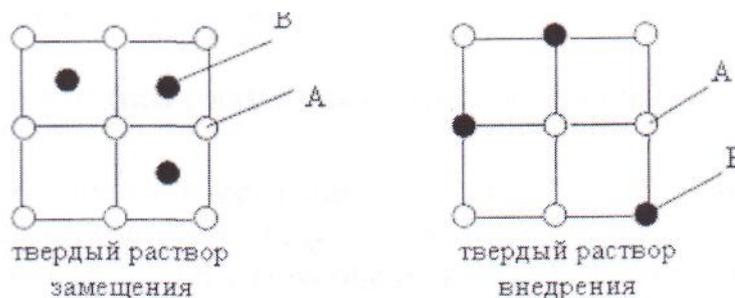
**Ударная вязкость** - характеризует сопротивление образца ударной, разрушающей нагрузке. Образцы из вязких сплавов имеют большую ударную вязкость, т.е. они в результате удара разрушаются не сразу. Хрупкие металлы и сплавы разрушаются под действием даже небольших ударных нагрузок. Ударная вязкость определяется по формуле 
$$A_u = \frac{F \cdot a}{F}$$
; при испытании образца на маятнике вом копре.

**4. Испытание на усталость.**

**Усталость** - это способность деталей разрушаться через определенное время работы, под действием нагрузки, меньшей чем предел прочности. Усталость проявляется при знакопеременных нагрузках (пружины, детали работаю-



Твердые растворы образуются в том случае, когда компоненты сохраняют растворимость в твердом состоянии.



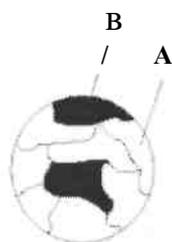
Твердые растворы бывают: замещения и твердые растворы внедрения.

Твердый раствор замещения образуется тогда, когда атомы основного компонента замещаются атомами другого.

Твердый раствор внедрения образуется, когда атомы растворимого компонента В внедряются в межатомные пространства основного компонента А. Кристаллическая решетка основного компонента при этом сохраняется. Неограниченные твердые растворы получаются при любом соотношении компонентов. Ограниченные твердые растворы образуются только до определенного соотношения компонентов.

### 3. Механическая смесь.

Сплав называемый **механической смесью** образуется в том случае, когда компоненты не растворяются в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию. В жидком состоянии такой сплав однороден, имеет одну фаз}'.



При кристаллизации идет отдельное образование кристаллов одного и другого компонента. Образуется механическая смесь кристаллов (две фазы).

### 4. Химическое соединение.

Сплав называемый, **химическим соединением**, образуется в том случае, когда компоненты вступают в химическую реакцию. Химическое соединение- это совсем новое вещество, которое сильно отличается по свойствам от составляющих компонентов.

Химическое соединение имеет свою температуру плавления, свою кристаллическую решетку. Химическое соединение образуется при строго определенном соотношении компонентов.

## 5. Виды диаграмм состояния сплавов, их значение.

Каждый вид сплава имеет свой вид диаграммы состояния сплавов. **Диаграмма состояния сплава** - это графическое изображение сплава в зависимости от температуры и концентрации компонентов. По диаграмме можно определить превращения происходящие в сплаве при нагревании и охлаждении; можно узнать фазовое состояние сплава при различных температурах, определить технические свойства сплава (литейные свойства, обрабатываемость резанием, давлением и т.д.)



I - неограниченные твердые растворы.

II - механические смеси.

III - ограниченные твердые растворы.

IV - химические соединения.

Диаграммы состояния для различных сплавов строятся опытным путем в координатах  $t^{\circ}$ - концентрация компонентов. Для построения диаграммы используют метод термического анализа.

### Вопросы для самопроверки.

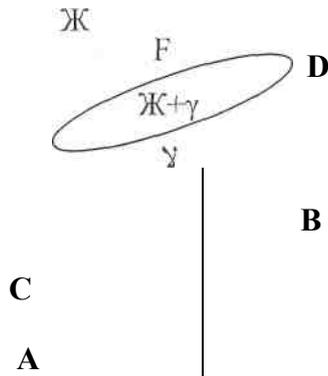
1. Что называется металлическим сплавом?
2. Дать определение компонента.
3. Какая часть сплава называется фазой?
4. Что собой представляет система?
5. В каком случае образуются твердые растворы?
6. Когда образуются твердые растворы замещения и внедрения?
7. При каком соотношении компонентов образуются твердые растворы замещения и внедрения?
8. При каком условии образуется сплав, называемый механической смесью?
9. Перечислить четыре отличительных признака химического соединения?
10. Что называется диаграммой состояния сплава?

11. Какие свойства сплава можно определить по диаграмме состояния сплава

**Тема: Диаграммы состояния двойных сплавов.**

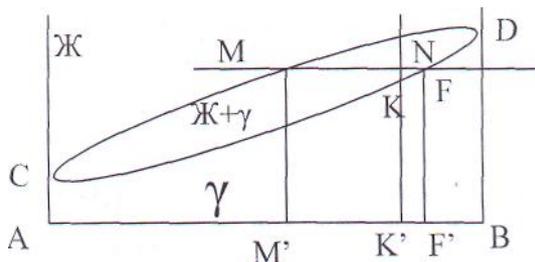
**1. Диаграмма состояния сплавов для неограниченных твердых растворов.**

Для построения диаграмм используют метод термического анализа. Для этого берутся сплавы с различной концентрацией компонентов и для этих сплавов строятся кривые охлаждения. CFD - ликвидус. Выше этой линии все сплавы находятся в жидком состоянии. СКД - солидус. Ниже этой линии все сплавы имеют твердое состояние.



Твердый раствор, образующийся при неограниченной растворимости компонентов А и В. Чем больше температурный интервал кристаллизации сплава, тем хуже сплав обрабатывается резанием, тем хуже у него литейные свойства. Твердые растворы имеют хорошую обрабатываемость давлением. При обработке давлением завариваются несплошности, структура становится более однородной.

**2. Определение состава сплава по диаграмме состояния сплава.**

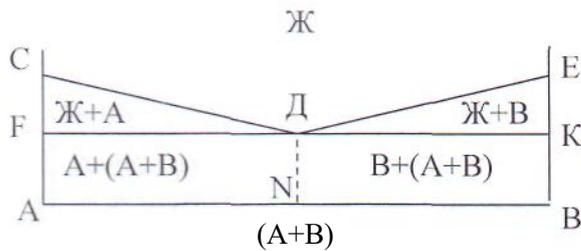


т. K! (15% А; 85% В)

Состав в т. N имеет твердую и жидкую фазу. Для определения состава сплава, надо через т. N провести к аноду (MF). Точки пересечения с ликвидусом и солидусом M и F, проекции этих точек NT и F на ось концентраций покажут состав жидкой и твердой фазы сплава. Жидкая фаза т.М' (55%А; 45%В), твердая

фазатГ' (9%A;91%B).

### 3. Диаграмма состояния сплавов, которые образуют механическую смесь.



СДЕ - ликвидус.

FJK - солидус.

В т. Д образуется механическая смесь кристаллов (А+В), которая называется **эвтектика**.

**Эвтектической температурой** называется температура, при которой образуется эвтектика (т. F).

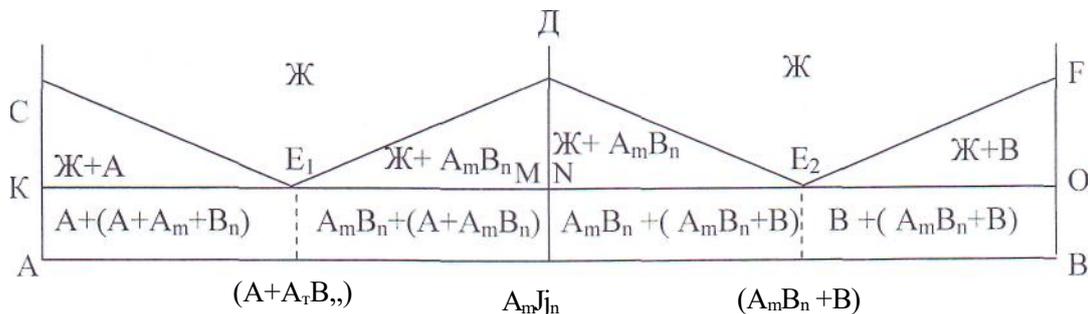
**Эвтектической концентрацией сплава** называется такая концентрация компонентов, при которой образуется эвтектика (т. N).

Сплавы находящиеся слева от эвтектики, называются **доэвтектическими**: (А+(А+В)).

Сплавы, находящиеся справа от эвтектики, называются **заэвтектическим**: В+(А+В).

### 4. Диаграмма для химического соединения.

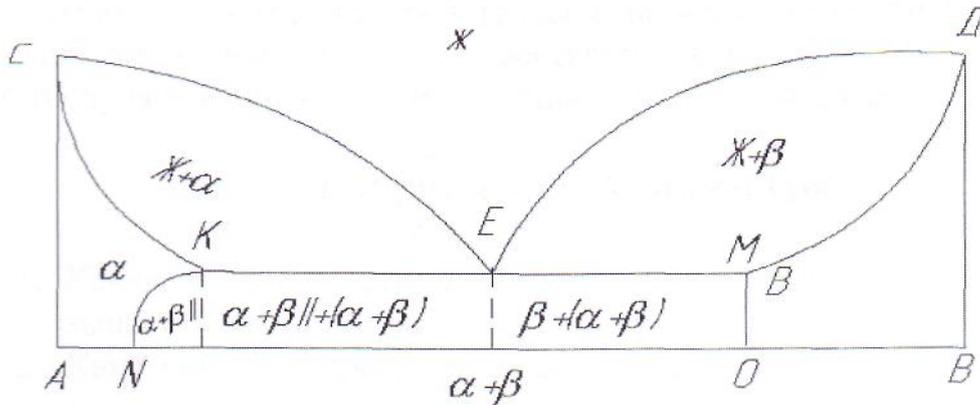
Диаграмма для химического соединения состоит как бы из двух диаграмм для



механической смесей.

$A_m B_n$  - химическое соединение. СЕ] ДЕ<sub>2</sub> F - ликвидус. КМ; N0 - солидус. В т. E<sub>1</sub> и E<sub>2</sub> образуются эвтектики. В т. E<sub>1</sub> - (А+А<sub>т</sub> В<sub>п</sub>). В т. E<sub>2</sub> - (В+А<sub>т</sub> В<sub>п</sub>). С - температура плавления (кристаллизации) компонента А; F - температура плавления (кристаллизации) компонента В. т. Д - температура плавления (кристаллизации) -  $A_m B_n$  (химического соединения).

## 5. Диаграмма состояния сплавов для ограниченных твердых растворов.



СЕД - ликвидус;

СКЕМД - солидус.

α - ограниченный твердый раствор компонента А в В.

β - ограниченный твердый раствор компонента В в А.

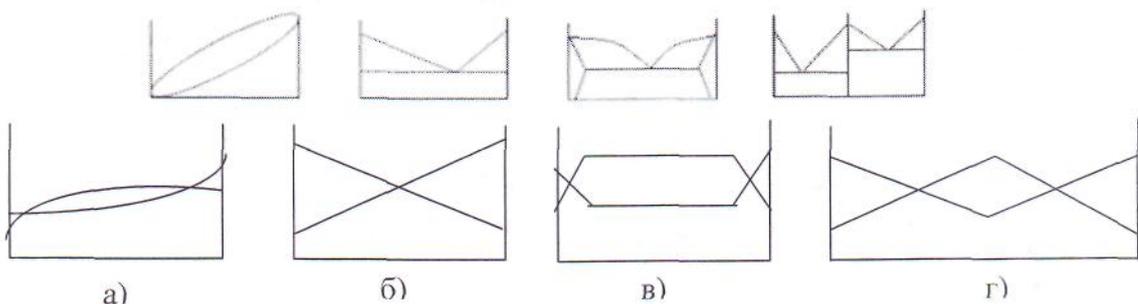
В т.Е - образуется эвтектика (α + β).

KN; MO - линии ограничения растворимости А и В.

KN - показывает ограничение растворимости В в А. С понижением температуры растворимость В в А уменьшается. MO - перпендикулярна АВ, значит концентрация А в В остается постоянной и не меняется с изменением температуры.

## 6. Связь между свойствами сплавов и диаграммами состояния.

Свойства сплава зависят от химического состава и структуры сплава. Диаграмма состояния отражает структуру сплава и характер взаимодействия компонентов сплава, значит между диаграммой состояния и свойствами сплава существует тесная связь.



На этих графиках рассмотрены твердость - 1 и электропроводность сплавов - 2. Если компоненты образуют неограниченный твердый раствор, то свойства сплава меняются по плавным кривым (а).

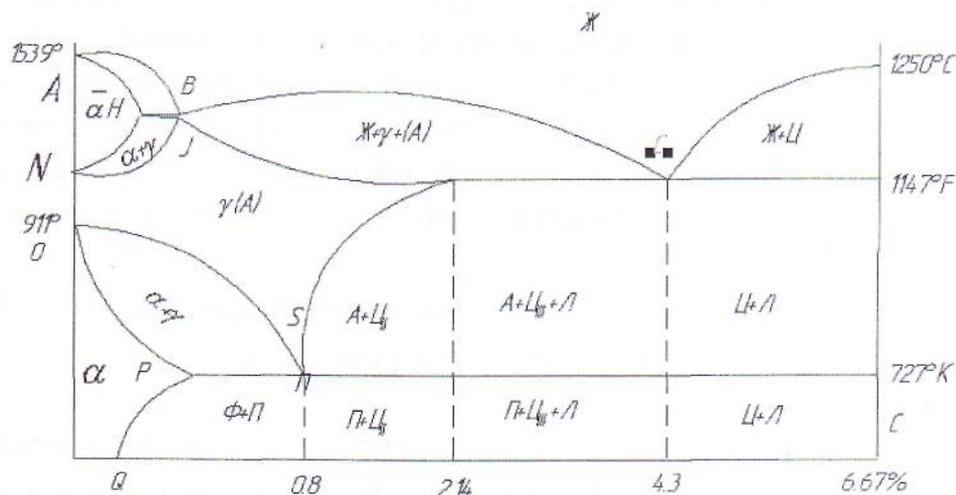
Электропроводность резко снижается, а твердость повышается даже при небольшом введении примеси в чистый металл. Если компоненты образуют механическую смесь (б), то свойства сплава изменяются по прямолинейному закону. При ограниченных твердых растворах свойства меняются по ломанным линиям. В случае химического соединения свойства сплава меняются (г) скачком.

### Вопросы для самопроверки.

1. Какая линия на диаграмме для неограниченных твердых растворов называется ликвидус, какая солидус?
2. Каким образом проводится конода для определения состава сплава в точке К?
3. Что называется эвтектикой?
4. Дать определение эвтектической температуры, эвтектической концентрации сплава.
5. Какие сплавы называются доэвтектическими, а какие - заэвтектическими?
6. Назвать линии, показывающие ограничение растворимости на диаграмме для ограниченных твердых растворов.
7. Как изменяются свойства сплавов: а) неограниченных твердых растворов; б) механических смесей; в) химических соединений;
8. г) ограниченных твердых растворов?

### Тема: Диаграмма состояния железо-цементит. 1.

#### Диаграмма железо-цементит.



## 2. Железоуглеродистые сплавы, их характеристика.

**Феррит** - это ограниченный твердый раствор углерода в Fe  $\alpha$ . При температуре 727° - Fe  $\alpha$  растворяет углерод до 0,025 % (т.Р.). С понижением температуры растворимость углерода уменьшается до 0,0025 %. Феррит имеет высокую пластичность, малую прочность, чем больше феррита в стали, тем она пластичнее.

Аустенит представляет собой ограниченный твердый раствор углерода в Fe  $\gamma$ . При  $t^\circ$  1147°С (т. E) аустенит растворит углерода 2,14 %. С понижением  $t$  (SE) растворимость углерода в A уменьшается до 0,8 %. Это концентрация углерода в A в конце его существования. Ниже 727°С аустенит превращается в перлит. Аустенит имеет достаточно высокую твердость и прочность.

**Цементит** - это химическое соединение углерода с железом. Цементит содержит углерода 6,67%, поэтому он очень твердый и хрупкий. Сталь содержащая цементит не обрабатывается давлением.

## 3. Линии и точки диаграммы.

### а) точки диаграммы.

т. А - точка плавления чистого железа, 0 % углерода,  $t$  - 1539 С.

т. С - точка эвтектического превращения, в ней образуется эвтектика чугуна (ледебурит)  $t^\circ$  - 1147° С, 4,3 % углерода.

т. E -  $t^\circ$  - 1147° С; 2,14 % - концентрация углерода. Эта точка делит диаграмму на стали и чугуны.

т. S -  $t^\circ$  - 727°С; 0,8 % - углерода. В т. S образуется механическая смесь (Ф+Ц) она называется эвтектоид **стали**. Это механическая смесь перлит, образуется из твердого раствора.

т. Р. - наибольшая растворимость углерода в Fe ,  $t^\circ$  - 727°С, 0,025 % углерода.

т. G - 0 % углерода;  $x^\circ$  - 911° - полиморфное превращение Fe  $\gamma$  в Fe  $\alpha$ .

т. Д -  $t^\circ$  - 1250° С; 6,67 % углерода - температура плавления цементита.

### б) линии диаграммы.

АВСД - ликвидус, АНЕССF - солидус. ЕСF - линия эвтектического превращения чугуна. ES - линия ограничения растворимости углерода в аустените. По этой линии выделяется вторичный цементит из твердого сплава.

GS - линия полиморфного превращения Fe  $\gamma$  в Fe  $\alpha$ . По линии PG полиморфное превращение аустенита в феррит заканчивается.

PKS - линия эвтектоидного превращения стали.

## 4. Классификация железоуглеродистых сплавов по диаграмме состояния.

**Стаями** называются железо-углеродистые сплавы с содержанием углерода до 2,14 %, в которых при первичной кристаллизации образуется аустенит. Доэвтектоидные стали содержат углерода до 0,8 %. При комнатной температуре

структура этих сталей феррит и перлит (Ф+П) . Эвтектоидные стали содержат углерода 0,8 % , их структура - перлит. Заэвтектоидные стали содержат углерода более 0,8 % до 2,14 %, и имеют структуру перлит + цементит вторичный (П+Ц<sub>п</sub>). Вторичный цементит образуется при кристаллизации из твердого раствора.

**Белыми чугунами** называются сплавы, которые содержат углерода от 2,14 % до 6,67 % углерода.

Доэвтектические белые чугуны содержат углерода от 2,14 % до 4,3 %. Они имеют структуру при комнатной температуре (П +Ц<sub>п</sub> +Л). Эвтектические чугуны содержат углерода 4,3 % и имеют структуру ледебурит. Ледебурит состоит из аустенита и цементита. Превращенный ледебурит состоит из перлита и цементита. Заэвтектические чугуны содержат углерода от 4,3 % до 6,67 %, их структура цементит первичный и ледебурит (Ц + Л).

## 5. Превращения в железоуглеродистых сплавах.

При нагревании и охлаждении в железоуглеродистых сплавах при критических температурах происходят превращения.

### Вопросы для самопроверки.

1. Что называется ферритом? Какие у него свойства?
2. Дать определение аустенита, при какой температуре аустенит превращается в перлит?
3. Какой сплав железа с углеродом называется цементитом?
4. В какой точке образуется эвтектика чугуна ледебурит?
5. В какой точке образуется эвтектоид стали перлит?
6. Дать определение сталей по диаграмме состояния Fe-C.
7. Какие сплавы называются белыми чугунами?
8. Сколько углерода содержит доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные стали?

### Тема: Деформация металлов и сплавов.

#### 1. Изменение структуры металла при нагреве.

У всех металлов и сплавов, при нагреве с некоторой температуры начинается рост зёрен. Зёрна растут за счет спрямления и передвижения границ, за счет поглощения одних зерен другими. Зерна которые растут при повышении температуры увеличивают пластичность металла, т.е. крупнозернистая структура хорошо обрабатывается давлением. Рост зерен у меди начинается при 100-200 С, у алюминия с 70-100 С, у свинца при температуре близкой к 0 , у стали при температуре 727 °С.

## 2. Деформация металла в холодном состоянии.

Под действием приложенных сил зерна металла расплющиваются и металл приобретает волокнистое строение. При деформации в холодном состоянии меняется не только структура металла, но и его свойства.

Пластичность, вязкость, коррозионная стойкость, эл. проводность понижаются.

Изменение свойств металла деформированного в холодном состоянии называют **наклёпом**.

## 3. Влияние наклёпа на свойства стали.

Наклеп повышает твердость, прочность стали. Под действием силы в металле возникает упругая деформация. При пластической деформации зерна получают волокнистую структуру, т.е. они определенным образом ориентируются и образуют деформированную текстуру металла. Деформированный металл имеет разные свойства вдоль и поперек волокон, т.е. он обладает анизотропными свойствами. Под действием силы на поверхности деталей образуются упрочненные или наклёпанные слои. В толстых изделиях наклеп способствует улучшению свойств поверхностных слоев. Сердцевина остается вязкой. Тонкие изделия проклёпываются насквозь и при нагрузке могут сломаться из-за повышенной твердости. Наклеп затрудняет дальнейшую деформацию металлов.

## 4. Рекристаллизация.

**Рекристаллизация** - нагрев деформированного металла с целью его смягчения, повышения пластичности. Различают три этапа рекристаллизации:

1. Если сталь нагреть до  $200^{\circ}$ , то структура не меняется, а за счет снятия напряжений появляется некоторая вязкость, такой нагрев называется **отдыхом**.

2. При нагреве стали до  $350^{\circ}$  -  $550^{\circ}$  внутри волокон возникают зародыши зерен и структура становится мелкозернистой. Металл приобретает прочность и вязкость.

3. 3-ий этап рекристаллизации начинается при температуре выше  $600^{\circ}$  С. Зерна при таком нагреве начинают расти, особенно заметен рост зёрен, если температура выше  $900^{\circ}$ . Лучшие свойства сталь приобретает при температуре рекристаллизации  $600-800^{\circ}$  С.

Таким образом наклёп и рекристаллизация позволяют управлять размером зерна. Этот метод для тонких деталей не пригоден.

### Вопросы для самопроверки.

1. Как изменяется размер зерен металла при нагреве?
2. Что называется наклёпом металла, как в этом случае меняются свойства металла?

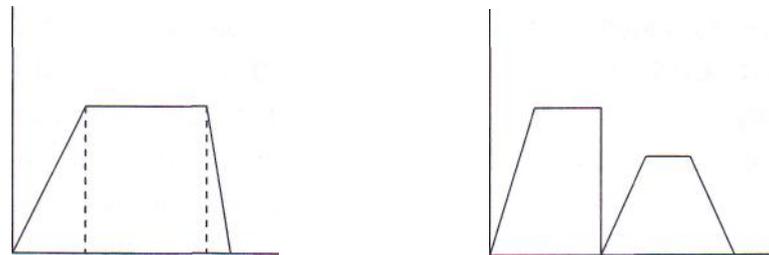
3. В чем проявляются анизотропные свойства металла?
4. Как влияет наклеп на пластичность металла?
5. Что называется рекристаллизацией?
6. При каких температурах идут этапы рекристаллизации?

### Тема: Термическая обработка. 1.

#### Значение термообработки.

**Термообработка** - это процесс теплового воздействия на металл с целью изменения его структуры и свойств. Термообработку проводят по определенным режимам. Качество и стойкость в работе деталей и инструмента в большой степени зависит от термообработки. Основными факторами при термообработке являются температура и время.

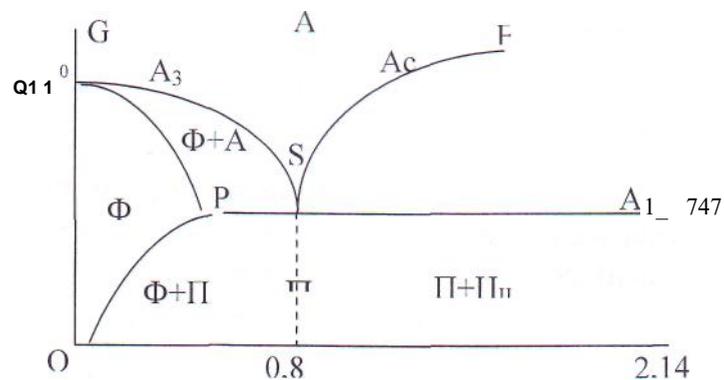
Термообработка графически изображается так:



нагрев    выдержка    охлаждение  
время

## 2. Превращение в стали при нагреве.

В исходном состоянии сталь представляет собой ферритно-цементитную смесь. При нагреве стали выше температуры  $A_1$  в ней зарождаются мелкие зерна аустенита. Зерна аустенита растут, в них растворяется цементит и при дальнейшем нагреве зерна аустенита заполняют весь объем бывшего зерна.



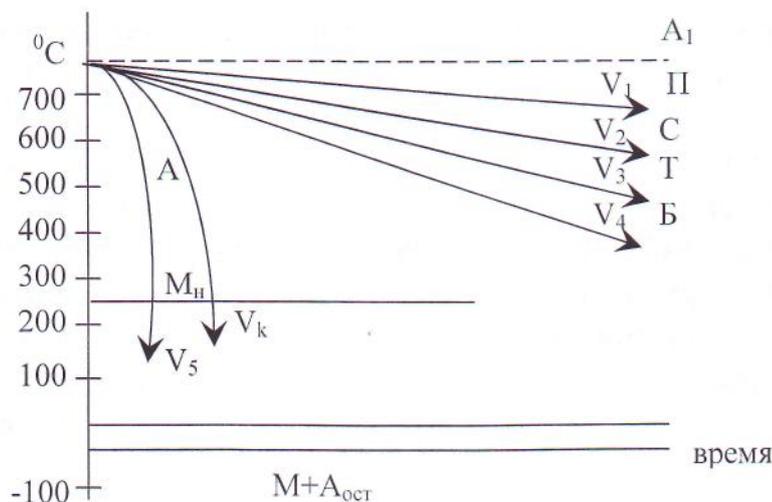
### 3. Рост зерна аустенита при нагреве.

В начале зерна аустенита получаются мелкие при нагреве выше  $A_1$ . При дальнейшем нагреве зерна аустенита растут, но склонность к росту зерен у сталей различная. Если при плавке в сталь добавляли для раскисления кремний или марганец, то с повышением температуры зерна аустенита непрерывно растут, такие стали, называются наследственно-крупнозернистыми. Если в сталь при плавке добавляли для раскисления алюминий, то эти стали, не обнаруживают роста зерна до  $900^\circ - 950^\circ\text{C}$ . Такие стали называются наследственно-мелкозернистыми. Здесь образуется нитрид алюминия, он располагается по границам зерен и сдерживает их рост. При температуре больше  $950^\circ\text{C}$  нитридные включения растворяются и зерна начинают расти очень быстро.

### 4. Превращение в стали при охлаждении.

#### а) распад аустенита.

Аустенит превращается в перлит при температуре ниже  $A_1$ . Значит, чтобы аустенит начал распадаться, необходимо сталь переохладить, т. е. охладить ее ниже  $727^\circ\text{C}$ . Распад аустенита графически изображается диаграммой изотермического превращения аустенита. Эти диаграммы снимаются экспериментально, распад аустенита обнаруживается методом микроскопического анализа. Время слева от левой кривой соответствует тому, что аустенит не начал распадаться. Правая кривая соответствует окончанию распада аустенита.



**б) перлитное превращение** - происходит в интервале  $A_1 - 500^\circ\text{C}$ . Перлитное превращение заключается в распаде переохлажденного аустенита на феррит и цементит. Чем ниже температура, при которой распадается аустенит, тем мельче получается структура ферритно-цементитной смеси. Перлит получается при распаде аустенита от  $A_1$  до  $650^\circ\text{C}$ . Более мелкая ферритно-цементитная смесь, которая называется **сорбит**, образуется при распаде аустенита от  $650^\circ\text{C}$ . Ещё

более мелкая ферритно-цементитная смесь, **троостит**, получается при распаде аустенита в интервале 600-500°C.

#### в) бейнитное превращение.

Структура называемая **бейнитом**, образуется в углеродистых сталях при изотермической выдержке в интервале температур 500-250°C. В зависимости от температуры, изотермической выдержки, различают верхний и нижний бейнит. Верхний бейнит (500- 350°) имеет строение перистое, как у перлита. Нижний бейнит (350-250°) имеет игольчатое строение, как у мартенсита (Мн).

#### г) мартенситное превращение.

**Мартенсит** - это основная структура закаленной стали. Сталь закаленная на мартенсит обладает высокой твердостью HRC- 65. Углерод, при резком переохлаждении не успевает выделиться из аустенита и происходит только перестройка кристаллической решетки Fe'и в Fe а.. Атомы углерода оставаясь в решетке Fe а, сильно ее искажают. Чем больше углерода, тем больше искажается решетка. Fe а растворяет углерода очень мало (0,025%). В мартенсите же углерода будет столько, сколько его содержалось в аустените этой стали.

**Мартенсит** является а - твердым раствором пересыщенным углеродом.

Мартенсит имеет игольчатое строение. Чем меньше были зерна аустенита, тем меньше получаются иглы мартенсита, при правильной закалке стали. При содержании углерода больше 0,6 % мартенистое превращение оканчивается при температуре ниже 0°. Поэтому закалку высокоуглеродистых сталей проводят при минусовой температуре. Но и тогда аустенит частично не превращается в мартенсит и остается в виде остаточного аустенита.

#### д) превращение аустенита при непрерывном охлаждении.

Термическую обработку стали на практике осуществляют при непрерывном охлаждении после нагрева. Кривые скоростей охлаждения аустенита наносятся на диаграммы изотермического превращения. При небольшой скорости охлаждения  $V_1$  продуктом распада аустенита будет П. С увеличением скорости охлаждения  $V_2$  и  $V_3$  продуктами распада аустенита будут бейнит и частично мартенсит. При резком охлаждении  $V_K$  образуется мартенсит без продуктов перлитного распада. Минимальная скорость охлаждения, при которой образуется мартенситная структура без продуктов перлитного распада называется **критической скоростью закалки**.

### Вопросы для самопроверки.

1. Что называется термической обработкой?
2. Основные факторы термообработки.
3. Что происходит в стали при температуре выше  $A_1$ ?
4. Как меняется размер зерен аустенита при нагреве?
5. Какие стали называются наследственно-крупнозернистыми?
6. Какие стали называются наследственно-мелкозернистыми?

7. При какой температуре аустенит превращается в перлит?
8. Назвать интервал перлитного превращения?
9. При какой температуре образуется при распаде аустенита самая мелкая ферритно-цементитная смесь - троостит?
10. В каком интервале температур образуется структура стали, называемая бейнитом?
11. Какой твердый раствор называется мартенситом?
12. Какое строение имеет мартенситная структура?
13. Какая скорость охлаждения называется критической скоростью закалики?

## Тема: Термическая обработка стали. 1.

### Отжиг.

**Отжиг** - это термическая обработка, применяемая для слитков и заготовок. Отжиг проводится для того, чтобы улучшить строение и свойства стали перед дальнейшей обработкой давлением или резанием. При отжиге заготовки нагревают до определенной температуры, выдерживают при этой температуре, а затем медленно охлаждают.

### 2. Отжиг I рода.

**а) диффузионный или гомогенизационный отжиг** - проводится для выравнивания химического состава и структуры стали. Заготовки нагревают до 1050 С-1250 С, выдерживают при этой температуре 8-10ч., а затем медленно охлаждают.

**б) рекристаллизационный отжиг** - применяется в заводской практике, для устранения наклепа после деформации в холодном состоянии. Стальные заготовки (листы, прутки, проволоку), нагревают до 700°-730°С, время выдержки 25-30 минут. В результате повышается пластичность стали.

### 3. Отжиг II рода.

**а) полный отжиг** - проводится для доэвтектоидных сталей. Заготовки нагревают до температуры  $A_3 + (20-30^\circ\text{C})$ . Образуется мелкозернистый аустенит. После охлаждения получится тоже мелко-зернистая структура.

**б) неполный отжиг** - проводится для заэвтектоидных сталей. Заготовки нагревают до  $A_1 + (20-30^\circ\text{C})$ . В структуре сохраняется II цементит, но в результате отжига его зерна приобретают круглую форму. Сталь с зернистым цементитом лучше обрабатывается режущим инструментом. После закалики получается хорошая структура.

**в) изотермический отжиг** - сталь нагревают выше критических точек ( $A_1$  или  $A_3$ ), после этого охлаждают на  $50-100^\circ$ , ниже  $A^1$  а затем выдерживают при этой температуре в течение времени, необходимого для полного распада аустенита. А затем ведется охлаждение на спокойном воздухе.

**г) нормализация** - это нагрев заэвтектоидных сталей до аустенитного состояния, получается структура аустенита. После охлаждения на спокойном воздухе образуется более тонкое строение перлита или сорбита, уменьшаются внутренние напряжения. Твердость, прочность после нормализации выше, чем после других видов отжига. Нормализацию поэтому можно применять не всегда (нельзя перед обработкой резанием).

## Вопросы для самопроверки

1. Что называется отжигом?
2. Для чего проводится диффузионный или гомогенизационный отжиг?
3. С какой целью применяется рекристаллизационный отжиг?
4. Для каких сталей проводится полный отжиг?
5. Для каких сталей проводится неполный отжиг?
6. Сущность изотермического отжига стали?
7. В какой среде охлаждается сталь при нормализации?

## Тема: Закалка. 1.

### Сущность закалки.

Закалка представляет собой нагрев деталей до оптимальной температуры, и резкое охлаждение. После закалки получается неравномерная структура с высокой твердостью.

Температура закалки для углеродистых сталей определяется по диаграмме состояния Fe-C. Для доэвтектоидных сталей закалка проводится при нагреве выше температуры  $A_3$  на  $30-50^\circ\text{C}$ . Получаемый мелкозернистый аустенит при резком охлаждении превращается в мелкоигльчатый мартенсит. Твердость и прочность возрастают, если углерода в стали больше 0,2 %.

Эвтектоидные и заэвтектоидные стали при закалке нагревают выше  $A_1$  на  $30-50^\circ\text{C}$ . Время выдержки выбирается из расчета 1,5-2 мин. на 1 мм сечения.

## 2. Охлаждение при закалке.

Охлаждающими средами при закалке являются: вода, водные растворы солей и щелочей, масло, воздух, расплавленные соли. Вода является самым интенсивным охлаждением. В ней охлаждаются стали с большой  $V_{кр}$ . Большая

Укр у углеродистых сталей, поэтому их закаливают в воде, легированные стали с малой Укр охлаждают в масле.

### 3. Закаливаемость.

**Закаливаемость** - это способность стали принимать закалку, т. е. приобретать при закалке высокую твердость. Низуглеродистые стали (до 0,2 %) не обладают закаливаемостью.

### 4. Прокаливаемость.

**Прокаливаемость** - это глубина проникновения закалки. За глубину закаленной зоны принято считать расстояние от поверхности до слоя, где примерно одинаковые объемы мартенсита и троостита. Чем меньше Укр, т. е. чем устойчивее аустенит, тем лучше прокаливаемость стали. Особенно увеличивают прокаливаемость: марганец, молибден, бор. Кобальт ухудшает прокаливаемость стали.

Характеристика прокаливаемости - критический диаметр. Это максимальное сечение, прокаливающееся в данном охладителе на глубину равную радиусу сечения изделия. Изделия, имеющие размеры меньше критического диаметра прокаливаются в данном охладителе насквозь. Зная ёкр можно правильно выбрать сталь для деталей определенных размеров.

### 5. Способы закалки.

**Закалку в одном охладителе** применяют для деталей простой формы. Нагретую деталь быстро переносят в охладитель (воду, масло и т.д.). Недостатком этого метода является неравномерное охлаждение и из-за этого больше напряжения.

**Прерывистая закалка или закалка в двух средах** применяется для деталей сложной формы. Нагретую деталь вначале опускают в воду, а затем переносят в масло (закалка через воду - в масло). Используется при закалке инструментов из углеродистой стали.

**Ступенчатая закалка** состоит в том, что нагретую деталь быстро переносят в охладитель, имеющий температуру на 30-50°С выше мартенситной точки (расплав солей или металлов). Выдерживают до выравнивания температуры по всему сечению. После выдержки деталь охлаждают с небольшой скоростью. Такой способ уменьшает закалочные напряжения, применяется только для деталей  $d$  10-30 мм.

**Изотермическую закалку** применяют также для уменьшения напряжений и для получения структуры нижнего бейнита. Нагретую деталь переносят в закалочную среду с температурой 250-300° (для углеродистых сталей) и выдерживают до полного превращения аустенита.

**Закалка с самоотпуском** применяется при изготовлении ударных инструментов (зубила, керны и т.д.). Охлаждения проводят в одном охладителе и

прерывают, когда сердцевина изделия не совсем охладилась. За счет этого тепла поверхность снова нагревается и таким образом происходит отпуск.

## 6. Поверхностная закалка.

**Поверхностная закалка** - применяется для увеличения твердости поверхностных слоев изделия. Повышается сопротивление истиранию, предел выносливости и т.д. Толщина закаленного слоя зависит от глубины прогрева. Прокаливаемость здесь не имеет значения. В крупносерийном и в массовом производстве нагрев деталей при поверхностной закалке производится токами высокой частоты (1000 кГц). Поверхность детали прогревается за 3-5 сек., с помощью индуктора. После этого деталь быстро перемещается в охладитель. Этот метод применяется для углеродистых сталей и деталей простой формы.

**Пламенный нагрев** (газовой горелкой) при поверхностной закалке применяется для изделий с большой поверхностью. Глубина закаленного слоя 2-4 мм.

Мелкие детали простой формы, изготавливаемые в малых количествах перед поверхностной закалкой помещают для нагрева в расплавленный металл или соли.

## 7. Дефекты закалки.

**Коробление, закалочные трещины** возникают из-за внутренних напряжений. Эти дефекты можно предотвратить, если проводить медленное охлаждение деталей в области мартенситного превращения (ступенчатая, изотермическая).

**Неполная закалка** считается, если после закалки получается недостаточная твердость. Этот дефект образуется или при недогреве, либо при охлаждении со скоростью меньше критической. Этот дефект устраняется повторной закалкой.

**Перегрев** - закалка с завышенной температурой. В результате получается крупно-игльчатый мартенсит с повышенной хрупкостью.

**Мягкие пятна** на поверхности детали - участки с пониженной твердостью. Образуются в результате возникновения «паровой рубашки», которая препятствует охлаждению. Дефект исправляется повторной закалкой.

**Окисление и обезуглероживание** поверхности изделий, возникает в результате взаимодействия воздуха печи с металлом. Устраняется нагревом в атмосфере азота, аргона и т.д.

## 8. Отпуск.

**Отпуском** называется нагрев закаленной стали до температуры ниже  $A_c$ , выдержка и последующее охлаждение. Отпуск является окончательной операцией термообработки. Отпуск проводится только после закалки. Он изменяет структуру и свойства закаленной стали. Уменьшает внутренние напряжения. Отпуск бывает низкий, средний и высокий.

При низком отпуске закаленные детали нагревают до 150-250 С. Выдерживают и охлаждают. Получается структура кубического мартенсита. Твердость, после низкого отпуска увеличивается на 2-3 единицы, а напряжения уменьшаются. Низкий отпуск применяют для инструмента.

При среднем отпуске детали нагревают до 350-400°С. В результате получается структура троостита, которая при достаточно высокой твердости имеет хорошую упругость и вязкость. Этому отпуску подвергают пружины и рессоры.

Высокий отпуск (450-650°С) дает структуру сорбита с зернистым цементитом. Такой отпуск повышает ударную вязкость стали, поэтому проводится для деталей, испытывающих ударные нагрузки.

При нагреве в области 300°С у легированных и углеродистых сталей может появиться «отпускная хрупкость» первого рода.

Отпускная хрупкость второго рода появляется у легированных сталей при медленном охлаждении в области 450-650°С.

## 9. Обработка холодом.

Если мартенситное превращение заканчивается при температуре ниже нуля, то при комнатной температуре сталь содержит остаточный аустенит. Чтобы добиться полного превращения аустенита в мартенсит, изделие охлаждают до температуры примерно - 80°С. Обработку холодом проводят сразу после закалки для измерительного инструмента, шарикоподшипников, точных механизмов.

Охлаждающая среда - твердая углекислота с ацетоном, а потом проводят отпуск. Обработка холодом стабилизирует размеры деталей.

## 10. Высокотемпературная термомеханическая обработка.

Проводится для любых сталей. При этом сталь нагревают до аустенитного состояния. При этой температуре пластически деформируют на 20-30 %. А потом закаливают, получается мелко-игольчатый мартенсит из измельченного аустенита.

## 11. Низкотемпературная термомеханическая обработка.

Применяется только для легированных сталей. В этом случае стальные заготовки нагревают до аустенитного состояния, затем охлаждают на 20-30 С. При этой температуре пластически деформируют на 75-95 %. Получается высокая плотность металла, а после закалки - мартенситная структура с хорошими механическими свойствами.

## Вопросы для самопроверки.

1. Что представляет собой закалка?
2. Как определяется температура закалки?
3. Какие охлаждающие среды применяются при закалке?
4. Что называется закаливаемостью стали?
5. С каким содержанием углерода стали не закаливаются?
6. Дать определение прокаливаемое<sup>TM</sup>.
7. Как зависит прокаливаемость стали от критической скорости закалки?
8. Что является характеристикой прокаливаемости?
9. Перечислить способы закалки.
10. С какой целью применяется поверхностная закалка?
11. Что используется для нагрева деталей при поверхностной закалке в крупносерийном и массовом производстве?
12. Из-за чего возникает неполная закалка?
13. В каком случае возникает неполная закалка?
14. Когда образуются «мягкие пятна» на поверхности детали?
15. Что называется отпуском?
16. Какие свойства приобретает сталь после низкого, среднего и высокого отпуска?
17. В каких сталях необходима обработка холодом? Для чего она проводится?

### Тема: Химико-термическая обработка стали.

**Химико-термическая обработка стали** - это одновременный нагрев и диффузионное насыщение поверхности стальных деталей каким-либо элементом.

#### 1. Цементация.

**Цементация** - это диффузионное насыщение слоя стальных деталей углеродом. Детали приобретают высокую твердость, износостойкость. Цементация проводится при температуре 850-950°C. Через печь пропускают природный газ в течение 8-10 ч. При такой продолжительной выдержке структура стали становится крупнозернистой, поэтому после цементации проводят закалку и низкий отпуск.

#### 2. Азотирование.

**Азотирование** - это диффузионное насыщение поверхности стальных деталей азотом. Детали приобретают высокую твердость, износостойкость, стойкость к коррозии и усталости. Азотирование проводится в печах при температуре 480-620°C в атмосфере аммиака. Время выдержки до 90 ч. Азотированию подвергают, стали, содержащие хром, молибден, алюминий. В этом случае в поверхностном слое образуются нитриды этих металлов, имеющие высокую

твердость. Температура азотирования низкая, поэтому после азотирования не требуется термообработка.

### 3. Нитроцементация.

**Нитроцементация** - это одновременное диффузионное насыщение поверхности стальных деталей азотом и углеродом. Детали приобретают твердость, износостойкость, стойкость к коррозии и усталости. Температура 820-850 С, время выдержки 6-8 ч. Через печь пропускают смесь природного газа и аммиака. Нитроцементация в настоящее время на машиностроительных заводах заменяет цементацию и азотирование, т. к. у нее преимущества:

- 1) Более низкая температура по сравнению с цементацией.
- 2) Меньшая длительность процесса по сравнению с азотированием.
- 3) Лучшие свойства деталей.

После нитроцементации необходима термообработка.

### 4. Борирование.

**Борирование** - это процесс диффузионного насыщения поверхности стальных деталей бором. Детали приобретают очень высокую твердость поверхности, сопротивление абразивному износу, высокую коррозионную стойкость, теплостойкость. Борирование проводится в газовой среде, состоящей из  $B_2H_6 + H_2$ . Температура около 900°С. Недостатком борированного слоя является высокая хрупкость поверхностного слоя.

### 5. Алитирование.

**Алитирование** - это диффузионное насыщение поверхности стальных деталей алюминием. При этом повышается коррозионная стойкость, жаростойкость. Алитирование может проводиться в жидкой и твердой среде. В первом случае детали помещают в стальной ящик, пересыпают смесью порошков алюминия, глинозема и хлористого алюминия. При нагреве до 950-1050 С образуется хлорид алюминия. Он разлагается, и алюминий диффундирует в сталь. Процесс длится 3-12 ч. Алитированный слой 0,3-0,5 мм.

При жидкостном алитировании стальные детали помещают в ванну с расплавленным алюминием. Чтобы поверхность стальных деталей не разъедалась, в ванны предварительно загружают 6-8 % стальной стружки. Температура 750-800 С. Время выдержки 45-90 мин. Толщина получаемого слоя 0,2-0,35 мм.

### 6. Хромирование.

**Хромирование** - это диффузионное насыщение поверхности стальных деталей хромом. Поверхность приобретает твердость, износостойкость, жаростойкость, коррозионную стойкость. Хромирование может проводиться в твер-

дой, жидкой и газовой средах. Жидкостное хромирование проводят в ваннах, заполненных солями хлористого бария и хлорида хрома. Температура 950-1100 С. Время выдержки 5-20 ч. Толщина хромированного слоя 0,1-0,3 мм.

## 7. Силицирование.

**Силицирование** - это диффузионное насыщение поверхности стальных деталей кремнием. Детали приобретают высокую коррозионную стойкость к азотной, серной, соляной кислоте, жаростойкость. Обычно Силицирование проводится в газовой среде при разложении паров хлорида кремния. Температура 950-1050 С. Время выдержки 2-5 ч. Толщина получаемого слоя 0,6-1,4 мм.

### Вопросы для самопроверки.

1. Что называется цементацией? Какие свойства получаются у деталей?
2. Что собой представляет азотирование? Как оно влияет на свойства деталей?
3. Какая химико-термическая обработка называется нитроцементацией?
4. Дать определение борирования, алитирования, хромирования, силицирования.

## Раздел II

### Материалы, применяемые в машиностроении

### и приборостроении.

#### Тема: Конструкционные материалы.

#### 1. Основные требования к конструкционным материалам.

Конструкторы при выборе материала для деталей учитывают 4 критерия:

1. Жесткость.
2. Прочность.
3. Надежность.
4. Долговечность.

**Жесткость конструкции** - это местная или общая устойчивость, которая определяется конструктивной формой, схемой нагрузки и свойствами материала.

**Прочность конструкции** - это свойство зависит от пластичности, вязкости, хрупкости материала. Прочность может изменяться в очень широких пределах.

**Надежность** - это способность конструкции кратковременно работать при перегрузках.

**Долговечность** - зависит от условий работы конструкции.

Основными конструкционными материалами в машиностроении являются сталь и чугун, они используются в различных отраслях народного хозяйства.

## 2. Методы повышения конструкционной прочности.

Высокая прочность и долговечность конструкций в условиях эксплуатации достигается технологическими, металлургическими и конструкторскими методами.

Металлургический метод повышения конструкционной прочности заключается в рациональном легировании. В этом случае при плавке в сталь и сплавы вводятся несколько элементов, которые повышают механические свойства металла: повышается вязкость, измельчается зерно металла. Удаление вредных примесей тоже увеличивает прочность.

К технологическим методам повышения конструкционной прочности относятся пластическая деформация, термическая и химико-термическая обработка. Наиболее эффективно зерно металла измельчается при высокотемпературной термомеханической обработке. Поверхностная закалка, азотирование, цементация, обдувка дробью - эти операции повышают поверхностную прочность и износостойкость деталей.

При конструировании деталей избегают глубоких канавок, галтелей малого радиуса и каких либо конструктивных надразов.

### Вопросы для самопроверки.

1. Перечислить основные критерии конструкционной прочности.
2. Дайте определения 4-х критериев конструкционной прочности.
3. Какими методами достигается конструкционная прочность?
4. В чем заключается сущность этих методов?

### Тема: Стали. Углеродистые стали.

#### 1. Общие сведения.

**Сталью** называется железоуглеродистый сплав, в котором содержание углерода не более 1,3 %. Углерод оказывает большое влияние на свойства стали. С повышением содержания углерода в стали, увеличивается прочность и твердость. Прочность повышается до 1% углерода, т. к. при большем содержании углерода сталь становится хрупкой. По содержанию углерода стали, подразделяются на низкоуглеродные до 0,25 % углерода, среднеуглеродистые (0,25 % - 0,6 %С) и высокоуглеродистые (0,6 -1,3 % С).

По степени раскисления углеродистые стали бывают кипящие, полуспокойные и спокойные (кп, пс, сп).

В углеродистые стали входят различные примеси: кремний и марганец, вредные примеси: фосфор, сера.

Кремний в кп сталях 0,005 %, в сп - до 0,4 %. В таком количестве заметного влияния не оказывает на сталь.

Марганца в кп до 0,3 %, в сп иногда до 1,3 %. Марганец нейтрализует вредное действие серы.

Сера придает стали красноломкость, т. е сталь теряет прочность при нагреве выше 950 С. Поэтому содержание серы не более 0,04 %.

Фосфор сообщает стали хладноломкость, т.е хрупкость при низких температурах. Его содержание примерно такое же как и серы.

Кислород улучшает пластичность, но ухудшает другие свойства.

Азот до 0,01 % влияет как фосфор.

Водород ведет к образованию микротрещин.

Углеродистые стали по качеству бывают: обыкновенного качества, качественные и высококачественные. Качество сталей зависит от содержания вредных примесей - серы и фосфора.

По применению они делятся на: конструкционные и инструментальные.

## 2. Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества.

Эти стали выпускаются трех групп:

А - с гарантией механических свойств. СтОКп; Ст2пс;...; Стбпс. С увеличением номера стали повышается твердость. Номер это условное число.

Б - гарантируется химический состав. БСтОкп;...; БСтбпс.

В - гарантируются механические свойства и химический состав. В СтОкп; ВСт4пс;...; ВСтбпс. Сталь группы А применяется для изготовления ответственных конструкций и деталей. Стали группы Б можно сваривать. Сталь группы В применяется для ответственных деталей, которые изготавливают различными методами. К этим сталям можно применять термообработку. Во всех группах СтО некондиционная. Во всех группах СтЗ имеет одинаковые механические свойства.

## 3. Углеродистые конструкционные стали качественные.

В них проверяются и гарантируются механические свойства и химический состав. Они предназначены для изготовления ответственных деталей и конструкций, которые изготавливают горячими и холодными методами. В них содержится меньше вредных примесей.

Маркировка: сталь 05;08;10;15;20;...;85. Число показывает содержание углерода в сотых долях процента (05-0,05 %С), 45Г-0,45 %С и повышенное содержание марганца. 55Л-0,55 %С, литейная сталь. 05 кп, 08кп, Юкп, Юкп - применяются для обработки давлением в холодном состоянии.

## Вопросы для самопроверки.

1. Дать определение стали.
2. Как влияет содержание углерода на свойства стали?
3. Как подразделяются стали по содержанию углерода?
4. Какие примеси входят в состав стали и какое влияние они оказывают на свойства сталей?
5. Указать классификацию сталей по качеству и по применению.
6. Как маркируются углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества?
7. Как маркируются углеродистые конструкционные стали качественные?

### Тема: Легированные стали. 1. Общие сведения о легированных сталях.

**Легированной сталью** называется такая сталь, в которую при выплавке добавляются элементы, улучшающие свойства стали.

**Легирующим элементом** называется такой элемент, который добавляется в сталь для улучшения ее свойств.

По степени легированности, легированные стали бывают низко - (до 2,5 %), средне - (2,5-10 %) и высоколегированные (свыше 10 %).

По качеству легированные стали бывают: высококачественные и особо-высококачественные.

По применению: конструкционные, инструментальные, стали и сплавы с особыми свойствами.

По структуре легированные стали бывают: перлитного класса, перлитно-мартенситного класса, мартенситного, мартенситно-аустенитного и аустенитного.

### 2. Маркировка легированных сталей.

**Маркировка легированных сталей** - буквенно-цифровая. Легирующие элементы обозначаются русскими буквами.

Г - марганец	Т - титан
С - кремний	М - молибден
Х - хром	К - кобальт
Н - никель	Ю - алюминий
В - вольфрам	Д - медь
Ф - ванадий	Р - бор
Ц - цирконий	Б - ниобий
А - азот (в середине марки)	П - фосфор

Цифры в начале марки стали показывают содержание углерода в сотых долях процента (если две цифры), в десятых долях процента (если одна цифра). Если цифры в начале марки нет, то углерода приблизительно равно 1%. Цифры,

стоящие после букв, показывают содержание данного элемента в процентах. Если цифра после буквы не стоит, значит данного элемента содержится до 1,5%. Буква А в конце марки указывает на высокое качество стали, т.е. меньшее содержание вредных примесей.

### Вопросы для самопроверки.

1. Дать определение легированной стали.
2. Как элемент называется легирующим?
3. Классификация легированных сталей по качеству, по применению.
4. Как обозначаются легирующие элементы?

### Тема: Материалы с особыми технологическими свойствами.

#### 1. Материалы с улучшенной обрабатываемостью резанием.

##### а) характеристики обрабатываемости резанием.

Большое число деталей в механизмах и машинах изготавливают обработкой резанием. Сталь является основным конструкционным материалом для изготовления деталей. Улучшение обрабатываемости стали имеет большое практическое значение. Обрабатываемость может оцениваться по допускаемой скорости, по усилию резания, по чистоте обработанной поверхности. Обрабатываемость одного и того же сплава может быть различной при разных операциях - точении, фрезерования, сверления, шлифования; при грубой отделочной обработке.

Повышение твердости или прочности стали снижает скорость обрабатываемости, но при одинаковой твердости различия в структуре и составе стали дают различную обрабатываемость.

Большое значение имеют теплопроводность. Если материал имеет низкую теплопроводность, то выделяющееся при обработке тепло разогревает режущую кромку, а это снижает его стойкость инструмента.

Крупнозернистая сталь, обладая пониженной вязкостью, обрабатывается резанием лучше, чем мелкозернистая. Получается «сыпучая» стружка, которая легко отделяется.

Доэвтектоидные стали лучше обрабатываются при структуре феррит+ пластинчатый перлит. Эвтектоидные и заэвтектоидные стали - при структуре зернистого перлита.

##### б) Классификация стали по обрабатываемости резанием.

Высокоуглеродистые стали имеют плохую обрабатываемость из-за большой твердости и прочности. Низкоуглеродистые стали и техническое железо обрабатываются плохо из-за большой вязкости и пластичности: образуется длинная трудноудаляемая стружка. Фосфор и сера-вредные примеси для стали. Но они способствуют получению обрабатываемой поверхности лучшего качества. Поэтому для изготовления малоответственных деталей применяют автоматные

стали - низкоуглеродистые, с повышенным содержанием фосфора и серы. Эти стали имеют пониженную пластичность и вязкость, они не стойки к коррозии. Эти недостатки учитывают при изготовлении деталей из автоматных сталей.

Автоматные стали: А12; А20; А30; А40, содержат до 0,3% серы, до 0,15% фосфора. Для улучшения обрабатываемости некоторых высоколегированных нержавеющей сталей вводят селен (Е) и теллур. Обрабатываемость также улучшается добавкой небольшого количества свинца С (0,1-0,2%), кальция Ц до 0,05%, но стали с содержанием свинца редки, т.к. их сложно выплавлять. А40ГЕ, АС30 (с добавкой свинца), АЦ 40ХН (с кальцием).

## 2. Понятие о технологической пластичности.

**Технологическая пластичность или ковкость** - это способность металла деформироваться при наименьшем сопротивлении и принимать нужную форму под действием нагрузки без разрушения.

Различные металлы и сплавы имеют разную пластичность. Значит, по-разному обрабатываются давлением. Пластичность металлов и сплавов зависит от химического состава, структуры, температуры нагрева и т.д. Чистые металлы имеют большую пластичность, чем их сплавы. Пластичность металлов с мелкозернистой структурой выше, чем с крупным зерном. Пластичность сталей в большой степени зависит от содержания углерода. Высокой технологической пластичностью обладают стали с содержанием углерода до 0,1%: 05кп; 08кп; 10кп. Из этих сталей можно изготавливать изделия глубокой вытяжкой. Стали с содержанием углерода 0,1-0,2% допускают гибку и лишь незначительную вытяжку. Если содержание углерода 0,2-0,35%, то возможна лишь гибка большого радиуса. С повышением температуры пластичность обычно увеличивается (но синеломкость у стали при 100°- 300°С и у цинка).

## 3. Понятие о свариваемости.

**Свариваемость** - это способность металлов и сплавов образовывать неразъемные соединения с требуемыми свойствами. Для получения сварных соединений, равноценных при работе основному металлу, надо, по возможности, выбирать хорошо свариваемые материалы. Это низкоуглеродистые стали (спокойные), многие низколегированные стали, некоторые сплавы цветных металлов.

Углерод оказывает неблагоприятное влияние на свариваемость. Он способствует образованию холодных трещин. Так хорошая свариваемость будет в углеродистых сталях при содержании углерода до 0,25%; удовлетворительная 0,25-0,4%; ограниченная 0,4-0,6%. Плохая - при более высоком содержании углерода. Литая структура сварного шва всегда менее прочная, чем основной металл. Применяя различные обмазки электродов, различную по химическому составу электродную проволоку, можно улучшить свойства сварного шва. Свойства сварного шва улучшаются термической обработкой. Свариваемость улучшают марганец, кремний и другие легирующие элементы входящие в состав стали.

## Вопросы для самопроверки.

1. По каким параметрам оценивается обрабатываемость резанием?
2. Как влияет размер зерна на обрабатываемость стали?
3. Маркировка автоматных сталей.
4. От каких факторов зависит пластичность стали?
5. Как влияет углерод на свариваемость стали?
6. Какие элементы улучшают свариваемость стали?

### Тема: Железоуглеродистые сплавы с высокими литейными свойствами.

#### 1. Характеристика литейных свойств.

К литейным свойствам относятся: жидкотекучесть, малая усадка, способность к ликвации.

**Жидкотекучесть** характеризует способность металла заполнять форму.

**Усадка** - это уменьшение размеров отливки при затвердевании.

**Ликвация** - это разделение сплава на составляющие компоненты.

Основная масса фасонных отливок изготавливается из чугуна. Он дешевый, имеет хорошие литейные свойства, достаточно высокую прочность. Механические свойства чугуна в отливках зависят от скорости охлаждения их, от толщины стенок отливки и т.д.

#### 2. Классификация чугунов.

**Чугуны** - это железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода более 2,14%. Чугуны, применяемые в машиностроении, содержат углерода 2,2-4%). А также кремний (0,5-4,5%), марганец (0,4-1,3%), серу (0,08-0,12%) и фосфор (0,3-0,8%).

Кроме содержания примесей, большое влияние на свойства чугуна оказывает режим охлаждения отливок.

Белые чугуны получают при быстром охлаждении. В этом случае большая часть углерода образует цементит. Излом белый с металлическим блеском.

**Серым** - называется такой чугун, в котором весь углерод, или большая его часть образуется в виде графита, при медленном охлаждении.

В половинчатых чугунах часть углерода находится в виде графита и около 2% - в виде цементита.

#### 3. Серые чугуны.

Содержат углерода до 3,8%, Перед разливкой чугуна в форму, чтобы графитные включения приобрели закругленную форму, в чугуны добавляют модифика-

торы. В качестве модификаторов используют: алюминий, ферросилиций, силико-кальций.

Серые чугуны дешевые, хорошо обрабатываются резанием. Из них изготавливают неотчетственные отливки.

Маркировка: СЧ12-28, СЧ32-52, СЧ18-32.

Первое число - предел прочности при растяжении, второе число-предел прочности при изгибе.

#### **4. Высокопрочные чугуны.**

Содержат углерода 3-3,6%. Если в чугун перед разливкой добавить 0,5% магния от массы металла, то выделяющийся графит приобретает шаровидную форму. Механические свойства чугуна в результате этого улучшаются. Повышается пластичность, увеличивается прочность. Благодаря этим свойствам отливки из высокопрочного чугуна применяются для ответственных деталей. Из него изготавливают коленчатые валы, зубчатые колеса, корпуса автодвигателей и т.д.

Маркировка: ВЧ38-17; ВЧ60-2; ВЧ120-4. Первое число-предел прочности при растяжении; второе число - относительное удлинение.

#### **5. Ковкие чугуны.**

«Ковкий» - название условное. Они содержат углерода 2,2-3%). Отливки быстро охлаждают в формах, получается белый чугун. Затем отливки нагревают до 950 и выдерживают до распада цементита. При медленном охлаждении графит выделяется в виде хлопьев. По своим свойствам КЧ близок к отливкам из высокоуглеродистой стали. Маркировка: КЧЗО-6; КЧ63-2. Первое число - предел прочности при растяжении; второе число - относительное удлинение.

#### **Вопросы для самопроверки.**

1. Какие основные характеристики определяют литейные свойства сплавов?
2. Дать определение чугунов.
3. Как маркируются серые чугуны?
4. Маркировка высокопрочных чугунов.
5. Маркировка новых чугунов.

#### Тема: Медные сплавы.

##### 1. Медь и ее свойства.

Медь относится к тяжелым цветным металлам, ее плотность 8,93г/см<sup>3</sup>; температура плавления 1083 С. Наиболее важным свойством меди является высокая тепло- и электропроводность. Медь имеет высокую пластичность, медь образует

технологичные сплавы. Медь используется в электротехнике в чистом виде, для изготовления обмоток трансформаторов, электромашин, электроизмерительных приборов, телефонных кабелей и т.д.

По ГОСТу товарная чистая медь выпускается 11 марок: МОО; МООб; МОб; ...;М1; ...;М3.

## 2. Латуни.

**Латуни** - сплавы меди с цинком, где цинка содержится до 40%. Латунь получила широкое применение в технике, т.к. она дешевле меди, хорошо обрабатывается давлением, коррозионностойка. У латуни хорошие литейные свойства (резанием обрабатывается плохо из-за большой вязкости).

Л96-96% меди; Л93; Л-90 - томпаки

Л89;Л80 - полутомпаки.

**Л60 - самая дешевая латунь**

Для улучшения обрабатываемости, коррозионной стойкости в латуни добавляют различные металлы.

ЛС 59-1; ЛАЖМц 56-2-4-3; А - алюминий, Ж - железо, Мц - марганец / \  
медь свинец

## 3. Бронзы.

**Бронзы** - сплавы меди с различными металлами, где цинк не является главным компонентом.

Бронзы более прочные и коррозионностойкие, чем медь. Они имеют отличные литейные свойства, хорошо обрабатываются резанием, имеют высокую износостойкость. Наряду с применением бронз для памятников, они используются при изготовлении газо- и водопроводной арматуры. В машиностроении, из них изготавливают вкладыш подшипников, шестерни и различные детали точных и ответственных приборов.

Маркировка: БрОЦ4-3, БрОФ65-0,15.

Олово металл дорогой и дефицитный, поэтому большое применение находят безоловянистые бронзы. БрА5; БрАЖМц 3-2-15; БрБ2.

Медь образует различные сплавы с никелем - мельхиор, нейзильбер, применяются для изготовления хирургического инструмента, деталей, приборов и в часовой промышленности.

## Вопросы для самопроверки.

1. Основные параметры и свойства меди.
2. Дать определение латуни.
3. Маркировка латуни.
4. Какие сплавы называются бронзами?
5. Как сплавы маркируются бронзами?
6. Назовите сплавы меди.

## Тема: Материалы с высокой износостойкостью

### 1. Виды изнашивания.

Работоспособность материалов в условиях трения зависит от следующих факторов:

- 1) от свойств материала;
- 2) от вида трения, от характера приложения, нагрузки, от температуры;
- 3) от рабочей среды и смазочного материала.

Совокупность всех этих факторов определяет изнашивание деталей различных видов изнашивания, в зависимости от этого бывают:

1. Под действием трения (подшипники, зубчатые передачи);
2. Изнашивание деталей из-за действия рабочей среды (от действия жидкостей, газов, почвы и т.д.) Под действием силы трения, от действия рабочей силы происходит деформирование участков поверхности, их разупрочнение, изменение структуры, развитие процессов усталости, окисление и т.д.

### 2. Материалы устойчивые к абразивному износу.

Основным условием обеспечения износостойкости деталей, при большинстве видов изнашивания является высокая твердость поверхности, т.е. долговечными в условиях абразивного износа являются твердые металлы и сплавы. При абразивном изнашивании мелкие частицы с острыми гранями и ребрами скользят по поверхности деталей, производят микрорезание. При наиболее тяжелых условиях работы, применяют карбидные сплавы.

- 1) ВК6; ВК10; 2) ТК15; ТК24; 3) ТТ6К8; ТТ10К12.

Пластины из твердых сплавов наплавляют на токарные резцы, сверла, фрезы, либо электродугой, либо газовой сваркой. Кроме карбидных сплавов применяются также при работе деталей без ударных нагрузок такие стали У25Х38; У30Х23 Г2С2Т.

Для инструмента, работающего при средних условиях изнашивания, используются быстрорежущие стали: Р18; Р6М5. Если условия изнашивания легкие, то применяют низко- и среднеуглеродистые стали, упрочняемые цементацией, азотированием или ТВЧ.

### 3. Материалы устойчивые к усталости.

Эти материалы предназначены для таких деталей массового производства, как подшипники. У них должна быть высокая контактная выносливость. Все подшипниковые стали содержат углерода около 1%. ШХ4; ШХ15; ШХ15ГС; ШХ25ГС.

Для высокоскоростных подшипников применяют стали с большим содержанием хрома. Эти стали в изделиях подвергают закалке с 820-850° в масле, отпуск

при 150-170 . Прецизионные подшипники для стабилизации размеров обрабатывают холодом до - 80 С. Структура мартенсита с мелкими включениями карбидов имеет высокую твердость.

Детали крупногабаритных подшипников  $\phi$  0,5-2 м, изготавливают из сталей 12ХНЗА; 12Х2Н4А. Их подвергают цементации на большую глубину 3-6 мм.

#### 4. Стали для зубчатых колес.

Кроме высокой контактной выносливости от зубчатых колес требуется сопротивление усталости при изгибе, износостойкость торцов и профилей зубьев, устойчивость к схватыванию. Наиболее полно всем этим требованиям отвечают стали имеющие твердую поверхность и вязкую сердцевину. Такое сочетание свойств достигается химико-термической обработкой или поверхностной закалкой.

Сильно нагруженные зубчатые колеса  $\phi$  500-600мм изготавливаются из сталей 12ХНЗА; 12Х2Н4А; 12Х2Н4МА. Их используют в редукторах самолетов, вертолетов, судов. Для мелких и средних колес приборов применяют стали 15Х; 15ХФ; 20ХР. В авто- и тракторостроении применяют экономно-легируемые стали: 15ХГТ; 30ХГТ; 25ХГМ; 20ХНМ; 20ХНР. А последнее время для изготовления зубчатых колес автомобилей, станков применяют сталь пониженной прокаливаемости. Эти стали содержат минимальное количество вредных примесей, 0,15% хрома, 0,2% марганца, 0,3% кремния, которые увеличивают прокаливаемость. Зубчатые колеса, работающие при небольших нагрузках изготавливают из сталей 40; 50; 40Х; 40ХН.

Для волновых передач и небольших зубчатых колес, работающих при малых нагрузках и скоростях, используют неметаллические материалы: слоистые пластики, пластмассы. Их используют для перевода спидометров, киноаппаратов, текстильных и пищевых машин. Достоинство таких колес - снижение шума, вибраций, высокая химическая стойкость.

#### 5. Материалы, устойчивые к изнашиванию при больших и давлениях и ударных нагрузках.

Трение с высокими давлениями и ударными нагрузками наблюдается при работе траков гусеничных машин, ж/д рельсов, ковшей экскаваторов и др. Их изготавливают из высокомарганцовистых сталей типа: 110Г13Л (1,1 %С; 13% марганца). Высокая износостойкость этой стали обусловлена способностью аустенита к наклепу. Сталь плохо обрабатывается резанием, поэтому детали получают литьем или ковкой. Детали закалывают в воде от 1100°. Аустенитная структура обеспечивает низкую твердость и высокую вязкость. Если сталь во время работы испытывает удары, то в поверхностном слое образуется большое количество различных дефектов и дислокаций, в результате твердость поверхности сильно возрастает и сталь становится износостойкой (гребные винты, лопасти турбин и т.д.).

## Вопросы для самопроверки.

1. Какие бывают виды изнашивания?
2. Какие сплавы имеют высокую твердость поверхности?
3. Как маркируются подшипниковые стали?
4. Какие основные требования предъявляются к сталям для зубчатых колес?
5. Какие материалы используются для зубчатых колес, работающих при малых нагрузках и небольших скоростях?
6. Как достигается высокая износостойкость стали Гадфильда?

Тема: Материалы с высокими упругими свойствами.

### 1. Общие сведения.

Стали и сплавы с высокой упругостью нашли широкое применение в машино- и приборостроении. В машиностроении из них изготавливают рессоры, амортизаторы, силовые пружины различного назначения. В приборостроении - мембраны, пружины, пластины реле, растяжки, подвески и т.д. Все эти упругие детали имеют разную форму, размеры и работают в различных условиях. Особенностью их работы является то, что после нагрузки в них не допускаются остаточные деформации. Для достижения высокого предела упругости в сплаве необходимо создать стабильную дислокационную структуру из множества дислокаций. Такая структура формируется за счет легирования и термической обработки.

### 2. Рессорно-пружинные стали.

Имеют высокую упругость, они недорогие. Применяются в авто-, тракторостроении, в железнодорожном транспорте. К таким сталям относятся стали с содержанием углерода 0,5 - 0,7%; 55С2; 70С3А; 60СГА; 50ХФА эти стали подвергают закалке и отпуску при 420 -520° С. Их применяют для изготовления мелких и средних пружин после термической обработки. Крупные пружины сначала навивают, а затем проводят термообработку. Для улучшения усталостных сопротивлений в 1,2-2 раза, пружины и рессоры подвергают поверхностному наклепу обдувкой дробью.

### 3. Пружинные материалы приборостроения.

Упругие элементы приборов, кроме высоких пределов упругости и выносливости должны иметь высокую коррозионную стойкость, быть немагнитными и хорошо проводить электрический ток. Эти элементы должны обладать стабильными свойствами. Характеристики упругих элементов зависят от их конструкции (витков пружины, от диаметра проволоки) и от упругих свойств сплава.

Бериллиевые бронзы БрБ2 применяются в ответственных приборах. Они способны упрочняться термической обработкой, но из-за высокой стоимости бериллия, часто заменяются сплавом БрБНТ1,9. По упругим свойствам эта бронза мало уступает бериллиевой. Хорошая упругость получается при микролегировании бериллиевых бронз бором или магнием.

Железоникелевые сплавы дешевые, малодифицитные, из них наиболее применимы 36ХНТЮ и 36ХНТЮМ8. Они хорошо обрабатываются давлением, свариваются.

### Вопросы для самопроверки.

1. В чем заключается особенность работы упругих элементов машино- и приборостроения?
2. Какие стали используются для изготовления пружин в машиностроении?
3. Из каких материалов изготавливаются упругие элементы приборостроения?

### Тема: Материалы с малой плотностью. 1. Общая характеристика материалов с малой плотностью.

Материалы с малой плотностью находят применение в машиностроении, в авиации, в ракетной и космической технике, в судостроении, в строительстве и других отраслях промышленности. Применение материалов с малой плотностью позволяет снизить массу, увеличить грузоподъемность летательных аппаратов без снижения скорости и дальности полета; позволяет повысить скорость автомобилей, судов, железнодорожного транспорта. К легким материалам относятся: пластмассы, магний, бериллий, алюминий, титан и сплавы на их основе. Особенно перспективны те материалы, которые имеют высокую прочность и жесткость при малой плотности. Сплавы алюминия и магния, в основном, не обладают особой прочностью и жесткостью, они предназначены для изготовления мало- и средненагруженных деталей. Сплавы титана и бериллия служат для изготовления высоконагруженных деталей.

### 2. Алюминий и его свойства.

**Алюминий** - это металл серебристо-белого цвета, его плотность  $2,7\text{г/см}^3$ , температура плавления  $660^\circ\text{C}$ . Алюминий обладает хорошей теплопроводностью, высокой пластичностью, электропроводностью и коррозионной стойкостью. Примеси ухудшают все эти свойства (железо, кремний, медь, цинк, титан). В зависимости от содержания примесей алюминий выпускается трех классов:

- 1) Особой чистоты А999 (99,999%).
- 2) Высокой чистоты А995; А97; А95.

### 3) Технической чистоты А87; А8.

Технический алюминий, выпускаемый в полуфабрикатах (листы, профили, прутки), маркируют: АД0;АД1. Увеличение количества примесей и пластическая деформация повышают прочность, твердость алюминия. Чистый алюминий имеет низкую прочность, его применяют для легких, ненагруженных конструкций, с хорошей свариваемостью (рамы, двери, трубопроводы, фольга, посуда). Благодаря высокой теплопроводности алюминий используют в промышленных и бытовых холодильниках. Алюминий особой чистоты применяется для изготовления: конденсаторов, проводов, кабелей, шин. Благодаря высоким отражательным свойствам, его используют в прожекторах, рефлекторах, экранах телевизоров. Алюминий плохо обрабатывается резанием, хорошо обрабатывается давлением, сваривается газовой и контактной сваркой. При литье алюминий дает усадку до 6%.

## 3. Характеристика и классификация алюминиевых сплавов.

Алюминиевые сплавы имеют высокую удельную прочность, хорошую технологичность. По удельной прочности некоторые алюминиевые сплавы приближаются к высокопрочным сталям. Большинство сплавов (кроме с медью) имеют хорошую коррозионную стойкость, высокие тепло- и электропроводность, неплохо обрабатывается резанием. Основными легирующими элементами являются: медь, магний, кремний, марганец, цинк, реже литий, никель, титан. Многие сплавы упрочняются термообработкой, закалкой и естественным старением. Прочность сплавов зависит от примесей железа и никеля. Сплавы с кремнием имеют повышенную прочность, сопротивляются развитию трещин.

## 4. Деформируемые алюминиевые сплавы.

### а) Сплавы неупрочняемые термообработкой.

Здесь относятся сплавы АМц, АМг, Они имеют высокую пластичность, хорошую свариваемость, высокую коррозионную стойкость. Пластическая деформация упрочняет сплавы почти в 2 раза. Поэтому их используют в нагартованном АМгН состоянии и полунагартованном АМгП состоянии.

АМц и АМг применяются для изделий, получаемых глубокой вытяжкой, сваркой (сварные баки, трубопроводы для бензины и масла), заклепки, переборки судов, мачты, лифты, узлы подъемных кранов, рамы вагонов, кузова автомобилей.

### б) Сплавы, упрочняемые термообработкой - дюралюмины Д; Д16;Д18.

При закалке их нагревают до 500°. Охлаждают в воде при 40°. Естественное старение 5-7 суток. Искусственному старению 10 ч., при 190°, подвергают детали, работающие при высоких температурах до 200°. Большое практическое значение имеет начальный период старения 20-60 мин. В это время сплав сохраняет высокую пластичность. Можно проводить правку, клепку. Дюралюмины широко применяют в авиации, их используют для строительных конструкций, кузовов грузовых автомобилей.

Сплавы с повышенным содержанием меди (АК8) хуже обрабатываются давлением, но более прочные. Применяются для высоконагруженных деталей. Высокопрочные алюминиевые сплавы имеют повышенное содержание цинка, магния и меди, их маркируют В.

### 5. Литейные алюминиевые сплавы.

Маркируются АЛ. Лучшими литейными сплавами является алюминий и кремний (силумины). Они имеют малую усадку, хорошую жидкотекучесть, не образуют горячих трещин. Механические свойства литейных алюминиевых сплавов зависят от химического состава, модифицирования, способа литья и термообработки. В силумины обычно добавляется натрия 2-3% от массы сплава. Высокопрочный сплав АЛ32 предназначен для изготовления нагруженных деталей, блоков цилиндров, деталей автомобильных двигателей.

### 6. Гранулированные сплавы.

Их получают из частиц (гранул), отлитых со сверхвысокой скоростью кристаллизации. Гранулы получают в условиях охлаждения со скоростью 10<sup>4</sup> - 10<sup>5</sup> град/с. Такую скорость охлаждения можно получить при распылении жидкого металла струей чистого инертного газа. Диаметр гранул несколько микрон - несколько миллиметров, зависит от давления газа. Готовые изделия имеют мелкозернистую структуру. Алюминиевые гранулы перемешивают с частицами железа, никеля, кобальта. Эти интерметаллидные соединения имеют высокую прочность. Гранулированные сплавы алюминия с легкоплавкими металлами имеют хорошие антифрикционные свойства.

### Вопросы для самопроверки.

1. Какое преимущество дает применение легких материалов в транспортном машиностроении?
2. Перечислите основные свойства алюминия.
3. Назовите области применения алюминия.
4. Какие деформируемые сплавы алюминия не упрочняются термообработкой? Почему?
5. Какие деформируемые сплавы алюминия упрочняются термообработкой?
6. Сплав алюминия с каким элементом имеет лучшие литейные свойства?
7. Что собой представляют гранулированные сплавы алюминия?

## Тема: Сплавы на основе магния.

### 8. Свойства магния.

**Магний** - металл серебристо-белого цвета, его плотность  $1,7 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $650 \text{ С}$ . Магний и его сплавы хорошо обрабатываются резанием, стойки к ударным нагрузкам и вибрации. Теплопроводность магния в 1,5 раза, а электропроводность в 2 раза ниже, чем у алюминия. В зависимости от примесей установлены такие марки магния - Мг96 (99,96%); Мг95; Мг90. Примеси железа, кремния, никеля, меди, снижают пластичность и коррозионную стойкость. При нагреве магний окисляется и при температуре выше  $625^\circ\text{С}$  на воздухе воспламеняется. Это затрудняет плавку и разливку магния и его сплавов. Порошок, тонкая лента, стружка магния представляют большую опасность, т.к. самовозгораются на воздухе при обычных температурах. Горит магний ослепительно ярким пламенем. Литой магний имеет крупную кристаллическую структуру, низкие механические свойства. При модифицировании зерно измельчается, свойства улучшаются. Чистый магний применяется очень ограниченно, из-за низких механических свойств. Он используется в пиротехнике, металлургии, как легирующий элемент.

### 9. Магниевого сплавы

Достоинством их является высокая удельная прочность. Основные легирующие элементы: алюминий, цинк, марганец, цирконий, кадмий, церий, неодим. Магниевого сплавы упрочняют закалкой (можно на воздухе) и искусственным старением (до  $200^\circ$ , 16-24ч). С помощью термомеханической обработки у закаленных сплавов перед старением повышается сопротивление и предел текучести. Магниевого сплавы подвергают гомогенизации, рекристаллизационному отжигу и отжигу для снятия остаточных напряжений. Магниевого сплавы хорошо обрабатываются резанием (лучше, чем сталь), легко шлифуются, полируются, удовлетворительно свариваются контактной сваркой и дуговой. Дугую проводят в среде инертных газов. Недостатки: низкая коррозионная стойкость, малая упругость, плохие литейные свойства (окисляются, воспламеняются). Плавку и разлику ведут под специальными флюсами.

По технологии изготовления магниевого сплавы делятся на литейные (МЛ) и деформируемые (МД); по механическим свойствам на: невысокой, средней прочности, высокопрочные, жаропрочные. Магниевого сплавы могут упрочняться и не упрочняться термической обработкой. Для повышения пластичности сплавы производят с пониженным содержанием вредных примесей: железа, никеля, меди. В этом случае сплавы маркируются пч.

### Вопросы для самопроверки.

1. Какие у магния основные свойства?.
2. В чем опасность применения магния?

### 3. Перечислите основные свойства и области применения магниевых сплавов.

Тема: Материалы с высокой удельной прочностью.

#### 1. Титан и его свойства.

**Титан** - металл серебристого цвета с голубоватым отливом, его плотность 4,505 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 1665°C. Титан имеет две аллотропические модификации Тiα (Г 12) до 882°C, Тiβ (К8) выше 882°C. У титана высокая прочность, коррозионная стойкость, хорошая пластичность. Механические свойства титана зависят от наличия примесей. Вредными примесями для титана являются водород, кислород, азот, углерод. Небольшое количество азота, кислорода и углерода повышает твердость, снижает пластичность, коррозионную стойкость. Аналогичное влияние оказывают на титан железо и кремний. Очень вредная примесь в титане водород. Он охрупчивает титан. Это особенно опасно в сварных конструкциях. При температуре выше 250°, прочность титана снижается почти в 2 раза. Титан склонен к ползучести уже при 20-25°C. Примеси кислорода и азота, пластическая деформация снижает склонность к ползучести. Титан сохраняет прочность и в условиях глубокого охлаждения (-269°C), при этом сохраняется и высокая пластичность. При повышении температуры титан активно поглощает газы: с 50-70°C водород, с 400-500°C кислород, с 600-700°C азот, оксиды углерода. Благодаря этому свойству титан применяется как геттерный материал (газопоглотитель) в радиотехнике для повышения вакуума электронных ламп и как раскислитель в металлургии стали. Титан плохо обрабатывается резанием, налипает на инструмент и у него низкие антифрикционные свойства (большой коэффициент трения). Из титана изготавливают листы, трубы, проволоку, поковки. Титан хорошо сваривается аргонодуговой и точечной сваркой. Прочность сварного шва составляет 90% от прочности металла.

#### 2. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства титановых сплавов.

Легирующие элементы по характеру влияния на полиморфные превращения титана делятся на 3 группы: α-стабилизаторы, β-стабилизаторы, нейтральные элементы, α-стабилизаторы (алюминий, кислород, азот) повышают температуру полиморфного превращения. Практическое значение для легирования титана имеет только алюминий. Он уменьшает плотность титановых сплавов, повышает упругость и прочность. Добавка к сплавам титана с алюминием молибдена, ниобия, марганца, повышает пластичность сплавов. Большинство легирующих элементов являются β-стабилизаторами, они повышают прочность, жаропрочность, несколько уменьшают пластичность. Наиболее благоприятное влияние оказывает ванадий, хром, марганец, молибден. Из нейтральных элементов наи-

большее практическое значение имеют олово и цирконий. Олово повышает прочность титановых сплавов, цирконий увеличивает предел ползучести.

### 3. Особенности термической обработки титановых сплавов.

Титановые сплавы, в основном, подвергается отжигу, закалке и старению, а также химико-термической обработке. Отжиг проводят после холодной деформации для снятия наклепа. Температура отжига зависит от чистоты сплава и степени предшествующей деформации. Обычно при температуре 670 - 800° в течении 15 мин-3ч. Тонко-листовой прокат отжигают в вакууме, иначе он охрупчивается.

Лучшие свойства титановые сплавы приобретают после изотермического отжига. Он состоит в нагреве выше температуры рекристаллизации (это для снятия наклепа), последующее охлаждение ведется до более низкой температуры и выдержка для стабилизации  $\beta$  фазы, а затем охлаждение на воздухе.

Для измельчения зерна, для титановых сплавов проводят комбинированный или двойной отжиг.

1) Нагрев до 950-1000°. последующее быстрое охлаждение, чтобы получить внутрифазный наклеп в результате мартенситного превращения. ( $\beta$  фазы.

2) Нагрев до 800 , чтобы снять этот наклеп. Двойной отжиг способствует уменьшению ползучести.

Упрочняющая термообработка (закалка и старение) применима только к сплавам имеющим (a+P) структуру. Закалка состоит в нагреве до  $\beta$  состояния и охлаждении в воде. Старение ведется при температуре 480 - 550°С, в результате повышается прочность и твердость.

Для повышения износостойкости титановые сплавы азотируют в сухом азоте, при температуре 850°-950° (10-50ч.), затем проводят вакуумный отжиг при 800-900 С. Для повышения жаростойкости титановые сплавы подвергают силицированию, хромированию, алитированию.

### 4. Области применения титановых сплавов.

Титановые сплавы получили широкое применение в авиации, ракетной технике, судостроении, химической и других отраслях промышленности. Их применяют для обшивки сверхзвуковых самолетов, изготавливают детали реактивных двигателей, корпуса реактивных двигателей, баллоны для сжатых и сжиженных газов, обшивки морских судов, гребные винты, обшивки подводных лодок и торпед. В химическом машиностроении - теплообменники, работающие в азотной кислоте и другие детали, т.е. титановые сплавы используют там, где главную роль играют высокая удельная прочность и коррозионная стойкость.

По технологии изготовления титановые сплавы подразделяют на деформируемые и литейные. Деформируемые титановые сплавы ВТ5; ВТ5-1; ОТ4-1; ВТ20; ВТ6. В нагретом состоянии они куются, прокаливаются, штампуются. Их поставляют в виде прутков, сортового проката, листов, труб.

Литейные титановые сплавы маркируются ВТ5Л. Они применяются для фасонного литья. Обладают хорошими литейными свойствами: жидкотекучестью, малой усадкой (менее 3%).

### Вопросы для самопроверки.

1. Перечислите основные свойства титана.
2. Какая примесь опасна в сварных конструкциях?
3. Как ведет себя титан в условиях глубокого охлаждения?
4. Какие элементы благоприятно влияют на свойства титана и его сплавов?
5. Какие виды термообработки применяются к титановым сплавам?
6. Основные области применения титановых сплавов.

### Тема: Бериллиевые сплавы.

#### 1. Свойства бериллия.

**Бериллий** - металл сероватого цвета, температура плавления 1294 С, плотность 1,845г/см<sup>3</sup>.

Бериллий имеет две аллотропические модификации. В  $\alpha$  (Г 12) до 1250 С, В $\epsilon$ (3 (К8) выше 1250 С. Заготовки из бериллия получают металллокерамическим способом, с последующей пластической деформацией. Порошки крупностью до 70 мкм прессуют в вакууме или выдавливают мундштучным методом в горячем состоянии. У бериллия очень высокая упругость, это обеспечивает большую жесткость конструкций. Чем мельче зерно бериллия в исходном порошке, тем выше его прочность. Чем меньше примесей содержит бериллий, тем выше его пластичность. Даже металл с содержанием 99,99%) В $\epsilon$  обладает хрупкостью. При деформации в бериллиевых полуфабрикатах развивается волокнистая структура, которая дает резкую анизотропию свойств. Для снятия наклепа проводят рекристаллизационный отжиг при 650-750°С. После отжига снижается прочность, повышается пластичность. Анизотропия свойств сохраняется и после отжига. Зерна после отжига часто имеют разные размеры.

Крупнейшим недостатком бериллия является его токсичность (тяжелые легочные заболевания, язвы на коже при попадании бериллиевой пыли).

#### 2. Бериллиевые сплавы, их применение.

Большинство элементов очень ограниченно растворяются в бериллии в твердом состоянии. Поэтому получение сплавов на его основе затруднено. Размеры атома бериллия очень малы, поэтому атомы примесей сильно искажают кристаллическую решетку бериллия и охрупчивают его. Известен сплав бериллия с медью (4-5%) и сплавы с 20-30%) алюминия, имеющие хорошие механические и технологические свойства.

Благодаря высокой проникаемости рентгеновских лучей из бериллия изготавливают окна рентгеновских трубок. Бериллий применяется в малых атомных реакторах морских судов, самолетов, ракет, как замедлитель нейтронов. Высокий модуль упругости позволяет использовать бериллий и его сплавы в авиации, ракетной технике, для сверхзвуковых самолетов и управляемых снарядов.

### Вопросы для самопроверки.

1. Назовите основные свойства бериллия?
2. Какие сплавы бериллия применяются в технике и где?

### Тема: Материалы, устойчивые к воздействию температуры и окружающей среды.

#### 1. Жаростойкие стали.

Жаростойкие или окалиностойкие стали и сплавы обладают стойкостью против химического разрушения поверхности, при температуре больше 550 С. Жаростойкие стали обычно работают в малонагруженном состоянии. При работе в зоне высоких температур на поверхности металла появляется сначала тонкая оксидная пленка, а потом толстый слой окалины. Способность стали сопротивляться окислению при высоких температурах называется жаростойкостью. Для получения плотной, оксидной пленки, сталь легируют: хромом, никелем, алюминием, кремнием; 15Х5 до 700°С; 12Х17 до 900°С; 15Х28 до 1100°С; ХН70Ю до 1250°С.

#### 2. Жаропрочные сплавы.

**Жаропрочность** - это способность сталей и сплавов работать при высоких температурах в нагруженном состоянии (при температуре больше 400 С сталь «ползет»). Для легирования жаропрочных сталей применяют элементы с высокой температурой плавления 15ХМ; 12Х1 МФ до 550°С; 15Х11Ф; 40Х9С2; 20Х12ВНМФ до 600°С; 09Х14Н65; 45Х4Н14В2М; 40Х15Н7Г7Ф2МС до 750°С; ХН77ТЮР; ХН55ВМТФКЮ до 1100°С.

#### 3. Нержавеющие стали.

##### а) коррозия и борьба с ней.

Нержавеющие стали стойки к коррозии. Коррозией называется процесс поверхностного разрушения металла под действием окружающей среды. Коррозия ведет к большим потерям металла и приносит огромные убытки. Коррозия бывает равномерная, местная, межкристаллитная. Она начинается с поверхности и распространяется в глубину металла. Наиболее распространена электрохимиче-

екая коррозия. Она возникает под действием на металл электролитов. Многие металлические конструкции покрываются влагой, насыщенной солями, щелочами и кислотами, т.е. тонким слоем электролита. В этом случае и возникает электрохимическая коррозия.

От коррозии металл защищают:

1. легированием (коррозионностойкие, нержавеющие стали);
2. лакокрасочными покрытиями (лаки, эмали, краски);
3. неметаллическими пленками (оксидирование, фосфатирование, азотирование);
4. металлическими покрытиями (цинкованием, хромированием, лужением и т.д.);
5. плакирование (прокатка заготовки с наложенными на нее листами коррозионностойкого материала);
6. ингибиторы - вещества замедляющие процесс коррозии, их добавляют в охлаждающие жидкости, в травильные кислоты, в защитную смазку, в упаковочную бумагу,  $K_2Cr_2O_7$  - хромпик.

#### **б) хромистые и хромоникелевые стали.**

Углеродистые и низколегированные стали не устойчивые против коррозии. Антикоррозионными свойствами сталь обладает тогда, когда она содержит много хрома или никеля. Содержание должно быть больше 12%.

Для предметов домашнего обихода применяют нержавейку 12х13. Для хирургических инструментов применяют 40Х13, для пищевой промышленности, для кислотных сред применяют, стали 12Х17; 08Х17Т.

Хромоникелевые стали, содержат много хрома и никеля, мало углерода и относятся к аустенитным сталям: 12Х18Н9; 12Х18Н9Т; 04Х18Н10. Хромоникелевые стали, имеют большую коррозионную стойкость.

## 4. Хладостойкие материалы.

Это такие материалы, которые сохраняют достаточную вязкость, при температуре до - 269 С. Воздействию низких температур подвергаются ж/д рельсы, трубы газо- и нефтепроводов, автомобили, вагоны, в северных районах страны до - 60°С.

Обшивка самолетов, детали ракет и космических аппаратов охлаждаются до - 183 С. При низких температурах работают детали и узлы криогенной техники - до - 269°С.

При низких температурах снижается пластичность и вязкость, повышается хрупкость материалов. Хладноломкость обычно проявляется у металлов, которые имеют кристаллические решетки К8, Г12. У них температурный порог хладноломкости - 50 С. Основными хладостойкими материалами являются низкоуглеродистые стали, алюминий и его сплавы, титан и его сплавы и некоторые пластмассы (фторопласт 4, полиамиды, полиуретан, пористый полистирол). Стали 09Г2С, 14Г2АФ, 45, 40Х, 65Г - работают до -50°С.

12ХН3А, 18Х2Н4МА до - 196°С. Алюминий и его сплавы, титан и его сплавы до - 269 С. Эти сплавы применяются в космической технике. У латуни и

бронз вязкость при охлаждении повышается, их применяют до 269°C. Но из-за высокой стоимости медные сплавы часто заменяют алюминиевыми. Для неметаллической изоляции используют пенистый полистирол, полиуретан. Для подвижных уплотнений применяют фторопласт 4, резины имеют хладостойкость до -50°C.

## 5. Радиационностойкие материалы.

Под действием облучения особенно нейтронного, материалы испытывает структурные превращения. В них происходят изменения свойств, размеров. В связи с этим материалы, применяемые в условиях облучения, должны быть радиационностойкими. Наибольшее влияние облучение оказывает на механические свойства (они снижаются) и коррозионную стойкость. Под действием радиации может происходить разбухание металлов на 3-5 %. Могут образовываться новые молекулы с новыми свойствами.

Стойкими к облучению являются: высоколегированные стали и сплавы, на основе циркония, бериллия, алюминия, магния.

### Вопросы для самопроверки.

1. Что называется жаростойкостью стали?
2. Дать определение жаропрочности стали?
3. Какие методы борьбы с коррозией применяются на современном этапе?
4. Какие элементы обеспечивают коррозионную стойкость стали?
5. В каком случае материалы можно назвать хладостойкими?
6. Перечислите радиационностойкие материалы.

## Тема: Неметаллические материалы. 1. Общая

### характеристика неметаллических материалов.

К неметаллическим материалам относятся: пластмасса, резина, стекла, древесина. Все неметаллические материалы нашли широкое применение в различных отраслях промышленности и в машиностроении. Их достоинством является, то что они имеют малую плотность, упругость. Из них можно изготавливать изделия различной формы. Общий недостаток неметаллических материалов невысокая прочность по сравнению с металлами.

## 2. Пластмассы.

**Пластмассы** - это упруго-твердые материалы, получаемые из полимерных соединений. По составу пластмассы бывают простые и сложные. В состав простых пластмасс входят только полимеры, к простым пластмассам относятся:

полиэтилен, полистирол, полихлорвинил, фторопласты. В состав сложных пластмасс, кроме полимера входят: наполнители, пластификаторы, противостарители, красители.

По отношению к нагреву пластмассы делятся на термопластичные и термореактивные. Термопластичные пластмассы под действием температуры размягчаются, становятся вязкотекучими (полиэтилен, полистирол и т.д.). Термореактивные пластмассы в результате химических реакций при высокой температуре отвердевают и сохраняют твердость до температуры разложения (гетинакс, текстолит, стеклотекстолит).

Полиэтилен и полистирол, полихлорвинил размягчаются при температуре 60-80 С, стойкие ко многим кислотам и щелочам до 60°С, обладают высокими электроизоляционными свойствами. Применяются в качестве напыления на стальной прокат для защиты от коррозии. В электро- и радиотехнике как конструкционный, диэлектрический материал. Широкое применение эти пластмассы находят в быту, пищевой промышленности и т.д., изготавливают химическую посуду.

Фторопласты теплостойки до 250°С. Химическая стойкость фторопластов превышает стойкость всех известных материалов. Применяются в химической промышленности; для изготовления трущихся деталей; для изоляции в высокочастотной технике.

Гетинакс, текстолит, стеклотекстолит относятся к слоистым пластикам. Наполнителями в них являются: кабельная бумага, х/б ткань, стеклянная ткань. Они пропитываются смолами и прессуются. Гетинакс применяется для изготовления: плат, панелей, каркасов катушек в электро- и радиотехнике. Текстолит и стеклотекстолит имеют высокую механическую прочность. Они применяются как конструкционный материал для зубчатых колес, корпусов, кузовов спортивных машин и лодок.

### 3. Резина.

Исходным материалом для приготовления резиновой смеси является: натуральный и синтетический каучук, регенерат (старая резина), наполнители (земля, глина, мел), мягчители, противостарители, красители. Из резиновой смеси различными методами изготавливают изделия. При вулканизации в резиновые изделия добавляют 2-3 % серы. Если серы добавить до 35 %, то получается эбонит.

Резина в машиностроении используется для изготовления уплотнительных прокладок, ковриков, шлангов, шин и т.д. В электротехнике - для изоляции и для защитных средств.

### 4. Стекла.

Стекла представляют собой изделия из стекловидной массы. В настоящее время в состав стекол входит большая часть таблицы Менделеева. Наибольшее применение находят оксидные стекла, силикатные, алюмосиликатные. Исходные компоненты» варятся» в стекловаренных печах, получается однородная стекломасса. Она идет на выработку стеклянных изделий, которые быстро охлаждаются.

Готовые изделия подвергаются отжигу для снятия механических напряжений. В электротехнике и радиотехнике применяются кварцевые стекла, которые обладают лучшими диэлектрическими, оптическими и механическими свойствами. Стекла находят применение в строительстве, в быту. В электротехнике из них изготавливают высоковольтные изоляторы, лампы, приборы, аппараты.

Пеностекло получают при смешивании стекольного порошка с мелом, углем, известняком. Пеностекло имеет хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства. Применяется в строительстве.

## 5. Ситаллы.

Ситаллы представляют собой стеклокристаллические материалы. Они имеют высокую стойкость к нагреву, хорошие диэлектрические, антифрикционные свойства, химически стойки. Получают ситаллы из твердого стекла двойной термообработкой: нагревают до 500-700°C для образования зародышей-кристаллов; затем нагревают до 900-1100°C - для дальнейшей кристаллизации стекла. Твердость ситаллов значительно выше, чем у обычных стекол.

Из ситаллов изготавливают высококачественные электроизоляторы, трубы теплообменников, подшипники, работающие без смазки до 500 С, поршни, цилиндры двигателей внутреннего сгорания, химическую аппаратуру.

Ситаллы применяют для прочного соединения различных стекол, стекла с керамикой, металлов с металлами.

## 6. Древесина.

Древесина применяется в натуральном виде для отделки помещений, для изготовления мебели. В качестве сырья древесину используют для выработки бумаги, картона, спирта, канифоли, скипидара и т.д. В машиностроении древесина используется для изготовления моделей для литья. Для изготовления моделей используется: сосна, пихта, береза, ольха, липа. Древесина обладает гигроскопичностью, т.е. впитывает влагу из окружающего воздуха и разбухает. При высыхании в древесине наблюдается усушка - уменьшение размеров вдоль и поперек волокон. Из-за этого древесина трескается. Древесина в настоящее время сушится в камерных сушилах. Здесь можно создавать определенную температуру и режим сушки.

### Вопросы для самопроверки.

1. Какие пластмассы называются термопластичными, терморезистивными?
2. Назовите термопласты и реактопласты.
3. Какие компоненты входят в состав резины?
4. Какие стекла находят более широкое применение?
5. Как получают ситаллы?
6. Какие свойства у ситаллов?
7. Для каких целей используется древесина в машиностроении?

## Раздел III Материалы с особыми физическими свойствами.

### Тема: Материалы с особыми магнитными свойствами.

#### 1. Общие сведения о ферромагнетиках.

Все материалы, помещенные во внешнее магнитное поле намагничиваются по-разному. Характеристикой намагничивания материалов служит магнитный момент намагниченности  $M$ .  $M=K \cdot H$ ,  $K$  - безразмерный коэффициент пропорциональности называемый **магнитной восприимчивостью материала**.

В зависимости от знака и величины  $k$  все материалы делятся на диа-, пара- и ферромагнетики. Диамагнетики, помещенные во внешнее магнитное поле намагничиваются противоположно ему  $k < 0$ , к ним относятся инертные газы; бериллий, цинк, свинец, медь, серебро, германий, кремний, полимеры, стекла, сверхпроводники.

Парамагнетики ( $k > 0$ ) слабо намагничиваются во внешнем магнитном поле (калий, натрий, алюминий, молибден, титан, вольфрам и др.).

Ферромагнетики намагничиваются во внешнем магнитном поле очень сильно  $k=10$  (железо, кобальт, никель). Их свойства сильно намагничиваться, широко используются в технике.

#### 2. Намагничивание ферромагнетиков.

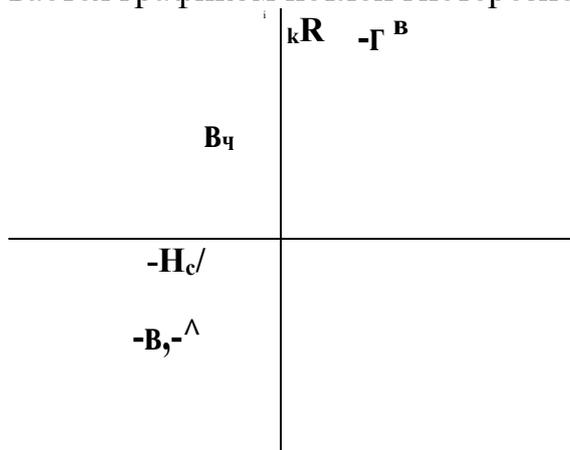
**Магнитная индукция** - это плотность магнитного тока. Она равна сумме внешнего и внутреннего магнитных полей.  $B = \mu_0 (H + M)$ .

Интенсивность роста магнитной индукции при увеличении внешнего магнитного поля зависит от магнитной проницаемости вещества.  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

Относительная магнитная проницаемость вещества:

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

Если ферромагнит помещается во внешнее магнитное поле, то он намагничивается по начальной кривой намагничивания (1). Потом намагничивание описывается графиком петель гистерезиса.



$B_t$  - максимальная магнитная индукция.

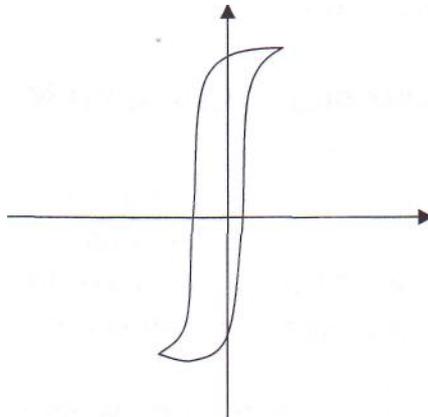
$B_c$  - остаточная магнитная индукция.

$H_c$  - коэрцитивная сила, это та напряженность внешнего магнитного поля, которую надо приложить, чтобы размагнитить ферромагнетик.

Форма петли гистерезиса зависит от магнитных свойств сплава. Площадь петли гистерезиса пропорциональна потерям на перемагничивание.

### 3. Магнитомягкие материалы.

Имеют узкую петлю гистерезиса. Они легко перемагничиваются в знакопеременных магнитных полях с малыми потерями. Сюда относятся: железо, легированные и нелегированные электротехнические стали. Железо обладает после очистки от углерода и примесей очень высокой магнитной проницаемостью. Наиболее чистое карбонильное железо получают при разложении в вакууме карбонила железа  $Fe(CO)_5$ . Порошок железа затем спекают, карбонильное и электролитическое железо применяют для изготовления изделий небольших размеров из-за высокой стоимости.



Электротехнические стали легируют кремнием: 2011 (<0,4% кремния), 2211 (0,8-1,8 % кремния) используются для сердечников трансформаторов до 100 Гц.

2311; 2411; 1311; 1411 (1,8-2,85 кремния) используются при частотах до 400 Гц.

### 4. Материалы с высокой магнитной проницаемостью.

Эти сплавы имеют большую магнитную проницаемость, к ним относятся Fe+Ni - пермаллой, Al+Si+Fe - альсиферы.

Пермаллой содержат 45-83 % никеля. Применяются в радиотехнике, телефонной технике до 25 Гц. Намагничиваются даже в очень слабых магнитных полях. Из-за высокой пластичности они раскатываются в тонкие листы, ленты, проволоку. Их маркируют 50НХС; 65НП; 79НП; П - прямоугольная петля гистерезиса.

## 5. Высокочастотные магнитомягкие материалы.

При высоких частотах магнитные материалы нагреваются. Это ведет к ухудшению свойств ферромагнетика. Для снижения нагрева применяют материалы с большим удельным сопротивлением. К таким материалам относятся ферриты. Их изготавливают спеканием оксидных соединений. Ферриты имеют удельное сопротивление такое же, как у диэлектриков. После спекания они имеют высокую твердость, хрупкость. Их обрабатывают алмазным инструментом (марганец-цинк, никель-цинк). Для устройств, применяемых на очень высоких частотах ферриты изготавливают из 4 и более оксидов металлов.

## 6. Сплавы с большим коэффициентом магнитострикции.

Применяются для сердечников преобразователей магнитных колебаний в ультразвуковые. Такие преобразователи используют в установках для обработки твердых материалов (керамики, стекла, фарфора и т.д.); в звукозаписывающих головках. Сюда относятся: никель, он применяется в виде тонких листов (0,1мм), Fe+13%Al, Fe+50% кобальта, Fe+платина, но этот сплав дорогой.

## 7. Магнитотвердые материалы.

Применяются для изготовления постоянных магнитов. Имеют широкую петлю гистерезиса, намагничиваются в сильных магнитных полях, сохраняют свои свойства при длительной эксплуатации, при колебаниях температуры. При ударах, вибрациях магнитные свойства теряются, но восстанавливаются при повторном намагничивании.

Магнитотвердые материалы по способу изготовления бывают: литые, порошковые, деформируемые.

Литые (железо, никель, алюминий), легируются кобальтом, медью, титаном, имеют высокую твердость, обрабатываются только шлифованием, хрупки.

Порошковые материалы по магнитным свойствам хуже литых, используются для мелких и точных по размеру магнитов.

Деформируемые изготавливаются в виде тонких листов, лент, проволоки хромко (45% Fe, 30% хрома, остальное кобальт), викаллой (52% Co; 35% Fe, остальное кобальт), кунифе (60% Si, 20% Ni, остальное железо). Сюда же относятся высокоуглеродистые стали (больше 1% углерода) Eх9Н15М; ЕХЗ; ЕХ5К5.

Е указывает, что электротехническая магнитотвердая сталь. Эти стали хорошо обрабатываются резанием, давлением при нагреве. Из них изготавливают магниты больших размеров.

## Вопросы для самопроверки.

1. В зависимости от какой характеристики материалы делятся на диа-, пара-и ферромагнетики?
2. Как ведут себя ферромагнетики во внешнем магнитном поле?
3. Что характеризует форма и площадь петли гистерезиса?
4. Какие материалы относятся к магнитномягким?
5. Какие материалы имеют высокую магнитную проницаемость?
6. Охарактеризовать высокочастотные магнитномягкие материалы.
7. Какой состав у сплавов с большим коэффициентом магнитострикции?
8. Какие материалы относятся к магнитотвердым?

Тема: Материалы с особыми тепловыми свойствами.

### 1. Сплавы с заданным температурным коэффициентом линейного расширения.

В некоторых высокоточных приборах необходимо, чтобы размеры деталей не менялись с изменением температуры, т.е. имели минимальный коэффициент линейного расширения. К таким сплавам относятся сплавы железа с никелем. Основным представителем этих сплавов является инвар (инвар-неизменный) 36% никеля, остальное железо. Он может считаться не расширяющимся в интервале температур - 80-(+100°C). При более высоких и низких температурах его коэффициент линейного расширения резко возрастает.

Сплав 42Н имеет постоянный коэффициент линейного расширения в интервале температур +20-220°C.

Коэффициент линейного расширения этих сплавов сильно зависит от примесей, входящих в состав сплавов, а также от термической обработки. Инвар закаливают с 830 °C, отпуск 315°C в течении 1 часа, а затем проводят старение в течении 48 часов. Такая термообработка стабилизирует еще более низкий температурный коэффициент линейного расширения. Называется **суперинвар**.

Для герметичных соединений, для пайки и сварки со стеклом применяют такие сплавы, у которых коэффициент линейного расширения одинаковые со стеклом при любых температурах. Такой сплав называется **ковар 29НК**. Он применяется в паре с термостойким стеклом до 420°C. Сплав 47НД называется **платинит**, т.к. он имеет такой же коэффициент линейного расширения, как у платины. Он применяется для пайки со стеклом и керамикой.

В приборостроении (реле) часто для изготовления биметаллических пластин применяются металлы с различным коэффициентом линейного расширения. При нагреве пластинка биметалла сильно изгибается и замыкает (либо размыкает) электрическую цепь.

## 2. Сплавы с заданным коэффициентом модуля упругости.

Сплавы железа с никелем обладают еще одним замечательным свойством: они имеют малый температурный коэффициент модуля упругости.

Во всех твердых деталях, в том числе и в металлах, модуль упругости при нагреве уменьшается, т.е. уменьшается энергия межатомных связей. В некоторых же сплавах железа с никелем наблюдается рост модуля упругости при нагреве, либо очень незначительное изменение. Такие сплавы называются **элинварные**. Элинварные сплавы применяются для изготовления упругих элементов и пружин точных приборов и механизмов. Постоянство модуля упругости обеспечивает малую температурную погрешность прибора в условиях эксплуатации. К этим сплавам относятся сплавы 42НХТЮ; 44НХТЮ.

После термической обработки коэффициент модуля упругости в интервале температур 20 -100 остается постоянным.

### Вопросы для самопроверки.

1. Какие сплавы имеют минимальный коэффициент линейного расширения?
2. Где применяются сплавы с заданным температурным коэффициентом линейного расширения?
3. Какие сплавы имеют малый температурный коэффициент модуля упругости?
4. Назовите области применения сплавов с малым температурным коэффициентом модуля упругости?

Тема: Материалы с особыми электрическими свойствами. 1.

### Материалы высокой электрической проводимости.

В зависимости от удельного сопротивления и применения, проводниковые материалы делятся на 5 групп:

- 1) Материалы и сплавы высокой проводимости.
- 2) Припои.
- 3) Сверхпроводники.
- 4) Контактные материалы.
- 5) Сплавы с повышенным удельным сопротивлением.

Проводниковые материалы кроме высокой электропроводимости должны иметь достаточную прочность, пластичность, коррозионную стойкость в атмосферных условиях, в некоторых случаях высокую износостойкость. Кроме этого металл должен хорошо свариваться и паяться. Паянные и сваренные соединения должны быть высокой надежности и электропроводности.

Практическое применение имеют химически чистые металлы: медь, алюминий, железо. Они обладают высокой электропроводностью при минимальном содержании примесей. Эти металлы используются часто в отожженном состоя-

нии. Медь применяют для коллекторных пластин и контактных проводов, алюминий используют в электротехнике марок АД 000; АД00; АД0. Он имеет соответственно 0,2; 0,3; 0,5% примесей. Из алюминия АД000 изготавливают конденсаторную фольгу толщиной 6-7Мкм, провода ЛЭП, монтажные провода, кабели. Для упрочнения алюминий легируют магнием и кремнием. Железо - низкоуглеродистые качественные стали с содержанием 0,1-0,25% углерода. Они идут на изготовление трамвайных рельс, рельсов метро и железных дорог с электрической тягой.

Биметаллические провода - это стальные провода, покрытые медью. Их применяют при передаче токов повышенной частоты.

## 2. Припой.

Применяются для неразъемного соединения металлов и сплавов при пайке. Припой должны обеспечивать высокую прочность, герметичность паяного соединения.

По температуре плавления и по прочности пайки припой делятся на мягкие (низкотемпературные до 450°С) и твердые (высокотемпературные, с температурой плавления больше 450°С). К мягким припоям относятся оловянно-свинцовые, оловянно-цинковые (ПОС, ПОЦ). В некоторых случаях пайка ведется при особо низких температурах. В этом случае применяют припой на основе висмута, кадмия. Прочность пайки мягкими припоями низкая.

Высокотемпературные припой обеспечивают более прочное соединение. К ним относятся медно-цинковые (ПМЦ), медно-фосфористые (ПМФ - хрупкий), серебряные (ПСр). Для пайки стали, применяют электролитическую медь.

При пайке применяют флюсы, для удаления оксидных соединений, для лучшего растекания припоя. Флюсы бывают некоррозионные (канифоль, вазелин), слабокоррозионные (животные жиры), коррозионные (хлориды металлов, бура). После пайки с коррозионными и слабокоррозионными флюсами место пайки промывают и нейтрализуют.

## 3. Сверхпроводники.

С понижением температуры проводимость всех металлов начинает увеличиваться. Но есть такие металлы и сплавы, у которых электропроводимость при определенной температуре (точка Кюри) возрастает скачком, то есть сопротивление резко падает до нуля, наступает сверхпроводимость. Сверхпроводимость обнаружена у тридцати металлов и почти у тысячи сплавов. Из всех элементов самую высокую температуру сверхпроводимости имеют сплавы ниобия с титаном, цирконием. Они нашли практическое применение. Из них изготавливают обмотки мощных генераторов, магнитов большой мощности, туннельные диоды для ЭВМ.

## 4. Контактные материалы.

Контакты в зависимости от условий работы бывают разрывные, скользящие и неподвижные.

Разрывные контакты работают в наиболее тяжелых условиях. При разъединении электрических цепей под нагрузкой возникает электрическая дуга или искра. Это вызывает эрозию и изнашивание контактов.

В зависимости от мощности электрической цепи различают слаботоковые и высоконагруженные контакты.

Слаботоковые контакты изготавливают из меди, золота, серебра, платины и их сплавов.

Высоконагруженные контакты изготавливают из вольфрама, молибдена, их сплавов и порошковых композиций.

Скользящие контакты должны обладать малым переходным сопротивлением и стойкостью к истиранию. Их изготавливают из порошков меди и серебра с добавкой графита: МГЗ, МГ5 - меднографитовые; СГЗ, СГ4 - серебрянографитовые.

Неподвижные контакты должны иметь малое переходное сопротивление, высокую коррозионную стойкость. Алюминиевые контакты паяют или специальными припоями или ультразвуковой пайкой, применяют холодную сварку. При контакте алюминиевого провода с медным необходимо использовать лаковое покрытие для защиты от атмосферной коррозии.

## 5. Сплавы с повышенным электрическим сопротивлением.

Эти сплавы применяются для изготовления резисторов, реостатов, шунтов, обмоток потенциометров, термопар. Из этих сплавов изготавливают нагревательные элементы приборов и печей. Сплавы, рабочая температура которых до 200 С, содержат медь, марганец, олово. Сплавы с рабочей температурой до 500 С содержат никель, марганец, медь. К таким сплавам относятся константан. Сплав с рабочей температурой до 1200°С: хромали, фехрали, нихромы. При нагреве выше 1200 С используются сплавы на основе вольфрама, молибдена, тантала. Из них изготавливают нагревательные элементы электропечей. С этой целью используют также силитовые стержни из дисилицида молибдена.

### Вопросы для самопроверки.

1. Назовите материалы высокой проводимости и области их применения.
2. Назначение припоев и их классификация.
3. В каком случае у некоторых металлов и сплавов проявляется сверхпроводимость?
4. Какие сверхпроводящие сплавы нашли практическое применение?
5. Как классифицируются контакты в зависимости от условий работы?

6. Какие материалы применяются для изготовления: а) слабо- и сильнонагруженных разрывных контактов; б) скользящих контактов; в) неподвижных контактов?
7. В каких устройствах применяются высокоомные сплавы?
8. Какие сплавы имеют высокие удельное сопротивление?

### Тема: Полупроводниковые материалы. 1.

#### Строение и свойства полупроводников.

К полупроводникам относятся материалы, имеющие удельное сопротивление  $10:10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . К ним относятся 12 элементов таблицы Менделеева, а также многие химические соединения. Наиболее широко применяются германий и кремний. Кремний и германий имеют ковалентный тип атомной связи - валентные электроны, общие для двух атомов. Проводимость наблюдается в том случае, когда электроны покидают связь и становятся свободными. Это происходит при повышении температуры, при освещении, при достаточно большом напряжении. Концентрация электронов равна концентрации дырок, если в полупроводник не внесена примесь. Собственная проводимость полупроводника мала, поэтому чтобы использовать полупроводники в приборах, в них добавляют примеси. Для создания избыточного количества электронов и  $n$ -типа проводимости, в германий в качестве примеси добавляют мышьяк и сурьму, а в кремний - мышьяк и фосфор. Основными носителями зарядов в полупроводнике  $n$ -типа являются электроны, а неосновными - дырки.

Примеси элементов третьей группы создают в полупроводнике  $p$ -тип проводимости. Для германия - это галлий и индий, для кремния - бор и алюминий. Основными носителями зарядов в полупроводнике  $p$ -типа являются дырки, а неосновными - электроны.

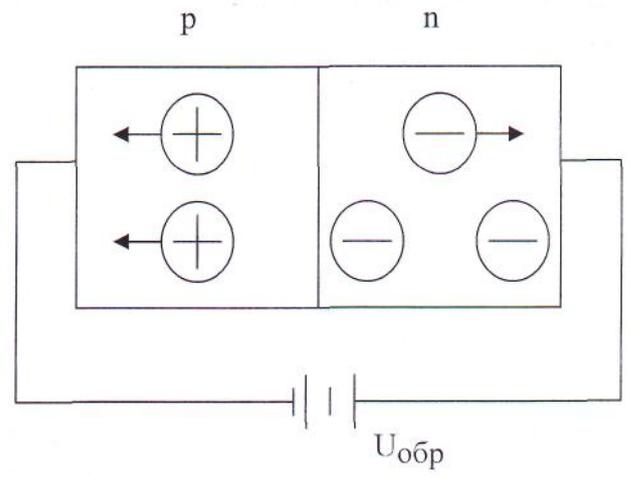
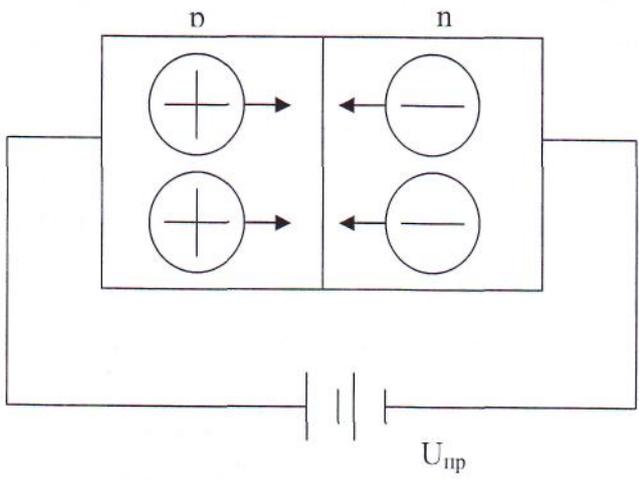
#### 2. Методы получения полупроводников. Методы легирования.

Для создания полупроводниковых приборов и интегральных схем используются полупроводниковые материалы высокой степени чистоты. Для очистки полупроводника от примеси используются различные методы.

При методе направленной кристаллизации полупроводник расплавляется. Его помещают в лодочку и ставят в печь с пониженной температурой. При кристаллизации начинает расти очищенный монокристалл полупроводника. Жидкая фаза содержит примеси, ее удаляют.

При методе зонной очистки с помощью ТВЧ прутки германия, помещенный в вакууме расплавляют. В расплавленной зоне содержатся примеси, ее удаляют. Постепенно все примеси перемещаются на один конец прутка, который отрезают.

При вытягивании монокристалла из расплава германий помещают в вакуум, расплавляют, затем вырезают затравку, опускают в расплав и начинают медленно поднимать. За поднимающейся затравкой поднимаются затвердевшие кристаллы



## Тема: Диэлектрики, лаки, эмали, компаунды.

### 1. Диэлектрики.

**Диэлектриками** называются вещества, которые имеют удельное электрическое сопротивление  $10^9 - 10^{10}$  Ом  $\times$  м. К ним относятся: полимеры, керамика, стекла и т.д. Характерной особенностью диэлектриков является их способность поляризоваться во внешнем электрическом поле. Сущность поляризации состоит в том, что связанные электрические заряды смещаются под действием поля. Мерой поляризации является диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon$ ).

При нагреве диэлектрическая проницаемость меняется. Электрическая проводимость твердых диэлектриков обусловлена появлением в них свободных электронов. Основное значение имеет ионная проводимость, которая обусловлена примесями. Эл. проводимость диэлектрика подразделяется на объемную и поверхностную. При нагреве объемная проводимость возрастает с увеличением подвижности электрических зарядов. Поверхностная проводимость диэлектрика зависит от загрязнений, влаги, шероховатости поверхности. Для повышения поверхностного сопротивления поверхности изделий покрывают лаками, эмалями. Если диэлектрик находится в переменном эл. поле, то часть энергии превращается в диэлектрике в теплоту и нагревает его. При частотах больше 20 кГц диэлектрические потери должны учитываться.

При достаточно большом напряжении может произойти **электрической пробой** диэлектрика. Электрическая прочность диэлектрика:

$$E_{пр} = \frac{U_{пр}}{h}, \quad U_{пр} - \text{пробивное напряжение, } h - \text{толщина слоя диэлектрика.}$$

**Тепловой пробой** наблюдается в диэлектриках под воздействием эл. поля и нагрева диэлектрика,  $E_{пр}$  при этом снижается.

**Электрохимический пробой** наступает при длительном воздействии эл. поля и окружающей среды. При этом в структуре диэлектрика наступают необратимые изменения. По химическому составу диэлектрики делятся на органические и неорганические. К органическим относятся: полимеры, резина, шелк. К неорганическим: смола, керамика, стекло.

Диэлектрики также делятся на низкочастотные (электрические) и высокочастотные (радиотехнические). Большое значение для всех диэлектриков имеет нагревостойкость, т. е. способность диэлектриков выдерживать нагрев в течение длительного времени. По нагревостойкости диэлектрики делят на 7 классов: У, А, Б, В, Н, Ф, С. Самый низкий класс У-до 90°C (резина, шелк, полимеры). Самый высокий С-свыше 180°C (смола, керамика, стекло).

### 2. Лаки.

**Лаки** - это растворы пленкообразующих веществ (смол) в растворителях. В зависимости от пленкообразующих веществ лаки делятся на натуральные и

искусственные. К природным лакам относятся масляные, которые представляют собой раствор смолы в высыхающем масле, с добавками сиккатива и растворителя. К природным относятся шеллачный лак, он представляет собой спиртовой раствор смолы, выделяемый побегами тропических растений. Масляные лаки применяются для приготовления эмалевых красок, грунтов, шпаклевок. Шеллачные лаки - как электроизоляционные лаки. К искусственным относятся лаки на основе искусственных смол и эфиров целлюлозы: глифталевые, бакелитовые, хлорвиниловые, перхлорвиниловые, нитролаки. Растворителями для искусственных лаков служат спирт с эфиром, ацетон, этилацетат, бутилоцетат, амилацетат. Растворителями для масляных лаков служат скипидар, уайтспирит, сольвент, ксилол.

### 3. Эмали.

Эмали - это смесь лаков с сухими пигментами. Эмали дают блестящие покрытия, которые обладают теплостойкостью, коррозионной стойкостью (до 300° - 500 ). Эмали дешевле лаков. Масляные эмали приготавливают на масляных лаках, глифталевые - на глифталевых, нитроэмали - на нитроцеллюлозных лаках. В машиностроении наиболее широко применяются нитроэмали. Они твердеют уже через несколько минут, после их нанесения на поверхность. Эмали, предназначены для покрытий внутри помещений и на открытом воздухе. Для окраски легковых автомобилей применяются эмали марки Си. Их сушат, при температуре 130 - 140 , первый слой 30 мин., второй слой - 50 мин. Они имеют устойчивый глянец, не выгорают. Создан вид автомобильных нитроэмалей - рефлексный. Их получают путем введения в нитроэмаль тонкоразмолотой алюминиевой пудры (0,5%). Она придает покрытию металлический блеск. Для окраски приборов используются молотковые эмали МЛ - 24. Такие эмалевые покрытия напоминают следы от ударов молотка и хорошо маскируют дефекты окрашенной поверхности. В приборостроении также применяют эмали на основе эпоксидных смол Эп 51.

### 4. Компаунды.

**Компаунды** - представляют собой нефтяные смолы, растительные или минеральные масла, в которые добавлены наполнители. В момент применения компаунды находятся в жидком или вязком состоянии. При охлаждении или в результате химической реакции они твердеют. Наполнители снижают стоимость компаундов, улучшают теплопроводность. В качестве наполнителей применяют пылевидный кварц, тальк, смоляную пыль, асбестовое и стеклянное волокно. В электротехнике компаунды служат для заполнения пор, капилляров и воздушных включений в электроизоляции. Ими пропитывают изоляцию обмоток эл. машин, трансформаторов, заливают блоки электронной и радиотехнической аппаратуры, аккумуляторные батареи и т.д. В результате повышается механическая прочность, электроизоляционные свойства, возрастает срок службы электрических и радиотехнических устройств.

## Вопросы для самопроверки.

1. Какие материалы считаются диэлектриками?
2. От каких факторов зависит проводимость диэлектриков?
3. В каком случае происходит электрический пробой диэлектрика, тепловой и электрохимический?
4. Как классифицируются диэлектрики по нагревостойкости?
5. Какие лаки относятся к искусственным?
6. Чем отличаются эмали от лаков?
7. Какие разновидности эмалей вам известны?
8. С какой целью применяют компаунды?

## Раздел IV

### Инструментальные материалы

#### Тема: Инструментальные материалы.

#### 1. Требования к инструментальным материалам.

Материал рабочей части инструмента должен иметь большую твердость, высокие напряжения на изгиб, растяжения, сжатия, кручения. Чтобы инструмент в процессе работы воспринимал ударные нагрузки, он должен обладать ударной вязкостью. Любой инструмент в процессе работы нагревается и поэтому его свойства могут ухудшаться. Чтобы твердость инструмента в процессе работы не уменьшалась, он должен обладать высокой красностойкостью. Рабочая часть инструмента должна также обладать высокой износостойкостью. Чем медленнее изнашивается инструмент, тем точнее его размеры и тем качественней детали, обработанные этим инструментом. Материалы для изготовления режущих инструментов должны содержать наименьшее количество дефицитных дорогостоящих сплавов.

#### 2. Инструментальные стали - углеродистые -

содержат углерода 0,6 - 1,3%, У6, У7, У8,... У 13. HRC - 65. Красностойкость 200° - 230 С. При такой температуре их твердость снижается, поэтому допустимая скорость резания 15-18м/мин. У7А-У13А. Из этих сталей изготавливают ножовочные полотна, напильники и т.д.

#### 3. Низколегированные инструментальные стали.

Основой для этих сталей является сталь У10А. При плавке в нее добавляют легирующие элементы: хром, вольфрам, ванадий, марганец, кремний и т.д. Красностойкость таких сталей 250° - 300°С. У них лучшие прокаливаемость, они

меньше склоны к деформациям и трещинам при закалке. Допустимая скорость резания 15-25м/мин. Применяются для изготовления метчиков, плашек, разверток и т.д. 9 ХВГ, Х ВГ, ХФ, Х ГС.

#### 4. Быстрорежущие стали -

эти стали в качестве основного легирующего элемента содержат вольфрам до 19% и др. легирующие элементы: хром, кобальт, ванадий, молибден, Р6М3, Р9, Р12, Р18, Р9Ф5, Р10К5Ф5. Красностойкость 600° - 630°С, допустимая скорость резания до 100м/мин.

Р9 - имеет высокую износоустойчивость, целесообразно применять для труднообрабатываемых материалов.

С содержанием Р10К5 кобальта - для труднообрабатываемых, жаропрочных, коррозионностойких сплавов, когда обработка ведется в условиях вибраций, при прерывистом резании.

Ванадиевые Р9Ф5 - для чистовой обработки труднообрабатываемых материалов.

Молибденовые Р6М3 - для черновой обработки (Р9М4). Для экономии быстрорежущих сталей инструмент делают сборным или сварным.

#### 5. Металлокерамические твердые сплавы -

это твердые растворы карбидов вольфрама, титана, тантала в металлическом кобальте. Твердые сплавы используются в виде пластинок определенной формы и размеров. Они имеют красностойкость 800° - 1000°С и допускают обработку со скоростью до 800м/мин. Твердые сплавы делятся на 3 группы:

1. Вольфрамовые ВК2, ВК4, ВК6Б.
2. Титановольфрамовые Т30К4, Т15К6.
3. Титанотанталовольфрамовые: ТТ7К12, ТТ10К18Б.

В настоящее время для изготовления инструментов сложной формы применяют пластифицированные твердые сплавы.

#### 6. Стали для измерительного инструмента.

Должны обладать высокой износостойкостью - стабильностью размеров при различных температурах. Измерительные инструменты изготавливаются из высокоуглеродистых сталей, закачивают и подвергают старению при 120 - 130 в течении 150-200 часов. За это время мартенсит полностью распадается, структура становится стабильной, достаточно низкая температура старения делает зерна ферритно-цементитной смеси очень мелкими, с высокой твердостью и износостойкостью.

## 7. Штамповые стали.

Делятся на прессовые (холодное деформирование) и молотовые (горячая деформация).

Из прессовых сталей изготавливают ножи для раскроя стальных листов и штампов. Это высокоуглеродистые стали и легированные: У10, ХГ, ХВГ, Х12М, Х12ФГ. Термообработка таких штампов заключается в закалке с 1080<sup>o</sup>C в масло. Потом проводят проверку размеров. Если штамп «сел», то проводят отпуск при 450 . Если штамп «вырос», то проводят отпуск при 350<sup>o</sup>.

Для изготовления молотовых штампов применяются стали с высокой износостойкостью, прочностью и ударной вязкостью: 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ. Закалка с 820 - 840 в масло, затем отпуск при 400<sup>o</sup>, он повышает ударную вязкость.

### Вопросы для самопроверки.

1. Перечислите основные требования к инструментальным материалам.
2. Назовите марки углеродистых инструментальных сталей.
3. Какие преимущества имеют низколегированные инструментальные стали перед углеродистыми?
4. Какие марки быстрорежущих сталей вам известны?
5. Что собой представляют металлокерамические твердые сплавы?
6. Какая термообработка применяется для измерительного инструмента?
7. Какое назначение имеют штамповые стали?

## Раздел V Порошковые и композиционные материалы.

### Тема: Порошковые материалы.

#### 1. Значение порошковой металлургии.

Производство деталей из металлических порошков относится к отрасли техники, называемой **металлокерамикой** или **порошковой металлургией**. Методы порошковой металлургии позволяют получать материалы и детали, обладающие высокой жаропрочностью, износостойкостью, твердостью, заданными стабильными магнитными свойствами. При этом достигается большая экономия металла и значительное снижение себестоимости изделий.

Порошковая металлургия позволяет получать металлокерамические материалы с особыми физико-химическими, механическими и технологическими свойствами, чего невозможно достичь методами литья, обработки давлением и резанием.

## 2. Методы получения металлических порошков.

Исходные материалы и метод получения порошков оказывают влияние на химический состав, размеры и форму получаемых металлических порошков. Порошки из одного материала, но полученные разными методами, будут иметь резкое различие в технологических, физико-химических и механических свойствах.

Существуют два вида методов получения металлических порошков: механические и физико-химические. При получении порошков механическим методом возможно их загрязнение. При физико-химических методах получения металлических порошков изменяется состав сырья или его агрегатное состояние. Получение металлических порошков восстановлением из оксидов - наиболее распространенный, высокопроизводительный и экономичный метод.

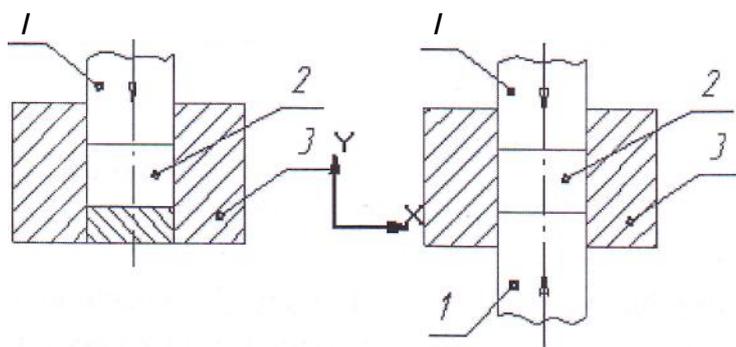
## 3. Методы получения изделий из порошков.

### а) холодное прессование.

Холодное прессование смеси порошков с последующим спеканием - наиболее распространенный способ формования металлокерамических деталей. Прессование состоит из ряда операций: приготовления шихты, дозировки и засыпки шихты в пресс-форму, прессования, выпрессовки.

Холодное прессование применяют для изготовления сплошных деталей простой конфигурации с отношением высоты к диаметру меньше двух и при прессовании втулок с отношением высоты к толщине стенки меньше трех.

Под влиянием давления частицы порошка перераспределяются, образуя плотную упаковку, упруго деформируются и в конечный момент происходит уплотнение частиц за счет пластической деформации или их крупного разрушения. Добавление по высоте прессуемой детали может быть неравномерным ввиду сил трения порошка о стенку пресс-формы. Неравномерное распределение давления при одностороннем прессовании (рисунок а) приводит к неравномерной плотности детали, и следовательно, к ухудшению ее качества. Чем больше отношение высоты к диаметру, тем больше колебание плотности.



а)

б)

Двустороннее прессование (рисунок б) осуществляется взаимным движением навстречу друг другу двух пуансонов. Этот метод позволяет получать детали с отношением высоты к диаметру больше двух, т.к. увеличивается равномерность распределения плотности по высоте. При двустороннем прессовании для достижения одинаковой средней плотности требуется усилие, на 30-40% меньше, чем при одностороннем прессовании.

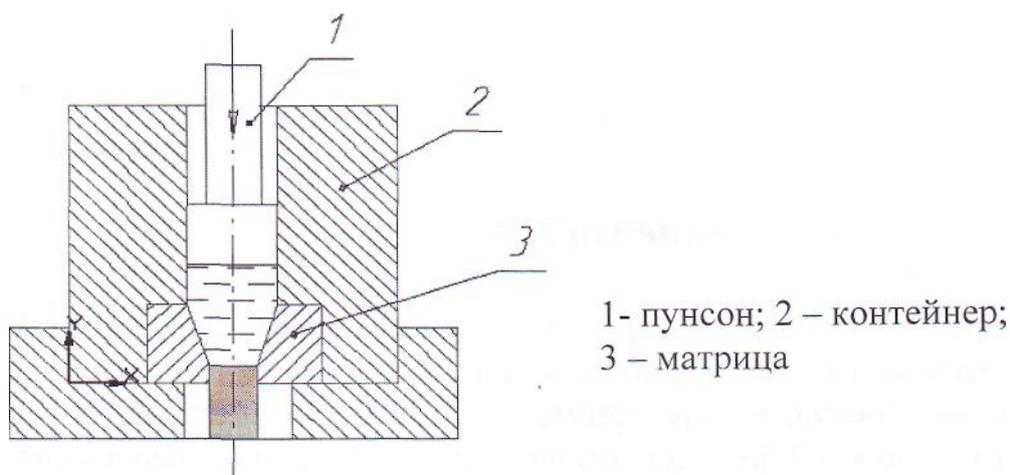
б) гидростатическое прессование.

Применяют для получения металлокерамических заготовок простой формы и неточных размеров. Металлический порошок, заключенный в эластичную резиновую или металлическую оболочку, подвергают всестороннему обжатию жидкостью.

Установки для гидравлического прессования отличаются простотой конструкции и отсутствием дорогостоящих пресс-форм. Этим методом можно получать материалы с высокой равномерностью распределенной плотности, а также заготовки и детали больших размеров и простой формы.

**в) мундштучное прессование.**

Применяют для получения металлокерамических изделий с большим отношением длины к диаметру. При мундштучном прессовании в шихту добавляют 10% пластификатора (парафина). Форма изделия задается формой матрицы и может быть любой сложности. Полые профили получают с применением иглы. Изделия, полученные этим способом, имеют равномерную плотность.

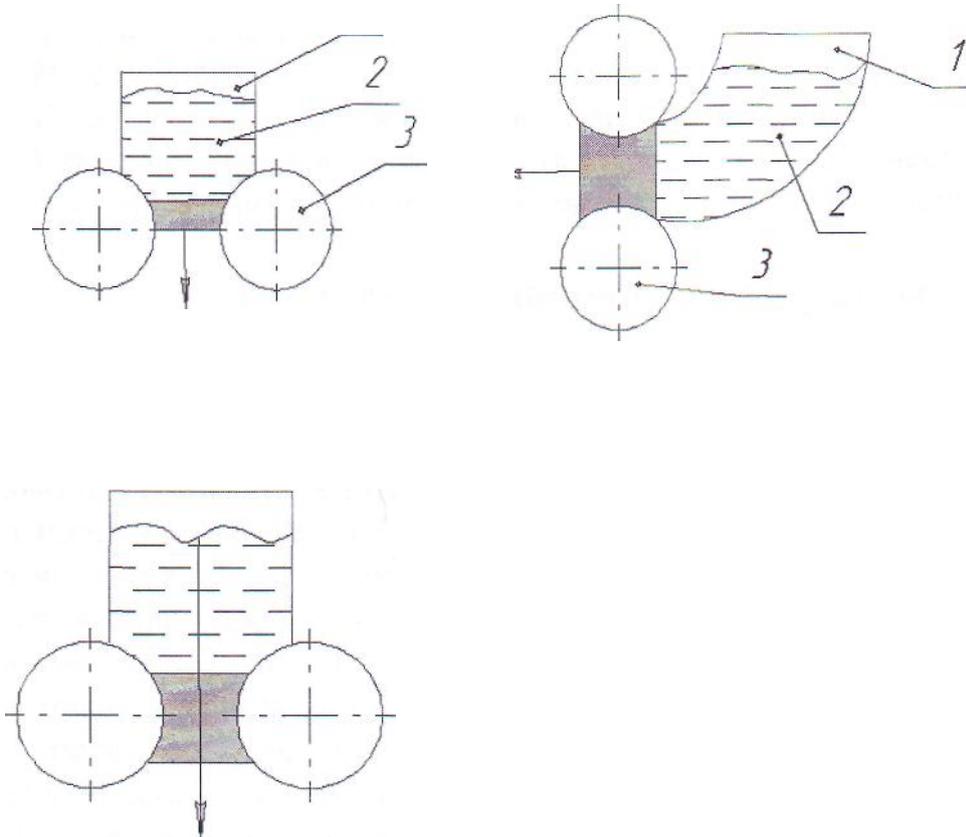


**г) прокатка.**

Прокаткой металлических порошков получают спрессованную ленту, которую подвергают спеканию. При прокатке в вертикальном положении на валики 3 устанавливают бункер 1, который предохраняет порошок 2 от просыпания. Металлические порошки прокатывают в вертикальном и горизонтальном направлении.

При прокатке в горизонтальном положении применяют наклонный желоб или принудительную подачу порошка шнековым механизмом. Прокаткой можно получать двух-и трехслойные ленты.

Прокатка металлокерамических материалов - перспективный метод порошковой металлургии.



#### 4. Спекание.

Термическую операцию проводят для повышения прочности, т.к. после холодного прессования, заготовки и детали обладают невысокой прочностью. Температура спекания равна  $2/3$  температуры плавления металла. Технология спекания влияет на прочность и точность изделий. Спекание снижает остаточное напряжение.

Различают спекание в твердом состоянии и жидкой фазе.

Спекание проводят в вакууме в защитной атмосфере из водорода.

Повторное прессование применяют для получения деталей сложной формы.

## Вопросы для самопроверки.

1. Перечислите достоинства порошковой металлургии.
2. Какими методами изготавливаются металлические порошки?
3. При каком способе холодного прессования получают более равномерную плотность изделий?
4. В чем экономическое преимущество гидростатического прессования?
5. Какой формы изделия получают при мундштучном прессовании?
6. Какие заготовки можно получать прокаткой металлических порошков?
7. С какой целью проводится спекание изделий из металлических порошков?

## Тема: Композиционные материалы.

### 1. Общие сведения.

**Композитами** называются материалы, образованные при сочетании химически-разнородных компонентов с четкой границей раздела между ними. Обычно композит имеет пластичную основу (матрицу), в ней расположены упрочняющие вещества в виде порошка, волокон, стружки и т.д. Матрица обеспечивает связь, а включения придают жесткость, прочность композиту. Название композитов дают по материалу матрицы: металлические, полимерные, стеклянные и т.д.

В последние годы часто применяются композиты упрочненные стальной проволокой или тугоплавкими материалами; волокнами стекла, бора, оксидов, силицидов и т.д. иногда применяют ткани и сетки из проволоки.

### 2. Технология изготовления изделий.

Состоит из подготовки исходных материалов, формовки деталей, спекания и термообработки. Подготовка исходных материалов может производиться размоллом, а затем ведется смешивание в смесителях. При смешивании частицы композитов упрочняются, наиболее равномерное перемешивание получается при смешивании жидких компонентов с последующим выпариванием воды.

Формирование осуществляется прессованием. В гидравлических прессах или гидростатическим методом. После прессования производится спекание, при температуре 0,7-0,95 от температуры плавления основного компонента. При спекании происходит дегазация, восстанавливаются оксиды, изделия уплотняются.

### 3. Составы и применение композитов.

Композиционные материалы изготавливают на основе алюминия, бериллия, вольфрама, железа, кобальта, магния, меди, никеля, свинца, платины, золота, серебра, хрома, цинка, олова, циркония и т.д. При использовании различных компонентов получают материалы с высокой жаро-коррозионной стойкостью

(хром - МдО), их используют в реакторостроении, в авиационной технике. Высокой радиационной стойкостью обладают композиты на основе магния, бериллия, их используют в атомной энергетике. Износостойкие - карбиды, нитриды, силициды. Из композиционных материалов изготавливают тяжелонагруженные детали (шестерни, кулачки, звездочки). Композиционные материалы могут работать в условиях большой нагрузки без смазки или с малым ее подводом. Они имеют такую структуру, что нагрузка действует только на упрочняющие включения. Композиционные материалы имеют при таких условиях гораздо больший срок службы, чем изделия из металлических сплавов. Композиционные материалы в два - три раза дешевле легированных сталей, их износостойкости гораздо выше. Они хорошо противостоят абразивному изнашиванию.

### Вопросы для самопроверки.

1. Какие материалы называют композитами?
2. Какие упрочняющие материалы используют в композитах?
3. Перечислите основные технологические операции изготовления изделий из композитов.
4. Для изготовления каких изделий применяются композитные материалы?