

НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра машиноведения

Дисциплина **«Материаловедение»**

Лекции – 34 часа (17)
Лабораторная работа – 17 часов (9)
МКР – 2
Домашняя работа – 1
Зачет

Лекция 1.1.

Строение и свойства твердых тел.

1. Общая характеристика авиационных материалов и развитие науки о них.
2. Кристаллические и аморфные вещества.
3. Основные сведения о металлах и сплавах.
4. Дефекты кристаллической структуры.
5. Полиморфные превращения в металлах. Магнитные превращения.
6. Методы испытаний материалов.

Список литературы

1. Лахтин, Ю. М. *Материаловедение* / Ю. М. Лахтин. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Абраимов Н.В., Елисеев Ю.С,Кримов В.В. *Авиационное материаловедение и технология обработки материалов. Учебное пособие для авиационных вузов.* – М.:Высш.шк., 1988. – 444с.
3. Лабунец В.Ф.*Авиационные конструкционные материалы с высокой удельной прочностью: Учебное пособие.* – Киев: КМУГА, 1993. – 116 с.
4. Дубинин Г.Н., Тананов А.И. – *Авиационное материаловедение. Учеб. для высших учебных заведений ГА.* М.: Машиностроение,1988. – 320с.

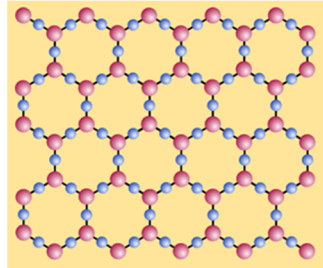
Материаловедение – это наука, изучающая строение и свойства материалов и устанавливающая связь между их составом, строением и свойствами и поведение материалов в зависимости от воздействия окружающей среды.

Свойства технических материалов формируются в процессе их изготовления. При одинаковом химическом составе, но разной технологии изготовления, образуется разная структура, и вследствие, свойства.

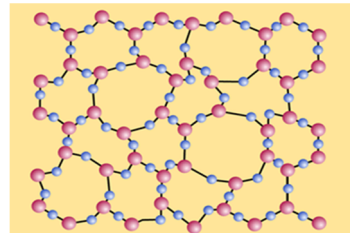
Материаловедение можно отнести к тем разделам ***физики*** и ***химии***, которые занимаются изучением свойств материалов.

Цель дисциплины – изучение закономерностей формирования структуры и свойств материалов методами их упрочнения для эффективного использования в технике.

Кристаллические и аморфные вещества.



В **кристаллических телах** атомы расположены **в строго** определённой **последовательности**.
(поваренная соль, кварц, сахарный песок, металлы и сплавы)



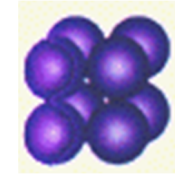
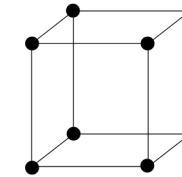
В **аморфных телах** атомы **расположены хаотично**, т.е. в беспорядке, без всякой системы. (стекло, клей, воск, канифоль)

Основные сведения о металлах и сплавах

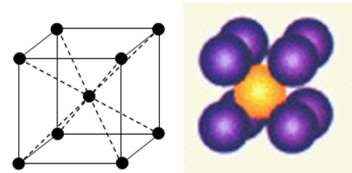
Строение металлов и их сплавов характеризуется закономерным, геометрически **правильным расположением атомов в пространстве**, называемым **кристаллической решеткой**.

Типы кристаллических решеток:

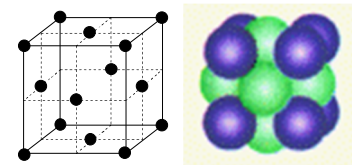
• **кубическая**



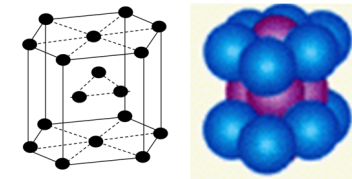
• **кубическая объемно-центрированная (ОЦК)**



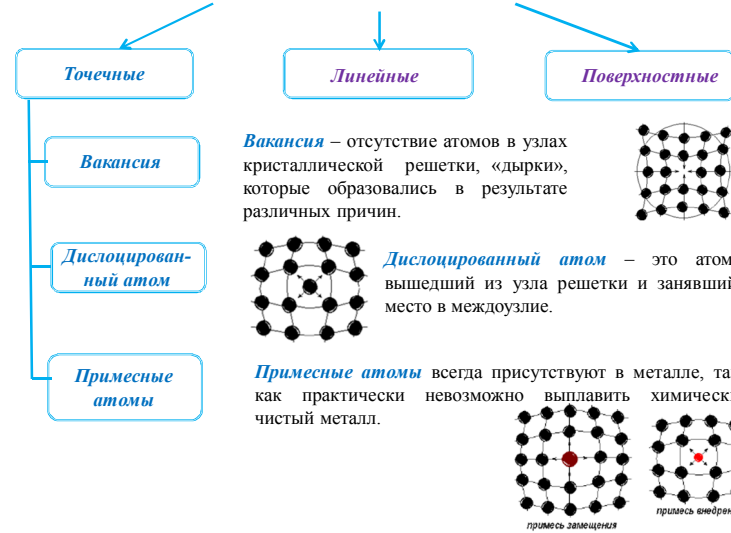
• **кубическая гранецентрированная (ГЦК)**

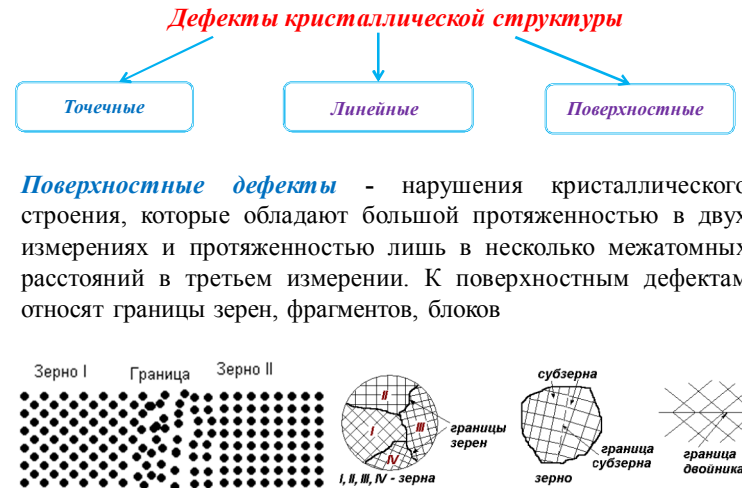
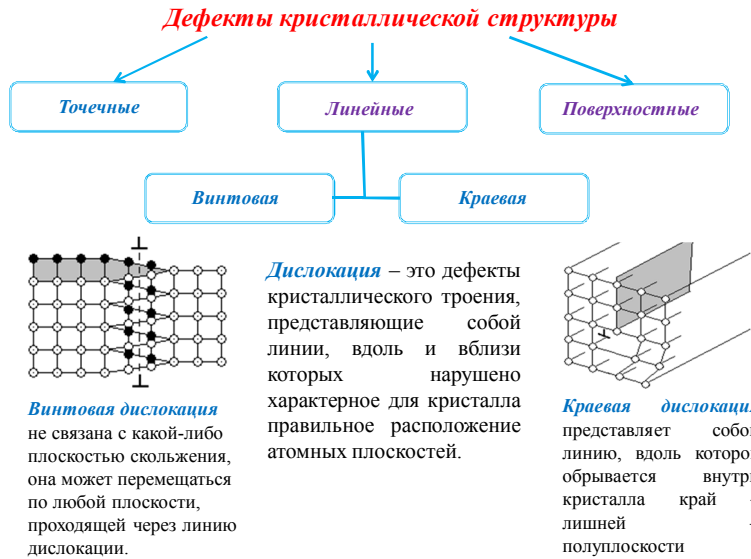


• **гексагональная плотноупакованная (ГПУ)**



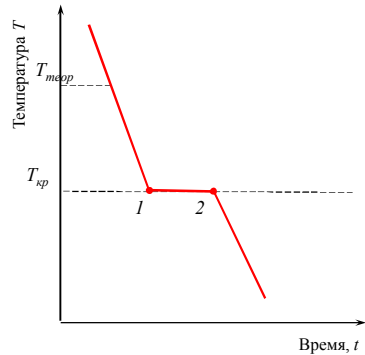
Дефекты кристаллической структуры





Кристаллизация металлов

Кристаллизация – это процесс образования участков кристаллической решетки в жидкой фазе и рост кристаллов из образовавшихся центров.



Кривая охлаждения чистого металла

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура.

$T_{теор}$ – теоретическая температура кристаллизации;
 $T_{кр}$ – фактическая температура кристаллизации.

т. 1 охлаждается металл в жидком состоянии, процесс сопровождается плавным понижением температуры. участок 1 – 2 происходит **выделение тепла**, которое называется **скрытой теплотой кристаллизации**.

т. 2 температура начинает снижаться, металл охлаждается в твердом состоянии.

Кристаллизация металлов

При соответствующем понижении температуры в жидком металле начинают образовываться кристаллики – **центры кристаллизации** или **зародыши**.



Процесс кристаллизации состоит из **образования центров** кристаллизации и **роста кристаллов** из этих центров.

Процесс кристаллизации вначале ускоряется, пока столкновение кристаллов не начинает препятствовать их росту. Объем жидкой фазы, в которой образуются кристаллы уменьшается. После кристаллизации 50 % объема металла, скорость кристаллизации будет замедляться.

Полиморфные превращения в металлах

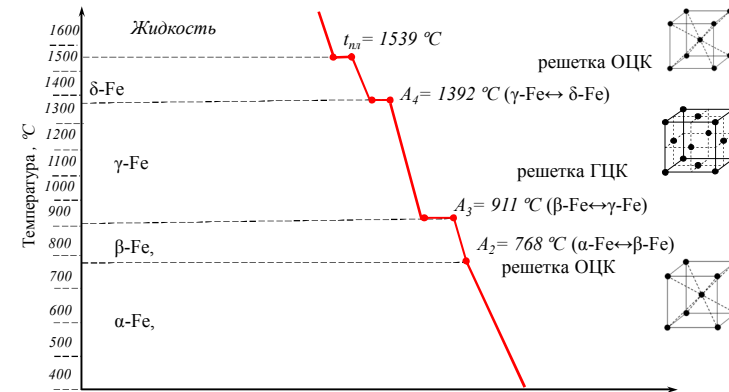
Существование одного и того же металла (вещества) в нескольких кристаллических формах носит название **полиморфизма** или **аллотропии**.

Различные кристаллические формы одного вещества называются **полиморфными** или **аллотропическими модификациями**.

Аллотропические формы обозначаются греческими буквами α , β , γ и т.д., которые в виде индексов добавляют к символу, обозначающему элемент. α -Fe, β -Fe, γ -Fe.

Температура, при которой осуществляется переход из одной модификации в другую, носит название температуры **полиморфного (аллотропического) превращения**.

Полиморфные превращения в металлах



Магнитные превращения

Некоторые металлы намагничиваются под действием магнитного поля. После удаления магнитного поля они обладают остаточным магнетизмом. Это явление впервые обнаружено на железе и получило название **ферромагнетизма**.

К ферромагнетикам относятся железо, кобальт, никель и некоторые др. металлы.

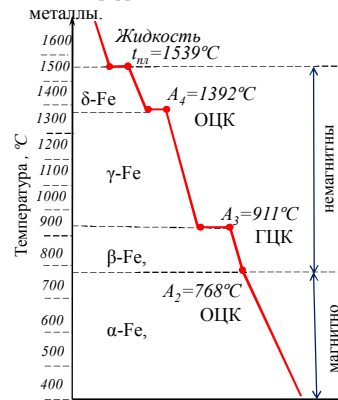
При нагреве ферромагнитные свойства металла уменьшаются постепенно: вначале слабо, затем резко, и при определенной температуре (точка Кюри) исчезают (точка Кюри для железа — 768°C).

Выше этой температуры металлы становятся парамагнетиками.

Магнитные превращения не связаны с изменением кристаллической решетки или микроструктуры, они обусловлены изменениями в характере межэлектронного взаимодействия.

Ферромагнетик — такое вещество, которое при температуре ниже точки Кюри, способно обладать намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля.

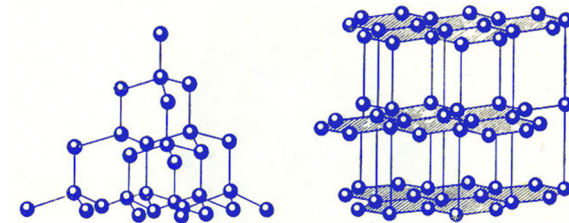
Парамагнетики — вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле в направлении внешнего магнитного поля и имеют положительную магнитную восприимчивость.



Полиморфные превращения в металлах

Разновидностью полиморфизма является **аллотропия** — способность одного элемента существовать в виде разных простых веществ.

Примером аллотропического превращения является перестройка кристаллической решетки графита в кристаллическую решетку алмаза при сверхвысоком давлении и повышенной температуре



Кристаллические решетки алмаза (слева) и графита (справа)

Методы исследования металлов

Металлы и сплавы обладают разнообразными свойствами. Используя один метод исследования металлов, невозможно получить информацию о всех свойствах. Используют несколько методов анализа.

Методы исследования металлов: механические и структурные.

К механическим: прочность, твёрдость, пластичность, упругость, вязкость, хрупкость, усталость, ползучесть и износостойкость.

Методы исследования структуры: макро- и микроскопический анализы, рентгеноструктурный,

1. *Макроструктурный анализ* – изучение строения металлов и сплавов невооруженным глазом или при небольшом увеличении, с помощью лупы.

2. *Микроструктурный анализ* – изучение поверхности при помощи световых микроскопов. Увеличение – 50...2000 раз. Позволяет обнаружить элементы структуры размером до 0,2 мкм.

Элементы теории сплавов.

Чистые металлы обладают *низкой прочностью* и *не обеспечивают* требуемых механических и технологических *свойств, поэтому* наиболее широко в технике (промышленности) *используют сплавы*.

Металлическим сплавом называется вещество, полученное сплавлением двух и более исходных веществ, преимущественно металлических, и обладающее металлическими свойствами.

Сплавы – важные вещества, получаемые сплавлением или спеканием двух или нескольких *компонентов*.

Компоненты – вещества, образующие систему. В качестве компонентов выступают чистые вещества и химические соединения.

В зависимости от числа компонентов сплавы могут быть двух-, трех- или многокомпонентными.

Компоненты в сплаве, находящиеся *в жидком виде*, пребывают обычно в *атомарном состоянии*, образуя неограниченный *раствор с одинаковыми химическими свойствами* по всему объему (однофазная система).

В *сплавах компоненты* могут *различно взаимодействовать* друг с другом, *образуя* те или иные *фазы*.

Лекция 1.2.

Элементы теории сплавов.

1. Элементы теории сплавов.
2. Типы сплавов. Классификация сплавов твердых растворов.
3. Кристаллизация сплавов.
4. Диаграмма состояния.

Элементы теории сплавов.

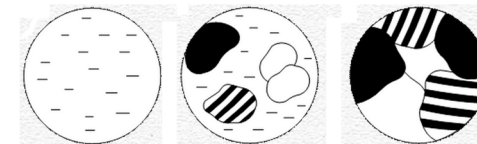
Фаза – это однородная часть сплава, имеющая *определенный состав, свойства, тип* кристаллической *решетки и границу раздела*, при переходе которой *свойства скачкообразно изменяются*.

Фазы могут быть жидкие, твердые и газообразные.


Совокупность фаз, находящихся в равновесии при определенных внешних условиях (давлении, температуре), называют *системой*.



В зависимости от количества компонентов, входящих в состав сплава, бывают двухкомпонентными и многокомпонентными.

Остальные элементы, входящими в состав сплава, которые корректируют свойства сплавов являются легирующими элементами.



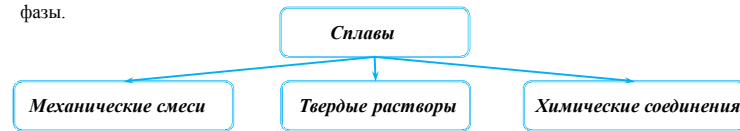
Виды систем сплавов: *a* – однофазная; *b* – трехфазная; *v* – двухфазная;

 – жидкий расплав;

 – кристаллы компонента А;  – кристаллы компонента Б

Типы сплавов.

При кристаллизации сплавов могут образовываться следующие основные твердые фазы.



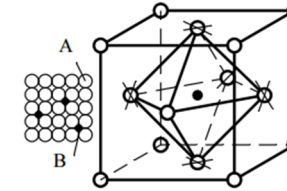
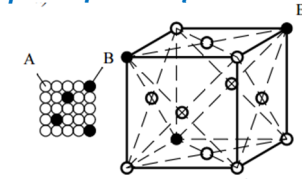
Твердыми растворами называют фазы, в которых *один из компонентов сплава сохраняет свою кристаллическую решетку*, а *атомы другого* или других компонентов *располагаются в кристаллической решетке первого компонента* (растворителя), *изменяя ее размеры* (периоды).

Твердые растворы имеют **металлический тип связей**.

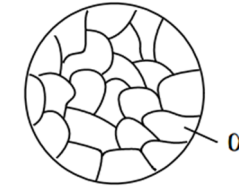
По характеру распределения атомов растворенного вещества в кристаллической решетке растворителя различают твердые растворы: замещения, внедрения.

Классификация сплавов твердых растворов

Твердые растворы замещения образуются при замене атомов в кристаллической решетке растворителя атомами растворенного компонента.



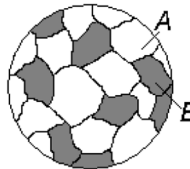
Твердые растворы внедрения образуются только в том случае, если внедряемые атомы имеют малые размеры и проникают в поры кристаллической решетки растворителя.



Твердые растворы обозначаются малыми буквами греческого алфавита

Типы сплавов.

Механические смеси – это смеси, которые образуются при сплавлении компонентов с **большим различием атомных радиусов**, значительным различием электромеханических свойств, когда их взаимная растворимость очень мала и они не вступают в химическую реакцию с образованием **химического соединения**.



При этих условиях сплав будет состоять из кристаллов и исходных компонентов.

Механическая смесь может быть образована:

– в результате кристаллизации, когда из жидкости одновременно кристаллизуются компоненты A и B (эвтектика – ж → A + B)

Эвтектика (от греческого слова "eutektos" — легко плавящийся) — смесь компонентов, которые плавятся при определенной, минимальной температуре.

– в результате кристаллизации, когда из жидкости одновременно кристаллизуются твердые растворы a и b (эвтектика – ж → α+ β);

– в результате распада твердого раствора на две твердые фазы (эвтектоид – γ → α+β_m).

Эвтектоид [eutectoid] — смесь двух стабильных твердых фаз, образованных одновременно из твердого раствора при эвтектоидном распаде и имеющая постоянный для данной системы состав (напр. перлит в стали).

Типы сплавов.

Сплавы **химические соединения** образуются между элементами, значительно различающимися по строению и свойствам, если сила взаимодействия между разнородными атомами больше, чем между однородными.

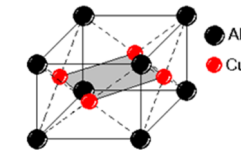
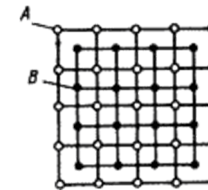
Особенности этих сплавов:

Постоянство состава, то есть сплав образуется при определенном соотношении компонентов, химическое соединение обозначается An Bm/

Образуется специфическая, отличающаяся от решеток элементов, составляющих химическое соединение, кристаллическая решетка с правильным упорядоченным расположением атомов

Ярко выраженные индивидуальные свойства

Постоянство температуры кристаллизации, как у чистых компонентов



КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СПЛАВОВ

Кристаллизация сплавов подчиняется *тем же закономерностям*, что и кристаллизация *чистых металлов*. Необходимым условием является стремление системы в состояние с минимумом свободной энергии.

В сплавах в твердых состояниях, *имеют место процессы перекристаллизации*, обусловленные *аллотропическими превращениями* компонентов сплава, *распадом твердых растворов*, *выделением из твердых растворов вторичных фаз*, когда *растворимость* компонентов в твердом состоянии *меняется с изменением температуры*.

Эти превращения называют *фазовыми превращениями в твердом состоянии*.

При перекристаллизации в твердом состоянии образуются центры кристаллизации и происходит их рост.

Процессы кристаллизации сплавов изучаются по диаграммам состояния.

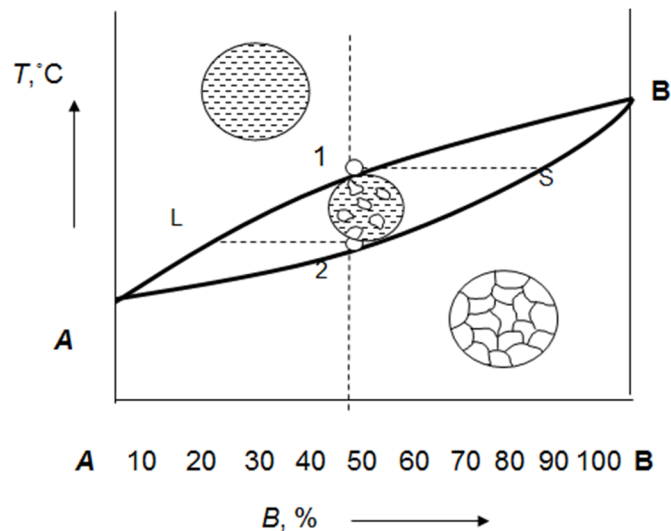
ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния любого сплава изучаемой системы в зависимости от концентрации и температуры.

Построение диаграмм состояния наиболее часто осуществляется при помощи термического анализа.

Диаграмма состояния позволяет:

- определить для каждого сплава, какие фазы, при каких температурах находятся в равновесии;
- установить состав и количественное соотношение находящихся в равновесии фаз;
- предсказать приблизительно структуру сплава, а иногда определить количественное соотношение структурных составляющих.



Лекция 1.3.

Диаграммы двойных сплавов в равновесном состоянии

1. Порядок построения диаграмм.
2. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют механические смеси (Диаграмма состояния I рода).
3. Правило отрезков.

ПОРЯДОК ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ

Диаграмма состояния – это графическое изображение фазового состояния сплавов в зависимости от температуры и концентрации компонентов в условиях равновесия.

Компоненты в сплаве обозначают символами их элементов.

Диаграмма состояния позволяет:

- определить для каждого сплава, какие фазы, при каких температурах находятся в равновесии;
- установить состав и количественное соотношение находящихся в равновесии фаз;
- предсказать приблизительно структуру сплава, а иногда определить количественное соотношение структурных составляющих.

ПОРЯДОК ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ

Для построения диаграмм состояния, особенно для определения температур затвердевания сплава, **используется термический анализ.**

Для изучения превращений в сплаве в твердом состоянии используют методы физико-химического анализа:

- микроанализ;
- рентгеноструктурный;
- и др.

ПОРЯДОК ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ

Существуют 4 типа диаграмм двойных сплавов в равновесном состоянии:

1. Диаграмма состояния I рода.

Диаграмма состояния сплавов образующих механические смеси из чистых компонентов.

2. Диаграмма состояния II рода.

Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.

3. Диаграмма состояния III рода

Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой неограниченно растворимы в жидком состоянии и ограничено в твердом.

4. Диаграмма состояния IV рода

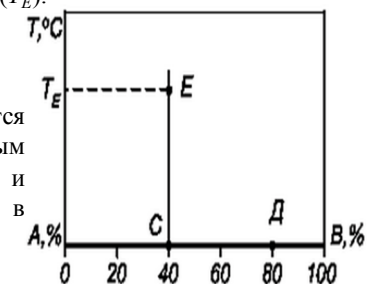
Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения.

ПОРЯДОК ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ

Диаграмма двухкомпонентного сплава строится в двух измерениях: температура – концентрация.

Ось ординат показывает изменение температуры и каждая точка на оси (например, точка *E*) соответствует определенному фазовому состоянию рассматриваемого сплава при определенной температуре (T_E).

Диаграммы состояния строятся по экспериментальным данным термического анализа и исследованию структур сплавов в твердом состоянии.



ПОРЯДОК ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ

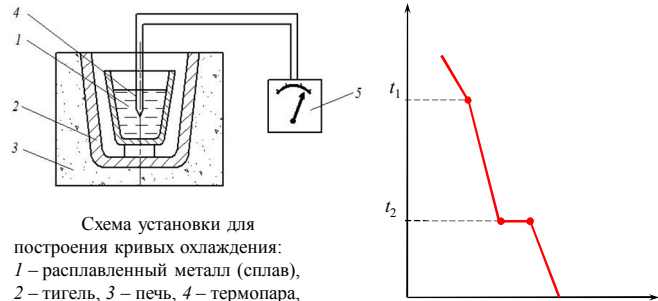


Схема установки для построения кривых охлаждения:
 1 – расплавленный металл (сплав),
 2 – тигель, 3 – печь, 4 – термопара,
 5 – милливольтметр

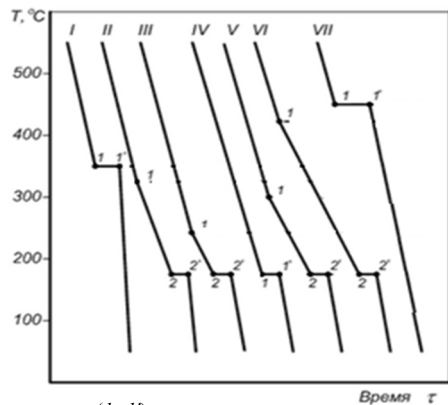
При температуре t_1 начинается кристаллизация сплава, а при температуре t_2 заканчивается. Эти температуры называются **критическими температурами** или **критическими точками**.

ПОРЯДОК ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ

Температура начала и конца кристаллизации сплавов

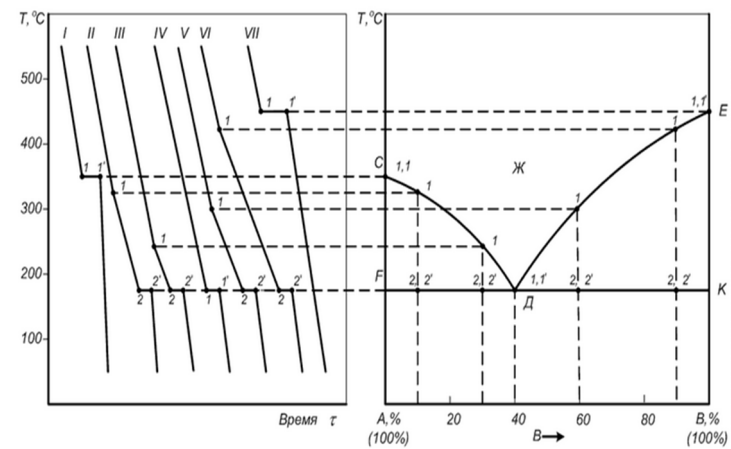
| Номер сплава | Состав сплава | Температура кристаллизации | |
|--------------|-----------------|----------------------------|------------------|
| | | Начала t_1 , °C | Конца t_2 , °C |
| 1 | 100 % A | 350 | 350 |
| 2 | 90 % A + 10 % B | 325 | 170 |
| 3 | 70 % A + 30 % B | 240 | 170 |
| 4 | 60 % A + 40 % B | 170 | 170 |
| 5 | 50 % A + 50 % B | 300 | 170 |
| 6 | 10 % A + 90 % B | 420 | 170 |
| 7 | 100 % B | 450 | 450 |

ПОРЯДОК ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ

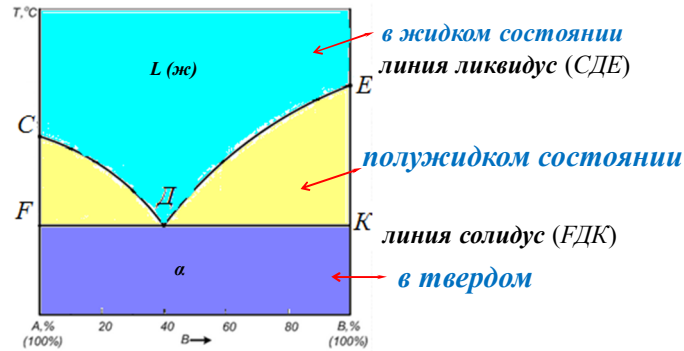


Верхние точки кривых (1, 1') соответствуют температурам **начала затвердевания сплаво** и называются **температурами ликвидуса** (с греч. – жидкий). Нижние точки (2, 2') соответствуют температурам **конца затвердевания** и носят название **температур солидуса** (с греч. – твердый).

ПОРЯДОК ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ

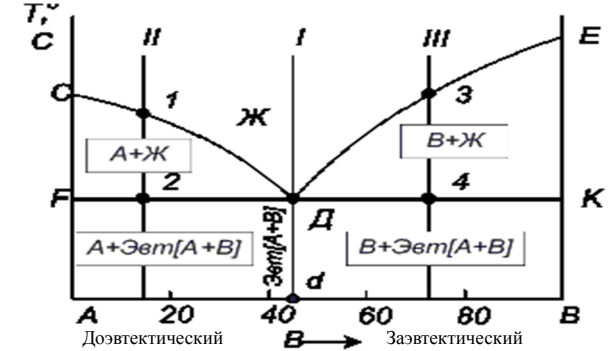


ПОРЯДОК ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ



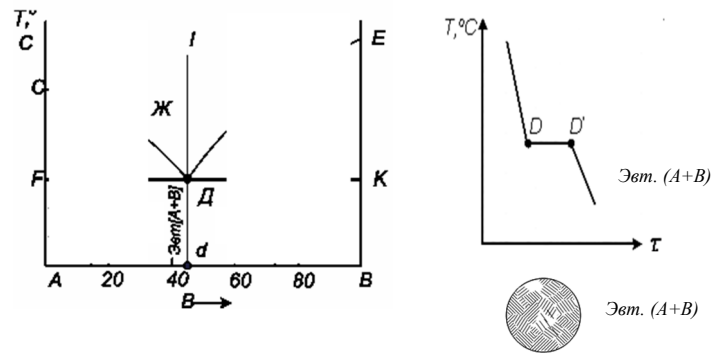
Выше температур, образующих линию ликвидус, все сплавы данной системы находятся в жидком состоянии, а ниже линии солидус – в твердом. При температурах между этими линиями сплавы находятся в полужидком состоянии, т. е. в жидком расплаве находятся твердые фазы.

Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют механические смеси (диаграмма состояния I рода)



Компоненты: *A* и *B*; фазы: жидкость *Ж*, кристаллы компонента *A* и кристаллы компонента *B*.
 Линия CDE – линия ликвидус, линия FDK – линия солидус.

Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют механические смеси (диаграмма состояния I рода)



Эвтектика образуется при строго определенном количественном соотношении компонентов

Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют механические смеси (диаграмма состояния I рода)

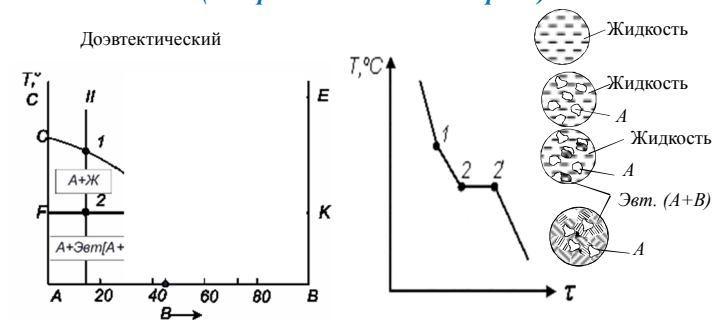


Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют механические смеси (диаграмма состояния I рода)

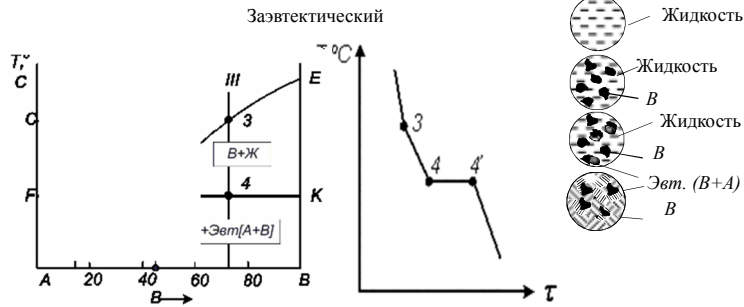
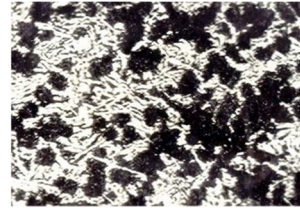


Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют механические смеси (диаграмма состояния I рода)

Диаграмма состояний сплавов системы свинец-сурьма

Первичные крист. свинца и эвтектика



Микроструктура доэвтектического сплава «свинец-сурьма», $\times 250$ (Pb – 94%, Sb – 9%).

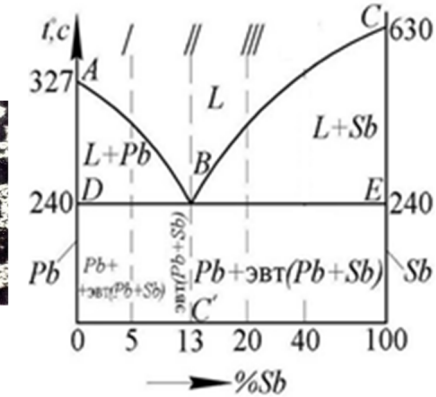
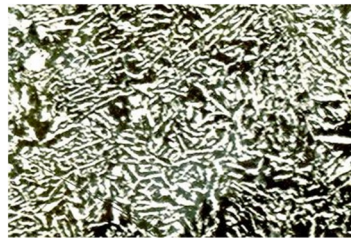


Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют механические смеси (диаграмма состояния I рода)

Диаграмма состояний сплавов системы свинец-сурьма



Микроструктура эвтектического сплава «свинец-сурьма», $\times 250$ (Pb – 87%, Sb – 13%)

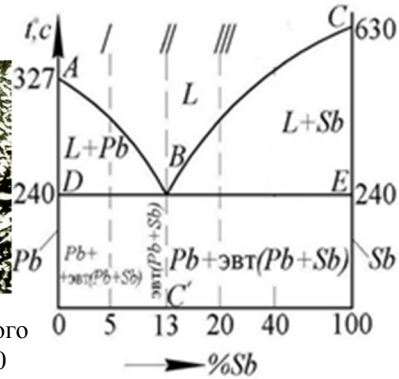


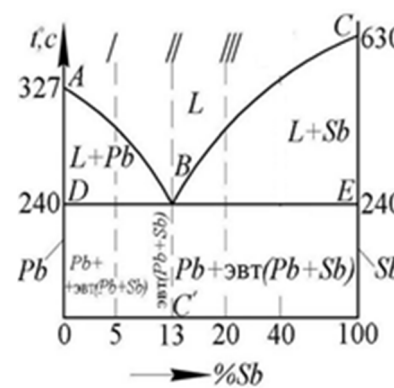
Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой образуют механические смеси (диаграмма состояния I рода)

Диаграмма состояний сплавов системы свинец-сурьма

Первичные крист. сурьмы и эвтектика

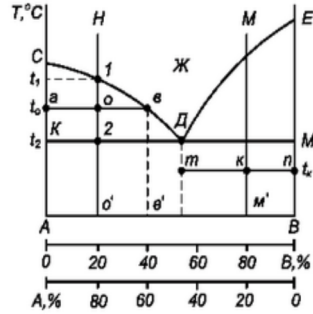


Микроструктура заэвтектического сплава «свинец-сурьма», $\times 250$ (Pb – 70%, Sb – 30%)



ПРАВИЛО ОТРЕЗКОВ

Конодой называется горизонтальная линия *ав*, параллельная оси концентраций, проведенная внутри исследуемой двухфазной области *СДК* до пересечения ее границ (точки *а* и *в*).

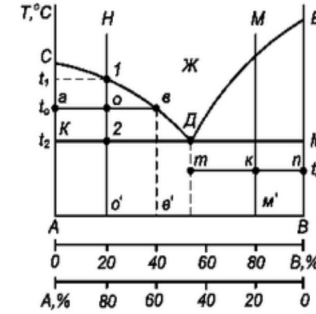


Линия СДЕ – линия ликвидус,
линия ФДК – линия солидус

Для определения количества твердой фазы необходимо взять отношение части коноды, примыкающей к области жидкой фазы, к длине всей коноды, а для определения количества жидкой части сплава – отношение отрезка коноды, примыкающей к твердой фазе, к длине всей коноды.

ПРАВИЛО ОТРЕЗКОВ

Конодой называется горизонтальная линия *ав*, параллельная оси концентраций, проведенная внутри исследуемой двухфазной области *СДК* до пересечения ее границ (точки *а* и *в*).



Линия СДЕ – линия ликвидус,
линия ФДК – линия солидус

Точка *а* на коноде (*аов*) показывает состав жидкости при данной температуре.

Количество жидкости в сплаве при данной температуре определяется пропорцией:
 $ao/av \cdot 100\%$.

Количество компонента *А* в сплаве, при данной температуре, определяется пропорцией:

$$ob/av \cdot 100\%$$

Количество эвтектики находится из выражения:

$$\text{Эвт } [A + B] = kn/mn \cdot 100\%$$

а кол-во компонента *В* из отношения:

$$B = mk/mn \cdot 100\%$$

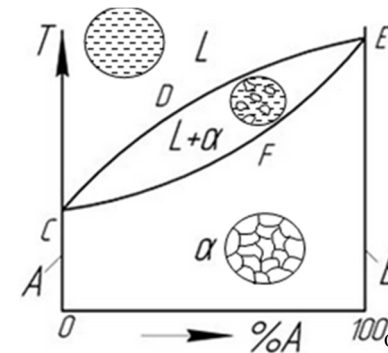
Лекция 1.3.

Диаграммы двойных сплавов в равновесном состоянии

Часть 2

1. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях (II рода).
2. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой неограниченно растворимы в жидком состоянии и ограниченно в твердом (III рода).
3. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которой в твердом виде образуют устойчивые химические соединения (IV рода).
4. Связь между диаграммами состояний и свойствами двухкомпонентных сплавов.

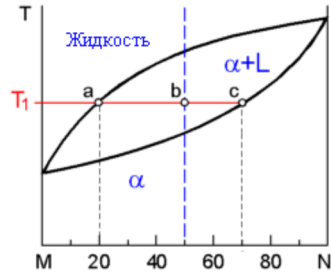
ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ, КОМПОНЕНТЫ КОТОРОЙ НЕОГРАНИЧЕННО РАСТВОРИМЫ В ЖИДКОМ И ТВЕРДОМ СОСТОЯНИЯХ (II РОДА).



Однофазные области на диаграмме:

- 1) жидкость *L* – выше линии ликвидус *CDE*;
- 2) твердый раствор *α* – ниже линии солидус *CFE*.

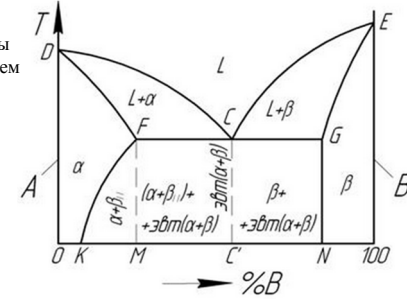
ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ, КОМПОНЕНТЫ КОТОРОЙ НЕОГРАНИЧЕННО РАСТВОРИМЫ В ЖИДКОМ И ТВЕРДОМ СОСТОЯНИЯХ (II РОДА).



При температуре T_1 для сплава 50%M + 50%N:
 Состав твердого раствора a определен в точке c – 30%M + 70%N.
 Состав жидкой фазы определен в точке a – 80%M + 20%N.
 $\%$ жидкой фазы $= bc/ac \cdot 100\% = (70-50)/(70-20) \cdot 100\% = 40\%$
 $\%$ твердого раствора $a = ab/ac \cdot 100\% = (50-20)/(70-20) \cdot 100\% = 60\%$

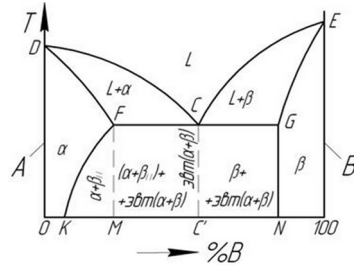
ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ, КОМПОНЕНТЫ КОТОРОЙ НЕОГРАНИЧЕННО РАСТВОРИМЫ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ И ОГРАНИЧЕННО В ТВЕРДОМ (III РОДА)

Компоненты сплавов:
 компонент A и компонент B ;
 фазы: жидкий раствор L (Ж), компоненты растворяются друг в друге с образованием твердых растворов α (B в A) и β (A в B), между которыми образуется эвтектика $эвт(\alpha+\beta)$



- Однофазные области на диаграмме:
 1) жидкость L – выше линии ликвидуса DCE ;
 2) тв. раствор α – область $ODFKO$;
 3) тв. раствор β – область $NGE-100-N$.

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ, КОМПОНЕНТЫ КОТОРОЙ НЕОГРАНИЧЕННО РАСТВОРИМЫ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ И ОГРАНИЧЕННО В ТВЕРДОМ (III РОДА)



Кристаллы β , выделившиеся из твердого раствора, называются **вторичными кристаллами** и часто обозначаются символом β_{II} в отличие от первичных β -кристаллов (β_I), выделяющихся из жидкости.

Процесс выделения вторичных кристаллов из твердой фазы носит название **вторичной кристаллизации** в отличие от процесса **первичной кристаллизации**, когда кристаллы (первичные) образуются в жидкой фазе.

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ, КОМПОНЕНТЫ КОТОРОЙ НЕОГРАНИЧЕННО РАСТВОРИМЫ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ И ОГРАНИЧЕННО В ТВЕРДОМ (III РОДА)

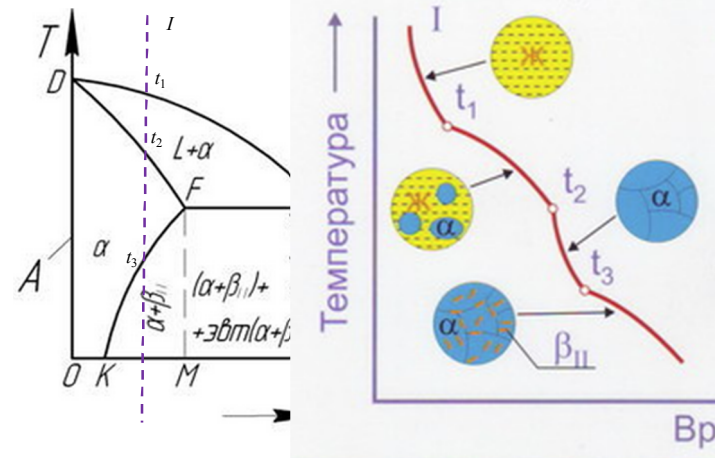


ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ, КОМПОНЕНТЫ КОТОРОЙ НЕОГРАНИЧЕННО РАСТВОРИМЫ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ И ОГРАНИЧЕННО В ТВЕРДОМ (III РОДА)

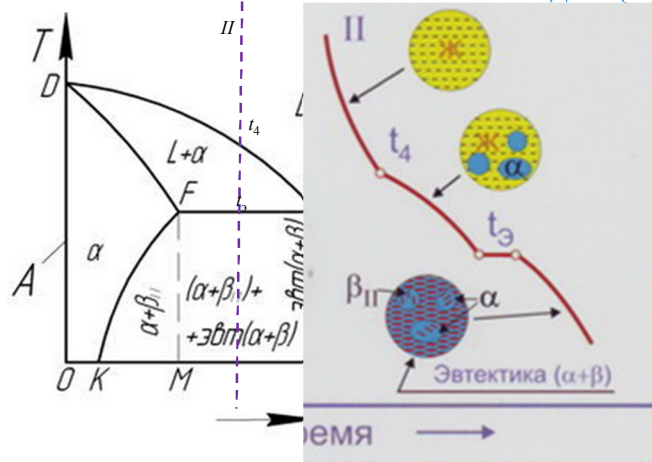
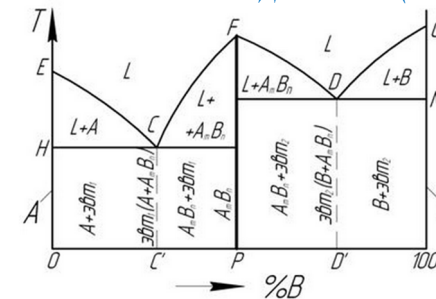


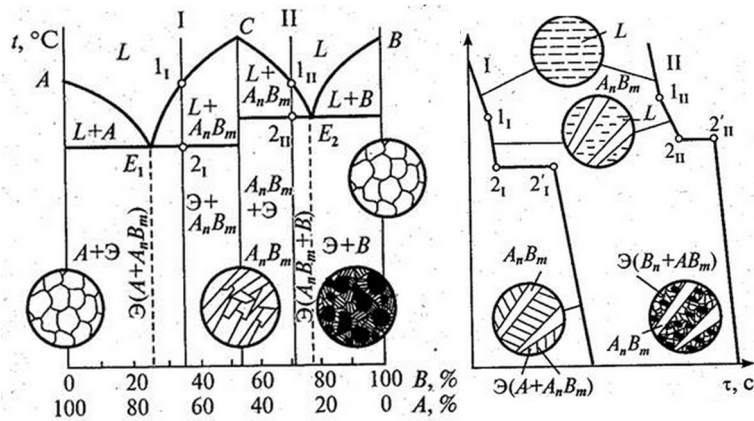
ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ, КОМПОНЕНТЫ КОТОРОЙ В ТВЕРДОМ ВИДЕ ОБРАЗУЮТ УСТОЙЧИВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ (IV РОДА)



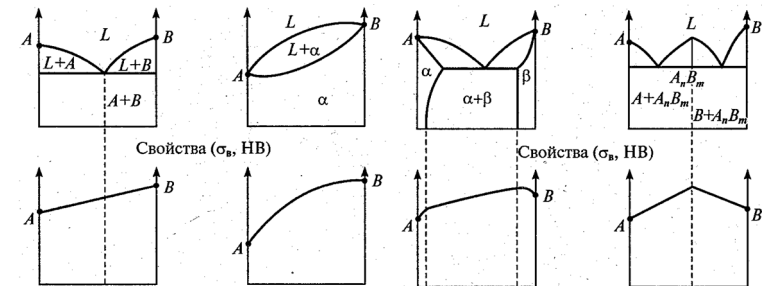
Однофазные области этой диаграммы:
 1) жидкость L – выше линии ликвидус $ECFDG$;
 2) компонент A – линия OHE ;
 3) компонент B – линия $100-N-G$;
 4) химическое соединение A_nB_n – линия PF .

Структурные составляющие сплавов этой системы и их области на диаграмме:
 1) кристаллы A – линия OHE ;
 2) кристаллы B – линия $100-NG$;
 3) кристаллы A_nB_n – линия PF ;
 4) эвтектика $эвт_1(A + A_nB_n)$ – линия CC' ;
 5) эвтектика $эвт_2(A_nB_n + B)$ – линия DD' .

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ, КОМПОНЕНТЫ КОТОРОЙ В ТВЕРДОМ ВИДЕ ОБРАЗУЮТ УСТОЙЧИВЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ (IV РОДА)



4. СВЯЗЬ МЕЖДУ ДИАГРАММАМИ СОСТОЯНИЙ И СВОЙСТВАМИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ



4. СВЯЗЬ МЕЖДУ ДИАГРАММАМИ СОСТОЯНИЙ И СВОЙСТВАМИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ

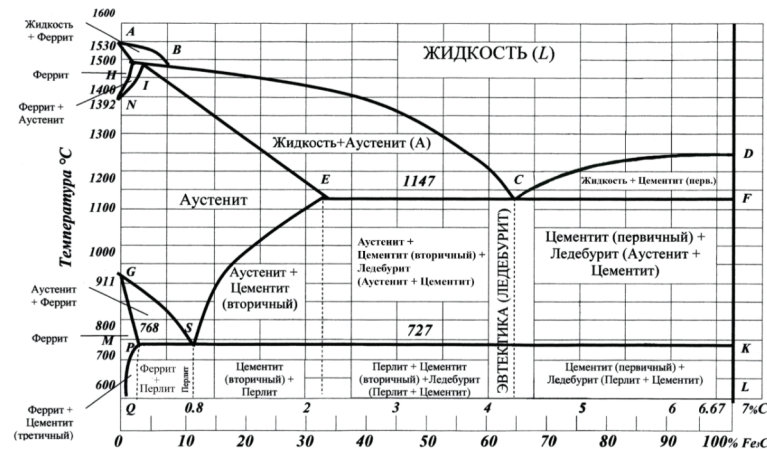
1. При образовании механической смеси свойства изменяются прямолинейно и их значения находятся в интервале между свойствами чистых компонентов (рис. а).
2. При образовании твердых растворов свойства изменяются по плавным кривым (рис. б).
3. При образовании ограниченных твердых растворов характер изменения свойств становится более сложным. В области однофазных твердых растворов α и β они изменяются по плавным кривым, в двухфазных – по прямолинейному закону (рис. в).
4. При образовании химического соединения свойства изменяются резко – скачком. Максимум или минимум на кривой изменения свойств соответствует точке химического соединения. Эта точка перелома, соответствующая химическому соединению, называется сингулярной точкой (рис. г).

По диаграммам состояния можно определить технологические свойства сплавов.

Чем больше расстояние между линиями ликвидуса и солидуса, тем больше интервал кристаллизации и тем больше склонность сплавов к ликвации и образованию усадочной пористости.

Лучшими литейными свойствами обладают эвтектические сплавы. Эти же сплавы лучше обрабатываются резанием. Однофазные сплавы - твердые растворы - лучше деформируются в холодном и горячем состоянии.

КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"



Лекция 1.4.

ДИАГРАММА ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ «ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД».

1. Фазы и двухфазные структуры в сплавах системы железо-углерод.
2. Железо и его сплавы.
3. Определение сплавов и чугунов.
4. Классификация сталей по структуре в равновесном состоянии.
5. Конструкционные и инструментальные углеродистые стали.
6. Классификация чугунов.

КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"

Железо (Fe) – металл серебристо-белого цвета с

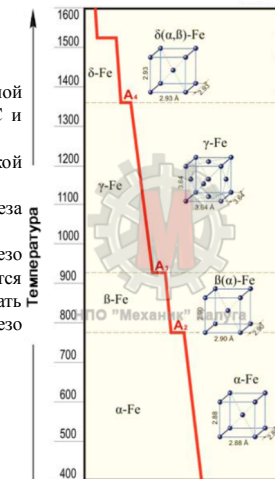
$T_{пл} = 1539^\circ\text{C}$. Имеет две полиморфные модификации:

– α – железо (Fe_α) с объемно-центрированной кубической (ОЦК) решеткой, существующее до 911°C и выше 1392°C ;

– γ – железо (Fe_γ) с гранецентрированной кубической решеткой, существующее в интервале 911°C – 1392°C .

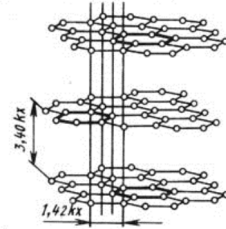
Иногда высокотемпературную модификацию железа с ОЦК – решеткой обозначают как δ – железо (Fe_δ).

До температуры 768°C (точка Кюри) железо ферромагнитное (магнитно), а выше – становится парамагнитным (не магнитно). Принято обозначать парамагнитное железо с ОЦК – решеткой как β -железо (Fe_β).



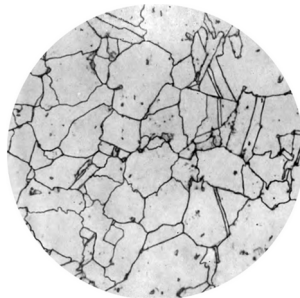
КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"

Углерод – неметалл, обычно существует в виде модификации графита, но может находиться в виде метастабильной модификации – алмаза. $T_{пл}$ – 4500–5000°С. Углерод с железом образует жидкий раствор, твердый раствор внедрения на основе α -железа и γ -железа.



КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"

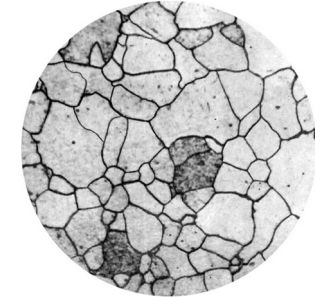
Аустенит (А) - твердый раствор внедрения углерода в γ -железе. В железоуглеродистых сплавах он может существовать только при высоких температурах. Предельная растворимость углерода в γ -железе 2,14% при температуре 1147°С и 0,8% - при 727°С. Аустенит имеет твердость НВ 160-200 и весьма пластичен ($\delta=40$ -50%).



Аустенит: $\times 500$. Светлые зерна с характерными двойниками кристалла твердого раствора углерода и других элементов в γ -железе

КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"

Феррит (Ф) - твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Растворимость углерода в α -железе при комнатной температуре до 0,005%; наибольшая растворимость - 0,02% при 727°С. Феррит имеет незначительную твердость (НВ 80-100) и прочность ($\sigma_{в}=250$ МПа), но высокую пластичность ($\delta=50\%$).

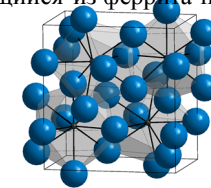


Феррит: $\times 500$. структура (светлые зерна α -железа, которое может содержать в твердом растворе до 0,006 % углерода)

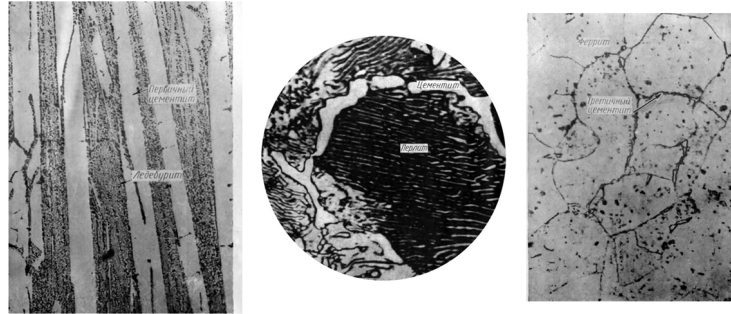
КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"

Цементит (Ц, Fe_3C) – химическое соединение железа с углеродом – карбид железа Fe_3C содержит 6,67% С. $T_{пл}$ – 1260° С. Он очень тверд (НВ~800), хрупок и практически не обладает пластичностью.

Фаза цементита имеет пять структурных форм: цементит первичный ($Ц_1$) – образующийся из жидкого сплава; цементит вторичный ($Ц_2$) – образующийся из аустенита; цементит третичный ($Ц_3$) – образующийся из феррита при охлаждении сплавов; цементит ледебурита; цементит перлита.



КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"



Цементит: *a* – первичный (массивные включения в заэвтектоидном чугуне), ×200; *b* – вторичный в неотоженной (заэвтектоидной) стали ×1000 (светлая сетка Fe₃C, который может содержать в твердом растворе железо, марганец, хром и другие элементы); *в* – третичный (мелкие включения и сетка в техническом железе), ×1500

КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"

Ледебурит (Л) – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита в интервале температур 1147 – 727°С или перлита и цементита при температурах ниже 727°С, содержащая 4,3 % углерода. Ледебурит имеет твердость НВ 600-700 и большую хрупкость.

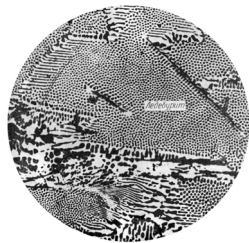


Рис. 10. Ледебурит; ×500, (эвтектика из характерных округлых темных включений перлита, расположенных в светлой цементитной основе).

Ледебурит аустенитный (Л_А) – эвтектическая смесь фаз А и Ц. Образуется при температуре 1147° С (линия ECD).

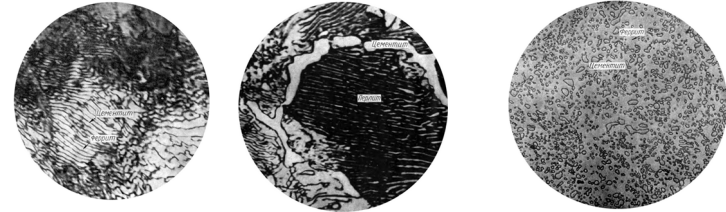
Ледебурит перлитный (Л_П) – эвтектическая смесь фаз П и Ц. Образуется из Л_А при температуре <727° С в результате распада аустенита.

КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"

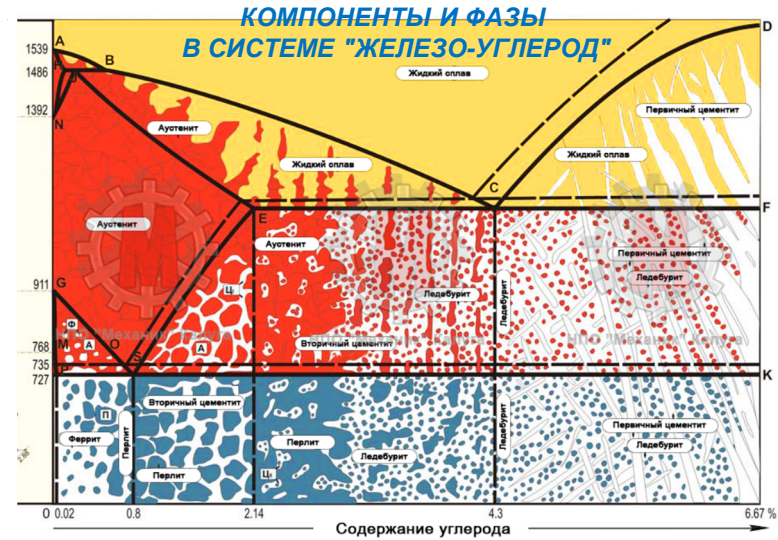
В дополнение к фазам в виде твердых растворов на диаграмме имеются области существования механических смесей:

Перлит (П) – механическая смесь (эвтектоид) феррита и цементита, содержащая 0,8 % С. При комнатной температуре зернистый перлит имеет предел прочности σв=800 МПа; относительное удлинение δ=15%; твердость НВ 160;

Эвтектоид — это механическая смесь двух фаз, образующаяся из твердого раствора (а не из жидкого сплава, как эвтектика).



Перлит: *a* – пластинчатый, ×2000(эвтектоид, состоящий из тонких пластинок цементита, расположенных на ферритной основе); *b* – Микроструктура перлита и цементита вторичного; *в* – зернистый; ×2000, (эвтектоид, состоящий из мелких зернышек цементита, расположенных на ферритной основе).



КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"

ABCD – линия ЛИКВИДУС показывает температуры начала затвердевания сплавов. При температурах выше температур, определяемых этой линией, все сплавы находятся в жидком состоянии, представляющем собой раствор углерода в железе (жидкая фаза).

АНJESF – линия СОЛИДУС. При температурах ниже температур, определяемых этой линией, все сплавы находятся в твердом состоянии.

AB – линия температур начала выделения из жидкого раствора кристаллов феррита.

BC и **CD** линии температур начала первичной кристаллизации аустенита (**BC**) и цементита (**CD**).

АН – линия температур окончания затвердевания сплавов, образующих феррит. По ней определяют состав феррита, кристаллизующегося при температурах, определяемых линией **AB**.

JE – линия солидуса аустенита, начало кристаллизации которого определяется линией **ABC**.

HJB – линия температур перитектического превращения при 1499 °С.

Перитектическое превращение отличается от эвтектического. Если при эвтектическом превращении из жидкой фазы одновременно кристаллизуются две твердые фазы, то при перитектическом превращении кристаллизуется лишь одна фаза, образующаяся за счет ранее выделившейся твердой фазы и жидкой части сплава определенного состава (точка С).

КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"

На диаграмме обозначены также следующие области и соответствующие им фазы:

- 1) область выше линии **ABC** – однородный жидкий сплав железа с углеродом;
- 2) **ABH** – жидкий сплав и δ- феррит;
- 3) **BCEJ** – жидкий сплав и аустенит;
- 4) **DCF** – жидкий сплав и цементит (первичный);
- 5) **AHN** – δ-феррит;
- 6) **HJN** – δ-феррит и аустенит;
- 7) **NJESG** – аустенит;
- 8) **EFKS** – аустенит и цементит (вторичный);
- 9) **GSP** – аустенит и феррит;
- 10) **QPG** – феррит;
- 11) **PKLQ** – феррит и цементит (вторичный и третичный).

КОМПОНЕНТЫ И ФАЗЫ В СИСТЕМЕ "ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД"

HN – линия предельной растворимости углерода в δ-железе. В то же время эта линия показывает начало перехода в γ-железо при охлаждении или конец этого превращения при нагреве.

JN – линия конца перехода γ-железа в α-железо при охлаждении или начала этого превращения при нагреве.

ECF – линия эвтектического превращения. Она обозначает температуру образования эвтектики (ледебурита) и температуру конца первичной кристаллизации сплавов, содержащих углерода более 2,14 %.

GS и **ES** – линии температур начала вторичных превращений (перекристаллизации). Линия **ES** также является линией предельной растворимости углерода в γ-железе в интервале температур от 1147 до 727 °С.

PG – линия температур конца первичной перекристаллизации аустенита в феррит (линия изменения растворимости углерода в феррите).

PSK – линия эвтектоидного превращения аустенита состава, соответствующего составу в точке S (C=0,8 %) при температуре 727 °С.

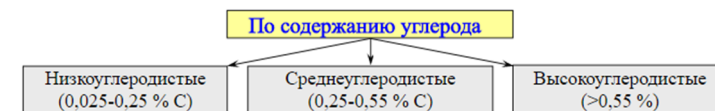
PQ – линия температур начала кристаллизации третичного цементита из феррита (линия переменной растворимости углерода в феррите при температуре от 727 °С до комнатной).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЛАВОВ И ЧУГУНОВ

В зависимости от содержания углерода

железоуглеродистые сплавы делят на две группы:

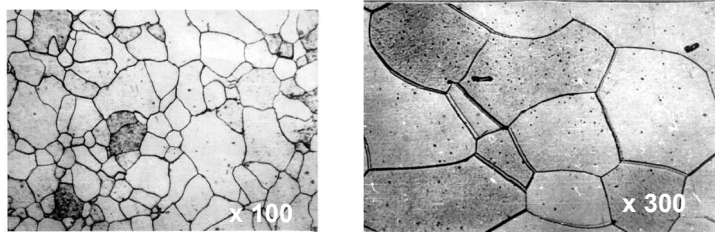
1. Стали: а) доэвтектоидные ($0,8 \% > C > 0,02 \%$);
б) эвтектоидные ($C \approx 0,8 \%$);
в) заэвтектоидные ($2,14 \% > C > 0,8 \%$);



2. Чугуны: а) доэвтектические ($4,3 \% > C > 2,14 \%$);
б) эвтектические ($C \approx 2,14 \%$);
в) заэвтектические ($6,67 \% > C > 4,3 \%$).

СПЛАВЫ С СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА МЕНЕЕ 0,02%С

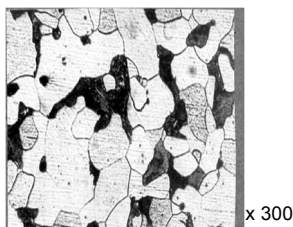
Техническое железо содержит от 0,006 (т. Q на диаг.сост.) до 0,02% углерода (т. P).



Твердость по Бринеллю 80-100 НВ

Его микроструктура представляет собой феррит и третичный цементит по границам зерен феррита, которые наблюдаются под микроскопом при больших увеличениях. Выделения третичного цементита по границам зёрен очень вредны, т. к. снижают прочность и ударную вязкость

Структура низкоуглеродистой дозвтектоидной стали (0,2% углерода)



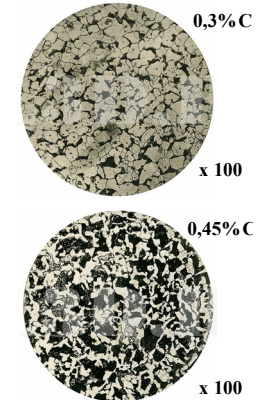
Твердость по Бринеллю 110-120 НВ

- Светлые (белые) участки твердого раствора феррита (Ф) и темные – перлита (П) пластинчатого строения.
- Структурные составляющие:
- феррит и перлит (Ф+П).
- Фазы:
- феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЛАВОВ И ЧУГУНОВ

Сталью называется сплав железа с углеродом, в котором углерода содержится не более 2,14%. Это теоретическое определение. На практике в сталях, как правило, не содержится углерода более 1,5%.

Дозвтектоидные стали – сплавы с содержанием углерода от 0.02% до 0.8%, структура - феррит и перлит. Зерна феррита на протравленном шлифе светлые, а перлит выглядит в виде темных участков неоднородного строения. При достаточно большом увеличении видно, что строение перлита пластинчатое.



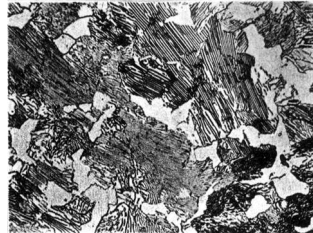
Структура среднеуглеродистой дозвтектоидной стали марки 45 (0,45% углерода)



Твердость по Бринеллю 140-160 НВ

- С ростом содержания углерода увеличивается количество темной перлитной структурной составляющей.
- Структурные составляющие:
- феррит и перлит (Ф+П).
- Фазы:
- феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C)

Структура доэвтектоидной стали с 0,6% углерода



x300

Твердость по Бринеллю
160-170 НВ

Основная структурная составляющая – перлит с небольшими участками феррита. С ростом доли перлитной составляющей возрастает и общая твердость стали.

Структурные составляющие:
феррит и перлит (Ф+П).

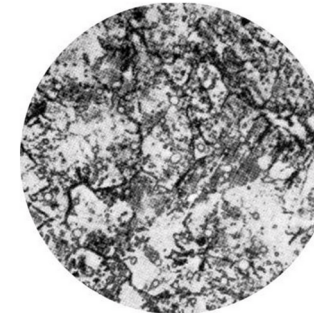
Фазы:

феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C)

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ ПО СТРУКТУРЕ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

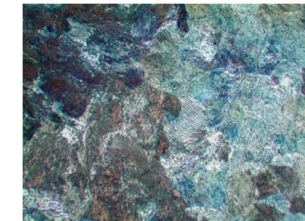
Эвтектоидные стали – сплавы с содержанием углерода 0.8%, структура – перлит.

Перлит состоит из пластинчатых кристаллов феррита и цементита.



Структура эвтектоидной стали:
× 1500

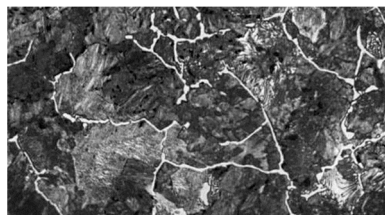
U8 Объектив 50X, NA 0.70



Особенности структуры:
эвтектоидная - пластинчатый перлит.

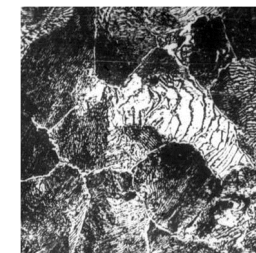
Классификация сталей по структуре в равновесном состоянии

Заэвтектоидная сталь характеризуется избыточным содержанием цементита, который может выделяться по границам зерен перлита. **Цементитная** сетка является значительным дефектом заэвтектоидной стали, приводящим к снижению ее прочности и вязкости.



Структура заэвтектоидной стали:
перлит (темный) и вторичный цементит (светлая сетка)

Структура заэвтектоидной стали марки У12 (1,2% углерода)

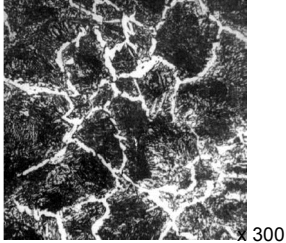


x 300

Твердость по Бринеллю 200-220 НВ

- Структура состоит из пластинчатого перлита (П), окруженного светлой сеткой избыточного цементита (Ц), выделившегося по границам бывшего аустенитного зерна.
- Структурные составляющие:
- перлит и цементит вторичный (П+Ц_{II}).
- Фазы: феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C).

Структура заэвтектоидной стали с 1,3% углерода



300

- Структура отличается от предыдущей большей толщиной цементитной сетки.
- Структурные и фазовые составляющие те же, что и выше.

Твердость по Бринеллю
200-220 НВ

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ

Качество стали характеризуется совокупностью свойств, определяемых процессом производства, химическим составом, содержанием газов и вредных примесей (серы и фосфора).



По назначению – стали общего назначения, конструкционные, инструментальные, специальные.

Стали общего назначения всегда углеродистые обыкновенного качества. Применяются для производства машин, станков, строительных металлоконструкций, предметов широкого потребления.

Стали обыкновенного качества обозначают буквами Ст и цифрами от 0 до 6, например Ст.2, Ст.3.

Буквы Ст обозначают сталь, цифры от 0 до 6 – условный номер марки стали в зависимости от химического состава.

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ



При введении в углеродистые стали **специальных легирующих добавок** (Cr, Mn, Ni, Si, VV, Mo, Ti, Co, V и др.) достигается значительное улучшение их физико-механических свойств (например, повышение предела текучести без снижения пластичности и ударной вязкости и т. д.).

Марка легированной качественной стали состоит из сочетания букв и цифр, обозначающих ее химический состав. Легирующие элементы имеют следующие обозначения: хром (Х), никель (Н), марганец (Г), кремний (С), молибден (М), вольфрам (В), **титан** (Т), тантал (ТТ), **алюминий** (Ю), ванадий (Ф), медь (Д), бор (Р), кобальт (К), ниобий (Б), цирконий (Ц), селен (Е), редкоземельные металлы (Ч).

Пример: 03X16N15M3Б — высоколегированная качественная сталь, которая содержит 0.03% С, 0.16% Cr, 0.15% Ni, до 0.3% Mo, до 1.0% Nb.

КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ

Конструкционные стали применяются для изготовления деталей машин и механизмов (зубчатые колеса, штоки, валы). Это качественные углеродистые и низколегированные стали.

Маркируются двухзначным числом, указывающим содержание углерода в сотых долях процента. Например: сталь 20 (0,2 % С), сталь 45 (0,45 % С).

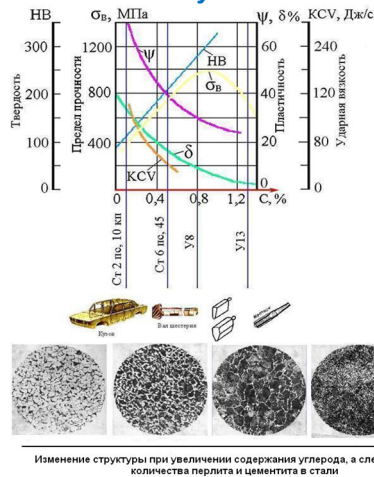
Инструментальные стали используют для производства режущего, измерительного и штампового инструмента. Инструментальные стали всегда качественные и высококачественные. Они могут быть как углеродистыми, так и легированными.

Инструментальные качественные углеродистые стали маркируются буквой У (углеродистая инструментальная сталь) и числом, указывающим содержание углерода в десятых долях процента.

Например: сталь У8 (0,8 % С), сталь У13 (1,3 % С).

Специальные стали разработаны для особых условий эксплуатации: при повышенной и пониженной температуре, в агрессивной среде. Это всегда высококачественные и особо высококачественные высоколегированные стали. К ним относятся жаростойкие и жаропрочные стали, нержавеющие стали, криогенные стали и др.

Изменение микроструктуры и свойств сталей с увеличением кол-ва углерода

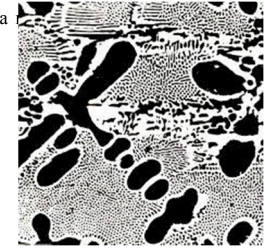


КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУГУНОВ

В зависимости от состояния и содержания углерода чугуны различают: белые и серые.

В белом чугуне (такое название он получил по цвету излома) углерод химически связан с железом в виде цементита Fe_3C . Белый чугун обладает высокой твёрдостью, хрупкостью и плохой обрабатываемостью резанием. Основная масса белого чугуна идет на переделку в сталь.

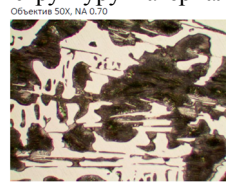
В сером чугуне (серый излом) углерод находится в свободном состоянии в виде графитовых включений. Серый чугун отличается от белого меньшей твёрдостью и хрупкостью, а также хорошей обрабатываемостью резанием. Хорошие литейные свойства серого чугуна играют важную роль при получении отливок.



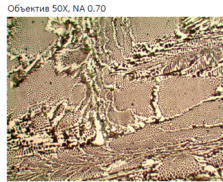
Структура серого чугуна, x100

КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУГУНОВ

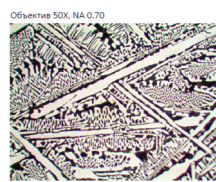
В зависимости от содержания углерода чугун называется **доэвтектическим** (2,14-4,3%С), **эвтектическим** (4,3 %) или **заэвтектическим** (4,3-6,67 %). Состав сплава влияет на структуру материала.



Структура перлита темные участки, пестрой эвтектики ледебурита (перлит + цементит) и вторичного цементита.

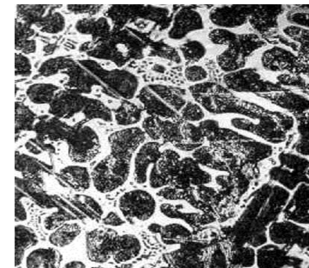


микроструктура - ледебурит (перлит и цементит).



состоит из первичного цементита, который образовался при кристаллизации чугуна – светлые иглы и ледебурита, представляющего смесь перлита и цементита.

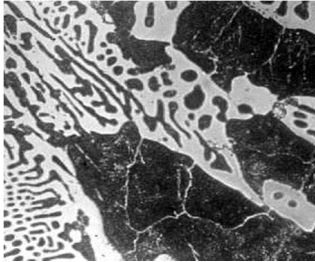
Структура низкоуглеродистого доэвтектического белого чугуна с 3,3% углерода



x 300

- Темные участки распавшегося (на перлит) избыточного твердого раствора аустенита (А) и пестрая эвтектика – распавшийся ледебурит – между ними. Внутри распавшегося аустенита видны светлые выделения вторичного цементита (C_{II}).
- Структурные составляющие: аустенит распавшийся (перлит), ледебурит распавшийся и цементит вторичный ($A_p + L_p + C_{II}$).
- Фазы: Феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C). При температуре выше A_1 фазы: аустенит (γ -фаза) и цементит.

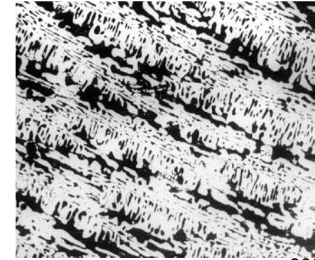
Структура доэвтектического белого чугуна с 4,0% углерода



x 600

- Большое увеличение позволяет увидеть внутри распавшегося аустенита светлые выделения вторичного цементита (L_{II}) в виде сетки по границам зерен.
- Структурные составляющие: аустенит распавшийся (перлит), ледеburит распавшийся и цементит вторичный ($A_p + L_p + L_{II}$).
- Фазы: феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C). При температуре выше A_1 фазы – аустенит (γ -фаза) и цементит.

Эвтектический чугун (4,3% углерода)



x 300

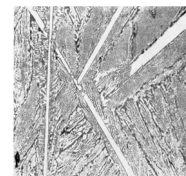
- Структура состоит из эвтектики (распавшегося ледеburита – L_p), представляющей собой равномерно распределенные темные участки распавшегося твердого раствора аустенита (A) и светлые участки цементита (Ц).
- Структурные составляющие: эвтектика (L_p).
- Фазы: феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C). При температуре выше A_1 – аустенит и цементит

Твердость по Бринеллю 500-520 НВ

Заэвтектический чугун

- Структура заэвтектического чугуна состоит из эвтектики (ледеburит) и первичного цементита, выделяющегося при кристаллизации из жидкости в виде крупных пластин.

Заэвтектический чугун (5% углерода)



x 100

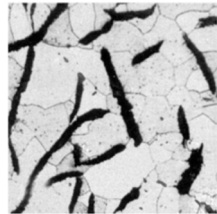


x 700

- Белые пластинки избыточного первичного цементита (L_I) и пестрая эвтектика (ледеburит распавшийся – L_p) между ними.
- Структурные составляющие: эвтектика (ледеburит распавшийся) и цементит первичный ($L_p + L_I$).
- Фазы: феррит (α -фаза) и цементит (карбид железа Fe_3C).

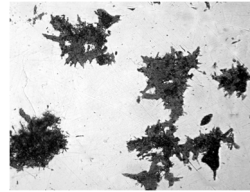
Твердость по Бринеллю 630-650 НВ

КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУГУНОВ

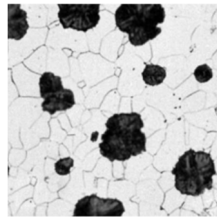


По форме графитовых включений различают:

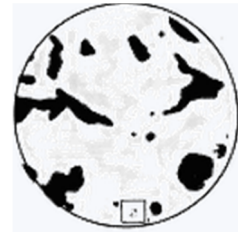
чугун серый с пластинчатым графитом (а),



чугун высокопрочный с шаровидным графитом (б),



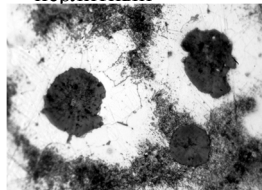
чугун ковкий с хлопьевидным графитом (в),



чугун с вермикулярным (червеобразным) графитом (г)

КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУГУНОВ

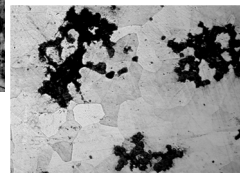
По типу структуры металлической основы чугун бывает: чугун ферритный, чугун перлитный, чугун ферритно-перлитный



чугун ферритный



чугун перлитный



чугун ферритно-перлитный

КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУГУНОВ

По химическому составу чугуны подразделяют на нелегированный и легированный.

Нелегированный чугун содержит железо, углерод и обычные примеси – кремний, марганец, серу и фосфор.

Легированный чугун имеет более сложный химический состав: в качестве легирующих элементов используются никель, хром, молибден, медь и другие элементы, а также кремний и марганец в количестве, превышающем их примесное содержание.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУГУНОВ

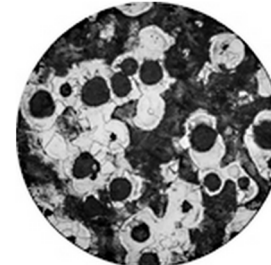
По назначению различают чугуны: чугун общего назначения (серый, ковкий, высокопрочный и др.),

Высокопрочный чугун имеет шаровидные графитные включения.

Маркируется высокопрочный чугун буквами ВЧ и цифрами, показывающими предел прочности в десятых долях мегапаскаля.

Например, чугун ВЧ 60 имеет $\sigma = 600$ МПа.

Применяются высокопрочные чугуны для изготовления ответственных деталей — зубчатых колес, валов и др.



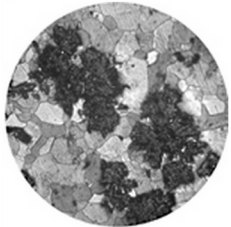
ВЧ 60-5. Высокопрочный серый чугун на ферритно-перлитной металлической основе. Модифицирование магнием. Глобулярные включения графита (черный) окруженные слоем феррита (светлый) в темной перлитной матрице

КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУГУНОВ

Ковкий чугун имеет хлопьевидные графитные включения. Его получают из белого чугуна путем графитизирующего отжига, который заключается в длительной (до 2 суток) выдержке при температуре 950-970°C.

Маркируется ковкий чугун буквами КЧ и двумя числами, показывающими предел прочности в десятых долях мегапаскаля и относительное удлинение в %.

Так, чугун КЧ 45-7 имеет $\sigma_b = 450$ МПа и $\delta = 7\%$.



КЧ 35-10 (феррит, графит хлопьевидный). Ковкий чугун на ферритной металлической основе. Хлопьевидные включения графита (темно-серые) в ферритной матрице.

Лекция 1.5-1.6.

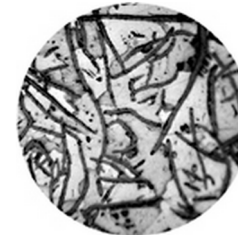
ОСНОВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

1. Преобразование в сталях при нагревании.
2. Изотермический преобразования переохлажденного аустенита.
3. Термокинетические превращения аустенита.
4. Преобразование мартенсита и остаточного аустенита при нагреве.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУГУНОВ

Серый чугун. В структуре серого чугуна имеется графит, число, фигура и распределение которого могут изменяться в обширных границах

Обозначаются индексом СЧ (серый чугун) и числом, которое показывает значение предела прочности, умноженное на 10^{-1} СЧ15.

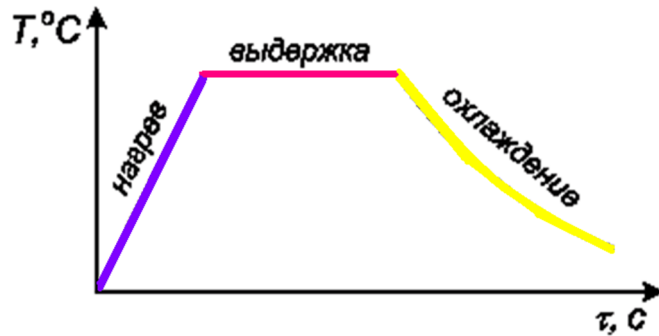


СЧ 15 (феррит, графит крабовидный) Серый чугун на ферритной металлической основе. Темные включения крабовидного (пластинчатого) графита в ферритной матрице.

Свойства сплава зависят от его структуры. Основной способ позволяющий изменять структуру и свойства является **термическая обработка**.

Различают **упрочняющую** термическую обработку, при которой **повышаются твердость, прочность и износостойкость**, и **разупрочняющую** обработку, **повышающую пластические свойства и вязкость**, но **снижающую твердость и сопротивление деформации** и разрушению.

Термическая обработка представляет собой совокупность операций *нагрева, выдержки и охлаждения*, выполняемых в определенной последовательности при определенных режимах, с целью изменения внутреннего строения сплава и получения нужных свойств (представляется в виде графика в осях температура – время)



A_{c1} – линия PSK ($727\text{ }^{\circ}\text{C}$) – превращение перлита в аустенит $P \rightarrow A$, происходит при нагреве выше критической температуры A_{c1} , минимальной свободной энергией обладает аустенит.

A_{r1} – превращение аустенита в перлит $Fe\gamma \rightarrow [Fe\alpha + Fe_3C]$;

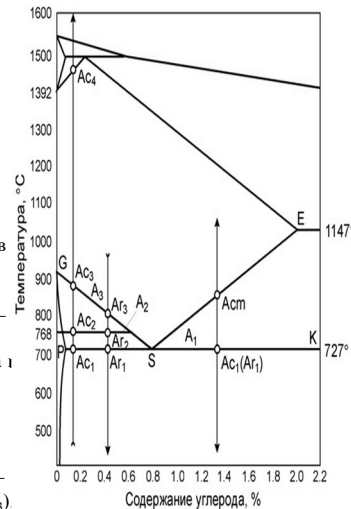
A_{c2} – линия, соответствующая точке Кюри ($768\text{ }^{\circ}\text{C}$) превращение магнитного феррита в немагнитный $Fe\alpha \rightarrow Fe\beta$;

A_{r2} – превращение немагнитного феррита в магнитный $Fe\beta \rightarrow Fe\alpha$;

A_{c3} – линия GS (переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве) – соответствующая началу выделения феррита из аустенита или концу превращения феррита в аустенит $\Phi \rightarrow A, Fe_3C (II) \leftrightarrow Fe\gamma$;

A_{r3} – появление первых кристаллов $Fe\alpha$ из $Fe\gamma$;

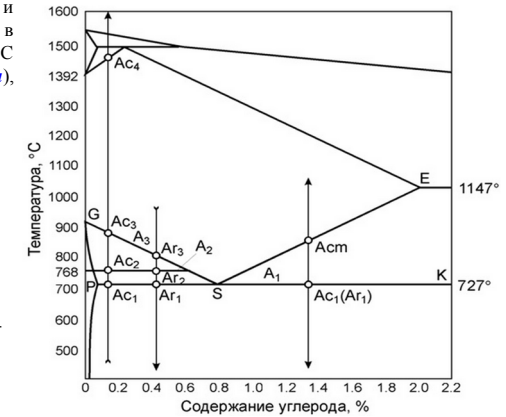
A_{cm} – линия SE – переменная температура, зависящая от содержания углерода в сплаве, – начало выделения U_{II} (иногда обозначается A_3)



Термическая обработка стали основана на *фазовых превращениях*, происходящих *при нагреве* ее выше критических температур и *охлаждении с различными скоростями*.

Температуры, при которых происходят *фазовые* и *структурные превращения* в сплавах системы Fe-C (критические точки), обозначают б. А.

При обозначении процесса нагрева добавляют букву (с) – A_{c1} , охлаждения – букву (r) – A_{r1} .



При нагреве и охлаждении превращения совершаются при различных температурах. В *структурных превращениях* в стали, *основными* являются *три структуры*, а переход их из одной в другую *характеризует основные превращения*.

Эти структуры:

аустенит – твердый раствор углерода в γ -железе ($Fe\gamma$);

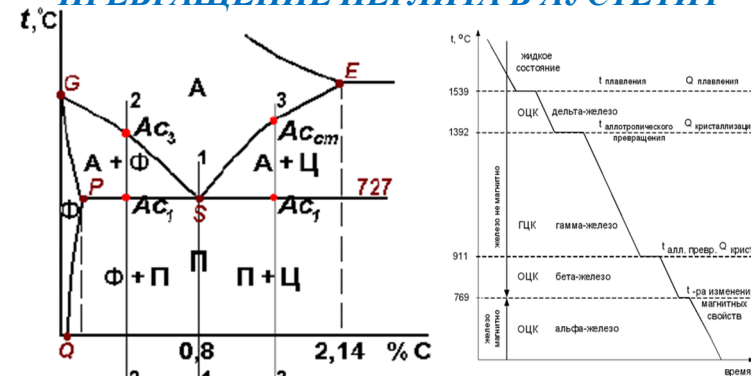
мартенсит – твердый раствор углерода в α -железе ($Fe\alpha$);

перлит – эвтектоидная смесь феррита и карбида $[Fe\alpha + Fe_3C]$.

При термической обработке стали происходят **четыре основных превращения:**

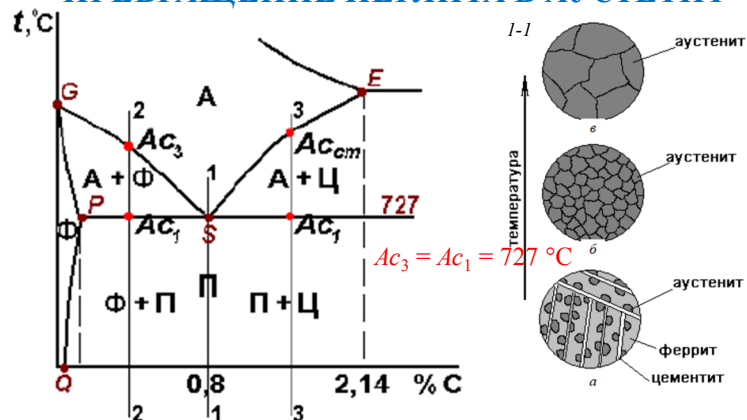
- 1) **перлита в аустенит** выше точки A_1 : минимальной свободной энергией обладает аустенит.
 $\alpha + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \gamma$, или $\text{П} \rightarrow \text{А}$;
- 2) **аустенита в перлит** ниже точки A_1 : минимальной свободной энергией обладает перлит.
 $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$, или $\text{А} \rightarrow \text{П}$;
- 3) **аустенита в мартенсит**: происходит при быстром охлаждении ниже температуры неустойчивого равновесия.
 $\gamma \rightarrow \text{М}$, или $\text{А} \rightarrow \text{М}$;
- 4) **мартенсита в перлит**: происходит при любых температурах, т.к. свободная энергия мартенсита больше, чем свободная энергия перлита.
 $\text{М} \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$, или $\text{М} \rightarrow \text{П}$.

ПРЕВРАЩЕНИЕ ПЕРЛИТА В АУСТЕТИТ



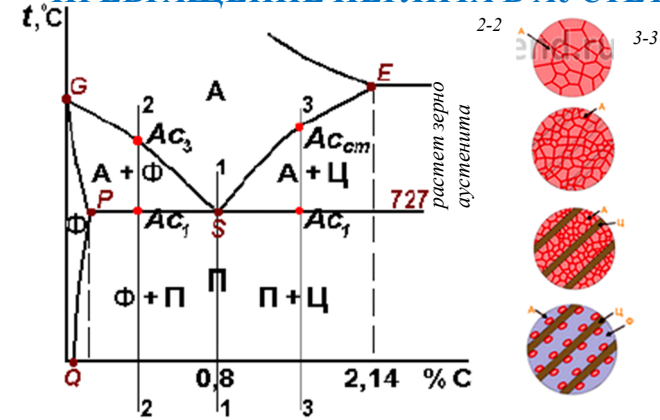
При температуре $Ac_1 = 727^\circ\text{C}$ начинается превращение $\text{П} \rightarrow \text{А}$. При переходе критической температуры Ac_1 , превращение сопровождается два || процесса: полиморфное превращение $\alpha\text{-Fe}$ (ОЦК) \rightarrow $\gamma\text{-Fe}$ (ГЦК) и растворение цементита в $\gamma\text{-Fe}$.

ПРЕВРАЩЕНИЕ ПЕРЛИТА В АУСТЕТИТ



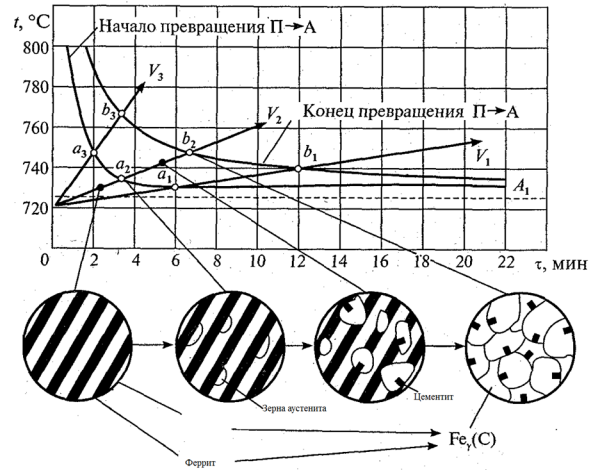
Стимул превращения – разница в свободной энергии новой и старой фазы: при повышенных температурах γ -железо обладает меньшим запасом свободной энергии и является равновесной фазой.

ПРЕВРАЩЕНИЕ ПЕРЛИТА В АУСТЕТИТ



Стимул превращения – разница в свободной энергии новой и старой фазы: при повышенных температурах γ -железо обладает меньшим запасом свободной энергии и является равновесной фазой.

ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПЕРЛИТА



ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПЕРЛИТА

Окончании превращения перлита в аустенит образуется большое количество малых астеничных зерен. Размер этих зерен характеризует так называемую величину начального зерна аустенита.

Дальнейший нагрев (или выдержка) по окончании превращения вызывает рост аустенитных зерен.

Рост зерна — самопроизвольно протекающий процесс, так как при этом уменьшается суммарная поверхность зерен (уменьшается поверхностная энергия), высокая температура обеспечивает лишь достаточно его скорость.

начальным зерном — размер аустенитного зерна в момент окончания перлитно-аустенитного превращения;

действительным зерном — зерном аустенита, полученным в данных конкретных условиях нагрева;

наследственным зерном — зерном аустенита, характеризующим склонность зерна к росту при высоких температурах.

ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПЕРЛИТА

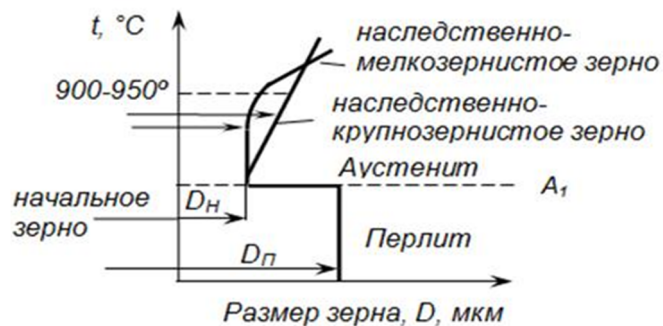
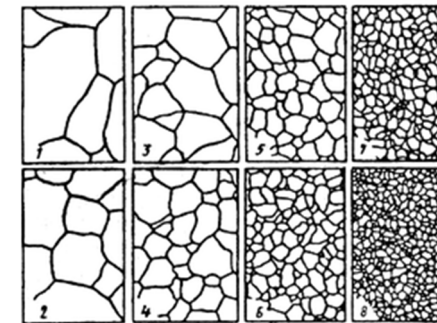


Схема роста зерна аустенита в наследственно мелкозернистой и крупнозернистой эвтектидной стали

ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПЕРЛИТА

Для определения величины наследственного зерна, образцы нагревают до 930 $^\circ\text{C}$ и затем определяют размер зерна.

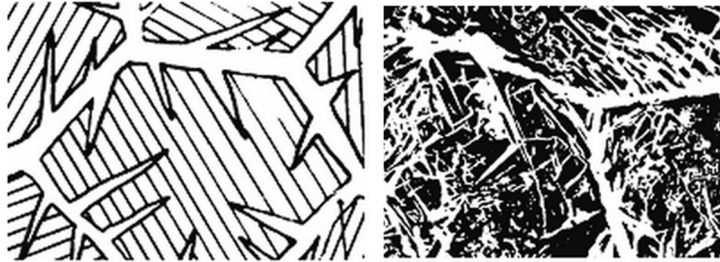
Природную зернистость сталей оценивают баллами специально разработанной шкалы зернистости (ГОСТ 5639-82).



ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПЕРЛИТА

Нагрев доэвтектоидной стали до температуры, значительно превышающей A_3 . (1100–1200 °С) и последующее охлаждение, приводит к образованию структуры, состоящей из крупных игл избыточного феррита, прорезающих крупные зерна перлита.

Такая структура названа Видманштеттовой структурой.



ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ ПЕРЛИТА

Неправильный режим нагрева может привести..

Перегрев. Нагрев доэвтектоидной стали значительно выше температуры A_3 приводит к **интенсивному росту зерна аустенита**. При охлаждении **феррит** выделяется в виде **пластинчатых или игольчатых кристаллов**. Такая структура называется видманштеттовой структурой и характеризуется пониженными механическими свойствами.

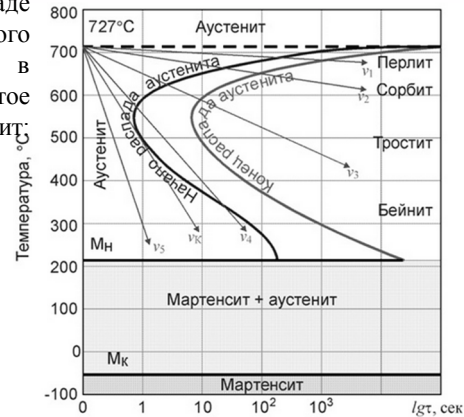
Перегрев можно исправить повторным нагревом до оптимальных температур с последующим медленным охлаждением.

Пережог имеет место, когда температура нагрева приближается к температуре плавления. При этом наблюдается окисление границ зерен, что резко снижает прочность стали. Излом такой стали камневидный.

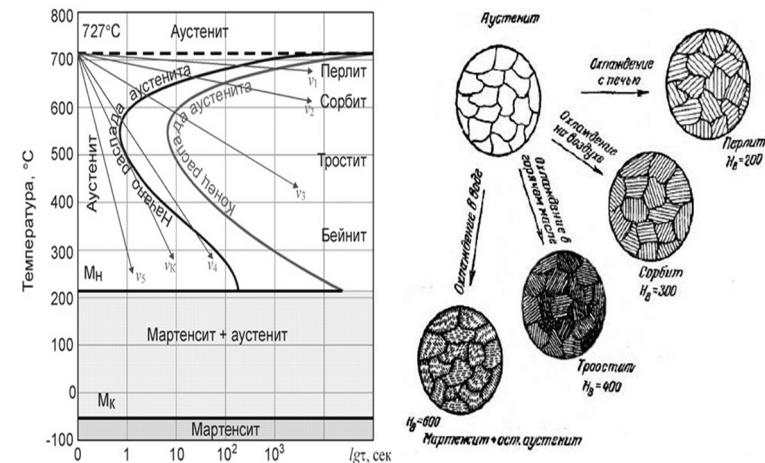
Пережог – неисправимый брак.

ПРЕВРАЩЕНИЕ А→П ПРИ МЕДЛЕННОМ ОХЛАЖДЕНИИ

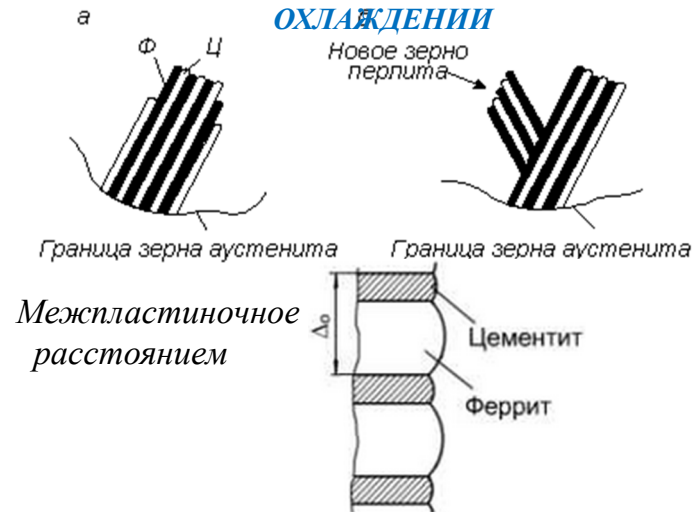
Преобразование $A \rightarrow П$ заключается в распаде аустенита – твердого раствора углерода в γ -железе, на почти чистое α -железо и цементит: $Fe_\gamma(C) = Fe_\alpha + Fe_3C$.



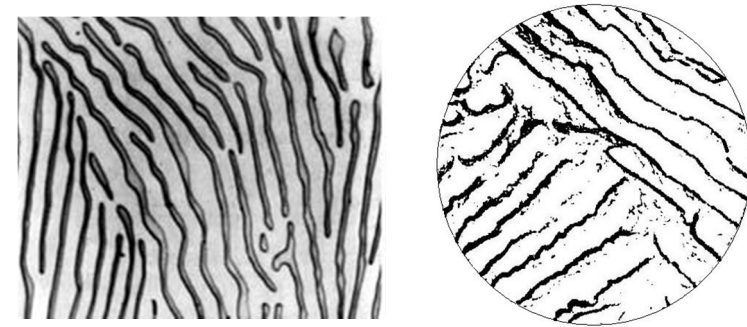
ПРЕВРАЩЕНИЕ А→П ПРИ МЕДЛЕННОМ ОХЛАЖДЕНИИ



ПРЕВРАЩЕНИЕ А→П ПРИ МЕДЛЕННОМ ОХЛАЖДЕНИИ



ПРЕВРАЩЕНИЕ А→П ПРИ МЕДЛЕННОМ ОХЛАЖДЕНИИ



Микроструктура перлита: а– $\times 1000$; б– $\times 1500$

ПРЕВРАЩЕНИЕ А→П ПРИ МЕДЛЕННОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Продукты перлитного превращения по величине зерна (или по дисперсности структуры) условно подразделяют:

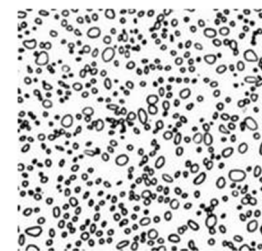
| Структура | Температура образования, °С | Межпластиночное расстояние, мкм | Твердость, НВ |
|-----------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|
| перлит | > 670 | 0,5–0,7 | 170–230 |
| сорбит | 590–640 | 0,3–0,4 | 230–330 |
| троостит | 550–580 | 0,1–0,2 | 330–400 |

ПРЕВРАЩЕНИЕ А→П ПРИ МЕДЛЕННОМ ОХЛАЖДЕНИИ

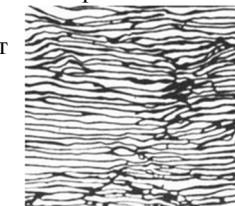
Таким образом, перлит, сорбит и троостит – это структуры с одинаковой природой (Ф+Ц), отличающиеся между собой степенью дисперсности частиц Ф. и Ц.

Перлит может иметь зернистое и пластинчатое строение.

Однородный аустенит образует пластинчатый перлит.



Неоднородный аустенит при всех степенях переохлаждения превращается в зернистый перлит.



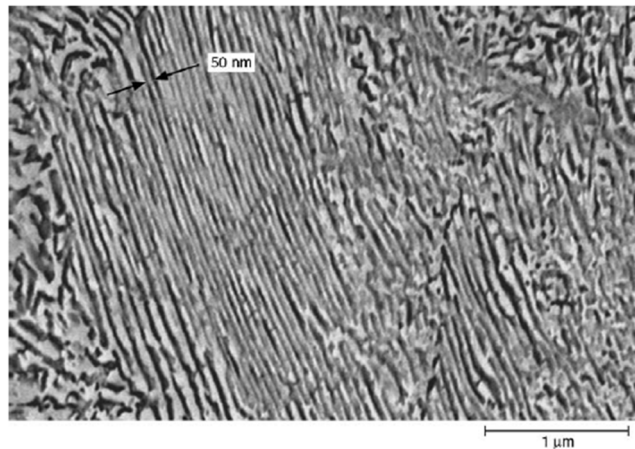
ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ

Механизм превращения состоит в том, что *внутри аустенита происходит перераспределение атомов углерода* и *участки аустенита*, обогащенные углеродом *превращаются в цементит*.

Дисперсность кристаллов феррита и цементита зависят от температуры превращения.

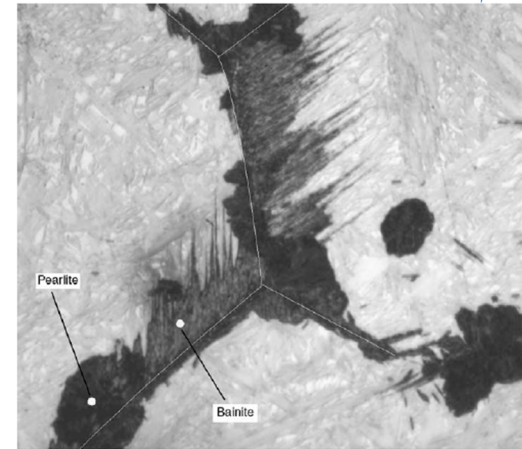
При температуре 550°C – $\Delta_0 = 0,12 \cdot 10^{-3}$ мм – *верхний бейнит*. Структура характеризуется недостаточной прочностью, при низких относительном удлинении (δ) и ударной вязкости.

При температуре 300°C – $\Delta_0 = 0,08 \cdot 10^{-3}$ – *нижний бейнит*. Структура характеризуется высокой прочностью в сочетании с пластичностью и вязкостью.

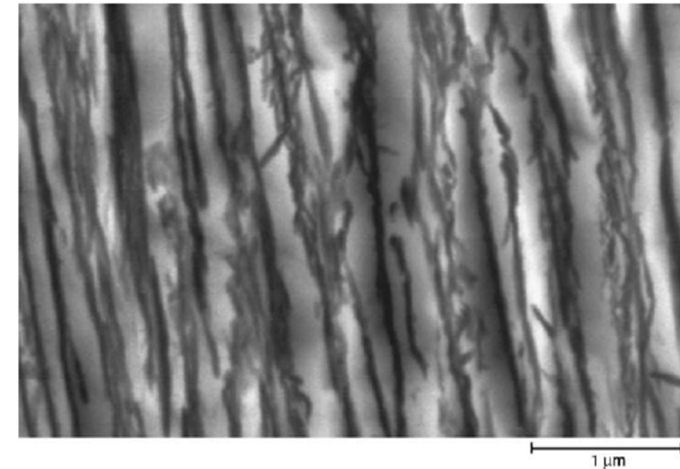


микрофотография перлита .Оригинальный увеличение: 21000 ×

ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ



Смешанные структуры перлита и бейнита, образованные на границах аустенитных зерен указанные белыми линиями .



микрофотография бейнита . Оригинальный увеличение: 20000 ×

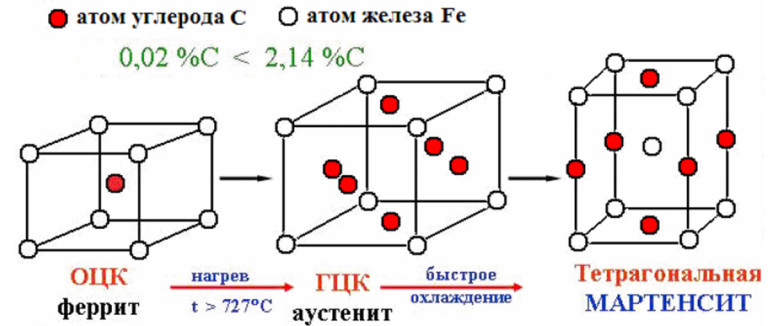
ПРЕВРАЩЕНИЕ A→M ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ

Данное превращение имеет место при высоких скоростях охлаждения, когда диффузионные процессы подавляются. Сопровождается полиморфным превращением в γ -Fe в α -Fe.

При быстром охлаждении стали аустенит *переохлаждается* до температур, где *диффузия* атомов практически *отсутствует*. Наличие *полиморфизма* вызывает *обратное превращение* кристаллической решетки стали из ГЦК в ОЦК ($Fe-\gamma \rightarrow Fe-\alpha$).

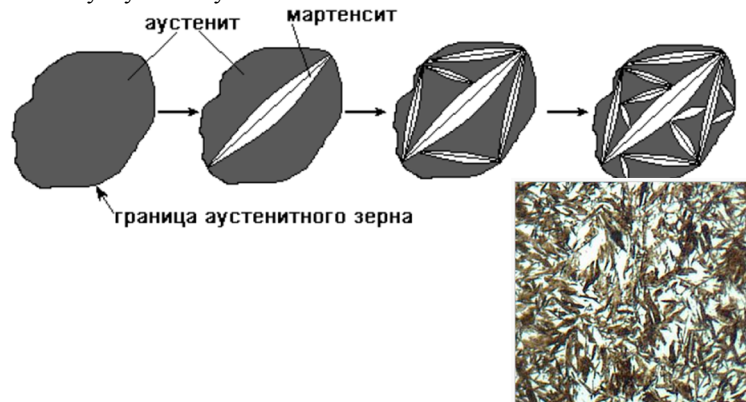
При этом ОЦК решетка искажается, превращаясь в тетрагональную, т.е. принимает форму прямоугольной призмы.

ПРЕВРАЩЕНИЕ A→M ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ



ПРЕВРАЩЕНИЕ A→M ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ

Мартенситный кристалл имеет форму пластины, похожей на выпуклую линзу.



ПРЕВРАЩЕНИЕ A→M ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ

Мартенсит имеет очень высокую твердость: при содержании углерода 0,8 % она составляет 65 HRC (670 HB), а относительное удлинение и ударная вязкость близки к нулю.

Мартенсит является хрупкой структурой, пластически не деформируется и режущим инструментом не обрабатывается.

ПРЕВРАЩЕНИЕ $A \rightarrow M$ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ

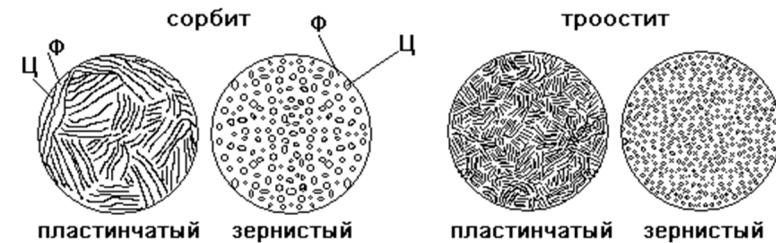
Мартенсит является неравновесной структурой. Атомы углерода, внедренные в кристаллическую решетку α -железа, создают внутренние напряжения. Поэтому мартенсит обладает повышенным запасом внутренней энергии.

При нагреве мартенсита углерод выделяется из α -твердого раствора, образуя при этом цементит Fe_3C .

Мартенсит распадается на феррито-цементитную смесь.

ПРЕВРАЩЕНИЕ $M \rightarrow P$ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ

В зависимости от температуры и времени превращения могут возникнуть структуры сорбита и троостита. Они имеют зернистое, а не пластинчатое строение, в отличие от сорбита и троостита, полученных при распаде переохлажденного аустенита.



ПРЕВРАЩЕНИЕ $A \rightarrow M$ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ

Мартенсит закалки – неравновесная структура, сохраняющаяся при низких температурах. При закалке возникают большие внутренние напряжения в результате объемных изменений: мартенсит имеет больший объем, чем аустенит. Различают четыре основных превращения, происходящих при нагреве закаленной стали.

I превращение. В интервале температур **80–200°C** в отдельных участках исходного мартенсита происходит выделение тончайших пластин карбида железа, так называемый *ϵ -карбид*, по составу близкий к Fe_3C . В результате образуется структура отпущенный мартенсит.

II превращение. В интервале температур **200–300°C** остаточный аустенит переходит в отпущенный мартенсит. При этом происходит уменьшение тетрагональности мартенсита и при температурах ближе к 300°C начинается обособление и рост частичек карбида.

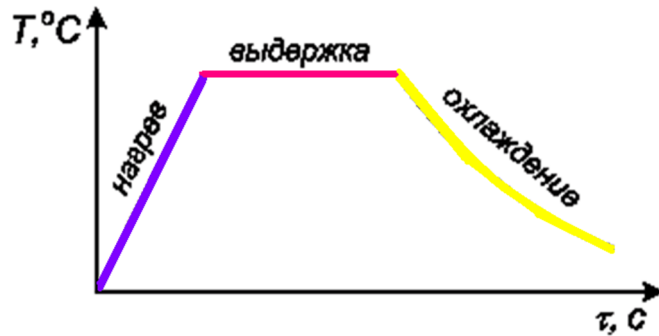
III превращение. В интервале температур **300–400°C** карбидные частицы полностью обособляются, приобретают строение Fe_3C и начинают расти. Образующаяся высокодисперсная смесь феррита и цементита называется трооститом отпуска.

Лекция 1.7.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

1. Классификация ТО.
2. Отжиг.
3. Закалка.
4. Отпуск.

Термическая обработка представляет собой совокупность операций *нагрева, выдержки и охлаждения*, выполняемых в определенной последовательности при определенных режимах, с целью изменения внутреннего строения сплава и получения нужных свойств (представляется в виде графика в осях температура – время)



ОТЖИГ

Отжиг является разупрочняющей ТО.

Отжиг металлов – один из видов ТО, который заключается в нагреве (до определенной температуры), выдержке и охлаждении (обычно медленном).

При отжиге структуры сплава переходят в более равновесные состояния, происходят рекристаллизация, гомогенизация по составу.

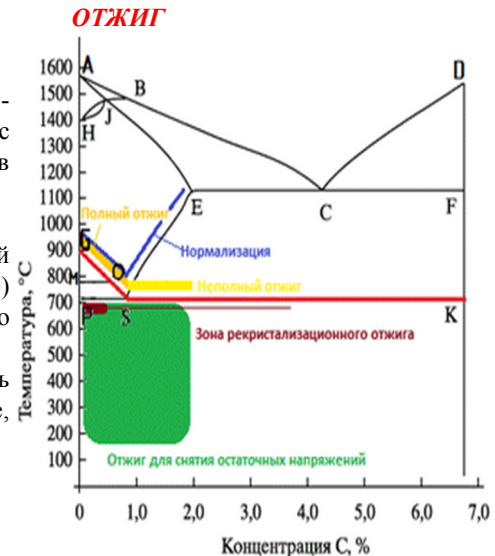
Отжигом стали и иных сплавов добиваются: снижения твёрдости, улучшения обрабатываемости резанием давлением, однородности сплава, улучшения структуры сплава (по форме и или размеру элементов), снятия внутренних напряжений.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ



Отжигом I рода называют нагрев стали с неравновесной в результате предшествующей обработки структурой до (или ниже) температуры фазового превращения.

Цель: Перевести сталь в более устойчивое, равновесное состояние.



ОТЖИГПример:

– *рекристаллизационный отжиг (низкий)* для снятия наклепа; *смягчающий отжиг* для улучшения обрабатываемости резанием.

– *рекристаллизационный отжиг стали* заключается в нагреве до температур около линии *PSK* и выдержке 0,5–1,5 ч на ней. Происходит рекристаллизация феррита, что повышает пластичность стали и облегчает обработку давлением.

– *смягчающий отжиг (отжиг металлов для снятия остаточных напряжений)* предотвращает изменение размеров и формы изделий со временем. Производят нагревом до температур 160–700°C с последующим медленным охлаждением. Применяют для отливок, сварных изделий, пластически-деформированных деталей, деталей обработанных резанием;

ОТЖИГ

Цель: Получить устойчивое, равновесное состояние.

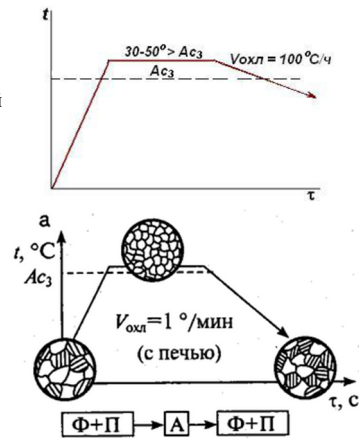
Разновидности:

1) **Полный отжиг** доэвтектоидных сталей выполняется с целью полной фазовой перекристаллизации.

Таким образом, если структура была дефектная (крупные зерна, зерна искаженной формы и т. п.), то при полном отжиге она исправляется, получается однородной и мелкозернистой.

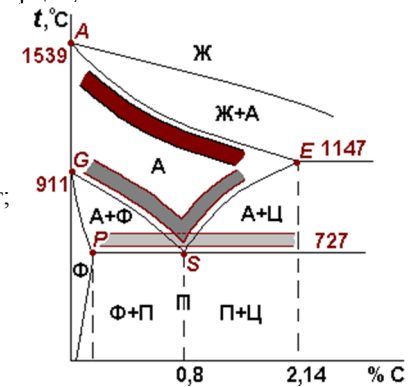
Сталь после отжига имеет хорошие пластические свойства и низкую твердость. Это обеспечивает хорошую обрабатываемость стали резанием и давлением.

Отжиг полностью снимает остаточные напряжения.

**ОТЖИГ**

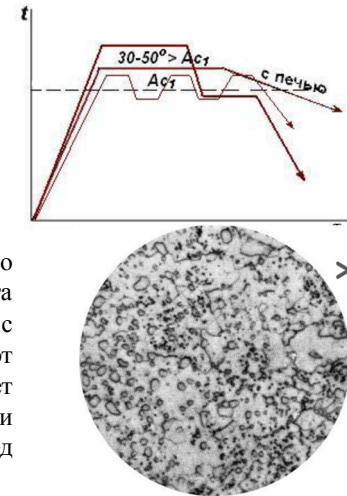
Отжигом II рода называют нагрев стали выше линии фазовых превращений (*GSK* в случае отжига стали), выдержке, медленном охлаждении (на воздухе или вместе с печью, с открытой или закрытой дверцей, с полностью или частично выключенным нагревом)

– неполный отжиг;
– полный отжиг и нормализация;
– диффузионный отжиг.

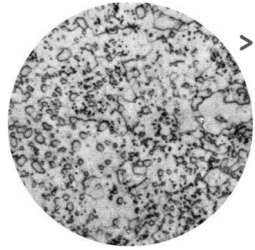
**ОТЖИГ**Разновидности:

Неполный отжиг заэвтектоидных (инструментальных) сталей выполняется с целью получения структуры зернистого перлита. Для этого сталь нагревают на 30–50° выше критической точки Ac_1 (т. е. линии *PSK*).

Инструментальные стали со структурой зернистого перлита мягче и пластичнее, чем с пластинчатым перлитом. Этот способ отжига повышает обрабатываемость стали и улучшает ее структуру перед закалкой.

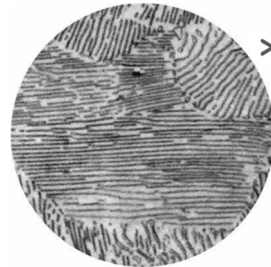


ОТЖИГ



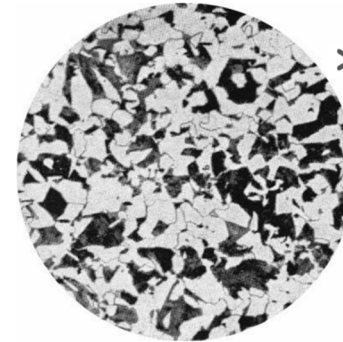
Отжиг на зернистый перлит при 700° С в течение 2 ч, охлаждение на воздухе. Твердость 236 НВ.

Термообработка: 845° С в течение 10 мин, Охлаждение в течение 20 ч до 500° С .
Твердость 255 НВ



ОТЖИГ

При неполном отжиге доэвтектоидной стали ферритная составляющая структуры не изменяется, так как феррит сохраняется при нагреве. Поэтому полного исправления структуры не происходит.

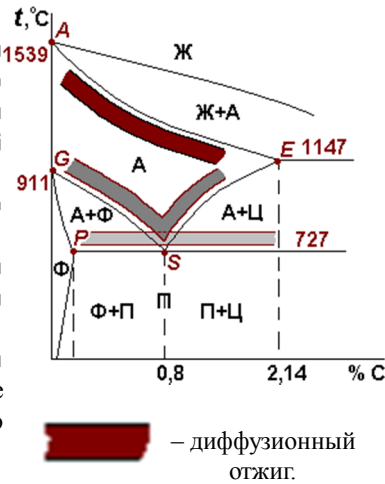


Термообработка: 900° С в течение 5 мин, охлаждение в течение 36 мин до 500° С.
Твердость 189 НВ.
Продольный шлиф. 60% феррита, 40% перлита. Ферритные зерна шестого-седьмого балла.

ОТЖИГ

Диффузионный

отжиг стальных отливок и поковок выполняют с целью устранения неоднородности литой или деформированной структуры. Для сталей это чаще всего температуры 1000-1200° С. При этих температурах делается длительная выдержка (8-15 ч) и затем медленное охлаждение. Выравнивание состава стали улучшает механические свойства, особенно пластичность.



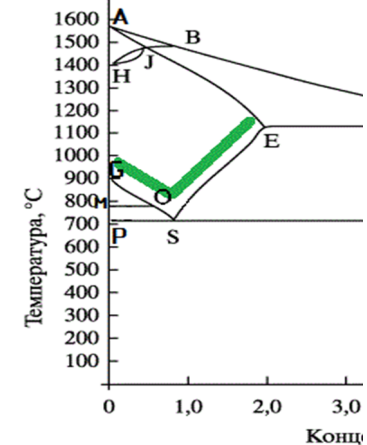
ОТЖИГ

Нормализация

Нормализация является разновидностью отжига II рода с ускоренным охлаждением.

Нормализация заключается в нагреве стали до температур на 50-70° выше линии GSE и в охлаждении на воздухе после небольшой выдержки.

При нормализации получается более мелкая перлитная структура, чем при полном отжиге.

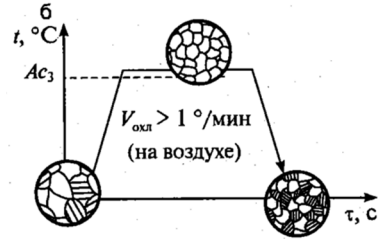


ОТЖИГ

Может образоваться сорбит – более мелкая структура, чем перлит, феррито-цементитная смесь.

Для доэвтектоидных сталей нормализация часто заменяет полный отжиг как более производительная и экономичная операция.

После нормализации сталь тверже и прочнее, чем после полного отжига. Микроструктура тоже отличается от равновесной: феррит образует сетку вокруг участков перлита.



ЗАКАЛКА

Цель: получение неравновесной структуры – пересыщенного твердого раствора углерода в α -железе – мартенсита.

Практическая цель – получение максимальной твердости, возможной для данной марки стали.

Быстрое охлаждение при закалке необходимо, чтобы углерод не успел выделиться из твердого раствора – аустенита – и остался в решетке железа после охлаждения.

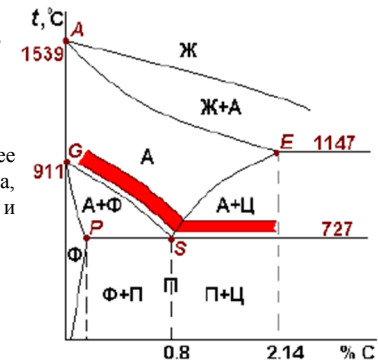
Чтобы закалить сталь, необходимо правильно выбрать **температуру нагрева и скорость охлаждения.**

При **выборе температуры нагрева** действует следующее правило: доэвтектоидные стали нагреваются под закалку на **30-50°C выше критической точки A_{c3}** , а заэвтектоидные – на **30-50°C выше точки A_{c1}** .

ЗАКАЛКА

Закалка – это упрочняющая ТО, которая таким образом изменяет структуру стали, чтобы максимально повысить твердость и прочность.

Закалка стали заключается в нагреве ее до температуры образования аустенита, выдержке при этой температуре и последующем быстром охлаждении.



ЗАКАЛКА



Закалка из однофазной (аустенитной) области, с температур выше A_{c3} , называется **полной**. Так закаливают доэвтектоидные (конструкционные) стали.

Для заэвтектоидных сталей такой высокий нагрев не требуется, так как выше точки A_1 , но ниже линии SE структура состоит из аустенита и цементита.

Закалка из двухфазной области, где присутствуют аустенит и цементит, или аустенит и феррит, называется **неполной**.

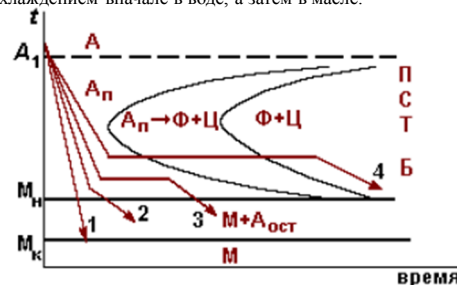
Такой закалке подвергают заэвтектоидные (инструментальные) стали.

ЗАКАЛКА

По способу охлаждения различают:

1) *Непрерывную закалку* (закалку в одной среде, кривая 1). Это наиболее простой способ, но при этом в детали появляются большие внутренние напряжения.

2) *Закалку в двух средах*, или *прерывистую закалку* (кривая 2). При этом способе сталь быстро охлаждается в интервале температур 750–400 °С, а затем деталь переносится в другую, более мягкую, охлаждающую среду, и в мартенситном интервале охлаждение происходит замедленно. Это приводит к уменьшению внутренних напряжений и снижает вероятность появления трещин. Примером такой закалки может быть процесс с охлаждением вначале в воде, а затем в масле.



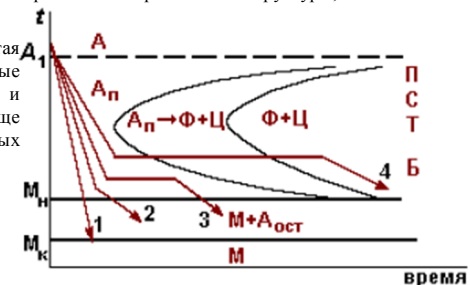
ЗАКАЛКА

3) *Ступенчатую закалку* (кривая 3), при которой нагретую деталь погружают в жидкую среду с температурой на 20–30° выше точки M_n .

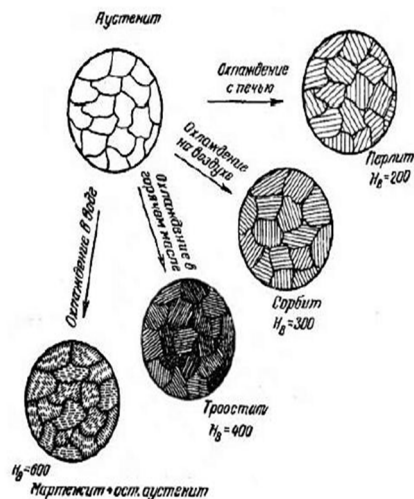
В качестве жидких сред для ступенчатой закалки используют расплавы щелочей, селитры, легкоплавких металлов.

4) *Изотермическую закалку* (кривая 4). Она существенно отличается от других способов. Здесь выдержка в охлаждающей среде при температуре бейнитного превращения продолжается до полного распада аустенита. Во всех предыдущих случаях при закалке происходит образование мартенситной структуры, а в этом случае – бейнита.

Ступенчатая и прерывистая закалка уменьшают закалочные напряжения. Ступенчатую и изотермическую закалку чаще применяют для легированных сталей.



ЗАКАЛКА



ЗАКАЛКА

Возможные **дефекты закалки**:

- а) **перегрев** – крупное зерно;
- б) **пережог** – окисление границ зерен, очень крупное зерно;
- в) **недогрев** – у доэвтектоидных сталей закалка из интервала $A_{c1}-A_{c3}$ приводит к двухфазной структуре (мартенсит + феррит) и низким механическим свойствам;
- г) **коробление** и **трещины** – вызываются внутренними напряжениями.

ЗАКАЛКА

С технологией закалки тесно связаны два важных понятия.

Закаливаемость – это способность стали получать высокую твердость при закалке. Закаливаемость зависит от содержания углерода в стали и характеризуется максимальной возможной твердостью (*HRC*) для данной марки.

Прокаливаемость – это способность стали получать закаленный слой определенной глубины..

ОТПУСК

Закаленная сталь очень твердая, но она хрупкая, у нее низкая пластичность и большие внутренние напряжения. В таком состоянии изделие не работоспособно, не надежно в эксплуатации.

Для уменьшения внутренних напряжений и повышения пластичности после закалки всегда следует еще одна операция ТО, которая называется отпуск.

ЗАКАЛКА

При нагреве стали на воздухе ее поверхность окрашивается в различные цвета, называемые **цветами побежалости (каления)**.

| Температура, °С | Цвета каления |
|-----------------|---------------------|
| 530 - 580 | Темнокоричневый |
| 580 - 650 | Коричнево - красный |
| 650 - 730 | Темнокрасный |
| 730 - 770 | Темновишневый |
| 770 - 800 | Вишневый |
| 800 - 830 | Светловишневый |
| 830 - 900 | Светлокрасный |
| 900 - 1050 | Оранжевый |
| 1050 - 1150 | Темножелтый |
| 1150 - 1250 | Светложелтый |
| 1250 - 1300 | Яркобелый |

ОТПУСК

Отпуск – это ниже критических с последующим охлаждением, обычно на воздухе.

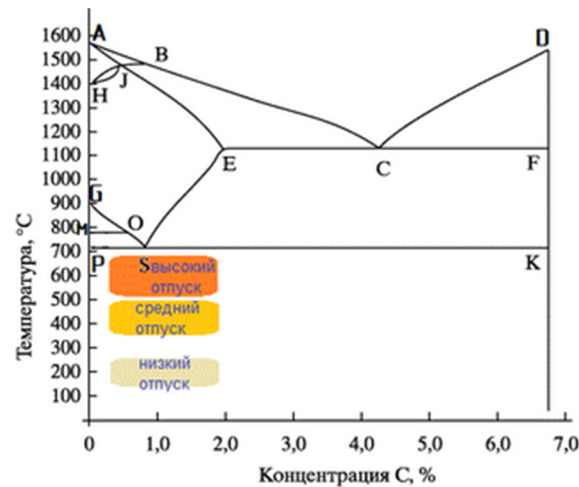
Цель отпуска – создание требуемого комплекса эксплуатационных свойств стали, получение более устойчивой, чем после закалки, структуры, уменьшение внутренних напряжений.

Отпуск – последняя операция в технологической цепочке термообработки стали, поэтому полученная при отпуске структура должна обеспечивать свойства, необходимые при работе детали.

В процессе отпуска **происходит распад мартенсита** за счет выделения из него углерода, тем более полный, чем больше температура и время выдержки. Поэтому уменьшаются внутренние напряжения и плотность дислокаций.

Остаточный аустенит при отпуске превращается в мартенсит.

ОТПУСК

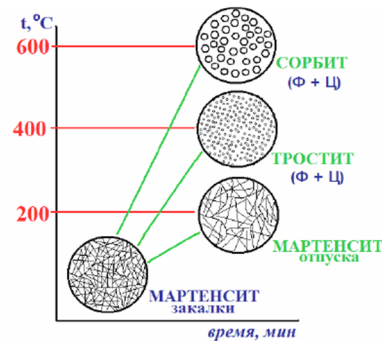


ОТПУСК

Среднетемпературный (или средний) отпуск проводится при более высоких температурах – 300-450 °С. При этом из мартенсита уже выделяется весь избыточный углерод с образованием цементитных частиц. Тетрагональные искажения кристаллической решетки железа снимаются, она становится кубической. Мартенсит превращается в феррито-цементитную смесь с очень мелкими, в виде иголок, частицами цементита, которая называется **трооститом отпуска**.

Средний отпуск еще **уменьшает** внутренние напряжения, **увеличивает** вязкость, при этом прочность остается высокой, а предел текучести и предел выносливости достигают максимума.

Такому отпуску подвергают рессоры, пружины и другие упругие элементы, а также штамповый инструмент.



ОТПУСК

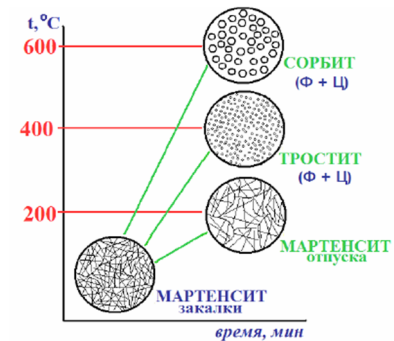
При **низкотемпературном (или низком) отпуске** (150-200 °С) из мартенсита выделяется часть избыточного углерода с образованием мельчайших карбидных частиц. Но поскольку скорость диффузии здесь еще мала, некоторая часть углерода в мартенсите остается.

Такая структура представляет собой малоуглеродистый мартенсит и очень мелкие карбидные частицы. Ее называют **отпущенный мартенсит**.

В результате низкого отпуска уменьшаются внутренние напряжения, немного **увеличивается** вязкость и пластичность, твердость почти не снижается.

Детали могут работать в условиях, где необходима высокая твердость и износостойкость.

Низкий отпуск применяют для режущего и мерительного инструмента, деталей подшипников качения.



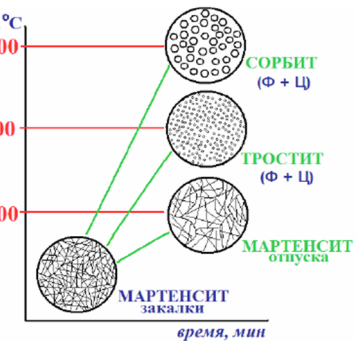
ОТПУСК

В интервале 500-650 °С скорость диффузионных процессов уже настолько возрастает, что при распаде мартенсита образуется феррито-цементитная смесь с более крупными, сферической формы, зернами цементита.

Такой отпуск называется **высокотемпературным (или высоким)**; получаемая структура – **сорбит отпуска**.

В результате высокого отпуска **сильно** **возрастают** вязкость и пластичность стали, внутренние напряжения **снимаются почти полностью**, твердость и прочность снижаются, но все же остаются достаточно высокими. Закалка с высоким отпуском называется **термическим улучшением стали**.

Такой обработке подвергают детали машин, работающие в условиях знакопеременных и ударных нагрузок: валы, рычаги, шестерни и др.

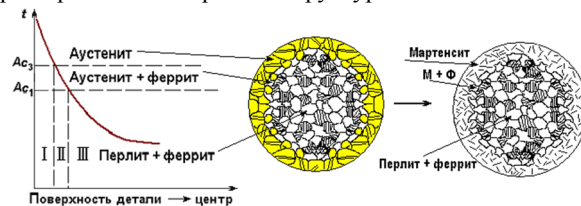


| Температура, °С | Цвета отпуска (побежалости) |
|-----------------|-----------------------------|
| 220 | Светложелтый |
| 240 | Соломенно - желтый |
| 255 | Коричнево - желтый |
| 265 | Красно - коричневый |
| 275 | Пурпурно - красный |
| 285 | Фиолетовый |
| 295 | Синий |
| 315 | Светлосиний |
| 330 | Серый |

Поверхностная закалка – это нагрев до закалочных температур только поверхностного слоя детали с последующим быстрым охлаждением и образованием мартенситной структуры только в этом слое.

Осуществляют такую закалку быстрым нагревом поверхности, при котором сердцевина не успевает прогреться за счет теплопроводности. При таком нагреве температура по сечению детали резко падает от поверхности к центру.

После охлаждения в сечении детали получаются три характерных зоны с разной структурой и свойствами.



Поверхностное упрочнение

Для некоторых деталей при эксплуатации необходима высокая твердость и износостойкость поверхности в сочетании с хорошей вязкостью в сердцевине. Это касается деталей, работающих в условиях износа с одновременным действием динамических нагрузок (например, шестерни, пальцы, скрепляющие звенья трака гусеничных машин).

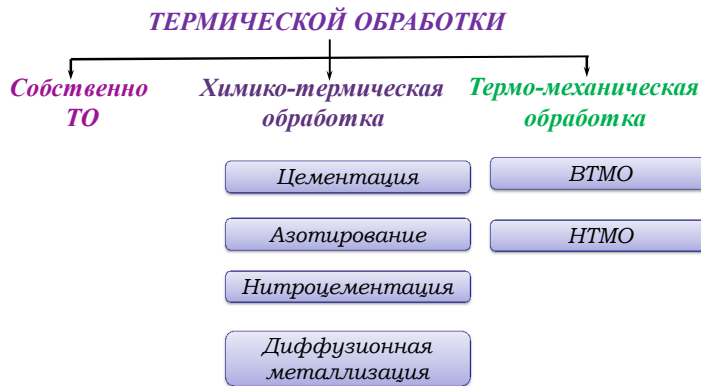
В таких случаях подвергают упрочнению не всю деталь, а только тонкий (несколько мм) поверхностный слой.

Лекция 1.8.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

1. Классификация ТО.
2. Термомеханическая обработка
3. **ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ**
- Закалка.
4. Отпуск.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ



ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Термомеханическая обработка с последующими закалкой и отпуском позволяют получить очень высокую прочность при хорошей пластичности и вязкости.

В практических целях большее распространение получила ВТМО, обеспечивающая наряду с высокой прочностью хорошее сопротивление усталости, высокую работу распространения трещин, а также сниженные критическую температуру хрупкости, чувствительность к концентраторам напряжений и необратимую отпускную хрупкость.

ВТМО осуществляется в цехах прокатного производства на металлургических заводах, например, при упрочнении прутков для штанг, рессорных полос, труб и пружин.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Термомеханическая обработка (ТМО) стали — совокупность операций термической обработки с пластической деформацией, которая проводится либо выше критических точек (**ВТМО**), либо при температуре переохлажденного (500... 700°C) аустенита (**НТМО**).

Термомеханическая обработка позволяет получить сталь высокой прочности (до 270 МПа). Формирование структуры стали при ТМО происходит в условиях повышенной плотности и оптимального распределения дислокаций. Окончательными операциями ТМО являются немедленная закалка во избежание развития рекристаллизации и низкотемпературный ($T = 100...300\text{ }^{\circ}\text{C}$) отпуск.

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Химико-термическая обработка (ХТО) стали — совокупность операций термической обработки с насыщением поверхности изделия различными элементами (углерод, азот, алюминий, кремний, хром и др.) при высоких температурах.

Поверхностное насыщение стали металлами (хром, алюминий, кремний и др.), образующими с железом твердые **растворы замещения**, **более энергоемко** и **длительнее**, **чем насыщение азотом и углеродом**, образующими с железом твердые **растворы внедрения**.

ХТО **повышает** **твердость**, **износостойкость**, **кавитационную**, **коррозионную стойкость**.

ХТО, создавая на поверхности изделий благоприятные остаточные напряжения сжатия, **увеличивает надежность**, **долговечность**.

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

В зависимости от того, какими элементами насыщают поверхностный слой стального изделия, различают:

- цементацию - насыщение углеродом;
- азотирование - азотом;
- нитроцементацию - углеродом и азотом;
- хромирование - хромом;
- силицирование - кремнием.

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Химико-термическая обработка является основным **способом поверхностного упрочнения деталей**. Основными разновидностями химико-термической обработки являются: **ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ**

Цементация стали — ХТО поверхностным насыщением малоуглеродистой ($C < 0,2\%$) или легированных сталей при температурах $900 \dots 950^\circ\text{C}$ — твердым (цементация твердым карбюризатором), а при $850 \dots 900^\circ\text{C}$ — газообразным (газовая цементация) углеродом с последующей закалкой и отпуском.

Цель цементации и последующей ТО — повышение твердости, износостойкости, также повышением пределов контактной выносливости поверхности изделия при вязкой сердцевине, что обеспечивает выносливость изделия в целом при изгибе и кручении.

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Проведение любой ХТО деталей включает следующие стадии:

Диссоциация — получение насыщающего элемента в активированном атомарном состоянии в результате химических реакций, а также испарения.

Адсорбция — захват поверхностью детали атомов насыщающего элемента. Адсорбция — всегда экзотермический процесс, приводящий к уменьшению свободной энергии.

Диффузия — перемещение адсорбированных атомов вглубь изделия. Для осуществления процессов адсорбции и диффузии необходимо, чтобы насыщающий элемент взаимодействовал с основным металлом, образуя твердые растворы или химические соединения.

ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

Нагрев изделий осуществляют в среде, легко отдающей углерод. Подобранные режимы обработки, поверхностный слой насыщают углеродом до требуемой глубины.

Глубина цементации (h) — расстояние от поверхности изделия до середины зоны, где в структуре имеются одинаковые объемы феррита и перлита ($h = 1 \dots 2$ мм).

Степень цементации — среднее содержание углерода в поверхностном слое (обычно, не более $1,2\%$). Более высокое содержание углерода приводит к образованию значительных количеств цементита вторичного, сообщающего слою повышенную хрупкость.



ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

Детали, предназначенные для цементации, сначала очищают. Поверхности не подлежащие науглероживанию, покрывают специальными предохранительными противоцементными обмазками.

1-ый состав простейшей обмазки: огнеупорная глина с добавлением 10% асбестового порошка, вода. Смесь разводят до консистенции густой сметаны и наносят на нужные участки поверхности изделия. После высыхания обмазки можно производить дальнейшую цементацию изделия.

2-ой состав применяемой обмазки: каолин — 25%, тальк — 50%: вода — 25%. Разводят эту смесь жидким стеклом или силикатным клеем.

Цементацию делают после полного высыхания обмазки.

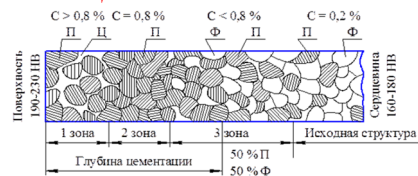
Вещества, которые входят в состав обмазки, называют карбюризаторами. Они бывают твердые, жидкие и газообразные.

ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

В условиях домашней небольшой мастерской удобнее осуществлять цементацию с помощью пасты. Это цементация в твердом карбюризаторе. В состав пасты входят: сажа — 55%, кальцинированная сода — 30%, щавелевокислый натрий — 15%, вода для образования сметанообразной массы. Пасту наносят на нужные участки изделия, дают высохнуть. Затем изделие помещают в печь, выдерживая при температуре 900-920°C в течение 2-2,5 часов. При использовании такой пасты цементация обеспечивает толщину науглероженного слоя 0,7-0,8 мм.

ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

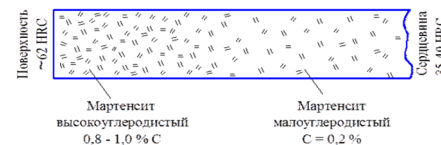
Микроструктура цементованного слоя: 1 – зона заэвтектоидной стали; 2 – зона эвтектоидной стали; 3 – зона доэвтектоидной стали; 4 – зона с исходной структурой



структура цементованного слоя легированной и углеродистой стали после термообработки: неполная закалка + низкий отпуск



Структура цементованного слоя легированной и углеродистой стали после термообработки: полная закалка + низкий отпуск



ЦЕМЕНТАЦИЯ СТАЛИ

Жидкостная цементация также возможна в небольшой мастерской при наличии печи-ванны, в которой и происходит науглероживание инструментов и других изделий. В состав жидкости входят: сода — 75-85%, 10-15% хлористого натрия, 6-10% карбида кремния. Печь-ванну наполняют этим составом и погружают изделие или инструмент. Процесс протекает при температуре 850-860°C в течение 1,5-2 часов; толщина науглероженного слоя достигает при этом 0,3-0,4 мм.

Газовую цементацию производят в смеси раскаленных газов, содержащих метан, окись углерода в специальных камерах при температуре 900-950°C и только в производственных условиях. После цементации детали охлаждают вместе с печью, затем закаляют при 760-780°C с окончательным охлаждением в масле.

АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ

Азотирование – это технологический процесс ХТО, при которой поверхность различных металлов или сплавов насыщают азотом в специальной азотирующей среде. Поверхностный слой изделия, насыщенный азотом, имеет в своем составе растворенные нитриды и приобретает повышенную коррозионную стойкость и высочайшую микротвердость.

До азотирования изделие подвергают закалке и высокому отпуску.

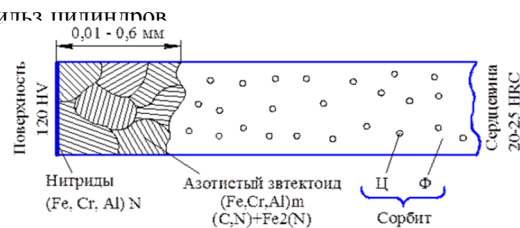
Азотирование проводят в среде аммиака : $2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N}+6\text{H}$

Температура азотирования 500 – 600 °С

Толщина слоя 0,3 – 0,6 мм, скорость азотирования – 0,01 мм/ч и менее.

АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ

Азотированные стали сохраняют высокую твердость, в отличие от цементованных, до сравнительно высоких температур (500...520°С). Азотированные изделия не коробятся при охлаждении, так как температура азотирования ниже, чем цементации. Азотирование сталей широко применяют в машиностроении для повышения твердости, износостойкости, предела выносливости и коррозионной стойкости ответственных деталей, например, зубчатых колес, валов, гильз цилиндров



Микроструктура азотированного слоя

АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ

Азотированию подвергают среднеуглеродистые, легированные стали Al, Cr, Mo, V. Азот с этими элементами образует дисперсные нитриды, в результате чего возрастает твердость азотированного слоя

АЗОТИРОВАНИЕ СТАЛИ

Азотированные стали сохраняют высокую твердость, в отличие от цементованных, до сравнительно высоких температур (500...520°С). Азотированные изделия не коробятся при охлаждении, так как температура азотирования ниже, чем цементации. Азотирование сталей широко применяют в машиностроении для повышения твердости, износостойкости, предела выносливости и коррозионной стойкости ответственных деталей, например, зубчатых колес, валов, гильз цилиндров.

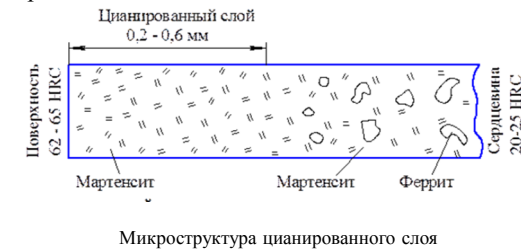
НИТРОЦЕМЕНТАЦИЯ (ЦИАНИРОВАНИЕ) СТАЛИ

Нитроцементация (цианирование) стали — ХТО с одновременным поверхностным насыщением изделий азотом и углеродом при повышенных температурах с последующими закалкой и отпуском для повышения износо- и коррозионной устойчивости, а также усталостной прочности. Нитроцементация может проводиться в газовой среде при температуре 840..860°С — нитроцианирование, в жидкой среде — при температуре 820...950°С — жидкостное цианирование в расплавленных солях, содержащих группу NaCN.

Нитроцементация эффективна для инструментальных (в частности, быстрорежущих) сталей; она используется для деталей сложной конфигурации, склонных к короблению. Однако, поскольку этот процесс связан с использованием токсичных цианистых солей, он не нашел широкого распространения.

НИТРОЦЕМЕНТАЦИЯ (ЦИАНИРОВАНИЕ) СТАЛИ

Нитроцементация эффективна для инструментальных (в частности, быстрорежущих) сталей; она используется для деталей сложной конфигурации, склонных к короблению. Однако, поскольку этот процесс связан с использованием токсичных цианистых солей, он не нашел широкого распространения.



ДИФФУЗИОННАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Диффузионная металлизация — ХТО, при которой поверхность стальных изделий насыщается различными элементами: алюминием, хромом, кремнием, бором и др.

При насыщении хромом процесс называют *хромированием*, алюминием — *алитированием*, кремнием — *силицированием*, бором — *борированием*.

Диффузионную металлизацию можно проводить в твердых, жидких и газообразных средах.

При *твердой диффузионной металлизации* металлизатором является ферросплав с добавлением хлористого аммония. В результате реакции металлизатора образуется соединение хлора с металлом, которые при контакте с поверхностью диссоциируют с образованием свободных атомов.

ДИФФУЗИОННАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Жидкая диффузионная металлизация проводится погружением детали в расплавленный металл (например, алюминий).

Газовая диффузионная металлизация проводится в газовых средах, являющихся хлоридами различных металлов.

Диффузия металлов протекает очень медленно, так как образуются растворы замещения, поэтому при одинаковых температурах диффузионные слои в десятки и сотни раз тоньше, чем при цементации.

Диффузионная металлизация — процесс дорогостоящий, осуществляется при высоких температурах (1000...1200°С) в течение длительного времени.

ДИФФУЗИОННАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

Одним из основных свойств металлизированных поверхностей является жаростойкость, поэтому жаростойкие детали для рабочих температур $1000...1200^{\circ}\text{C}$ изготавливают из простых углеродистых сталей с последующим алитированием, хромированием или силицированием.

Исключительно высокой твердостью (2000 HV) и высоким сопротивлением износу из-за образования боридов железа (FeB , FeB_2) характеризуются борированные слои, но эти слои очень хрупкие.

Углеродистые стали имеют ряд существенных недостатков, ограничивающих область их применения:

- 1. Низкая устойчивость переохлажденного аустенита и, как следствие, высокая критическая скорость закалки.**
- 2. Невозможность получения высокого комплекса механических свойств, то есть хорошего сочетания характеристик прочности, пластичности и вязкости.**
- 3. Низкая теплостойкость.** Высокую прочность и твердость углеродистые стали приобретают при закалке. Однако при отпуске происходит интенсивное разупрочнение из-за распада мартенсита, поэтому для изделий из углеродистых сталей невозможно обеспечить сохранение высокой прочности во время эксплуатации при повышенных температурах.
- 4. Невозможность получения каких-либо специальных свойств**, например, коррозионной стойкости, жаростойкости, жаропрочности и др.

Лекция 2.1.

Легированные стали

1. Классификация и маркировка легированных сталей.
2. Влияние легирующих элементов на свойства стали.
3. Легированные конструкционные стали.

Слово «легирование» в переводе с латинского означает «улучшение».

В первую очередь стараются применять недорогие и недефицитные элементы, особенно для деталей массового изготовления. Это *марганец, кремний, хром*. Дополнительно стали легируют элементами, сдерживающими рост зерна: *титаном, ванадием, бором*. Но для особо ответственных деталей приходится применять гораздо более дорогие и дефицитные *никель, молибден, вольфрам, ниобий* и др.

Легирующие элементы оказывают разностороннее влияние на свойства стали, например, *хром* повышает *твердость и коррозионную стойкость*; *вольфрам* увеличивает *твердость и красностойкость*; *молибден* увеличивает *красностойкость, прочность и сопротивление окислению при высоких температурах*; *марганец* при содержании свыше 1 % *увеличивает твердость, износостойкость, стойкость против ударных* нагрузок.

Классификация и маркировка легированных сталей

Легированную сталь классифицируют по следующим признакам:

- по составу;
- по суммарному массовому содержанию легирующих элементов;
- по равновесной структуре;
- по структуре после охлаждения на воздухе;
- по качеству;
- по назначению.

Классификация по составу

Классификационный признак – наличие в стали тех или иных легирующих элементов.

Сталь, содержащая один легирующий элемент, называется по этому элементу (хромистая, кремнистая). Постоянные примеси при этом не считаются.

Сложнолегированной (комплекснолегированной) является сталь, содержащая два, три и более легирующих элемента, фигурирующих в ее названии (хромоникелевая, хромокремнистovanадиевая).

Классификация и маркировка легированных сталей

Классификация по структуре после охлаждения на воздухе

Учитывая структуру, получаемую после охлаждения на спокойном воздухе образцов малой толщины можно выделить три основных класса сталей:

- перлитный (характеризуется относительно малым содержанием легирующих элементов, не более 5-6 %);
- мартенситный (более значительное содержание легирующих элементов);
- аустенитный (высокое содержание легирующих элементов, до 20-30 %).

Классификация по качеству

Легированная сталь в зависимости от содержания в ней вредных примесей подразделяется на:

- качественную (массовое содержание $P \leq 0,035\%$; $S \leq 0,035\%$);
- высококачественную ($P \leq 0,025\%$; $S \leq 0,025\%$);
- особо высококачественная ($P \leq 0,025\%$; $S \leq 0,015\%$).

Классификация и маркировка легированных сталей

Классификация по суммарному массовому содержанию легирующих элементов

В зависимости от суммарного массового содержания легирующих элементов сталь подразделяют на:

- низколегированную (до 2,5% легирующих элементов);
- среднелегированную (от 2,5 до 10% легирующих элементов);
- высоколегированную (более 10% легирующих элементов).

Классификация по равновесной структуре (структуре в отожженном состоянии)

В зависимости от входящих в состав стали структурных, составляющих различают:

- доэвтектоидные стали (в структуре содержат избыточный феррит);
- эвтектоидные (имеющие перлитную структуру);
- заэвтектоидные (содержат в структуре вторичные карбиды);
- ледебуритные (имеющие в структуре первичные карбиды).

Классификация и маркировка легированных сталей

Классификация по назначению

По назначению стали подразделяются на конструкционные, инструментальные и с особыми свойствами.

Конструкционные стали, предназначенные для изготовления деталей машин, как правило, подвергают термической обработке.

Поэтому их подразделяют на **цементуемые** (подвергаемые цементации) и **улучшаемые** (подвергаемые закалке и отпуску).

Классификация и маркировка легированных сталей

Маркировка легированных конструкционных сталей

Легированные конструкционные стали маркируются числами и буквами.

Двухзначные числа, приведенные в начале марки, указывают среднее значение углерода в сотых долях процента.

Буквы справа от числа обозначают легирующий элемент: А – азот, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, Е – селен, К – кобальт, Н – никель, М – молибден, П – фосфор, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий, Ч – редкоземельный, Ю – алюминий.

Числа после буквы указывают примерное содержание соответствующего легирующего элемента в целых процентах. Отсутствие числа указывает, что среднее содержание легирующего элемента не превышает 1-1,5 %.

Буква "А", в зависимости от ее разложения в марке стали:

"А" в начале марки (А40) – сталь автоматная (хорошо обрабатывается резанием);

"АС" в начале марки (АС35Г2) – сталь автоматная, легированная свинцом;

"А" в середине (16Г2АФ) – сталь легированная азотом 0,015-0,025%;

"А" в конце марки – высококачественная сталь (содержащая меньше вредных примесей).

В конце марки стали может располагаться и буква "Л", указывающая, что сталь имеет хорошие литейные свойства (Сталь 45Л).

Влияние легирующих элементов на свойства стали

Механические свойства легированных сталей определяются:

- распределением в них легирующих элементов;
- влиянием легирующих элементов на полиморфизм железа;
- на феррит;
- на превращения в стали.

Легирующие элементы преимущественно растворяются в основных фазах железоуглеродистых сплавов (Ф, А, Ц) или образуют специальные карбиды.

Специальными называются карбиды, образованные с участием карбидообразующих элементов и имеющих отличную от цементита форму кристаллической решетки.

Классификация и маркировка легированных сталей

При содержании углерода 1% и более цифру, указывающую содержание углерода в марке, опускают. Например, стали:

а) ХВГ содержат: 1% С; 1,5% Cr; 1,5% W; 1-1,5% Mn.

б) В2Ф содержат: 1% С; 2,0% W; 1-1,5% V.

Шарикоподшипниковые стали начинаются с буквы "Ш".

Например, сталь ШХ4 содержит: 1% С; 4% Cr.

Расшифруем сталь 40Х15Н7Г7Ф2МС.

Это сталь высоколегированная, поскольку содержит более 10% легирующих элементов по массе. Содержит: 0,4% – С; 15% – Cr; 7% – Ni; 7% – Mn; 2% – V; 1-1,5% – Mo; 1-1,5% – Si.

Влияние легирующих элементов на свойства стали

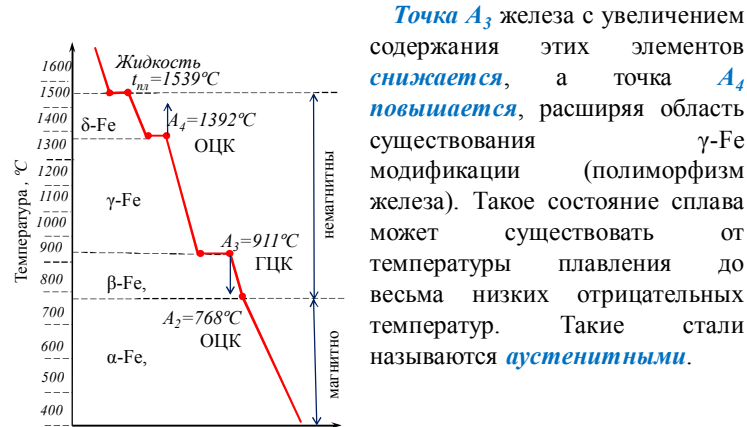
Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа

Полиморфные состояния железа при образовании твердых растворов введением легирующих элементов смещаются по температуре. Все легирующие элементы по влиянию на аллотропные состояния железа можно разделить на две группы:

- расширяющие область гамма-железа;
- сужающие область гамма-железа.

Влияние легирующих элементов на свойства стали

К первой группе относятся никель, марганец, кобальт, медь.



Точка A_3 железа с увеличением содержания этих элементов **снижается**, а точка **A_4** **повышается**, расширяя область существования $\gamma\text{-Fe}$ модификации (полиморфизм железа). Такое состояние сплава может существовать от температуры плавления до весьма низких отрицательных температур. Такие стали называются **аустенитными**.

Влияние легирующих элементов на свойства стали

Ко второй группе относятся: кремний, хром, вольфрам, ванадий, алюминий, молибден, титан.



Точка A_3 железа с увеличением содержания этих элементов **повышается**, а **точка A_4** **снижается**, расширяя область $\alpha\text{-Fe}$ и сужая область $\gamma\text{-Fe}$ (полиморфизм железа). Область $\alpha\text{-Fe}$ легированного феррита также может существовать от температуры плавления до отрицательных температур. Такие стали называются **ферритными**.

Влияние (некоторых) основных легирующих элементов на физические свойства стали

Хром повышает жаростойкость и коррозионную стойкость стали, **уменьшает коэффициент линейного расширения**. Наличие его в стали в количестве 12% и более делает ее устойчивой к коррозии, разъедаемой в среде некоторых кислот, щелочей и солей.

Никель увеличивает пластичность и вязкость стали, снижает температуру порога хладноломкости и уменьшает чувствительность стали к концентраторам напряжений. В качестве примера можно отметить, что введение в сталь 1% никеля снижает порог хладноломкости на $60\text{-}80^\circ\text{C}$, а легирование стали 3-4 % никеля обеспечивает ей глубокую прокаливаемость.

Влияние (некоторых) основных легирующих элементов на физические свойства стали

Кремний. Легирование кремнием углеродистых и хромистых сталей **увеличивает их жаростойкость**. Например, сталь с 5% Cr и 1% Si равнозначна по жаростойкости стали с 12% Cr. Однако, содержание кремния необходимо ограничивать т.к. он повышает склонность стали к тепловой хрупкости.

Вольфрам, молибден, ванадий, титан, бор и другие вводят в сталь совместно с хромом, никелем и марганцем для дополнительного улучшения ее свойств.

Молибден, вольфрам повышают прокаливаемость стали при наличии в ней никеля. Увеличивают жаропрочность стали при повышении содержания в ней хрома.

Марганец используют для частичной замены никеля с целью получения нужного сочетания механических свойств стали, а также с учетом меньшей стоимости марганца.

Конструкционные стали.

Хромистые стали. Хромистые стали 40Х, 45Х, 50Х относятся к дешевым конструкционным материалам. С увеличением содержания углерода в них повышается прочность, но снижается пластичность и вязкость, повышается порог хладноломкости. Хромистые стали подвержены хрупкости после отпуска.

Хромомарганцевые стали. Это стали 40ХГ, 30ХГ. Они обладают более высокой прочностью, чем хромистые стали, однако, у них снижена вязкость, повышенный порог хладноломкости. Они имеют склонность к хрупкости после отпуска.

201

Хромомарганцевокремниевая сталь (хромансиль). - это основная сталь самолета. Сталь 30ХГСА содержит 0,3% углерода, по 1,0% хрома, марганца и кремния. Она обладает хорошей свариваемостью, высокими механическими свойствами, удовлетворительной обрабатываемостью режущим инструментом и высокой пластичностью в отожженном состоянии,

Для изготовления деталей самолетов хромансиль поступает в виде листов, труб, профилей, поковок, прутков и проволоки. Сталь 30ХГСА применяется для изготовления деталей шасси, лонжеронов, болтов, гаек, стыковых соединений, поясов, по л ок и др..

203

Хромоникелевые стали.

Хромоникелевые стали 12ХН3А, 20ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А используются для крупных деталей соответствующего назначения. После закалки в масле они имеют структуру мартенсита в смеси с бейнитом, которая обеспечивает им высокие прочностные свойства и вязкость.

Хромоникельмолибденовые стали. Хромоникелевые стали дополнительно легируют молибденом (40ХНМА, 40ХН2МА) или вольфрамом (18ХНВА, 18Х2Н4ВА). Эти стали закаляются в мартенсит при любом, даже очень медленном охлаждении. Эти стали относятся к группе сталей повышенной прочности. Они хорошо работают при динамических нагрузках и в условиях пониженных температур.

202

Цементируемые (низкоуглеродистые) стали

К этой группе относятся стали, в состав которых входит углерод в количестве от 0,07 до 0,32. После цементации низкоуглеродистых сталей, закалки и низкого отпуска твердость поверхностного слоя достигает HRC 60, а сердцевины - порядка HRC 15-30.

В легированных сталях упрочнение сердцевины при термической обработке (закалка + низкий отпуск) будет тем больше, чем больше углерода и легирующих элементов они содержат.

204

Шарикоподшипниковые стали

- Подшипники качения работают в сложных условиях эксплуатации (высокие скорости скольжения, большие удельные нагрузки, наличие вибрации и т.п.). В связи с этим к ним предъявляется ряд требований, которым должны соответствовать шарикоподшипниковые материалы.
- Подшипник качения состоит из внутреннего и наружного колец и шариков или роликов, расположенных между этими кольцами. Для изготовления подшипников на сегодняшний день используют такие стали: ШХ15, ШХ15СГ, 20Х2Н4А, 18ХГТ, ШХ4.
- Наиболее распространенными являются стали ШХ15 (0,95-1,05% С; 1,3-1,65% Cr) для небольших подшипников и ШХ15СГ (0,95-1,05% С; 1,3-1,65% Cr; 0,4-0,65% Si; 0,9-1,2% Mn) для подшипников больших сечений. Эти стали имеют высокие износостойкость, твердость и сопротивление контактной усталости.

Основные группы жаропрочных материалов

- Жаропрочные материалы можно разделить на следующие основные группы: перлитные, мартенситные и аустенитные стали; сплавы на основе алюминия, магния и титана; сплавы на основе никеля, сплавы на основе кобальта; сплавы на основе тугоплавких металлов; неметаллические жаростойкие материалы на основе графита; неметаллические жаростойкие материалы на основе карбидов.

207

Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы

- Жаропрочными называются стали и сплавы, способные при высоких температурах противодействовать началу и развитию пластической деформации и разрушению под действием длительных механических нагрузок.
- Жаростойкими называются стали и сплавы, способные в течение длительного времени при высоких температурах противодействовать газовой коррозии (окислению).
- Жаропрочные и жаростойкие стали относятся в основном к аустенитному классу.

206

Тема 2.2. Коррозия. Коррозионно-стойкие стали и сплавы. Жаростойкие стали и сплавы. Жаропрочные стали и сплавы

Коррозия. Общие сведения

Виды коррозии

Защита от коррозии

Коррозия. Общие сведения

Коррозия - это постепенное разрушение материала путем химических реакций с окружающей средой. Это приводит к деградации свойств материалов, в том числе уменьшения толщины, прочности и т.д.,

Коррозия происходит, когда материалы реагируют с сухим воздухом с образованием оксидов металлов, или с кислотами и щелочами с образованием солей металлов. Реакции между металлами и средой может происходить одним из двух (часто одновременно) способов:

химическая коррозия (окисление)

электрохимическая коррозия (гальваническая)

• Виды коррозии

- Следующие виды коррозии являются наиболее общими для авиационных конструкций:

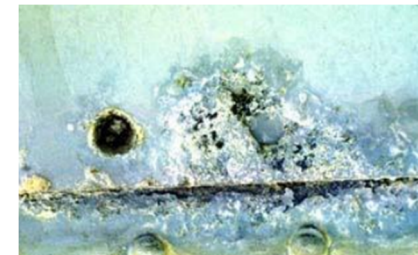
- Гальваническая коррозия
- Горячая газовая коррозия
- Атмосферная поверхностная коррозия
- Межкристаллитная коррозия
- Расслаивающая коррозия
- Фреттинг-коррозия
- Коррозионно-усталостное разрушение и коррозионное растрескивание.

- В обоих случаях, металл превращается в металлическое соединение, такие как карбонаты, гидроксиды, оксиды.

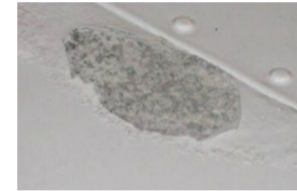
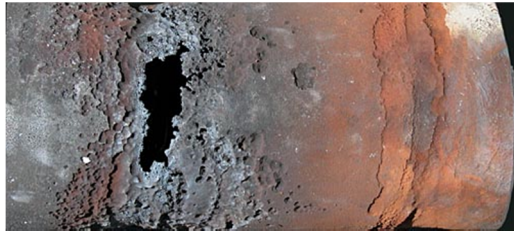
Химическая коррозия вызывается прямым воздействием, на металлическую поверхность едких жидкостей или газообразных веществ, таких как:

- пролитые кислоты (электролит АКБ)
- разнообразные флюсы.
- чистящие средства.

- **Гальваническая коррозия** является одной из форм коррозии, которая происходит, при формировании гальванической ячейки. Происходит при прямом или непрямом (через электролит) контакт разных металлов. Встречается в разных видах соединений: болтовых, заклепочных и др.

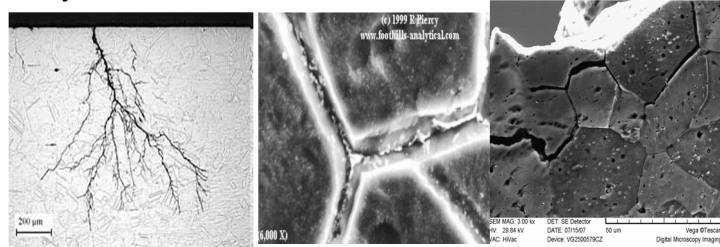


- Окисление деталей под горячим потоком газа - **газовая коррозия**;
Обычно имеется в виду сухой газ, поскольку присутствие паров воды или другой жидкости существенно меняет закономерности протекания химических реакций. Встречается в деталях выхлопных систем, горячем тракте двигателей, воздуховодах систем кондиционирования.

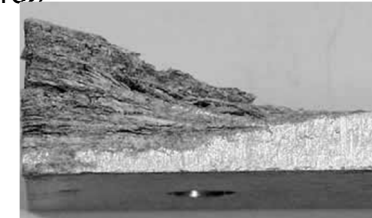


- Атмосферная поверхностная коррозия** является довольно равномерным видом повреждения, при котором толщина материала уменьшается незначительно. Это наименее разрушительная форма коррозии. Чаще всего происходит образование небольшого слоя оксидов с неглубоким поражением металла. Тем не менее, игнорирование поверхностной коррозии и несвоевременное удаление и ремонт могут привести к серьезному повреждению самолета

- Межкристаллитная коррозия** является результатом микрогальванических элементов на границах зерен в металле. Коррозия прогрессирует от поверхности металла по границам зерен достаточно глубоко и оказывает серьезное механическое разрушение. Количество металла, разрушенного в результате МК существенно больше окисленного



- Расслаивающая коррозия** - это особая форма межкристаллитной коррозии, что происходит по параллельным плоскостям и направлена от поверхности вглубь материала. Часто начинается как межкристаллитная коррозия. Поскольку объем продуктов коррозии выше, чем объем сплава, то это вызывает расслаивание и подъем поверхности металла и отслаиванию его частей

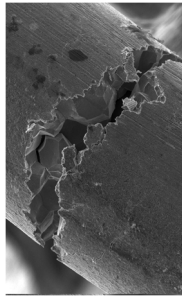


Copyright © 2003 Hitachi Corporation Ltd. All rights reserved.

Питтинговая коррозия чаще всего появляется на стальных деталях, но может образовываться и на поверхности алюминия. Проявляется в виде ямочного рельефа на поверхности. Основным механизмом развития является дифференциальная кислородная ячейка, образованная в месте скола краски или накопления грязи или продуктов коррозии



- **Коррозионно-усталостное разрушение** является результатом одновременного действия коррозии и циклических напряжений. При этом коррозионный и усталостный процессы взаимно усиливают друг друга и приводят к намного большему разрушению, чем если бы они действовали по отдельности. **Коррозионное растрескивание** по сути аналогичный процесс, только циклическое нагружение сменяется постоянной силой



Фреттинг-коррозия развивается в результате циклического виброперемещения сопряженных деталей с высокой частотой, но небольшой амплитудой перемещения (от нанометров до 0,1мм). В результате этого разрушаются оксидные плёнки, а новые (ввиду отсутствия доступа кислорода) не образуются. Часто развивается схватывание. Продукты износа на стали имеют цвета от красного до чёрного, на алюминии – чаще чёрный. Развивается в номинально неподвижных соединениях и узлах (корпуса подшипников, пальцы шарниров шасси, болтовые и шлицевые соединения, заклёпочные соединения (проявляется в виде «дымления»))



Защита от коррозии

Методы защиты от коррозии делятся на следующие:

- барьерная защита.
- катодная защита.
- использование коррозионно-стойких материалов.
- ингибиторы коррозии.
- **Барьерная защита** – это образование барьерного слоя между материалом и агрессивной средой. Наиболее распространенные методы - это краска, гальванические и другие виды защитных покрытий.

- Среди покрытий широко используют **анодирование** (искусственное формирования защитных оксидных пленок на поверхности материала) и **плакирование** (формирование металлического покрытия на поверхности другого металла под высоким давлением и температурой) являются наиболее выгодными, но в то же время – самыми дорогими.

Гальваническое покрытие - это покрытие одного металла другим методом электролиза. **Краски** - в основном органические жидкости на основе растворителей, которые после затвердевания образуют барьер против коррозионного воздействия.

- **Ингибиторы** - это специальные соединения, которые тормозят процесс коррозии. Они используются для алюминиевых сплавов для дополнительного увеличения толщины оксидных пленок.

Ингибиторы также наносят на поверхность, чтобы предотвратить конденсацию влаги. В своем большинстве – это маслообразные жидкости, которые после высыхания твердеют, однако довольно легко смываются органическими растворителями (ацетон, спирт, нефрас)

- **Катодная защита** - это покрытие металла другим металлом, который является более анодным (электроотрицательным) в соответствии с гальванической серии.

Наиболее распространенным методом является покрытие стали цинком. Кроме того, самолеты и другую технику заземляют для снятия статического электрических и его отвода в почву

- Для этого используется металлизации - металлические кабели и ленты, соединяющие, отдельные подвижные части машин и механизмов

- **Коррозионной стойкости** материалов добиваются формированием оптимального химического состава материала.

Для повышения устойчивости к коррозии материал должен быть однофазным в диапазоне рабочих температур.

Легирование позволяет повысить коррозионную стойкость путем формирования на поверхности прочных защитных оксидных пленок.

Например, стали легированные хромом свыше 12 %, алюминиевые и магниевые сплавы – легированные марганцем, оксиды которых защищают их от коррозии.

Нержавеющие стали

- Коррозия это процесс разрушения металлов под действием окружающей среды. При этом механические свойства металлов резко ухудшаются.
- Для нейтрализации окислительных процессов в сталь вводят легирующие элементы и коррозионное разрушение резко уменьшается, причем, это уменьшение носит скачкообразный характер. Так, сплавы что содержат меньше 12% Cr практически так же подвергнуты коррозии, как и железо.

225

- **Хромоникелевые нержавеющие стали.** При введении в сталь, которая содержит 18% Cr, достаточного количества никеля она становится аустенитной. Это повышает механические свойства, повышается коррозионная стойкость.
- Наиболее широкое распространение получили стали, которые содержат 18% Cr и 10%Ni.
- Типичные представители этой группы сталей: 12X18H8, 17X18H9, 12X18H9T,

227

- Сплавы, которые содержат больше 12% Cr ведут себя как благородные металлы: имея положительный потенциал, они не ржавеют и не окисляются на воздухе, в воде, в ряде кислот, щелочей и солей.
- **Хромистые нержавеющие стали** делят на 3 группы: I - с 13% Cr; II - с 17% Cr; III - с 25-28% Cr.
- Основные марки: I группа - 0X13; 2X13; 3X13; 4X13;. II группа – 12X17; 08X17T; III группа – 15X25T; 15X28.
- Стали первой группы - мартенситные, а второй и третьей – ферритные.
- Стали первой группы применяют для изготовления лопат гидротурбин и для бытовых приборов.
- Стали второй и третьей групп применяют при температурах 1050 - 1150°C, а именно деталей доменных печей (реторт, муфелей и т.п.).

226

Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы

- Жаропрочными называются стали и сплавы, способные при высоких температурах противодействовать началу и развитию пластической деформации и разрушению под действием длительных механических нагрузок.
- Жаростойкими называются стали и сплавы, способные в течение длительного времени при высоких температурах противодействовать газовой коррозии (окислению).
- Жаропрочные и жаростойкие стали относятся в основном к аустенитному классу.

228

- **Основные группы жаропрочных материалов**

- Жаропрочные материалы можно разделить на следующие основные группы: перлитные, мартенситные и аустенитные стали; сплавы на основе алюминия, магния и титана; сплавы на основе никеля, сплавы на основе кобальта; сплавы на основе тугоплавких металлов; неметаллические жаростойкие материалы на основе графита; неметаллические жаростойкие материалы на основе карбидов.

229

- **Перлитные стали.** Эти стали предназначены для длительной эксплуатации при температурах 450-580°C.
- Перлитные стали пластичны в холодном состоянии, удовлетворительно обрабатываются резанием и свариваются. По теплопроводности и тепловому расширению они близки к обычным конструкционным сталям.
- Наиболее распространенными перлитными жаростойкими сталями являются: 16Г, 15ХМ, 12Х1МФ, 25Х2Г1Ф.

231

Жаростойкость сплавов

- Высокая жаростойкость сплавов достигается легированием их элементами, которые на поверхности изделия образуют сплошные плотные оксидные пленки.
- В результате введения в сталь хрома, алюминия или кремния, которые легче реагируют с кислородом, чем железо, на его поверхности образуются плотные оксиды Cr₂O₃, Al₂O₃ или Si₂, сквозь которые кислород не проникает.
- Пленка из этих оксидов затрудняет процесс дальнейшего окисления. Чем выше содержание хрома, алюминия или кремния в стали тем выше ее жаростойкость

230

Мартенситные стали отличаются от перлитных большей жаропрочностью, повышенной стойкостью к окислению. Мартенситные стали работают при температурах 450-6000С.

Различают две группы мартенситных сталей: с содержанием 10-12%Сг, с добавками Мо, V, Nb, W низким (0,10-0,15%) содержанием углерода;

К мартенситным сталям относятся 15Х11МФ, 15Х12ВНМФ, 4Х9С2, 40Х10С2Г. Они применяются для изготовления выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания, деталей и узлов газовых турбин и паросиловых установок

232

- **Аустенитные стали** по жаропрочности превосходят стали предыдущих групп и используются при температурах выше 600°C.
- Основными легирующими элементами являются хром и никель. Отношение между ними и железом выбирают так, чтобы получить устойчивый аустенит, не склонный к фазовым преобразованиям. Иногда никель заменяют другими аустенитообразующими элементами - азотом, марганцем.
- Детали газотурбинных установок, работающих при небольших нагрузках изготавливают из стали 40X15H7Г7Ф2МС.

233

Неметаллические жаропрочные материалы

К этой группе относятся графит и специальная керамика. Они работают при температурах свыше 1000°C. Графит – один из перспективных материалов с высокой жаропрочностью. Графит, сублимирует при температуре ≈ 3800 °C. Ползучесть у графита проявляется при температуре выше 1700 °C. Серьезным недостатком графита является легкость окисления, которая интенсивно развивается выше 550 °C.

235

Сплавы на основе тугоплавких металлов

Эти сплавы изготавливают на основе таких металлов: ванадий, тантал, ниобий, хром, молибден, вольфрам.

Их температура плавления превышает 1700 °C. Кроме высокой температуры плавления они характеризуются малым тепловым расширением, небольшой теплопроводностью, повышенной жесткостью и прочными межатомными связями.

234

- Уникальной особенностью графита является увеличение модуля упругости и прочности при нагревании. До температуры 2200-2400 °C прочность графита повышается максимально на 60% и лишь при более высоких температурах он теряет прочность.

236

**Тема 2.3. Цветные металлы и сплавы.
Алюминий и его сплавы.**



Мягкий, лёгкий и пластичный металл серебристо-белого цвета



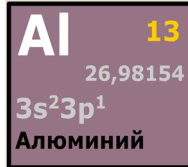
Микроструктура алюминия на протравленной поверхности слитка, чистотой 99,9998 %,

Алюминий и его сплавы

Алюминий и его сплавы



Алюминий и его сплавы



Алюминий и его сплавы

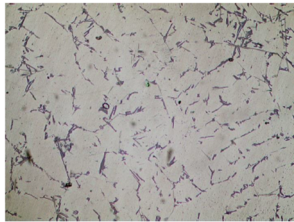
Алюминий – металл серебристо-белого цвета, имеет ГЦК решетку, полиморфных превращений не имеет. Плотность – 2,7 г/см³, $T_{пл.}$ – 660 °С. Характеризуется высокой электро- и теплопроводностью, высокой пластичностью и малой прочностью.

Механические свойства: $\sigma_b = 60...80$ МПа, $\delta = 40...50$ %, $E = 70$ ГПа. Алюминий обладает хорошей коррозионной стойкостью из-за плотной оксидной пленки Al_2O_3 .

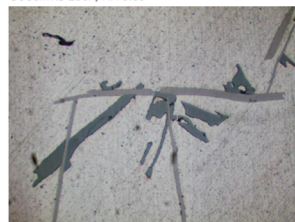
Первичный Al выпускается трех сортов: особой чистоты (А999), высокой чистоты (А995...А95) и технической чистоты (А85...А0). Например, алюминий марки А995 содержит не менее 99,995 % Al, марки А6 – 99,6 % Al, марки А0 – 99,0 % Al. Основные примеси – Fe и Si, образуют промежуточные фазы α (Fe_2SiAl_6) и δ ($FeSiAl_3$) (повышают прочность и снижают пластичность).

Алюминий и его сплавы

Объектив 10X, NA 0,25



Объектив 100X, NA 0,85



В структуре алюминия присутствуют иглообразные включения $FeAl_3$ и небольшое количество α ($Fe-Si-Al$).



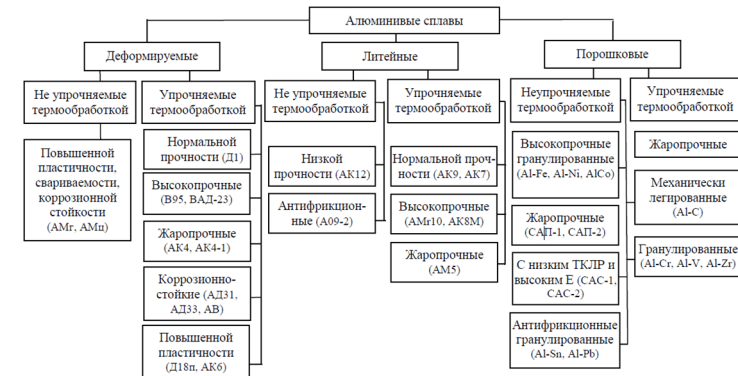
Алюминий и его сплавы

Механические свойства в состоянии М составляют $\sigma_b = 60$ МПа, $\delta = 20...28$ %, в состоянии Н – $\sigma_b = 130...145$ МПа, $\delta = 3...5$ % и в состоянии ГК – $\sigma_b = 70$ МПа, $\delta = 15$ %.

Полезные свойства *технического алюминия* применяется в следующих областях:

- 1) высокая пластичность – для получения тонких фольг (упаковка, обкладки конденсаторов, декоративное применение);
- 2) высокая электропроводимость (65 % от проводимости меди) – в электротехнике (линии электропередач, жилы кабелей);
- 3) высокая коррозионная стойкость (пленка оксида Al_2O_3 толщиной 10 мкм защищает поверхность металла) – в быту, для хранения продуктов питания, агрессивных жидкостей;
- 4) высокая отражательная способность – для изготовления прожекторов, рефлекторов, экранов ТВ;
- 5) высокая теплопроводность – для изготовления теплообменников в холодильниках.

Алюминий и его сплавы



Алюминий и его сплавы

Алюминий с большинством легирующих элементов образует **химические соединения** и **ограниченные твердые растворы**. Обобщенная диаграмма состояния алюминий – легирующий элемент позволяет подразделить сплавы следующим образом:

Д – деформируемые сплавы,
Л – литейные сплавы,

Н – не упрочняемые термообработкой сплавы,
У – упрочняемые термообработкой сплавы.



Деформируемые сплавы алюминия, не упрочняемые термической обработкой

Химический состав деформируемых алюминиевых сплавов, не упрочняемых термической обработкой

| Система | Марка сплава | Массовая доля элементов, % | | | | |
|---------|--------------|----------------------------|-----------|---------------|-------------|--------------------|
| | | Mn | Mg | Si кремний | Ti | Be Бериллий |
| Al-Mn | АМц | 1,0...1,6 | – | – | – | – |
| Al-Mg | АМг 1 | – | 0,4...1,7 | – | – | – |
| | АМг 2 | 0,2...0,6 | 1,8...2,8 | – | – | – |
| | АМг 3 | 0,3...0,6 | 3,2...3,8 | 0,5...0,8 | – | – |
| | АМг 5 | 0,3...0,8 | 4,8...5,8 | – | 0,02...0,10 | 0,0002... 0,005 |
| | АМг 6 | 0,5...0,8 | 5,8...6,8 | – | 0,02...0,10 | 0,0002... 0,005 |

Деформируемые сплавы алюминия, не упрочняемые термической обработкой

Это сплавы с магнием и марганцем. Марки обозначаются АМг и АМц. Применяются для изделий, получаемых глубокой вытяжкой и сваркой, т.е. штампосварных конструкций.

Структура этих сплавов после медленного охлаждения состоит только из α-твердого раствора марганца или магния в алюминии. Никаких структурных изменений в этих сплавах при нагревании и охлаждении не происходит, поэтому применение термической обработки с целью повышения прочности невозможно. **Упрочнение** этих сплавов возможно только **за счет холодной пластической деформации**, т.е. наклепа (нагартовки).

Деформируемые сплавы алюминия, упрочняемые термической обработкой

Можно разделить на следующие виды:

- конструкционные (Al-Cu-Mg) **дуралюмины**;
- повышенной пластичности (Al-Mg-Si) **авиаль**;
- ковочные (Al-Mg-Si-Cu);
- высокопрочные (Al-Zn-Mg-Cu);
- жаропрочные (Al-Cu-Mg и Al-Cu-Mn).

**Деформируемые сплавы алюминия,
упрочняемые термической обработкой**

Самые распространенные алюминиевые сплавы – **дуралюмины**. Слово «**дуралюмин**» в переводе с французского означает «твердый алюминий».

Дуралюмины - это сплавы алюминия с медью (до 5 %) и магнием (до 1,8 %) с незначительным добавлением марганца и других элементов для повышения стойкости против коррозии. Дуралюмины в упрочненном состоянии имеют высокую прочность и пластичность ($\sigma_b = 490-540$ Мпа, $\delta = 11-14$ %), удовлетворительно обрабатываются резанием и свариваются контактной сварной, но не свариваются сваркой плавлением вследствие склонности к образованию трещин. Это наиболее распространенные алюминиевые сплавы, применяемые в различных отраслях для изготовления разнообразных нагруженных конструкций. Дуралюмины обозначаются буквой "Д" и цифрами, указывающими условный номер сплава, например: Д1, Д16, Д20 и др.

**Деформируемые сплавы алюминия,
упрочняемые термической обработкой**

Сплав авиаль (АВ) – менее прочный, чем дуралюмин, но более пластичный (содержит $\leq 0,5$ % Cu и Si).

Суммарное содержание легирующих компонентов обычно колеблется в пределах 1...2 %. Они менее прочны, чем дуралюмины, но более пластичны и обладают лучшей коррозионной стойкостью.

Средний состав промышленных сплавов системы Al–Mg–Si.

| Сплав | Содержание компонентов, % | | | | |
|-------|---------------------------|-----|------|-----|------|
| | Cu | Mg | Mn | Si | Cr |
| АВ | 0,4 | 0,7 | 0,25 | 0,9 | – |
| АД 31 | – | 0,7 | – | 0,5 | – |
| АД 33 | 0,3 | 1,0 | – | 0,6 | 0,25 |
| АД 35 | – | 1,1 | 0,7 | 1,0 | – |

**Деформируемые сплавы алюминия,
упрочняемые термической обработкой**

Марки **дуралюминов**: Д1 – нормальный, Д16 – «супердуралюмин», Д18 – заклепочный. Все они содержат медь (около 4 %), магний и марганец.

Химический состав промышленных дуралюминов

| Сплав | Среднее содержание компонентов, % | | | | |
|-------|-----------------------------------|------|------|------|------------|
| | Cu | Mg | Mn | Ti | ЦирконийZr |
| Д 1 | 4,3 | 0,6 | 0,60 | – | – |
| Д 16 | 4,3 | 1,5 | 0,60 | – | – |
| Д 19 | 4,0 | 2,0 | 0,75 | – | – |
| ВАД 1 | 4,1 | 2,5 | 0,60 | 0,06 | 0,15 |
| ВД 17 | 3,0 | 2,2 | 0,55 | – | – |
| ВД 18 | 2,6 | 0,35 | – | – | – |
| В 65 | 4,2 | 0,25 | 0,40 | – | – |

**Деформируемые сплавы алюминия,
упрочняемые термической обработкой**

Ковочные алюминиевые сплавы (АК) содержат те же компоненты, что и дуралюмин, и, кроме того, кремний. Детали получают ковкой или штамповкой при 450-475 °С, затем следует закалка и искусственное старение. Применяют для изготовления деталей сложной формы.

**Химический состав промышленных сплавов
системы Al–Cu–Mg–Si**

| Сплав | Содержание элементов, % | | | |
|-------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Cu | Mg | Si | Mn |
| АК 6 | 1,8...2,6 | 0,4...0,8 | 0,7...1,2 | 0,4...0,8 |
| АК 8 | 3,9...4,8 | 0,4...0,8 | 0,5...1,2 | 0,4...1,0 |

**Деформируемые сплавы алюминия,
упрочняемые термической обработкой**

Высокопрочные алюминиевые сплавы (В95, В96) после ТО имеют $\sigma_{\text{в}} = 600-700$ МПа; предел текучести почти равен пределу прочности. Это сплавы системы Al – Zn – Mg – Cu, иногда с добавлением Cr или Zr. Для повышения коррозионной стойкости листы плакируют чистым алюминием с добавкой 1 % Zn.

Все алюминиевые сплавы этой группы – авиационные. Из них делают лопасти винтов, шпангоуты, тяги управления, обшивку самолетов, стрингеры, лонжероны.

Содержание легирующих элементов в сплавах системы Al–Zn–Mg–Cu

| Сплав | Содержание элементов, % | | | | | |
|-------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | Zn | Cu | Mg | Mn | Cr | Zr |
| В 95 | 5,0...7,0 | 1,4...2,0 | 1,8...2,0 | 0,2...0,6 | 0,1...0,2 | – |
| В 96 | 7,6...8,6 | 2,2...2,8 | 2,5...3,2 | 0,2...0,5 | 0,1...0,2 | – |
| В 96ц | 8,0...9,0 | 2,0...2,6 | 2,5...2,9 | – | – | 0,12...0,18 |

**Деформируемые сплавы алюминия,
упрочняемые термической обработкой**

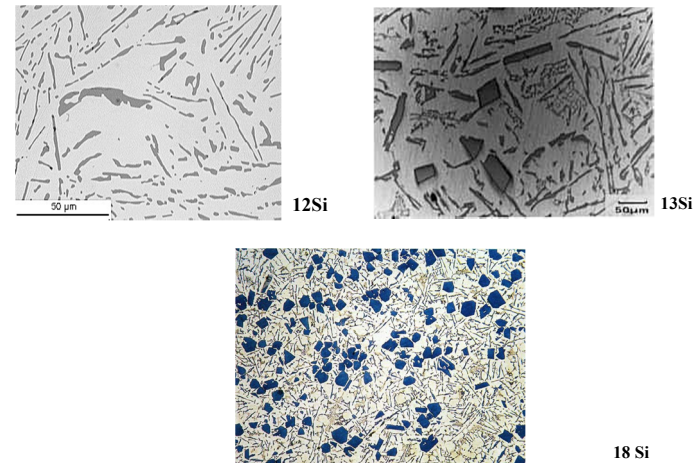
Сплавы В95 и В96 подвергаются закалке с температуры 460...470 °С с последующим охлаждением в холодной или подогретой до 80...90 °С воде для исключения растрескивания и коробления крупногабаритных изделий. Для повышения пластичности, вязкости, коррозионной стойкости под напряжением сплавы подвергаются двухступенчатому смягчающему искусственному старению.

Литейные алюминиевые сплавы.

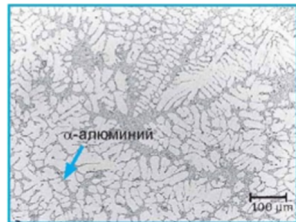
Сплавы **алюминий-кремний**, которые не содержат добавок меди, применяют тогда, когда требуются хорошие литейные свойства и высокая коррозионная стойкость. Часто их называют **силуминами**. Металлографические структуры чистых компонентов, алюминия и кремния, а также нескольких промежуточных химических составов показаны на рисунке ниже. Промежуточные составы являются смесью алюминия, который содержит около 1 % растворенного кремния и частицы почти чистого кремния.

Сплавы с содержанием кремния менее 12 % называют доэвтектическими, с содержанием кремния около 12 % — эвтектическими, более 12 % — заэвтектическими.

Литейные алюминиевые сплавы.



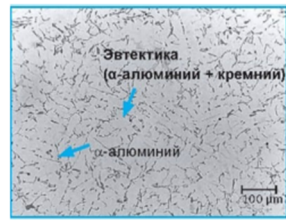
Литейные алюминиевые сплавы.



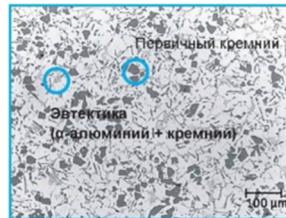
доэвтектический с зернистой структурой;



эвтектический



доэвтектический с улучшенной структурой



заэвтектический.

Жаропрочные алюминиевые сплавы.

Работают до 300 °С (поршни, крыльчатки, детали компрессоров турбореактивных двигателей, обшивка сверхзвуковых самолетов).

Состав сложный: содержат железо, никель, титан, цирконий. Могут быть как деформируемыми, так и литейными.

У некоторых сплавов температура рекристаллизации выше температур деформирования и закалки.

Это дает структурное упрочнение на 30-40 % по сравнению с рекристаллизованными сплавами.

Литейные алюминиевые сплавы.

Химический состав литейных алюминиевых сплавов

| Система сплава | Марка сплава | Содержание элементов, % | | | | |
|----------------|--------------|-------------------------|------------|------------|-----------|---------|
| | | Si | Mg | Mn | Cu | Zn |
| Al-Si | АЛ 2 | 10...13 | — | — | — | — |
| | АЛ 4 | 8...10,5 | 0,17...0,3 | 0,25...0,5 | — | — |
| Al-Si-Cu | АЛ 5 | 4,5...5,5 | 0,35...0,6 | — | 1...1,5 | — |
| | АЛ 6 | 4,5...6 | — | — | 2...3 | — |
| Al-Mg | АЛ 8 | — | 9,5...11,5 | — | — | — |
| | АЛ 13 | 0,8...1,3 | 4,5...5,5 | 0,1...0,4 | — | — |
| Al-Cu | АЛ 7 | — | — | — | 4...5 | — |
| | АЛ 19 | — | — | 0,6...1 | 4,5...5,3 | — |
| Al-Zn | АЛ 11 | 6...8 | 0,1...0,3 | — | — | 10...14 |

Некоторые литейные сплавы можно упрочнять термической обработкой. Для разных видов литья разработаны различные сплавы (например, специально для литья под давлением). Применяют, в основном, для сложных тонкостенных отливок: деталей автомобильных двигателей (картеры и блоки цилиндров, корпуса компрессоров).

Литейные алюминиевые сплавы.

Химический состав жаропрочных алюминиевых сплавов

| Сплав | Содержание элементов, % | | | | | | | |
|--------|-------------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| | Cu | Mg | Mn | Si | Ti | Zr | Ni | Fe |
| АК 4-1 | 1,9...2,5 | 1,4...1,8 | — | 0,33...0,37 | 0,02...0,10 | — | 1,0...1,5 | 1,0...1,5 |
| Д 20 | 6,0...7,0 | — | 0,4...0,8 | 0,25...0,35 | 0,10...0,20 | 0,19...0,21 | — | — |

Жаропрочные сплавы используются для изготовления изделий, работающих при температурах до 300 °С: головки и поршни двигателей внутреннего сгорания, лопатки и диски компрессоров турбореактивных двигателей, трубы, обшивка сверхзвуковых самолетов и др.

Классификация литых алюминиевых сплавов

В зависимости от состава основных компонентов литейные алюминиевые сплавы согласно ГОСТ 1583-93 подразделяются на пять групп:

1 группа - сплавы на основе Al – Si - Mg

Марки сплавов АК9, АК12 и др. Эти сплавы не упрочняются термической обработкой, отличаются высокими литейными свойствами, хорошо обрабатываются резанием, свариваются газовой и аргонодуговой сваркой. Механические свойства их невысокие ($\sigma_b = 180-200$ МПа, $\delta = 3-5$ %), поэтому их применяют для изготовления крупных деталей (блоки цилиндров двигателей, картера агрегатов, корпуса насосов и др.);

Классификация литых алюминиевых сплавов

4 группа - сплавы на основе Al - Mg

Марки сплавов АМг6, АМг10, АМг5К и др. Характерной особенностью этих сплавов является высокая коррозионная стойкость, повышенные механические свойства ($\sigma_b = 350-360$ МПа, $\delta = 10-18$ %), но пониженные литейные качества. Эти сплавы применяют для изготовления литых деталей, работающих во влажной среде, в основном в авиа- и судостроении.

5 группа - сплавы алюминия с другими компонентами (цинк, марганец, медь, никель, титан и др.),

Классификация литых алюминиевых сплавов

2 группа - сплавы на основе Al – Si - Cu

Марки сплавов АК8М, АК9М2 и др. Сплавы упрочняемые термической обработкой, имеют повышенные механические свойства ($\sigma_b = 200-260$ МПа). Используются для изготовления более мелких средненагруженных деталей (фланцы, крышки, корпуса, поршни);

3 группа - сплавы на основе Al – Cu

Марки сплавов АМ5, АМ45К и др. Сплавы термически упрочняемые, имеют высокие механические свойства ($\sigma_b = 250-350$ МПа, $\delta = 5-9$ %). Хорошо обрабатываются резанием. Литейные свойства пониженные, сплавы малоустойчивы против коррозии. Используются для отливки нагруженных деталей простой формы (кронштейны, рычаги, тормозные колодки и др.);

Классификация литых алюминиевых сплавов

Классификация литых алюминиевых сплавов разработан Алюминиевой Ассоциацией США:

Каждый литейный сплав обозначается четырехзначным числом с десятичной точкой, отделяющей третий и далее цифры.

Первая цифра указывает на сплав группы в соответствии с основной легирующей добавкой:

1xx.x алюминия, 99,0% минимум;

2xx.x меди (4% ... 4,6%);

3xx.x кремния (5% ... 17%) с добавлением меди и / или магния;

4xx.x кремния (5% ... 12%);

5xx.x магния (4% ... 10%);

7xx.x цинка (6,2% ... 7,5%);

8xx.x олова;

9xx.x другие.

ЛЕКЦИЯ Медь и сплавы на её основании

1. Общие ведомости
2. Бронзы.
3. Латунни

Литая медь при медленном охлаждении образует крупные кристаллы дендритной формы, что снижает ее механические свойства, повышает пластичность и способность к обработке давлением.



267

Общие ведомости

- Медь - относительно тяжелый металл красного или бурого цвета. После охлаждения и деформирования максимальная прочность $\delta_b = 450$ МПа, а $\delta_b = 3\%$. Медь имеет наибольшую электропроводность (кроме серебра) и теплопроводность, высокую пластичность и коррозионную стойкость. Она характеризуется хорошей технологичностью и легко прокатывается в тонкие листы.

266

Легирующие элементы существенно изменяют ее свойства. Легирующие элементы разделяют на три группы:

1. **Растворимые в меди элементы** Al, Fe, Ni, Sn, Zn, Ag повышают прочность и твердость меди и используются для легирования сплавов на медной основе.
2. **Нерастворимые элементы** Pb и Bi образуют легкоплавкие эвтектики и в однофазных сплавах уменьшают их механические свойства.
3. **Нерастворимые элементы** O, S, Se, Te присутствуют в меди в виде нерастворимых фаз (например Cu_2O , Cu_2S).

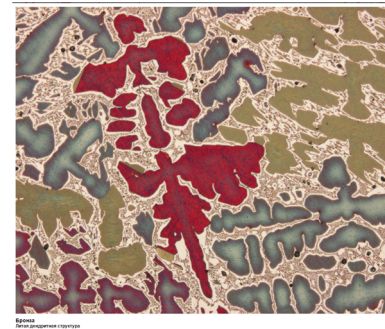
268

- Медные сплавы принято делить на две основные группы: **бронзы и латуни**.

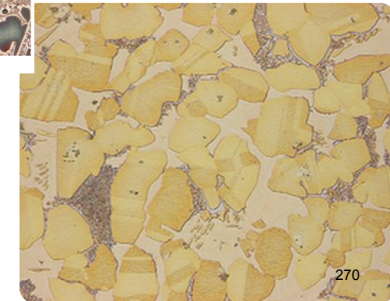
Бронзы.

- Бронзами называют сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, свинцом, бериллием и некоторыми другими элементами. Бронзы характеризуются высокими механическими, антифрикционными и литейными свойствами.

269



Алюминиевая бронза



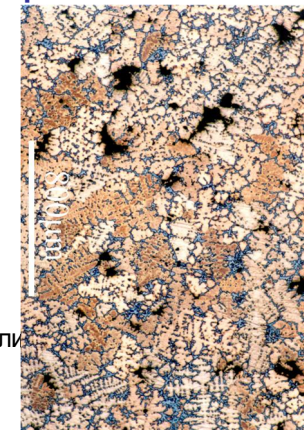
270

- Бронзы широко используются для изготовления деталей, работающих в условиях трения скольжения и качения. Маркировка бронзы начинается буквами Бр, за ними следуют буквы, обозначающие легирующие элементы, и цифры, указывающие их массовую долю (остальное - медь). Например, марка БрАЖМц 10-3-1,5 - бронза алюминиевая, содержит 10% алюминия, 3% железа, 1,5% марганца, остальное - медь

271

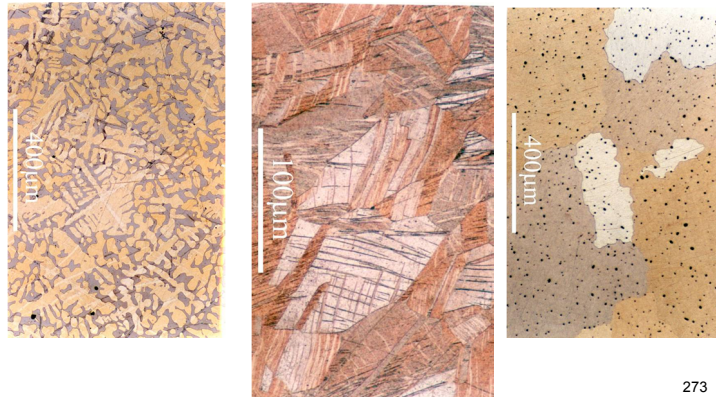
Оловянные бронзы

- Основные марки: БрОФ 6,5-015, БрОФ 10-1 и другие. Оловянные бронзы применяют для литых деталей сложной формы. Недостатком отливок из оловянных бронз - их значительная микропористость. Из-за высокой цены олова чаще используют бронзы, в которых часть олова заменена цинком (или свинцом).



272

Оловянная бронза у в литом, деформированном и отожжённом состояниях



273

Латунь

Латунь- это сплав меди, главным легирующим элементом которого является цинк. Двойные медно-цинковые сплавы называются простыми латунями, а многокомпонентные - специальными.

Структура и свойства латуни зависит в первую очередь, от содержания цинка. Медь с цинком образуют твердый раствор с предельной концентрацией цинка 39%. В связи с высокой пластичностью однофазные латуни хорошо поддаются холодной пластической деформации, при этом значительно повышается их прочность и твердость.

275

Алюминиевые бронзы

Эти бронзы (однофазные и двухфазные) широко заменяют латуни и оловянные бронзы. Однофазные бронзы в группе медных сплавов имеют наибольшую пластичность (δ до 60%). После сильной холодной пластической деформации они получают повышенную прочность и упругость.

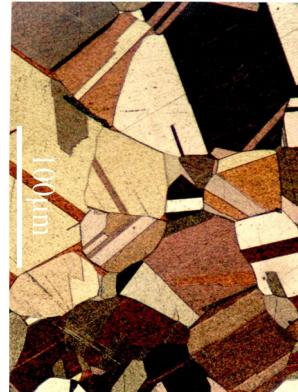
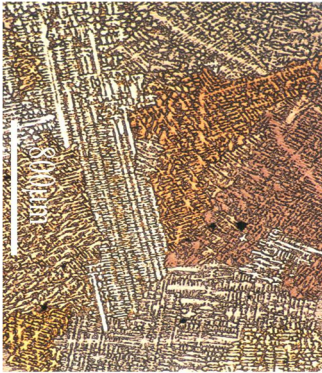
Двухфазные бронзы подлежат горячей деформации или используют в виде отливок. Распространены следующие марки алюминиевых бронз: БрАЖ 9-4 , БрАЖН 10-4-4

274

Простые латуни содержат только медь и цинк. Их маркируют буквой Л и цифрами, которые означают содержание меди в сплаве. Например, марка Л80 означает латунь с 80% Cu, остальные - Zn. Учитывая высокую пластичность, простые латуни обрабатывают давлением. Простые латуни марок Л96, Л90, Л85 (имеют наибольшую основу меди) называют **томпак**. Из них изготавливают, например, радиаторные трубки, профили, ленты.

276

Латунь Л60 В литом и отожжённом (после ПД) состояниях



277

278

- Повышение содержания цинка удешевляет латунь (цинк примерно в 4 раза дешевле меди), улучшает их обработку резанием.
- Вместе с тем уменьшается теплопроводность и электрическая проводимость, которая составляет 20-50% от характеристики меди.

Специальные латуни содержат кроме цинка легирующие элементы - Al, Ni, Si, Sn, Pb, Fe и др. Они повышают коррозионную стойкость, твердость, прочность, а также технологические свойства (облегчают обработку резанием). Содержание легирующих элементов (кроме Си и Zn) от 1 до 8%.

279

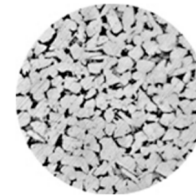
- При маркировке специальных латуней содержание элементов обозначают начальными буквами их названий: О - олово, С - свинец, Н - никель, Мг - магний, Ж - железо, А-алюминий и т. Первые две цифры, записанные после буквы Л, означают среднее содержание меди (в процентах), а последующие - содержание других элементов (в процентах), остальное-цинк.

280

- Например, марка ЛС59-1 означает: латунь специальная, содержит 59% Cu, 1% Pb, остальное - цинк; марка ЛАЖМц66-6-3-2 - латунь содержит 66% Cu, 6% Al, 3% Fe, 2% Mn, остальное - цинк.



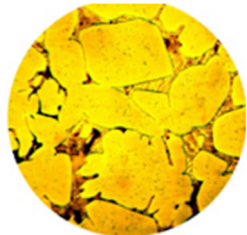
| Br52 | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Тип сплава: | Медные сплавы |
| Обработка: | нормализация |
| Твердость (НВ, ГПа): | 0.37 |
| Основа: | Cu |
| Компоненты: | Be (2 масс%), Ni (0.5 масс%) |
| Структурные составляющие: | эвтектид |
| Субструктура: | Однородная светлая (нет субструктуры) |
| Форма включений: | Игольчатые ориентир. |



| LC59-1 | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Тип сплава: | Медные сплавы |
| Обработка: | нормализация |
| Твердость (НВ, ГПа): | 0.9 |
| Основа: | Cu |
| Компоненты: | Zn (41 масс%), Pb (1 масс%) |
| Структурные составляющие: | кристаллы вторичные |
| Субструктура: | Однородная темная (нет субструктуры) |
| Форма включений: | Зерна или глобули |

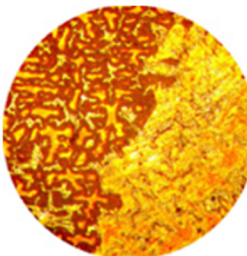
281

282



| | |
|---------------------------|-------------------------------|
| Марка | BrA14 |
| Тип сплава: | Медные сплавы |
| Обработка: | литье |
| Твердость (НВ, ГПа): | нет данных |
| Основа: | Cu |
| Компоненты: | Al (14 масс%) |
| Структурные составляющие: | эвтектид |
| Субструктура: | Полосчатая (подобная перлиту) |

Описание: Алюминиевая бронза. Крупные избыточные кристаллы гамма-фазы (интерметаллид CuAl) и эвтектид (гамма-фаза и альфа-твердый раствор на основе меди) в роли матрицы. Внутри избыточных кристаллов видны выделения альфа, образовавшиеся за счет уменьшения растворимости.



| | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Марка | BrO10 |
| Тип сплава: | Медные сплавы |
| Обработка: | литье |
| Твердость (НВ, ГПа): | нет данных |
| Основа: | Cu |
| Компоненты: | Sn (10 масс%) |
| Структурные составляющие: | кристаллы первичные, эвтектид |
| Субструктура: | Островковая (подобная ледебуриту) |
| Форма включений: | Дендриты |

Описание: Оловянистая бронза. Вследствие дендритной ликвации светлые оси дендритов (твердый раствор на основе меди) сильно обогащены медью; вокруг них более темная оболочка с пониженным содержанием меди. Междоузельные пространства сильно обогащены оловом и твердый раствор при охлаждении испытывает серию эвтектидных превращений. Этот эвтектид образует матрицу.

Сплавы на основе титана и магния

13.1. Титан

13.3. Деформируемые титановые сплавы

13.3. Литейные титановые сплавы

13.4. Порошковые сплавы

13.5. Сплавы на основе магния

13.7. Литейные магниевые сплавы

13.6. Деформируемые магниевые сплавы

13.8. Применение магниевых сплавов

Титан

- Титан имеет две полиморфные модификации. Ниже температуры 882 °С устойчив α -титан, имеющий гексагональную кристаллическую решетку, а выше 882 °С - β -титан, кристаллизующегося в кубической объемноцентрированной решетке.
- Вредными примесями для титана являются азот, углерод, кислород и водород, образуют с ним твердый раствор внедрения и хрупкие оксиды, карбиды, нитриды и гидриды.

285

- **Легирующие элементы** по характеру воздействия на полиморфные превращения титана подразделяются на три группы: α -стабилизаторы, β -стабилизаторы и нейтральные
- К α -стабилизаторам, расширяющим область α -Модификация и повышают температуру полиморфного превращения, относятся такие элементы, как: Al, Ca, Ce, La, C, O, N.

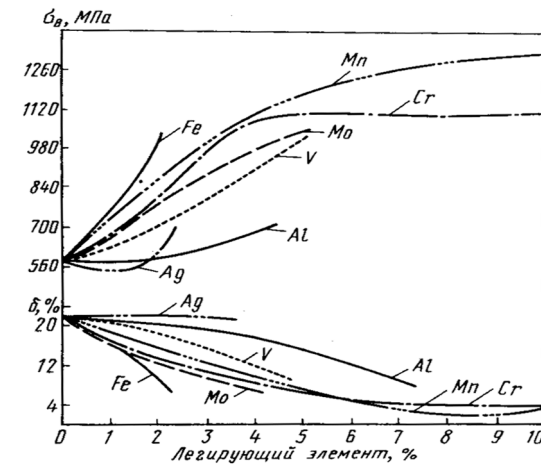
287

Коррозионная стойкость титана. Титан и его сплавы кроме высокой удельной прочности обладают высокой коррозионной стойкостью. Титан более устойчив в агрессивных средах, чем железо, алюминий, никель.

По своей коррозионной стойкости он превосходит даже высоколегированные коррозионностойкие стали.

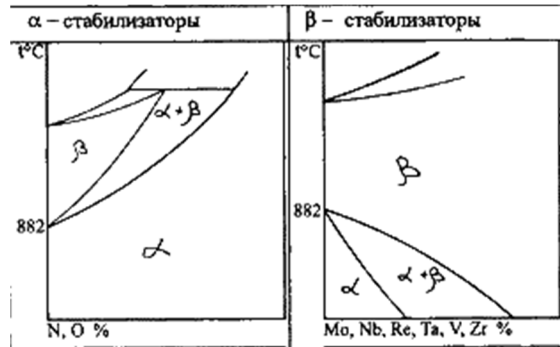
Высокая коррозионная стойкость титана обусловлена образованием на поверхности плотной защитной пленки (TiO_2). Если эта пленка не растворяется в окружающей среде, то титан практически не поддается коррозии

286



- Влияние легирующих элементов на механические свойства титана

288



- Влияние легирующих элементов на полиморфное превращение

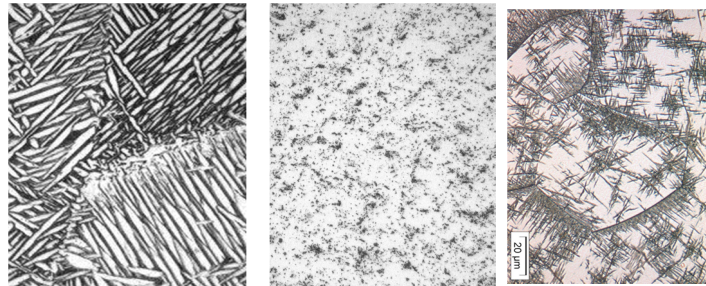
289

Элементы, снижающие температуру полиморфного превращения и расширяют область существования β -модификации, относятся к группе β -стабилизаторов.

В эту группу входят: W, Mo, V, Nb, Ta, Zr, Hf, Cr, Mn, Si, Fe, Co, Ag и др.

По технологии производства титановые сплавы подразделяются на **деформируемые**, **литейные** и **порошковые**. По структуре в отожженном состоянии на α -сплавы, β -сплавы, псевдо- α , псевдо- β и $\beta + \alpha$ -титановые сплавы.

290



Микроструктура α -титанового сплава

Микроструктура β -титанового сплава

Микроструктура $\alpha + \beta$ -титанового сплава

291

• Деформируемые титановые сплавы.

- К этой группе сплавов относятся сплавы титана с алюминием (BT5), имеющие α -структуру, дополнительно легированные оловом или цирконием (BT 5-1), имеют высокие механические свойства при криогенных и повышенных температурах (450-500 °C).
- Псевдо- α сплавы имеют преимущественно α -структуру и небольшое количество β -фазы (1-5%) Сохраняя достоинство α -сплавов, они, благодаря наличию β -фазы, имеют высокую технологическую пластичность.

292

Двухфазные $\alpha + \beta$ сплавы имеют хорошие технологические и механические свойства.

Типичным представителем этой группы относятся сплавы ВТ6, ВТ14, ВТ16, ВТ3-1, ВТ25.

Титановые сплавы с β -структурой превосходят другие сплавы по своей закаливанию и высокой прочности.

Сплавы этой группы легко обрабатываются, им свойственна высокая вязкость. К этой группе сплавов относятся: ВТ15, ВТ30, ТС6 и др.

293

13.4. Порошковые сплавы

- Методы порошковой металлургии позволяют получать элементы конструкции с заранее заданными свойствами, структурой. При этом коэффициент использования заготовки достигает 80-85%
- Применение порошков для изготовления деталей авиационной техники позволяет получать почти готовые детали, обеспечивает более высокую однородность материала

295

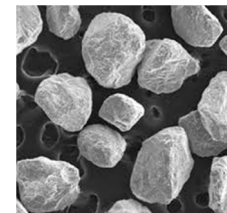
12.3. Литейные титановые сплавы.

Одной из особенностей этих сплавов является их хорошая текучесть.

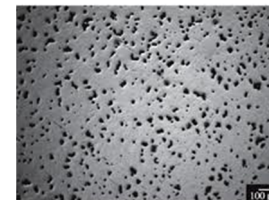
Что касается недостатков, то к ним следует отнести наличие литейных дефектов, трудности производства фасонных отливок через взаимодействие титана с огнеупорными материалами и газами.

Для фасонного литья применяют технический титан и его сплавы: ВТЛ1, ВТ5Л, ВТ14Л, ВТ21Л, ВТ3-1 Л.

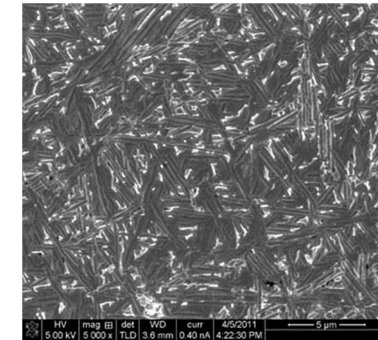
294



Порошок титанового сплава



Поры – дефекты спеченных титановых сплавов



Титановый сплав спеченный из порошка TiN

296

- **Высокопрочные титановые сплавы** по абсолютной прочности поступают высокопрочным сталям, но вследствие их небольшой плотности удельная прочность выше, чем в максимально прочных сталях.
- Его используют для изготовления лопаток и дисков компрессоров, воздухо-заборник, роторов и корпусов компрессоров. Замена стальных лопаток компрессоров титановыми уменьшает суммарную массу лопаток в двигателе на 40-45% и на 20-25% массу дисков.

297

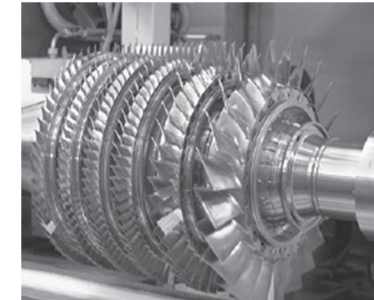
Изделия из титановых сплавов



- Штампованная заготовка
- лопаток из сплава BT4-1



- 3D-печатная петля для самолёта A380



- Ротор КВД

298

Сплавы на основе магния

- Среди промышленных металлов магний имеет наименьшую плотность (1720 кг/м³), что и обусловило применение магния и его сплавов в разных областях техники и главным образом авиации.
- Упругие характеристики магния небольшие и составляют 45 ГПа (модуль Юнга) и 17 ГПа (модуль сдвига), причем удельная твердость магния почти такая же, как в алюминии.

299

Классификация магниевых сплавов По технологии изготовления

- а) деформируемые - для производства полуфабрикатов разными методами обработки давлением;
- б) литейные - для получения деталей методами фасонного литья.
- Деформируемые магниевые сплавы маркируются буквами МА, а литейные - МЛ.

300

По возможным температурам эксплуатации

- сплавы для работы при обычных температурах (сплавы общего назначения);
- жаропрочные (для продолжительной эксплуатации при температурах до 200 °С);
- высоко жаропрочные (для продолжительной эксплуатации при температурах до 250 - 300 °С);
- сплавы для криогенных температур.

301

Общая характеристика магниевых сплавов

- Для магниевых сплавов характерны следующие черты:
- малая плотность (для большинства сплавов 1800 кг/м³);
- невысокая коррозионная стойкость сплавов без защитных покрытий;
- сниженный, по сравнению со сталями и алюминиевыми сплавами, модуль нормальной упругости (42 ГПа);
- низкое сопротивление ударной и знакопеременной нагрузке;

302

Магниевые сплавы имеют ряд **технологических недостатков**, к числу которых относятся прежде всего **плохие литейные свойства и низкая пластичность в горячем и особенно в холодном состоянии**.

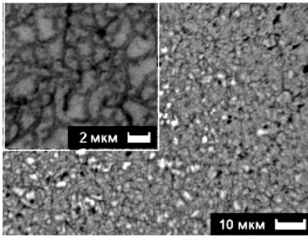
Есть определенные трудности при выплавке и литье магниевых сплавов, которое вызывает необходимость применения специальных предупредительных мер **для предотвращения загорания** сплава

303

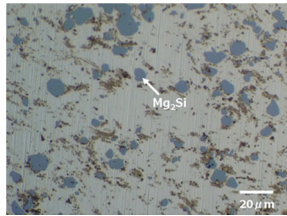
Деформируемые магниевые сплавы

- Основными сплавами системы **Mg-Mn** есть МА1 и МА8. Это однофазные, термически не упрочняемые сплавы, имеют высокую **технологическую пластичность, добрую свариваемость и коррозионную стойкость**. По механическим свойствам относятся к сплавам низкой прочности.
- Сплавы магния с алюминием содержат 0, 2-1,5% Zn. К ним принадлежит сплав МА5. Повышение содержания в сплаве цинка и алюминия приводит к увеличению прочности сначала в результате увеличения концентрации твердого раствора, а потом благодаря появлению вторичных фаз Mg₄Al₃ и Zn₃Al₂.

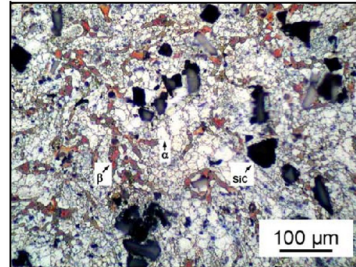
304



Микроструктура сплав MA5



Mg-Si



Mg-Li

305

- Однако в промышленные сплавы вводят 10% Al и не больше 6% Zn, так как **большое количество промежуточных фаз вызывает снижение пластичности.**
- **Высокопрочные сплавы магния с цинком** дополнительно легируют цирконием (MA14, MA19, MA20), редкоземельными элементами (MA15, MA19, MA20).
- Упрочнению сплавов оказывает содействие выделение интерметаллида $MgZn_2$.

306

Литейные магниевые сплавы

- **Преимуществом** литейных сплавов перед деформируемыми есть **значительная экономия металла при производстве деталей.** Однако через **грубозернистость литой структуры** они **имеют более низкие механические свойства,** особенно пластичность.
- Наибольшее применение нашли сплавы системы Mg - Al - Zn что содержат от 5 до 9% Al. Это сплавы МЛ4, МЛ5, МЛ4пч МЛ5пч, МЛ6.

307

- **Сплавы системы Mg - PЗМ - Zr** (МЛ9, МЛ10, МЛ10, МЛ19) отличаются высокой жаропрочностью, могут долгосрочно работать при температуре 250 - 350 °С и кратковременно до 400 °С.
- Эти сплавы применяются после упрочняющей термообработки. Их жаропрочные свойства обусловлены присутствием интерметаллидных фаз Mg_9Nd , Mg_9Ce , что слабо коагулируют с повышением температуры

308

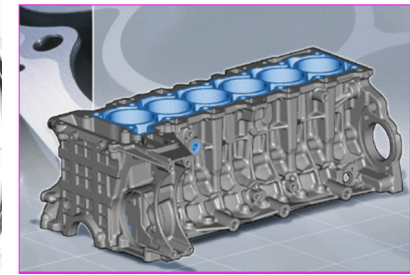
Применение магниевых сплавов

- Благодаря высоким значениям удельной прочности магниевые сплавы нашли широкое применение в авиа- и ракетостроении. Применение их для изготовления колес и вилок шасси, разных рычагов, корпусов приборов, насосов, коробок передач, фонарей и двери кабин, передних кромок крыла и других деталей планера самолета позволяет существенно уменьшить массу конструкций летательного аппарата.

309



• Тормозное колесо



• Блок цилиндров

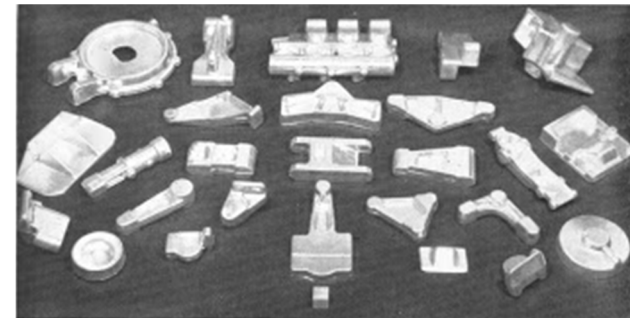


310

- В ракетостроении из магниевых сплавов изготавливают корпуса ракет, обтекатели топливных и кислородных баков и др.
- Высокопрочные литейные сплавы применяют для изготовления нагруженных деталей самолетов и двигателей (корпусов компрессоров, картеров, ферм шасси, колонок управления и др.).

311

Кованные детали из магниевых сплавов

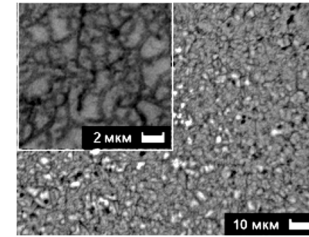


312

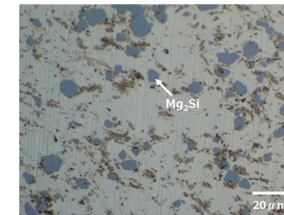
Деформируемые магниевые сплавы

- Основными сплавами системы **Mg-Mn** есть МА1 и МА8. Это однофазные, термически не упрочняемые сплавы, имеют высокую **технологическую пластичность, добрую свариваемость и коррозионную стойкость**. По механическим свойствам относятся к сплавам низкой прочности.
- Сплавы магния с алюминием содержат 0, 2-1,5% Zn. К ним принадлежит сплав МА5. Повышение содержания в сплаве цинка и алюминия приводит к увеличению прочности сначала в результате увеличения концентрации твердого раствора, а потом благодаря появлению вторичных фаз Mg_4Al_3 и Zn_3Al_2 .

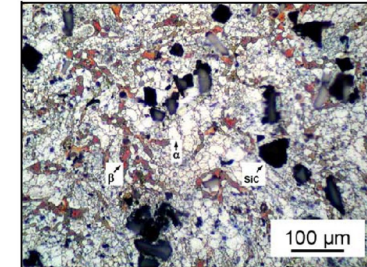
313



Микроструктура сплав МА5



Mg-Si



Mg-Li

314

- Однако в промышленные сплавы вводят 10% Al и не больше 6% Zn, так как **большое количество промежуточных фаз вызывает снижение пластичности**.
- Высокопрочные сплавы магния с цинком** дополнительно легируют цирконием (МА14, МА19, МА20), редкоземельными элементами (МА15, МА19, МА20).
- Упрочнению сплавов оказывает содействие выделение интерметаллида $MgZn_2$.

315

Литейные магниевые сплавы

- Преимуществом** литейных сплавов перед деформируемыми есть **значительная экономия металла при производстве деталей**. Однако через **грубозернистость литой структуры** они **имеют более низкие механические свойства**, особенно пластичность.
- Наибольшее применение нашли сплавы системы Mg - Al - Zn что содержат от 5 до 9% Al. Это сплавы МЛ4, МЛ5, МЛ4пч МЛ5пч, МЛ6.

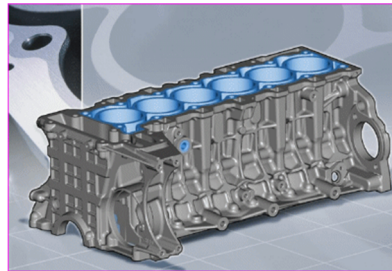
316

- Сплавы системы Mg - PЗМ - Zr (МЛ9, МЛ10, МЛ10, МЛ19) отличаются высокой жаропрочностью, могут долгосрочно работать при температуре 250 - 350 °С и кратковременно до 400 °С.
- Эти сплавы применяются после упрочняющей термообработки. Их жаропрочные свойства обусловлены присутствием интерметаллидных фаз Mg₉Nd, Mg₉Se, что слабо коагулируют с повышением температуры

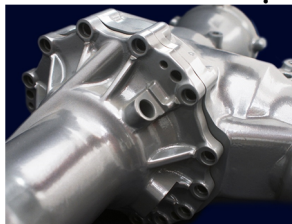
317



• Тормозное колесо



• Блок цилиндров



319

Применение магниевых сплавов

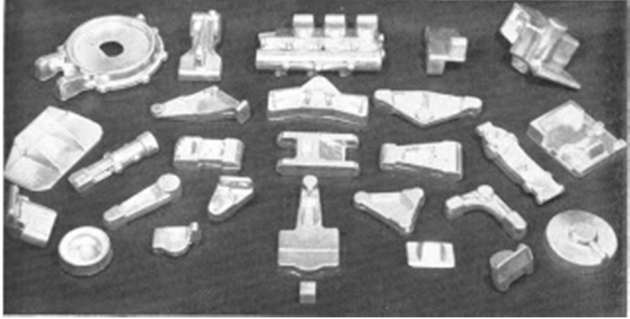
- Благодаря высоким значениям удельной прочности магниевые сплавы нашли широкое применение в авиа- и ракетостроении. Применение их для изготовления колес и вилок шасси, разных рычагов, корпусов приборов, насосов, коробок передач, фонарей и двери кабин, передних кромок крыла и других деталей планера самолета разрешает существенным образом уменьшить массу конструкций летательного аппарата.

318

- В ракетостроении из магниевых сплавов изготавливают корпуса ракет, обтекатели топливных и кислородных баков и др.
- Высокопрочные литейные сплавы применяют для изготовления нагруженных деталей самолетов и двигателей (корпусов компрессоров, картеров, ферм шасси, колонок управления и др.).

320

Кованные детали из магниевых сплавов



321