

Материаловедение и технология конструкционных материалов

Материаловедение - наука, изучающая взаимосвязь между составом, строением и свойствами материалов.

Курс **“Материаловедение и технология конструкционных материалов”**

включает три самостоятельные части:

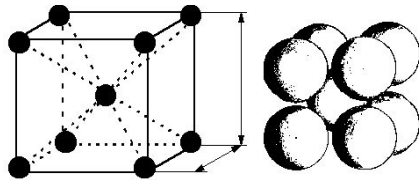
1. Металловедение.
2. Полимерное материаловедение
3. Технология переработки материалов

Атомно-кристаллическая структура металлов

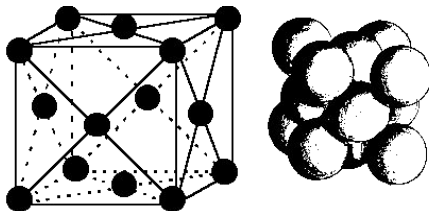
Кристаллическая решетка- это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой располагаются атомы, которые образуют твердое кристаллическое тело.

Наименьший объем кристалла, дающий представление об атомной структуре металла во всем объеме, называется элементарной кристаллической ячейкой

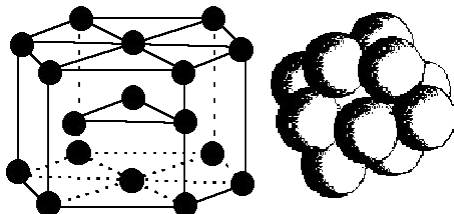
Типы элементарных кристаллических ячеек металлов



Объемно-центрированная кубическая ячейка (ОЦК), атомы которой расположены в узлах куба и один атом – в центре объема куба на пересечении пространственных диагоналей (Rb, K, Na, Li, W, V, Fe, Cr, Nb)



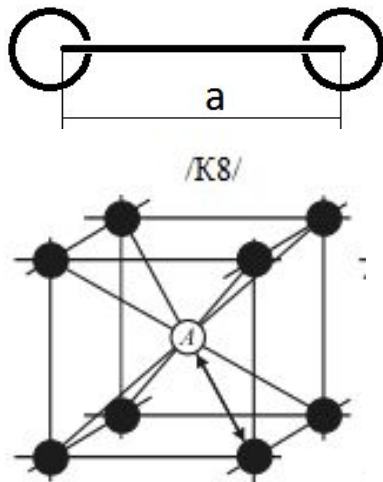
Гранецентрированная кубическая ячейка (ГЦК) – атомы расположены в углах куба и в центре каждой грани (Pt, Ni, Ag, Au, Pt, Pd, Fe, Cu и др.)



Гексагональная плотноупакованная ячейка (ГПУ) – атомы расположены в углах и центре шестигранных оснований призмы и три атома в средней плоскости призмы (Mg, Cd, Re, Zn, Be и др.)

Основные параметры элементарных кристаллических ячеек металлов

- период решетки
- координационное число
- базис решетки
- коэффициент компактности



Период решетки называется расстояние между центрами двух соседних частиц (атомов, ионов) в элементарной ячейке.

Координационное число показывает количество атомов, приходящихся на наиболее близком и равном расстоянии от любого выбранного атома в решетке .

Базисом решетки называется количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку решетки

Дефекты кристаллической решетки

Строение реальных кристаллов отличается от идеальных. В реальных кристаллах всегда содержатся дефекты, а поэтому нет идеально правильного расположения атомов во всем кристалле.

Дефекты в кристаллах *подвижны*, они могут сближаться и вступать между собой во взаимодействие.

Дефекты кристаллов подразделяют



нульмерные
(точечные)



одномерные
(линейные)



двумерные
(поверхностные)

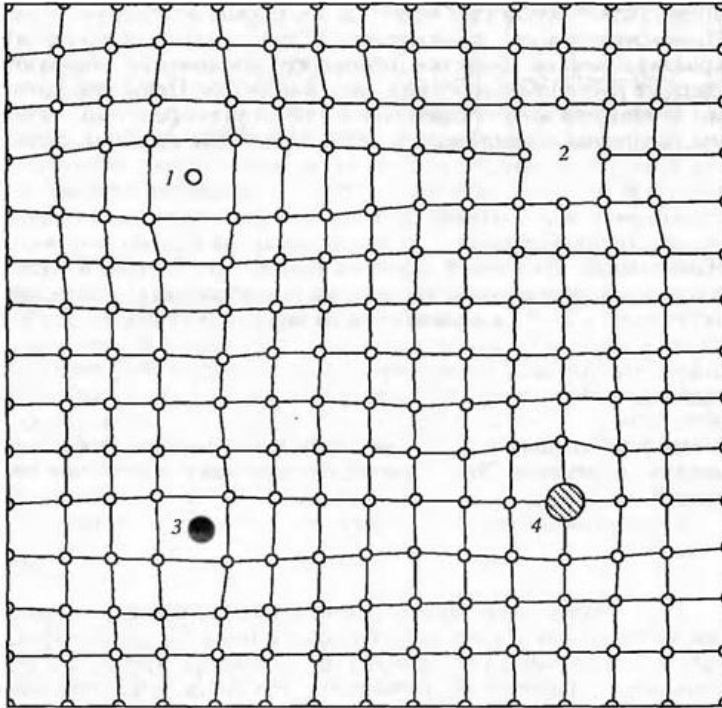


трехмерные
(объемные)

Объемные дефекты кристаллической решетки включают трещины и поры. Наличие данных дефектов уменьшает плотность металла, снижает его прочность

Дефекты кристаллической решетки

Нульмерные (точечные) дефекты



К самым простым точечным дефектам относятся

- вакансии (дефекты Шоттки - т.е. узлы решетки, в которых атомы отсутствуют);
- межузельные атомы (дефекты Френкеля - образуются в результате перехода атома из узла решетки в междоузлие);
- примесные атомы

1. межузельный атом

2. вакансия

3. примесный атом внедрения

4. примесный атом замещения

Все точечные дефекты искажают кристаллическую решетку, увеличивают электрическое сопротивление и делают металлы прочными.

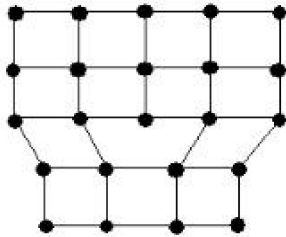
Дефекты кристаллической решетки

Одномерные (линейные) дефекты

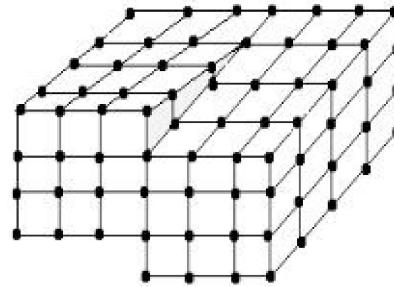
Одномерные (линейные) дефекты представляют собой дефекты кристалла, размер которых по одному направлению намного больше параметра решетки, а по двум другим — соизмерим с ним.

Основными видами одномерных (линейных) дефектов являются краевые и винтовые дислокации.

Дислокация — это особая конфигурация расположения атомов в кристаллической решетке.



Краевую дислокацию образует лишняя атомная полуплоскость, которая образуется в части кристалла.



Винтовая дислокация получается при частичном сдвиге кристаллической решетки и при этом образуется ступенька.

Дефекты кристаллической решетки

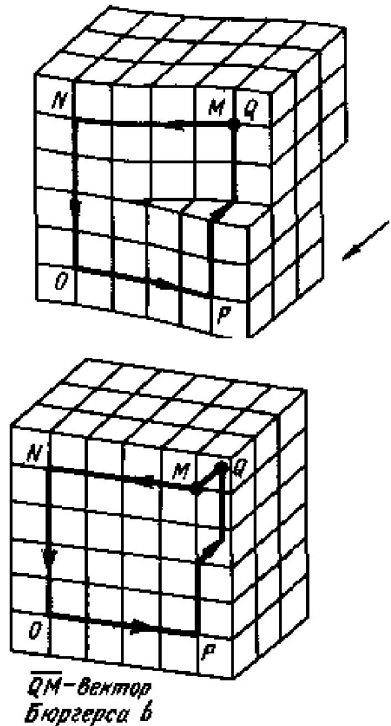
Одномерные (линейные) дефекты

Оценка степени искажения кристаллической решетки

Чтобы оценить степень искажения кристаллической решетки, которые вызывают дислокации, сравнивают идеальный кристалл и кристалл, который содержит дислокации.

Если обойти замкнутый контур в идеальном кристалле, переходя от атома к атому (а), а затем этот же путь повторить в реальном кристалле, поместив дислокацию внутрь контура (б), то в результате окажется, что в идеальном кристалле контур на величину отрезка «b» не сомкнулся.

Вектор, необходимый для того, чтобы замкнуть контур в идеальном кристалле, называется вектором Бюргерса дислокации.



QM-вектор
Бюргерса b

Дислокации образуются в процессе кристаллизации металлов, а также в процессе пластической деформации.

Дислокации служат местом концентрации примесных атомов, в особенности примесей внедрения, так как это уменьшает искажения решетки. Примесные атомы образуют вокруг дислокаций зону повышенной концентрации – так называемую атмосферу Коттрелла, которая препятствует движению дислокаций и упрочняет металл.

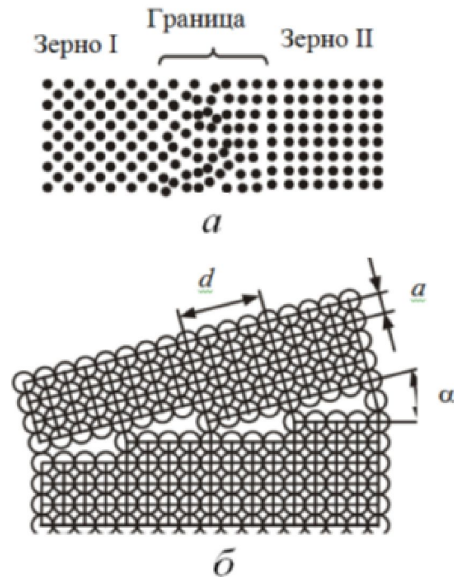
Дефекты кристаллической решетки

Двумерные (поверхностные) дефекты

Двумерные (поверхностные) дефекты представляют собой поверхности раздела между отдельными зернами или их блоками. Зерна металла обычно ориентированы в разных направлениях относительно друг друга.

Границы между отдельными зернами представляют собой переходную область шириной 1 – 5 нм, в которой решетка одного кристалла, имеющего определенную ориентацию, переходит в решетку другого кристалла, имеющего другую ориентацию. В связи с этим на границе зерна атомы расположены менее правильно, чем внутри зерна.

К поверхностным дефектам относятся большеугловые и малоугловые границы.



Поликристаллический сплав содержит огромное число мелких зерен. В соседних зернах решетки ориентированы различно, и граница между зернами представляет собой переходный слой. В нем нарушена правильность расположения атомов. Границы между зернами называются большеугловыми, так как направления в соседних зернах очень сильно отличаются.

Каждое зерно, в свою очередь, состоит из субзерен (блоков). субзерно - это часть кристалла относительно правильного строения.

Угол взаимной разориентации между соседними субзернами невелик ($\alpha \leq 5$ град.), поэтому такие границы называются малоугловыми.

Схемы строения большеугловых (а) и малоугловых (б) границ, где d — размер зерна

Дефекты кристаллической решетки

Одномерные (линейные) дефекты

Влияние дислокаций на прочность кристалла

Особенно велико влияние дислокаций на прочность кристалла.

Благодаря подвижным дислокациям реальная прочность металлов более чем в тысячу раз меньше теоретического значения.

При значительном увеличении плотности дислокаций и уменьшении их подвижности прочность увеличивается в несколько раз.

Прочность бездефектных участков стремится к теоретической прочности.

Атомно-кристаллическая структура металлов

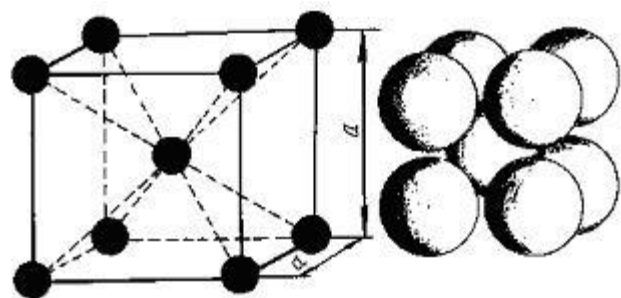


Рис.1. Объемно центрированная кубическая решетка /о.ц.к./

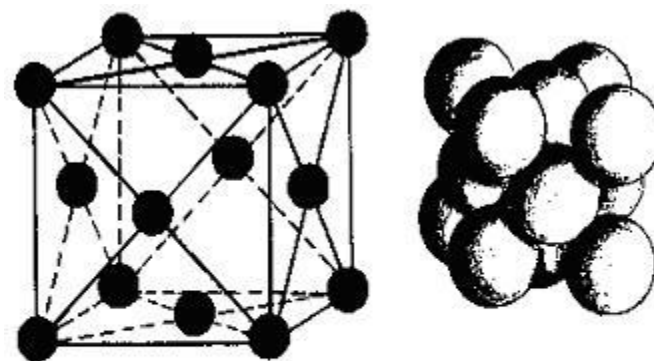


Рис.2. Гранецентрированная кубическая решетка /г.ц.к./

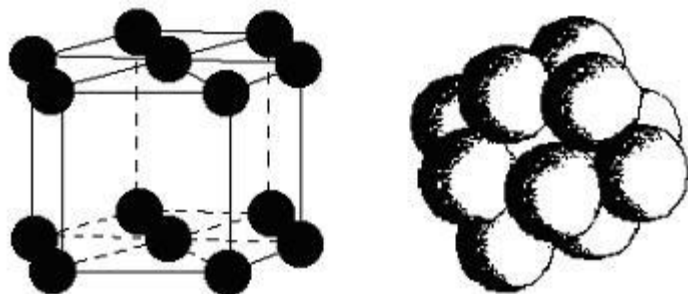


Рис. 3. Гексогональная кубическая решетка

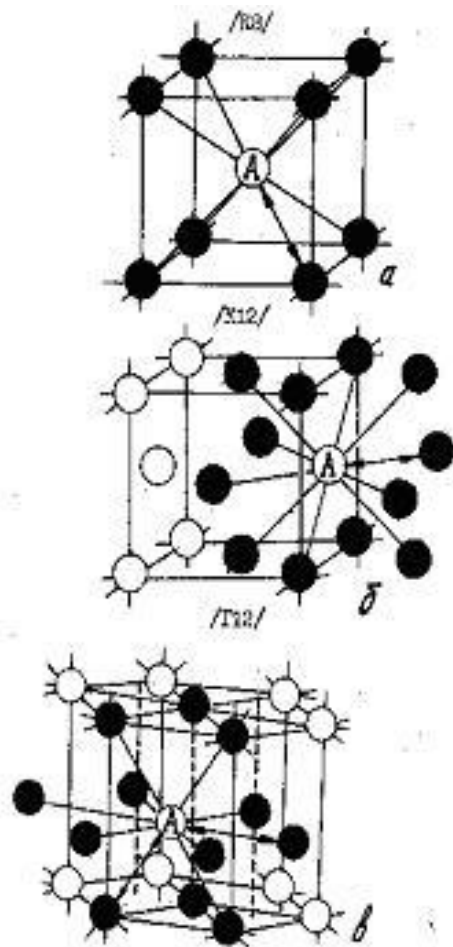


Рис.4 Схема, показывающая связь числа атомов, находящихся на равном расстоянии от атома А: а - о.к. (К8); б - г.к.к.; в - гексагональная (Г12)

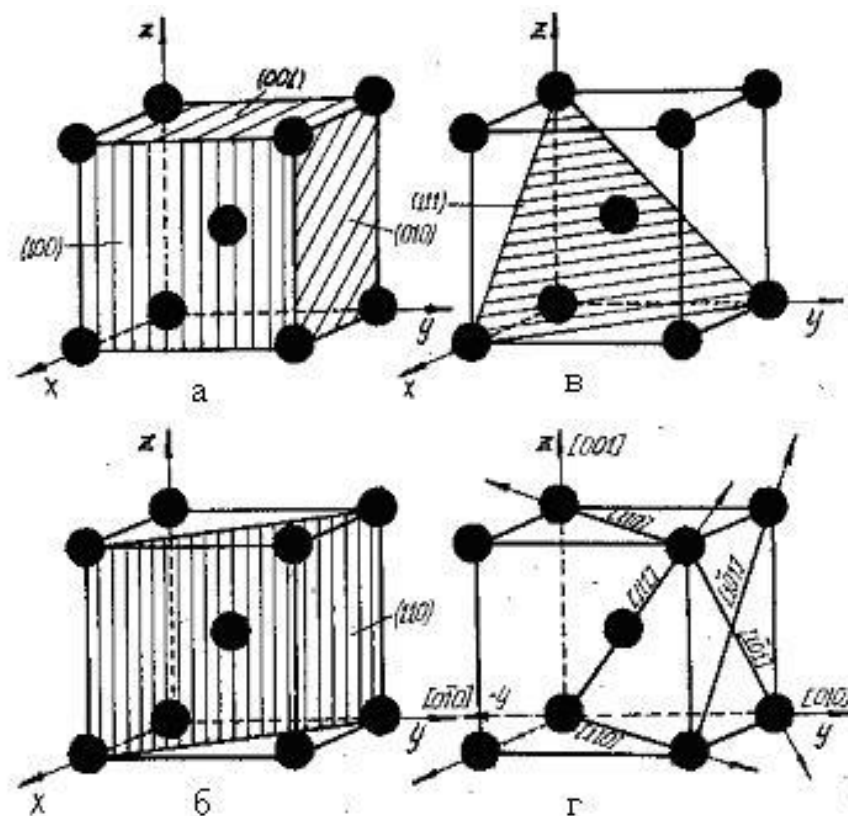


Рис.5. Индексы кристаллографических плоскостей и направлений в кубической решетке

Строение реальных кристаллических материалов

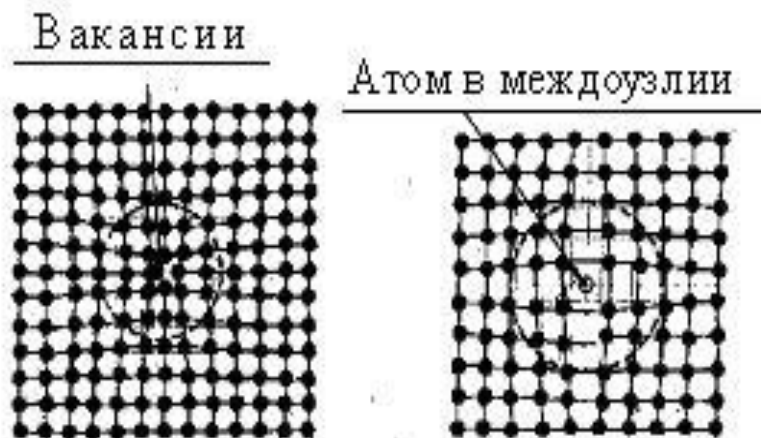


Рис.9. Точечные дефекты в кристаллической решетке

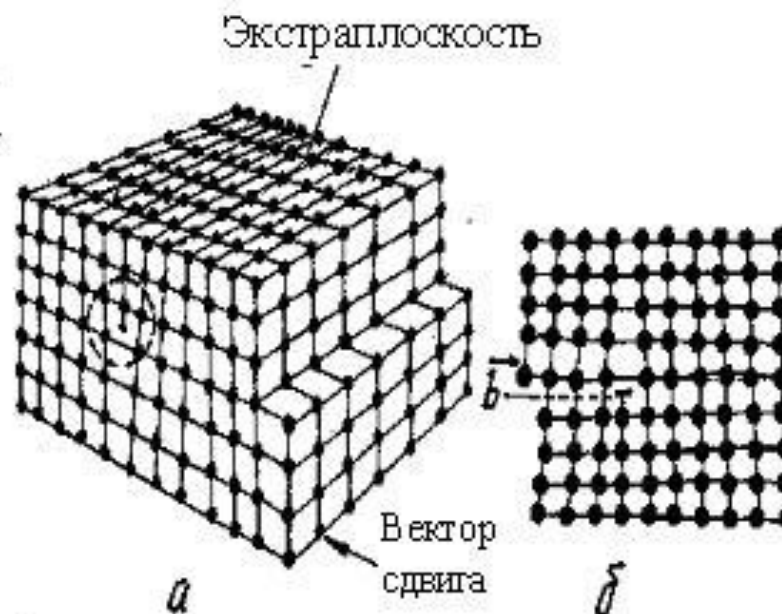
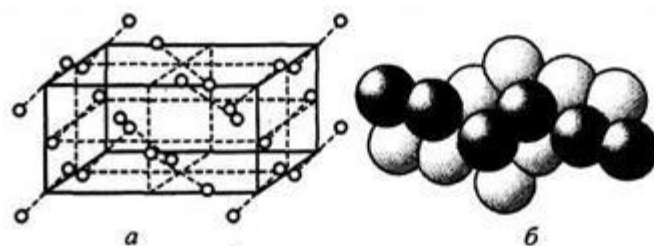


Рис.9. Краевая дислокация



Кристаллическая решетка нода: а – схема; б – пространственное изображение

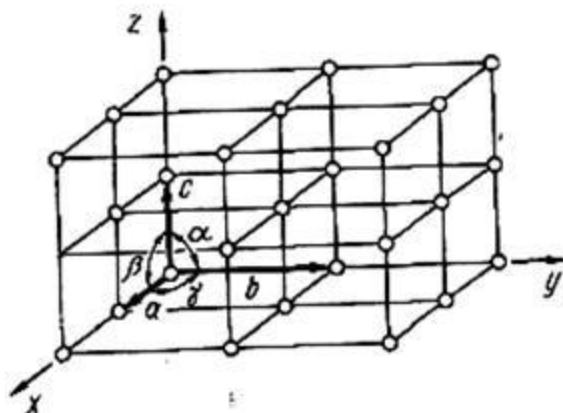


Схема изображения пространственной кристаллической решетки металлов с параметрами a , b , c и α , β , γ

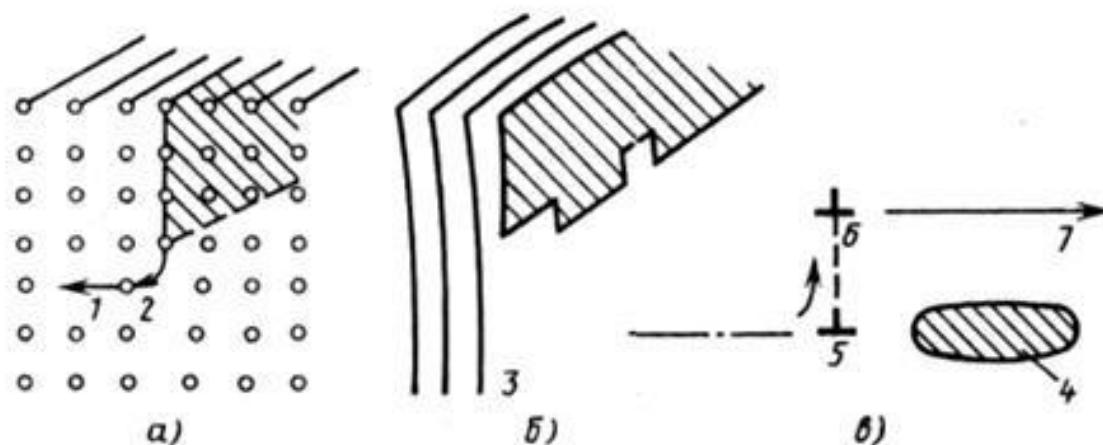


Схема переползания дислокаций: 1 – перемещение дислокации на место вакансии; 2 – уход атома от дислокации; 3 – начало переползания дислокации; 4 – частица второй фазы, блокирующая скольжение дислокации; 5 – дислокация; 6 – новое положение дислокации после переползания; 7 – направление скольжения дислокации.

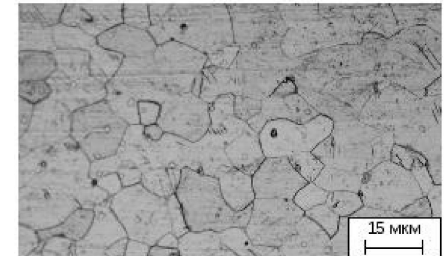
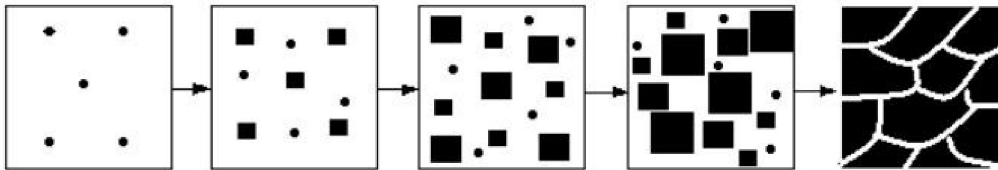
Основы теории кристаллизации

В зависимости от температуры любое вещество может быть в твердом, жидком или газообразном состоянии.

Переход металла из жидкого или парообразного состояния в твердое с образованием кристаллической структуры называется первичной кристаллизацией.

Образование новых кристаллов в твердом кристаллическом веществе называют вторичной кристаллизацией.

Процесс кристаллизации складывается из двух одновременно идущих процессов: зарождения и роста кристаллов.



Если кристаллы зарождаются самопроизвольно, то такая кристаллизация называется самопроизвольной.

Если кристалл растет на имеющихся готовых центрах кристаллизации, то такая кристаллизация называется несамопроизвольной.

Самопроизвольное образование зародышей может происходить только в очень чистом жидком металле (жидком металле, который практически не содержит примесей).

В реальных условиях процессы кристаллизации в значительной мере зависят от имеющихся готовых центров кристаллизации. Такими центрами могут быть разнообразные примеси, стенки формы и др.

Основы теории кристаллизации

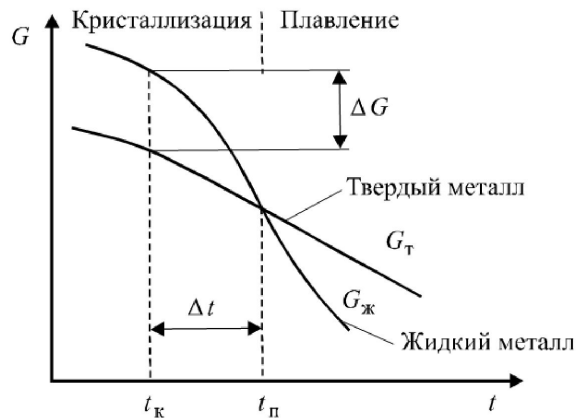
Первичная самопроизвольная кристаллизация связана со стремлением вещества иметь более устойчивое состояние, характеризующееся уменьшением свободной энергии Гиббса G .

Кристаллизация начинается только тогда, когда свободная энергия кристалла становится меньше свободной энергии жидкой фазы.

Температура t_{Π} , при которой термодинамические потенциалы вещества в твердом и жидком состояниях равны, называется равновесной температурой кристаллизации.

Выше температуры t_{Π} более устойчиво жидкое состояние, имеющее меньшее значение G , а ниже – устойчиво твердое состояние.

Разность между температурами, при которых может протекать процесс кристаллизации, называется степенью переохлаждения



Для каждой степени переохлаждения всегда имеется некоторый зародыш критического размера. Все зародыши большего размера будут центрами кристаллизации, а зародыши меньшего размера оказываются неустойчивыми и растворяются.

$$\Delta t = t_{\Pi} - t_{\text{К}}$$

Δt - степень переохлаждения

t_{Π} - равновесная температура кристаллизации

$t_{\text{К}}$ - температура кристаллизации

Основы теории кристаллизации

Форма кристаллов и строение слитка



Форма зерен, образующихся при кристаллизации, зависит от условий их роста, главным образом от скорости и направления отвода теплоты, а также от наличия примесей.

Сначала на поверхности слитка образуется зона мелких кристаллов, так как на поверхности обеспечиваются большие скорости охлаждения металла.

При этом образуется большое число центров кристаллизации.

Затем растут большие кристаллы, вытянутые по направлению отвода теплоты (столбчатые кристаллы).

Наконец, в середине слитка, где наблюдается наименьшая скорость охлаждения металла, образуются равноосные кристаллы больших размеров.

Слиток имеет неоднородный состав. В стали по направлению от поверхности к центру и снизу вверх увеличивается концентрация углерода и вредных примесей серы и фосфора.

Химическая неоднородность по отдельным зонам слитка называется зональной ликвацией.

Химическая неоднородность в пределах одного зерна называется дендритной ликвацией.

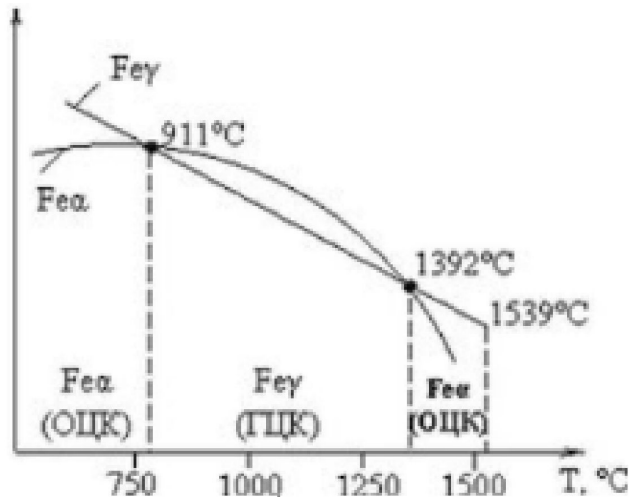
Основы теории кристаллизации

Вторичная кристаллизация

Вторичной кристаллизацией называется процесс, в результате которого происходит полная замена одной кристаллической структуры на другую или частичное изменение структуры.

Многие металлы (железо, кобальт, титан, олово и др.) в зависимости от температуры могут иметь разные кристаллические решетки или полиморфные модификации.

Наличие разного кристаллического строения одного и того же вещества при различных температурах называется полиморфизмом (различные кристаллические модификации обозначают малыми буквами греческого алфавита α , β , γ).



Явление полиморфизма в металлах имеет большое практическое значение. Например, только благодаря полиморфизму железа имеется возможность широкого изменения свойств сплавов на основе железа с помощью термической обработки.

Основы теории строения сплавов

Сплавы состоят из двух и более элементов периодической системы. Элементы, образующие сплав, называют компонентами.

Понятия о сплавах, компонентах и фазах

Вещество, полученное сплавлением двух или более исходных компонентов, называется сплавом.

Наиболее распространенные сплавы



сталь



чугун



латунь



бронза

Сталь и чугун – сплавы железа (Fe) с углеродом (C).

Латунь – сплав меди (Cu) с цинком (Zn).

Бронза – сплав меди (Cu) со всеми элементами, кроме цинка.

Основы теории строения сплавов

Фазой называется однородная часть системы, отделенная от другой части системы поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура изменяются скачкообразно.

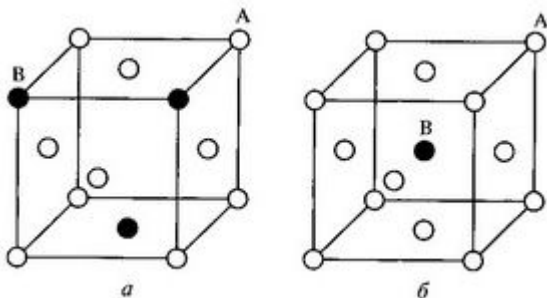
В сплавах могут образовываться следующие фазы:

- жидкие растворы
- твердые растворы
- химические соединения
- электронные соединения
- механические смеси

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

Основы теории строения сплавов

Различают твердые растворы замещения и внедрения.



Кристаллическая решетка твердого раствора замещения (а) и твердого раствора внедрения (б):

А – атомы компонента растворителя,

Б – атомы растворяемого компонента

При образовании твердого раствора внедрения атомы растворенного компонента располагаются в междоузлиях (пустотах) кристаллической решетки растворителя.

Образование твердого раствора внедрения возможно, если внедряемые атомы имеют малые размеры (H, C, N, B).

При образовании твердого раствора замещения атомы растворенного компонента замещают часть атомов растворителя в его кристаллической решетке.

Твердые растворы замещения могут быть с ограниченной или неограниченной растворимостью.

При неограниченной растворимости кристаллическая решетка компонента растворителя по мере увеличения концентрации растворенного компонента плавно переходит в кристаллическую решетку растворенного компонента (Ag – Au), (Ni – Cu), (Mo – W), (V – Ti).

В реальных сплавах чаще встречаются твердые растворы с ограниченной растворимостью. В них растворение вещества возможно лишь до определенного предела. При дальнейшем повышении концентрации твердый раствор распадается, и образуются двухфазные смеси.

Основы теории строения сплавов

Химические соединения

Особенности химических соединений:

- наличие нового типа кристаллической решетки, отличного от типа решеток сплавляемых компонентов;
- постоянство состава, которое может быть выражено формулой химического соединения $AmBn$;

Однако, большое число химических соединений, образующихся в металлических сплавах, отличаются по некоторым особенностям от типичных химических соединений, т.к. не подчиняются законам валентности.

Электронные соединения

Электронные соединения имеют кристаллическую решетку, отличную от решетки образующих элементов.

Электронные соединения чаще образуются между одновалентными металлами (Cu, Ag, Au, Li, Na) или металлами переходных групп (Mn, Fe, Co и др.) с одной стороны и простыми металлами с валентностью от 2 до 5 (Be, Mg, Zn, Cd, Al и др.) с другой стороны.

Механические смеси

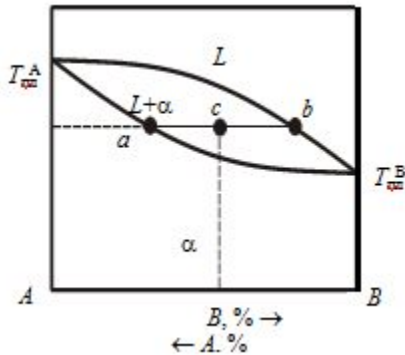
Металлы, которые образуют такие сплавы, сохраняют свою кристаллическую решетку, в результате образуется механическая смесь из кристаллов исходных компонентов (сплавы Zn - Sn, Pb - Bi и др.)

Построение диаграмм состояния

Изучение любого сплава начинается с построения и анализа диаграммы состояния.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение зависимости температур фазовых превращений в сплавах от их состава. На слайде изображена диаграмма состояния двойного сплава (A – B). Левая ордината на оси концентраций соответствует 100%-ному содержанию компонента A, правая – 100%-ному содержанию B. В интервале концентраций между чистыми элементами находятся промежуточные фазы сплава AB.

На осях ординат показаны температуры плавления компонентов A и B.



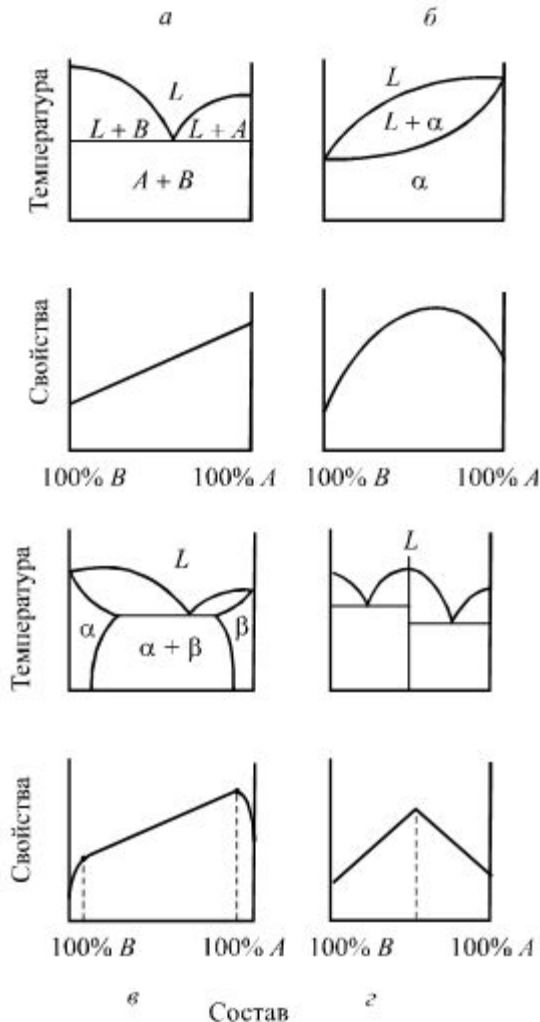
При температурах выше линии *b*, которая называется линией *ликвидус*, существует только жидкая фаза. При температурах ниже линии *a*, которая называется линией *солидус*, существует твердый раствор. Между линиями ликвидус и солидус в равновесии находятся жидкая фаза и твердый раствор.

Количественное соотношение фаз в период кристаллизации устанавливают по правилу отрезков. Для этого в сплаве с заданной концентрацией через данную температуру необходимо провести линию, параллельную оси концентрации до пересечения с линиями ликвидус и солидус. Количество жидкой и твердой фаз в сплаве составит: $Ж = (ac/ab) \times 100\%$; $T_B = (bc/ab) \times 100\%$.

Проекция точки пересечения с кривой ликвидус на ось концентрации укажет состав оставшейся жидкой фазы, а проекция точки пересечения с кривой солидус – состав твердой фазы, образовавшейся при этой температуре.

Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

Между диаграммами состояния и полученными свойствами сплавов существует определенная зависимость, которая впервые для равновесных состояний была изучена Н.С. Курнаковым, представившим ее в виде диаграмм «состав – свойства»



1) свойства сплавов с изменением состава изменяются по закону прямой линии (а), если при сплавлении компонентов образуется смесь фаз;

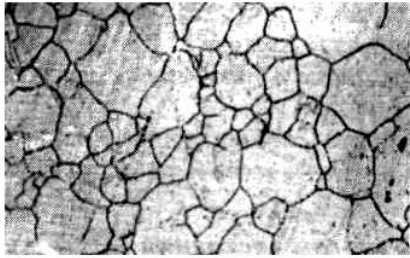
2) свойства изменяются по криволинейному закону с максимумом или минимумом (б), если компоненты при сплавлении образуют неограниченные твердые растворы;

3) в той части, где имеют место однофазные области твердых растворов, свойства изменяются по закону кривой линии, если при сплавлении компонентов образуются ограниченные твердые растворы (в);

4) составу химического соединения соответствует максимум или минимум на кривой изменения свойств, если компоненты образуют промежуточное химическое соединение. Это точка перелома, соответствующая составу химического соединения, называется сингулярной точкой (г).

Диаграммы «состав – свойства» имеют большое практическое значение при создании новых сплавов с заданными свойствами, а также при предсказании свойств сплавов известного состава.

Железо и сплавы на его основе



Железо по распространенности в земной коре занимает четвертое место после кислорода, кремния и алюминия. Ценные свойства железа и возможность получения на его основе разнообразных сплавов сделали его основным материалом, используемым в современной технике. Применимость сплавов на его основе в настоящее время составляет около 90% от общего количества применяемых металлов.

Химически чистое железо – серого цвета. Обладает магнитными свойствами, высокой тепло-, электропроводностью, имеет высокую пластичность, хорошо подвергается деформации при обработке металлов давлением (ОМД) и сваривается.

Сплавы на основе железа (стали и чугуны) находят широкое применение во всех областях машиностроения, техники и при изготовлении медицинских инструментов. Температура плавления $T_{пл} = 1536 \div 1539 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (зависит от чистоты железа). Обладает полиморфизмом. Твердость железа составляет 80 НВ; пластичность $\delta = 50\%$;

Диаграмма состояния $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ характеризует фазовый состав и превращения в сплавах с концентрацией от чистого железа до цементита.

Фазы в сплавах железа с углеродом представляют собой жидкий раствор, феррит, аустенит, цементит, ледебурит и свободный углерод в виде графита.

Диаграмма состояния Fe – Fe₃C

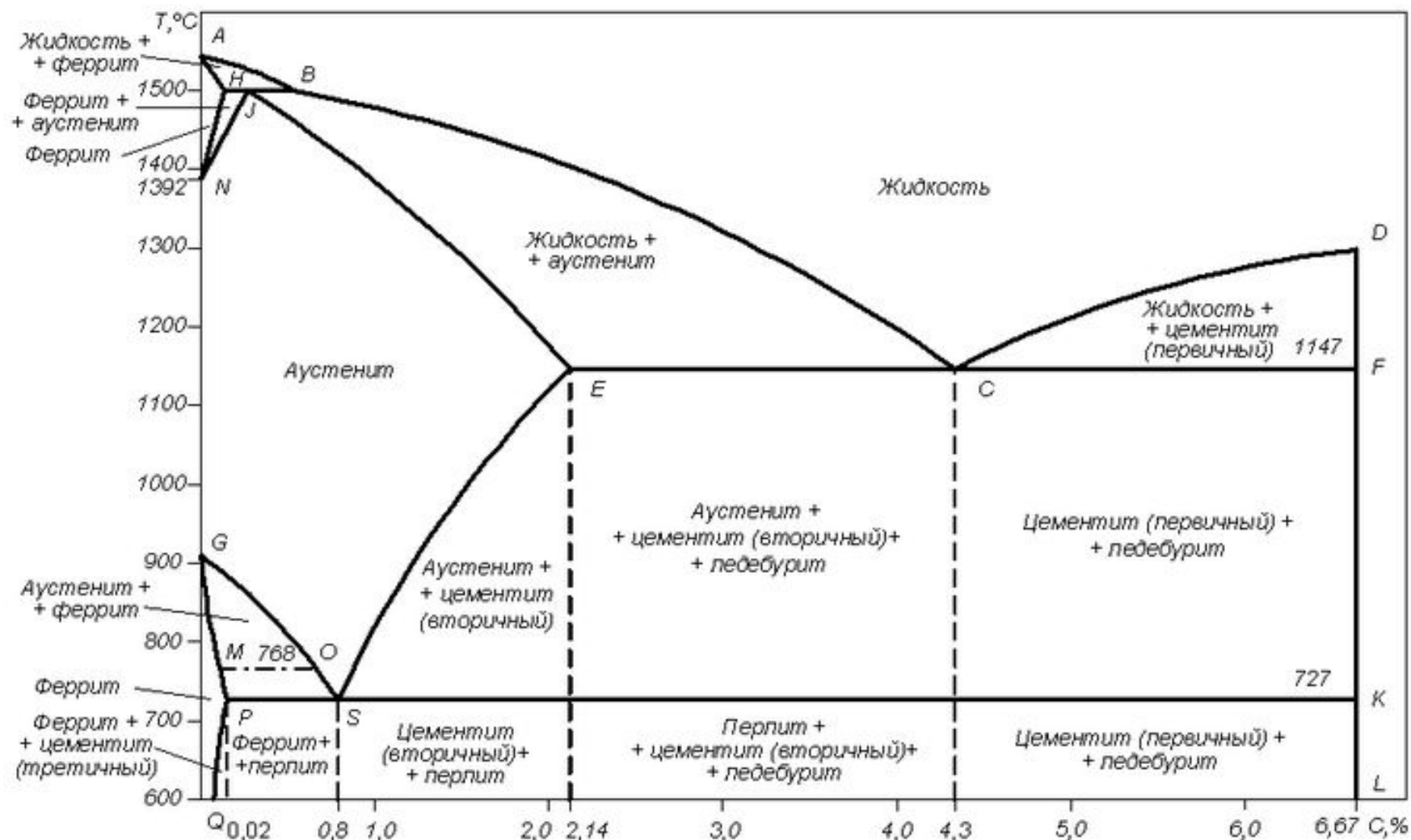
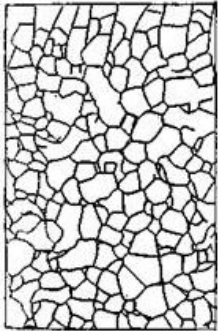
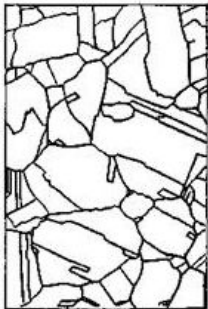


Диаграмма состояния Fe – Fe₃C



Феррит (α) – твердый раствор внедрения углерода в Fe_α. Он имеет решетку ОЦК. Значительная доля атомов углерода вынуждена размещаться на дефектах (вакансиях, *дислокациях*). Предельная концентрация углерода в низкотемпературном феррите составляет 0,02% (точка Р при температуре 727 °С). Феррит – мягкая, пластичная фаза, с твердостью HB 80 – 100. На диаграмме феррит располагается в низкотемпературной области (QPG) и высокотемпературной области (NHA).



Аустенит (γ) – твердый раствор внедрения углерода в Fe_γ. Имеет ГЦК решетку, Предельная концентрация углерода в аустените составляет 2,14%(точка Е при температуре 1147 °С). Аустенит пластичен, но более прочен, чем феррит (HB 160 – 200). На диаграмме аустенит располагается в области (NJESG).

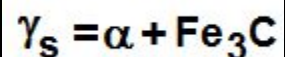


Цементит (Fe₃C) – химическое соединение железа с углеродом (Fe₃C). Он содержит 6,67% С и имеет сложную решетку. Цементит тверд и хрупок (HB 800). При высоких температурах цементит распадается на графит и аустенит, поэтому температура, при которой плавится цементит, точно не определена и принимается равной 1200 °С (точка D).

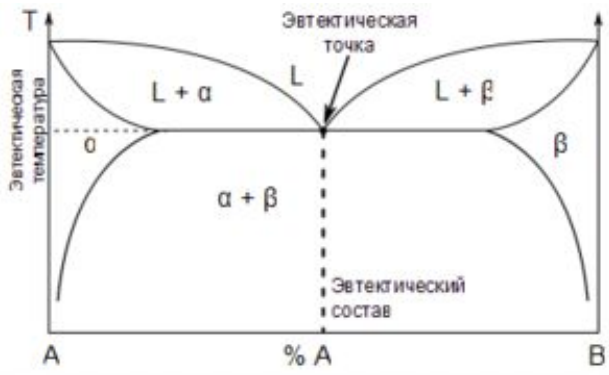
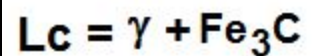
Диаграмма состояния Fe – Fe₃C



Перлит (γ_s) – эвтектоидная смесь феррита и цементита, который образуется на линии PSK при постоянной температуре 727 °С. Перлит содержит 0,8% углерода. Типичная структура перлита — пластинчатая, в которых пластины феррита чередуются с пластинами цементита. На изломе перлит при рассмотрении под микроскопом напоминает перламутр.



Ледебурит (L_c) – эвтектическая смесь аустенита и цементита, которая образуется на линии ECF при постоянной температуре 1147°С. Ледебурит содержит 4,3% углерода. Ледебурит получил свое название от немецкого металлурга А. Ледебура, который открыл «железо-карбидные зёрна»



Эвтектика — смесь двух или более твердых фаз, которые одновременно кристаллизуются из расплава и характеризуется постоянной температурой кристаллизации.

Диаграмма состояния Fe – Fe₃C

D – температура плавления цементита (1200-1260 °C)

A – температура плавления чистого Fe (1536-1539 °C);

G и **N** – температуры полиморфных превращений железа (911 и 1392 °C соответственно)

H – предельная концентрация углерода в высокотемпературном феррите (примерно 0,01 %C при температуре около 1500 °C)

Линия ликвидус (ABCD) – первичная кристаллизация жидкой фазы **L**

Линия солидус (AHJECF) – вторичная кристаллизация жидкой фазы **L**

линия AB – температура начала кристаллизации δ-феррита из жидкого сплава;

линия BC – температура начала кристаллизации аустенита (γ) из жидкого сплава;

линия CD – температура начала кристаллизации первичного цементита (Fe₃C_I) из жидкого сплава;

линия SE – линия предельной растворимости углерода в аустените, соответствует температурам начала выделения из аустенита вторичного цементита (Fe₃C_{II});

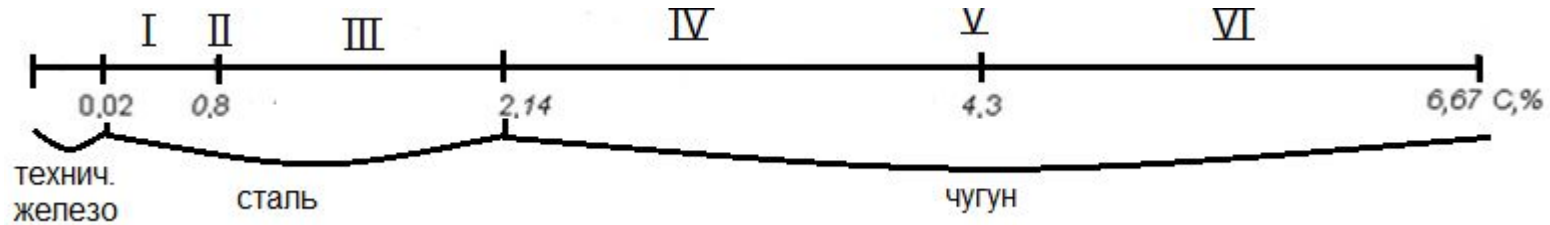
линия GP – определяет начало превращения феррита в аустенит при нагреве;

линия PQ – соответствует температурам выделения третичного цементита (Fe₃C_{III}) при охлаждении.

В системе железо – цементит происходят три изотермических превращения, т.е. имеет место сосуществование трех фаз: **перитектическое превращение (HJB), эвтектическое превращение (ECF), эвтектоидное превращение (PSK).**

Перитектическое превращение - образование твердой фазы в результате взаимодействия жидкой и другой твердой фазы, отличающейся от новой составом и структурой; в равновесных условиях протекает при постоянной температуре

Диаграмма состояния Fe – Fe₃C



Техническое железо - сплав Fe и C, содержащий менее 0,02%C

Сталь – это сплав Fe и C, содержащий от 0,02 до 2,14%C

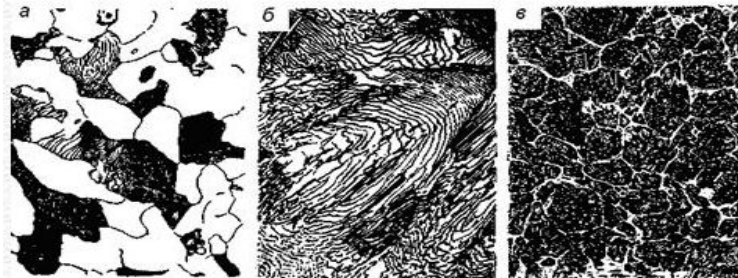
Чугун – это сплав Fe и C, содержащий от 2,14 до 6,67%C

По структуре сплавы Fe и C разделяются

доэвтектоидная сталь - сплав, содержащий от 0,02 до 0,8%C (интервал I, рис. а)

эвтектоидная сталь - сплав, содержащий 0,8%C (II, рис. б)

заэвтектоидная сталь - сплав, содержащий от 0,8 до 2,14%C (интервал III, рис в)



Доэвтектический чугун - сплав, содержащий от 2,14 до 4,3%C (интервал IV, рис. а)

Эвтектический чугун - сплав, содержащий 4,3%C (V, рис. б)

Заэвтектический чугун - сплав, содержащий от 4,3 до 6,67%C (интервал VI рис. в)



Классификация и маркировка углеродистых сплавов

По составу углеродистые стали в зависимости от содержания углерода делятся на три группы:

низкоуглеродистые – содержание углерода до 0,3%;

среднеуглеродистые – 0,3 – 0,6% углерода;

высокоуглеродистые – больше 0,6% углерода.

По назначению углеродистые стали классифицируют

на

конструкционные (содержание углерода до 0,8%)

инструментальные (содержание углерода от 0,7 до 1,3%)

По степени раскисленности углеродистые стали классифицируют на

спокойные (Si содержится свыше 0,15%)

полуспокойные (Si содержится в интервале 0,05 – 0,15%)

кипящие (Si содержится меньше 0,05%)

По качеству стали классифицируют на

стали обыкновенного качества (Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6)

качественные стали (15, 20, 2585)

высококачественные стали (У7А, У8А, ..., У13А)

Классификация и маркировка чугунов

В зависимости от того, в каком состоянии находится углерод, чугуны подразделяют на две группы:

чугуны, в которых углерод находится в связанном состоянии в виде цементита;



Белый чугун

Излом такого чугуна белый. Белый чугун очень твердый (HB 4500-5500) и хрупкий. Из него обычно получают сталь.

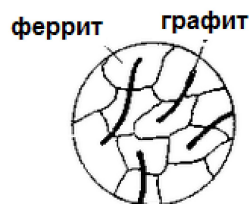


чугуны, в которых весь углерод находится в свободном состоянии в виде графита (C)



Серый чугун

Графит в виде пластинок

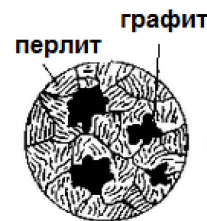


Металлическая основа - ферритная



Ковкий чугун

Графит в виде хлопьев

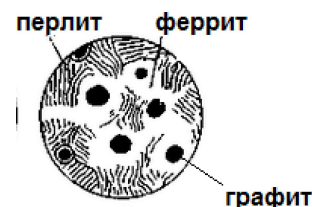


Металлическая основа — перлитная



Высокопрочный чугун

Графит в виде шаров



Металлическая основа — ферритно-перлитная

Пластическая деформация и деформационное упрочнение

Одним из наиболее важных свойств металлов является их высокая пластичность, т.е. способность подвергаться большим деформациям без разрушения.

Деформация – это изменение размеров и формы тела под действием приложенных сил.



Деформация может происходить как действием внешних факторов, так и различными процессами, происходящими в самом теле.



Внутренние напряжения



тепловые

Напряжения возникают в процессе быстрого нагрева или охлаждения металла из-за неравномерного расширения (сжатия) поверхностных и внутренних слоев.



фазовые (структурные)

Напряжения возникают в процессе кристаллизации из-за неравномерного протекания структурных превращений по всему объему

внутренние напряжения



напряжения 1-го рода
(макронапряжения)

уравновешиваются в объеме всего тела или отдельных его макрочастей

возникают в результате технологических процессов, которым подвергают деталь в процессе ее изготовления и эксплуатации



напряжения 2-го рода

уравновешивающиеся в объеме зерна (кристаллита) или нескольких блоков (субзерен)

возникают в процессе фазовых превращений и деформации металла



напряжения 3-го рода

связаны со смещением атомов на очень маленькие расстояния из узлов кристаллической решетки

Деформация



холодная

осуществляется при температурах до 0,2 – 0,25Тпл



теплая

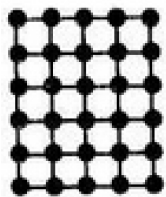
осуществляется при температурах до 0,6Тпл



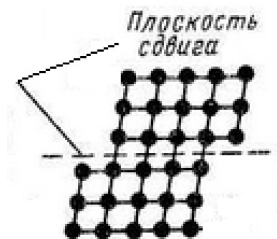
горячая

осуществляется при температурах выше 0,6Тпл

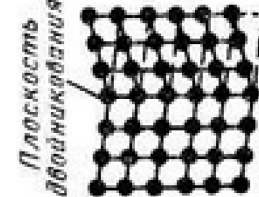
В кристаллах пластическая деформация в большинстве случаев происходит при движении дислокаций. Движение дислокаций может вызываться либо скольжением, либо двойникованием



Идеальный кристалл



Деформация скольжением



Деформация двойникованием

Деформация скольжением

Сдвиги атомных плоскостей при деформации скольжением происходят аналогично сдвигу карт в колоде. Плоскость и направление, по которым происходит сдвиг, называются соответственно **плоскостью и направлением скольжения**. Плоскость скольжения и направление скольжения образуют **систему скольжения**. Чем больше в металле систем скольжения, тем выше его способность к пластической деформации.

Металлы, имеющие кубическую кристаллическую решетку, обладают высокой пластичностью. ГЦК кристаллы имеют 12, ОЦК кристаллы – 48 систем скольжения. Металлы с гексагональной плотноупакованной структурой имеют меньшее количество систем скольжения, поэтому они менее пластичны.

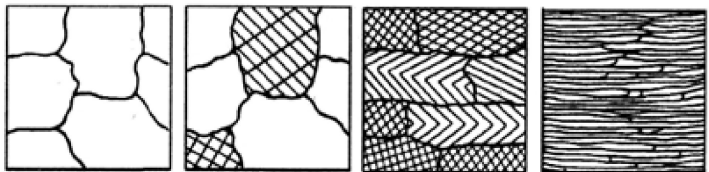
Деформация двойникованием

Как и скольжение, двойникование состоит из сдвига в определенных плоскости и направлении. Но в отличие от скольжения сдвиг происходит не на целый период кристаллической решетки, а лишь на часть, поэтому в результате сдвига расположение кристаллической решетки в двойникованной области становится **зеркальным отображением** по отношению к остальной части кристалла. Плоскость, по отношению к которой выполняется зеркальная симметрия, называется **плоскостью двойникования**, а направление – **направлением двойникования**.

По сравнению со скольжением двойникование занимает второстепенное положение. Роль двойникования возрастает, если скольжение невозможно или сильно затруднено. В металлах с ГПУ решеткой, где немного систем скольжения, деформирование сопровождается двойникованием.

Текстура деформации

В поликристаллических материалах с ростом степени деформации зерна постепенно вытягиваются в направлении пластического течения. Внутри зерен повышается плотность дислокаций. При значительных деформациях образуется волокнистая структура, где границы зерен различаются с трудом.



Изменение микроструктуры поликристаллического металла при деформации.

При значительной деформации в металле появляется определенная ориентация зерен, которая называется текстурой деформации.

Текстура деформации – это результат одновременного деформирования зерен по нескольким системам скольжения.

Возврат и рекристаллизация

Неравновесная структура с высоким уровнем плотности дислокаций, создаваемая холодной деформацией у большинства металлов, устойчива при комнатной температуре (20 °C) за исключением металлов и сплавов с низкой температурой плавления, например, свинец, олово и сплавы на их основе.

Переход металла в более устойчивое стабильное состояние происходит при нагреве. При повышении температуры ускоряется перемещение точечных дефектов.

Процессы, происходящие при нагреве, подразделяются на следующие две основные стадии: возврат и рекристаллизацию.

Возврат происходит при относительно низких температурах (ниже 0,3 Тпл), рекристаллизация обычно при более высоких температурах (выше 0,3 Тпл).

Возврат и рекристаллизация

Возвратом называют все изменения тонкой структуры и свойств, которые не сопровождаются изменением видимой под микроскопом микроструктуры холодно деформированного металла.

Возврат



отдых

Отдых при нагреве деформированных металлов происходит всегда

Отдых – это стадия возврата, при которой уменьшается количество точечных дефектов, в основном вакансий.

При отдыхе твердость и прочность максимально снижаются на 10 – 15% первоначальных значений и соответственно увеличивается пластичность

полигонизация

полигонизация развивается лишь при определенных условиях.

Полигонизация – это стадия возврата, при которой в пределах каждого кристалла образуются новые субзерна. В результате единый кристалл разделяется на субзерна – полигоны, свободные от дислокаций.

Полигонизация обычно приводит к уменьшению твердости и других характеристик прочности.

Возврат и рекристаллизация

Рекристаллизация

Рекристаллизация - это зарождение и рост новых зерен с меньшим количеством дефектов строения. В результате рекристаллизации образуются совершенно новые, чаще всего равноосные кристаллы.

Зарождение новых зерен при рекристаллизации происходит в участках с наибольшей плотностью дислокаций, обычно на границах деформированных зерен. Чем выше степень пластической деформации, тем больше возникает центров рекристаллизации.

Рекристаллизация



Первичная рекристаллизация

Первичная рекристаллизация

полное замещение новыми зернами
всего объема деформированного
металла



Собирательная рекристаллизация

При собирательной рекристаллизации

происходит рост образовавшихся зерен при
увеличении температуры

Возврат и рекристаллизация

Рекристаллизация

Рост зерен происходит в результате перехода атомов от одного зерна к соседнему через границу раздела; одни зерна при этом постепенно уменьшаются в размерах и затем исчезают, а другие становятся более крупными, поглощая соседние зерна. С повышением температуры рост зерен ускоряется. Чем выше температура нагрева, тем более крупными окажутся рекристаллизованные зерна.

Первичная рекристаллизация полностью снимает наклеп, созданный при пластической деформации; металл приобретает равновесную структуру с минимальным количеством дефектов кристаллического строения.

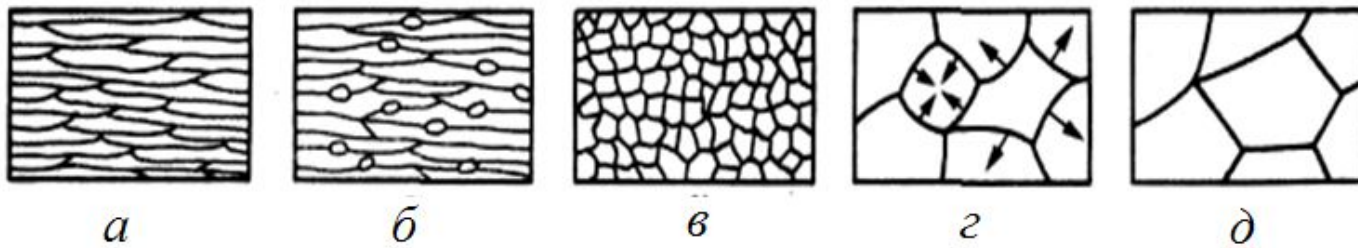
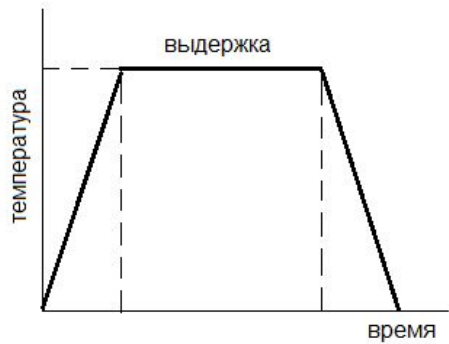


Схема изменения микроструктуры наклепанного металла при нагрузке:

а – наклепанный металл; б – начало первичной рекристаллизации; в – завершение первичной рекристаллизации; г и д – стадии собирательной рекристаллизации

Термическая обработка



Термическая обработка заключается в нагреве материала до определенной температуры, выдержка при этой температуре и охлаждение с заданной скоростью с целью изменения структуры и получения необходимых физико-механических свойств.

Термическая обработка



предварительная

Предварительная обработка применяется для подготовки структуры и свойств материала для последующих технологических операций (горячая обработка давлением и др.).



окончательная

Окончательная термическая обработка формирует свойства готового изделия.

Термическая обработка

Способы термической обработки



собственная
термическая
обработка (СТО)



химико-термическая
обработка (ХТО)



термомеханическая
обработка (ТМО)



термическая обработка
с оплавлением поверхности
(ТО с ОП)

Собственная термическая обработка (СТО)



отжиг



нормализация

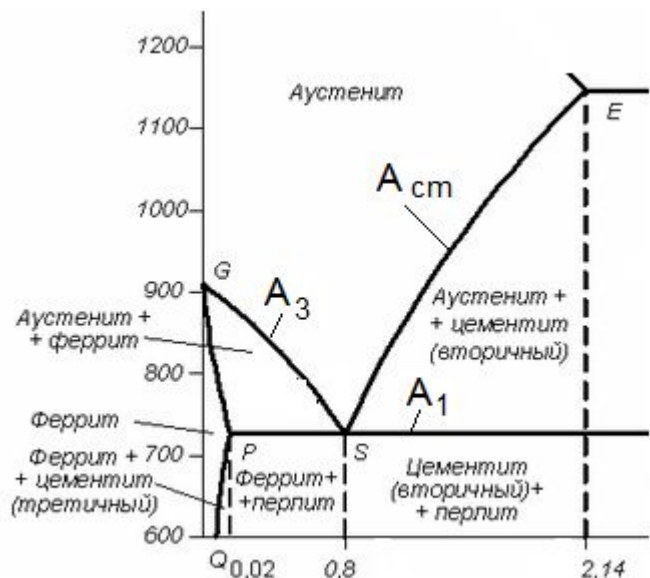


закалка



отпуск

Термическая обработка



Верхняя критическая точка для доэвтектоидных сталей **A₃** располагается на линии **GS** и соответствует аустенитно-ферритному превращению.

A_{c3} соответствует образованию аустенита из феррита при нагревании.

A_{r3} соответствует выделению феррита из аустенита при охлаждении.

Для определения режимов термической обработки сталей используют диаграмму Fe-Fe₃C. Температуры фазовых превращений при термической обработке сталей (критические точки) определяют линиями PSK, SE, GS.

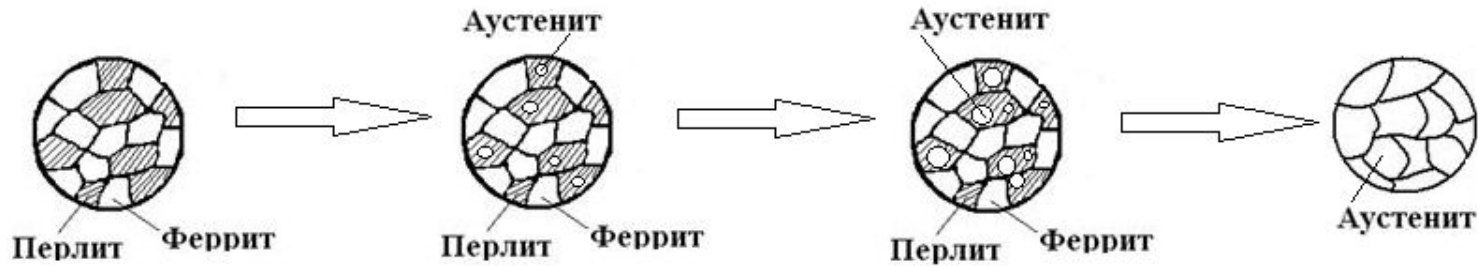
Нижняя критическая точка **A₁** для всех видов сталей располагается на линии **PSK** и соответствует аустенитно-перлитному превращению.

A_{c1} соответствует образованию аустенита из перлита при нагревании.

A_{r1} соответствует выделению перлита из аустенита при охлаждении.

Верхняя критическая точка для эвтектоидных и заэвтектоидных сталей **A_{cm}** располагается на линии **SE** и соответствует образованию аустенита из вторичного цементита при нагревании или выделению вторичного цементита из аустерита при охлаждении.

Превращение в стали при нагреве



Превращение перлита ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) в аустенит (γ) происходит путем образования зародышей аустенитной фазы и их последующего роста. Указанные зародыши могут образовываться лишь при нагреве до температур, при которых аустенит является более устойчивой фазой, чем смесь феррита и цементита. В соответствии с диаграммой состояния $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ это возможно лишь при нагреве перлита выше равновесной температуры фазового превращения перлита в аустенит, определяемой критической точкой $A_1 = 727^\circ\text{C}$.

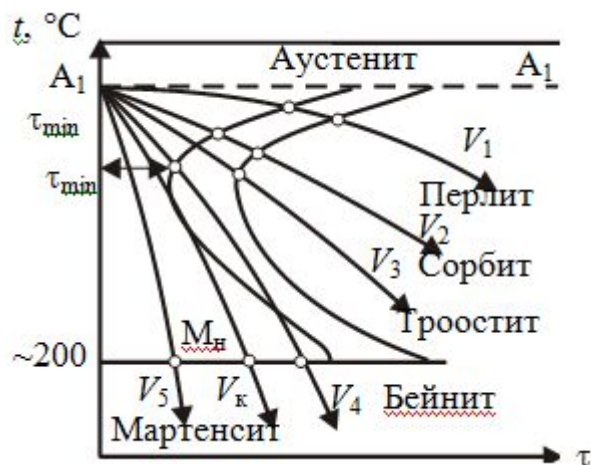
Центры кристаллизации аустенита возникают в кристаллах феррита в тех участках, где они обогащены атомами углерода, как правило, на границах зерен феррита, примыкающих к кристаллам цементита.

После полного превращения перлита в аустенит необходимо дополнительное время для выравнивания концентрации углерода в различных областях кристаллов. С повышением температуры скорость выравнивания состава из-за диффузии возрастает, и длительность гомогенизации сплава сокращается. В целом, весь процесс превращения перлита в аустенит можно разбить на три этапа:

- образование аустенита во всем объеме;
- растворение в нем пластинок цементита;
- последующая гомогенизация аустенита.

Однофазная аустенитная структура в результате описанного процесса превращения перлита в аустенит наблюдается только в сталях эвтектоидного состава. В доэвтектоидных сталях после превращения перлита в аустенит остается избыточная фаза – феррит, в заэвтектоидных – цементит. Для их превращения в аустенит доэвтектоидные стали необходимо нагреть до температуры выше A_{c3} , а заэвтектоидные – A_{cm} .

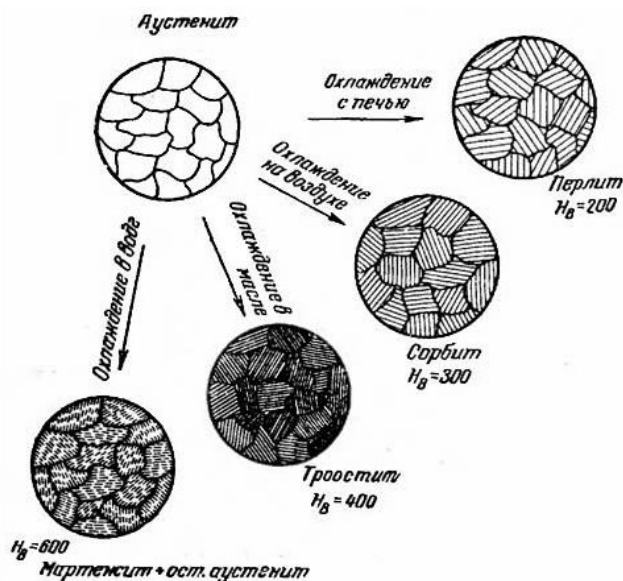
Превращение в стали при охлаждении



При охлаждении аустенита (γ) ниже температуры A_1 происходит его превращение в перлит, заключающееся в перестройке решетки ГЦК в ОЦК, выделении углерода из аустенита и образовании кристаллов цементита. Скорость распада аустенита зависит от степени переохлаждения и скорости диффузии углерода. В зависимости от степени переохлаждения различают три температурные области превращения аустенита:

- 1) перлитное;
- 2) промежуточное или бейнитное;
- 3) мартенситное превращение.

Так как диаграмма изотермического распада аустенита строится в координатах температура – время, то на эту диаграмму можно наложить линии скоростей охлаждения $V_1 - V_5$. По данной методике можно получить приближенное представление об образующихся структурах при разных скоростях охлаждения аустенита $V_1 < V_2 < V_3 < V_4 < V_5$.



При скоростях охлаждения V_1, V_2, V_3 – образуются структуры соответственно: перлит, сорбит и троостит. При скоростях охлаждения V_4 аустенит превращается в бейнит – промежуточное превращение. При скоростях выше критической $V_5 > V_K$ аустенит превращается в мартенсит.

Критическая скорость охлаждения V_K – это минимальная скорость охлаждения, при которой аустенит полностью превращается в мартенсит. Вектор V_K строится касательно к внешней кривой изотермического распада аустенита (к внешней С-образной кривой)

Термическая обработка

Мартенситом называют пересыщенный твердый раствор углерода в Fe α с той же концентрацией углерода, что и в исходном аустените. Мартенсит имеет игольчатое строение, очень высокую твердость (600-800 НВ) и хрупкость, структура мартенсита неустойчивая, при влиянии температуры переходит в более устойчивые карбидные структуры. Мартенсит образуется при закалке в воде со скоростью охлаждения **150...200 град./сек.**

Мартенситное превращение начинается при температуре, называемой мартенситной точкой **Мн**, и протекает в широкой области температур. Температуру, при которой мартенситное превращение заканчивается, обозначают точкой **Мк**

Бейнит (по имени английского металлурга Э. Бейна) - игольчатый троостит, структура стали, образующаяся в результате так называемого промежуточного превращения аустенита. Бейнит состоит из смеси частиц пересыщенного углеродом феррита и карбида железа

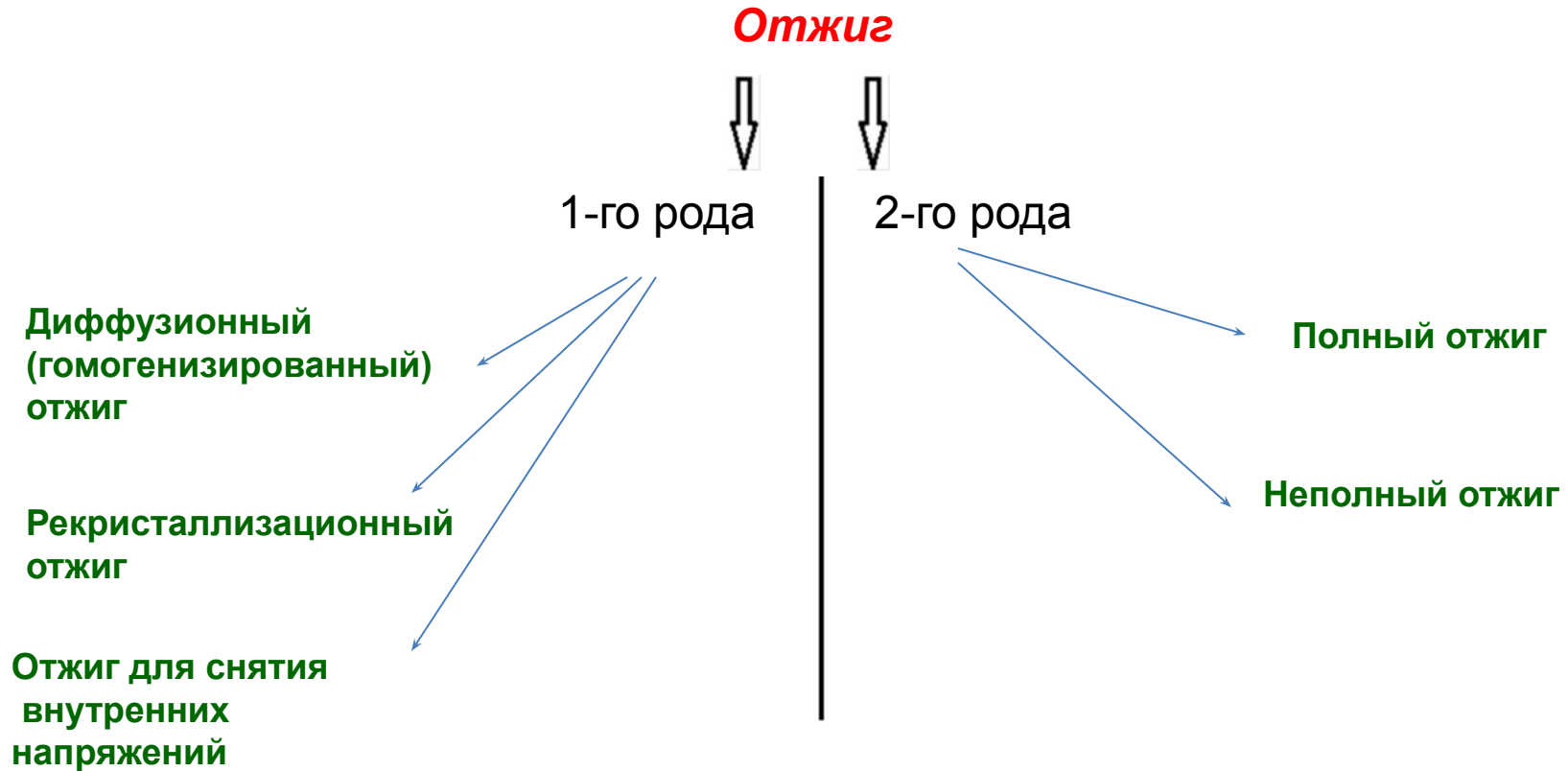
Троостит (по имени французского химика Луи-Жозефа Труста) – смесь феррита и цементита высокой дисперсности (измельченности) . Троостит имеет пластинчатое строение, твердость 400 НВ. Троостит образуется в результате распада аустенита при температурах ниже 600 °С. Троостит образуется при закалке в масло со скоростью охлаждения **50...100 град./сек.**

Сорбит – смесь феррита и цементита, но зерна в сорбите в 10 раз крупнее, чем в троостите, т.к. из-за меньшей скорости охлаждения зерна успевают вырасти. Сорбит имеет пластинчатое строение, твердость 300НВ. Сорбит образуется при охлаждении на спокойном воздухе со скоростью охлаждения **около 50 град./сек**

Перлит – смесь феррита и цементита. Перлит имеет пластинчатое строение, твердость 200 НВ. Перлит образуется при охлаждении в печи со скоростью охлаждения **менее 50 град./сек**

Термическая обработка

Отжиг стали проводится для получения мелкозернистой структуры, устранения химической и структурной неоднородности, уменьшения внутренних напряжений.



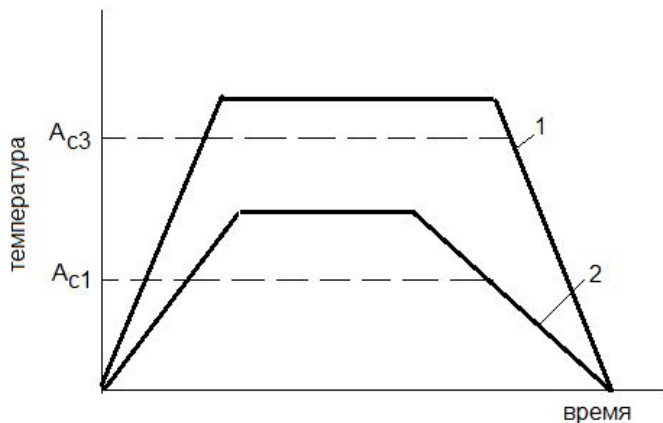
Термическая обработка

Отжиг

Диффузионный (гомогенизированный) отжиг используется для устранения ликвации. Температура нагрева составляет $0,8 - 0,9 T_{пл}$ (на $150 - 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже линии солидус).

Рекристаллизационный отжиг применяют для снятия наклепа и получения равновесного состояния сплава. В результате рекристаллизации в деформированном металле образуются новые зерна, снижаются напряжения и восстанавливается пластичность сплава $T_{рек} = (0,6 - 0,8) T_{пл}$.

Отжиг для снятия внутренних напряжений применяется для снятия напряжений, возникающих при ковке, сварке, литье и т.д., которые могут вызвать коробление и изменение формы. Нагрев при этом виде обработки проводят до сравнительно низких температур ($200 - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Кривая 1 – полный отжиг
для доэвтектоидной стали

Кривая 2 – неполный отжиг
для заэвтектоидной стали

В реальных условиях печного нагрева для получения равновесной структуры при полном отжиге доэвтектоидную сталь нагревают выше критической точки A_{c3} на $30-50\text{ }^{\circ}\text{C}$

При неполном отжиге заэвтектоидную сталь нагревают выше A_{c1} на $50-70\text{ }^{\circ}\text{C}$

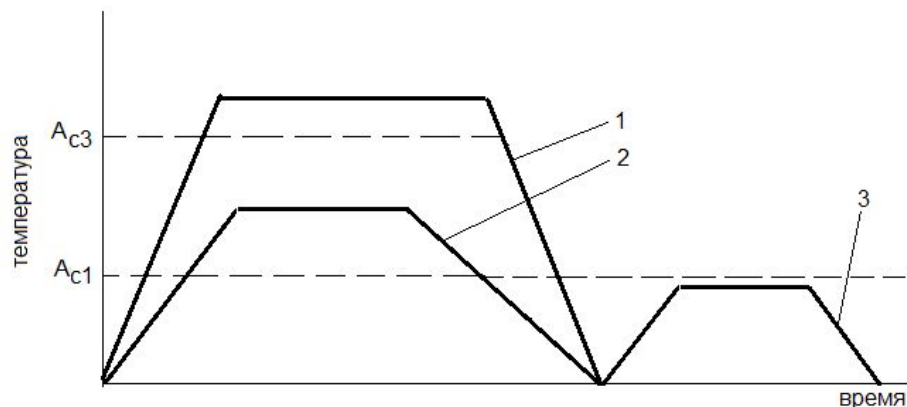
Термическая обработка

Нормализация

При нормализации сталь нагревают выше температуры критических точек A_{c3} или A_{cm} на 30 – 50 °С. После выравнивания температуры по всему сечению детали охлаждаются со скоростью, обеспечивающей структуру пластинчатого сорбита. По режиму нормализация является промежуточной операцией между отжигом и закалкой. Цель нормализации – получение мелкозернистой однородной структуры, частичное снижение внутренних напряжений, улучшение штампуемости и обрабатываемости резанием.

Закалка

Закалка – операция, заключающаяся в нагреве стали до температур, обеспечивающих получение аустенитной структуры стали, которая при быстром охлаждении превращается в мартенсит. Доэвтектоидные и эвтектоидные стали нагреваются под закалку до температур на 30 – 50 °С выше точки A_{c3} , а заэвтектоидные – на 30 – 50 °С выше точки A_{c1} . При закалке увеличивается прочность, твердость и износостойкость, а также появляются внутренние напряжения.



Кривая 1 – полная закалка для доэвтектоидной и эвтектоидной сталей

Кривая 2 – неполная закалка для заэвтектоидной стали

Кривая 3 – отпуск стали

Термическая обработка

Отпуск

Отпуск – вид термообработки, применяемый только к закаленным сплавам. При отпуске нагревают закаленную сталь ниже A_{c1} . В результате отпуска уменьшается внутреннее напряжение, сплавы переходят в более равновесное состояние, снижается твердость и хрупкость, повышается пластичность и ударная вязкость, улучшается обрабатываемость резанием и пластической деформацией (ОМД).

Отпуск

низкий	средний	высокий
Низкий отпуск – это нагрев закаленной стали до 200 °С.	Средний отпуск – это нагрев закаленной стали до 400 °С.	Высокий отпуск – это нагрев закаленной стали до 600 °С.
Цель – снижение внутренних напряжений, незначительное снижение твердости и повышения пластичности	Цель – снижение внутренних напряжений, снижение твердости и повышения пластичности	Цель – снижение внутренних напряжений, значительное снижение твердости и повышения пластичности
Структура стали – мартенсит отпуска	Структура стали – троостит отпуска	Структура стали – сорбит отпуска

Термическую операцию – закалку с высоким отпуском – называют улучшением.

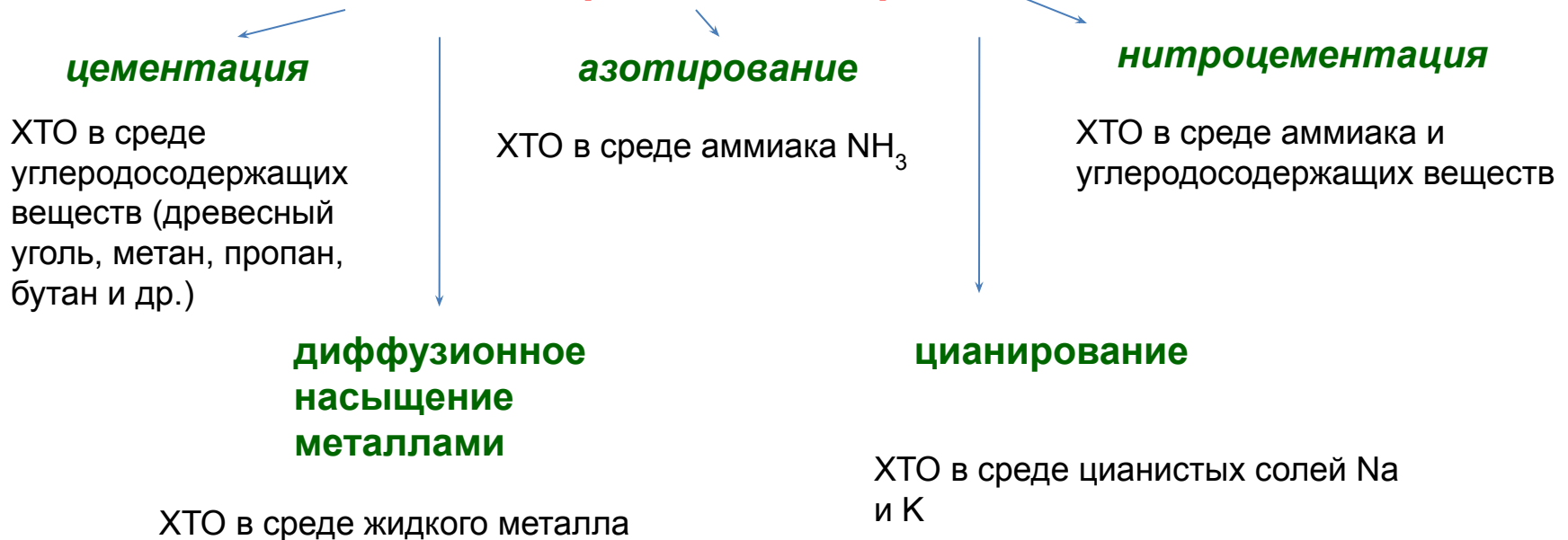
Термическая обработка

Химико-термическая обработка (ХТО)

Химико-термическая обработка заключается в нагреве, выдержке и охлаждении деталей из сталей или титановых сплавов в среде, содержащей какой-либо элемент, например, углерод, азот, углерод и азот, бор, а также металлы – алюминий, хром, иттрий, титан, бериллий и др.

Химико-термическая обработка (ХТО) сочетает тепловое воздействие с химическим и заключается в насыщении поверхности заготовки каким-либо элементом с целью получения в этом слое необходимых свойств (твердость, износостойкость, жаропрочность, коррозионная стойкость и т.д.).

Химико-термическая обработка (ХТО)



Термическая обработка

Химико-термическая обработка (ХТО)

Химико-термическую обработку применяют для повышения твердости, износостойкости, сопротивления усталости и контактной выносливости, а также для защиты от электрохимической и газовой коррозий.

Различают три стадии процесса химико-термической обработки.

На первой стадии протекают химические реакции в исходной окружающей среде, в результате которых образуются активные диффундирующие элементы в ионизированном состоянии

На второй стадии процесса элементы усваиваются насыщаемой поверхностью металла – происходит адсорбция (поглощение) диффундирующих элементов, в результате чего тончайший поверхностный слой насыщается диффундирующим элементом

Третья стадия – проникновение элемента в глубь насыщаемого металла, которое сопровождается образованием твердых растворов

Химико-термическая обработка (ХТО)

Цементация стали

Технологический процесс диффузионного насыщения углеродом называется цементацией. Обычно после цементации сталь подвергают закалке и низкому отпуску. После такого комплексного процесса концентрация углерода на поверхности стальной детали составляет 0,8 – 1%.

Структура низкоопущенного мартенсита с мелкими карбидами хорошо сопротивляется износу, твердость поверхности равна 750 – 950 НВ. Сердцевина детали, содержащая 0,08 – 0,25% С, остается вязкой.



Цементации обычно подвергают такие детали машин, которые должны иметь износостойкую рабочую поверхность и вязкую сердцевину: зубчатые колеса, валы и пальцы, распределительные валики, кулачки, червяки и т.д.

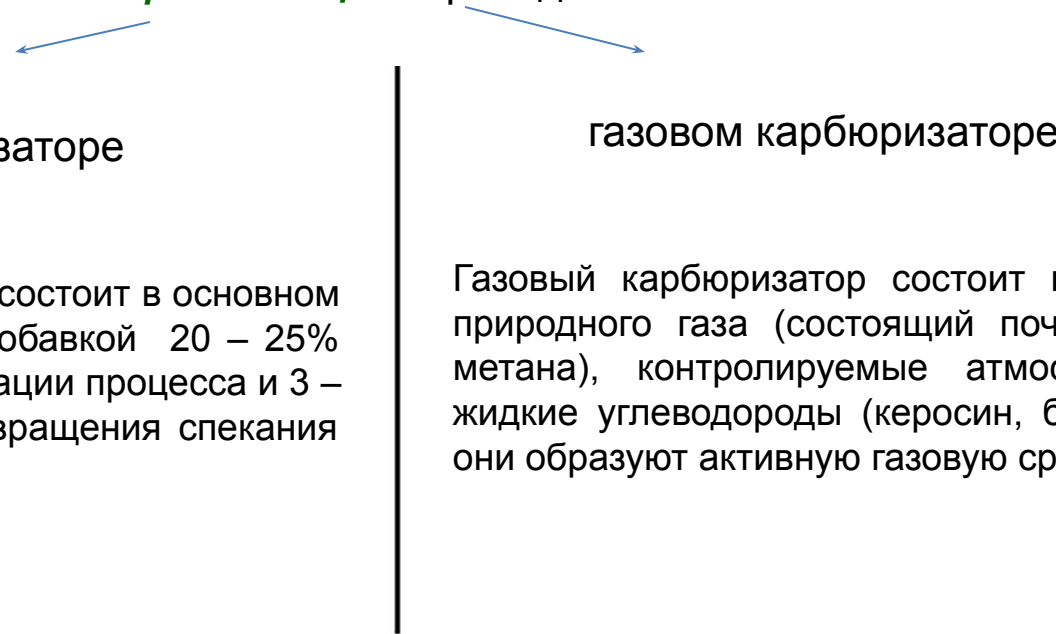
Химико-термическая обработка (ХТО)

Цементация стали

Карбюризаторы

Исходную среду цементации (науглероживания) принято называть карбюризатором

Цементацию проводят в



твердом карбюризаторе

твердый карбюризатор состоит в основном из древесного угля с добавкой 20 – 25% BaCO_3 для интенсификации процесса и 3 – 5% CaCO_3 для предотвращения спекания частиц карбюризатора.

газовом карбюризаторе

Газовый карбюризатор состоит из разбавленного природного газа (состоящий почти полностью из метана), контролируемые атмосферы, а также жидкие углеводороды (керосин, бензол и др.), где они образуют активную газовую среду.

Химико-термическая обработка (ХТО)

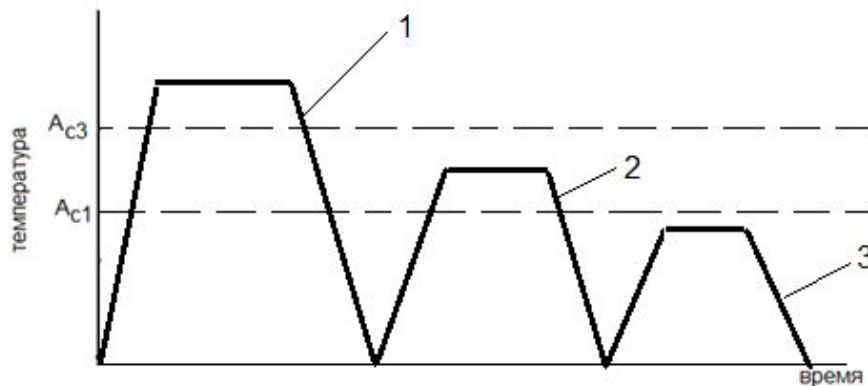
Цементация стали

Термическая обработка после цементации

Для получения заданного комплекса механических свойств после цементации необходима дополнительная термическая обработка деталей.

Для получения деталей ответственного назначения их подвергают сложной термической обработке, состоящей из двух последовательно проводимых закалок и низкого отпуска.

При первой закалке деталь нагревают до температуры на 30 – 50 °С выше температуры A_{c3} цементируемой стали (кривая 1). При таком нагреве во всем объеме детали образуется аустенит.



При второй закалке деталь нагревают (кривая 2) до температуры на 30 – 50 °С выше температуры A_{c1} . В процессе нагрева мартенсит, полученный в результате первой закалки, отпускается, что сопровождается образованием глобулярных карбидов.

Окончательной операцией термической обработки является низкий отпуск при 160 – 200 °С (кривая 3), уменьшающий остаточные напряжения и не снижающий твердость стали

Химико-термическая обработка (ХТО)

Азотирование стали

Азотированием называют процесс диффузионного насыщения азотом поверхностной зоны деталей. Азотирование применяют для повышения износостойкости и предела выносливости деталей машин (коленчатые валы, гильзы цилиндров, червяки, шестерни и др.).

До азотирования детали подвергают закалке, высокому отпуску (улучшению) и чистовой обработке.

Обычно азотирование проводят при температуре 500 – 600 °С в муфелях или контейнерах, через которые пропускается аммиак.

Нитроцементация стали

Нитроцементация - совместное диффузионное насыщение поверхности стали азотом и углеродом

Азот способствует диффузии углерода, поэтому можно понизить температуру нитроцементации до 850 °С и получить примерно такое же науглероживание, как при цементации. В этом случае уменьшится рост зерна аустенита.

Такой процесс называется нитроцементацией, так как исходной средой является смесь цементирующего газа с 3 – 5% NH_3 , а в диффузионной зоне образуются углеродсодержащие соединения. Нитроцементированный слой хорошо сопротивляется износу и коррозии

Нитроцементацию широко применяют на заводах для упрочнения поверхностей нешлифуемых деталей.

Химико-термическая обработка (ХТО)

Диффузионное насыщение металлами

Для многих деталей требуются жаростойкие покрытия. Их поверхность должна хорошо сопротивляться окислительному действию рабочей или окружающей среды. Диффузионное насыщение проводят при высоких температурах 900 - 1100 °С.

Традиционными способами получения таких покрытий являются

- **алитирование (алюминирование)**
- **хромирование**
- **силицирование**

Диффузионное алитирование насыщение поверхности детали алюминием - проводят с целью повышения окислительной стойкости до 850-900 °С

Диффузионное хромирование насыщение поверхности изделий хромом - применяется с целью повышения окислительной стойкости до 800 °С и коррозионной стойкости

Силицирование - насыщение поверхности изделий кремнием – проводят для повышения коррозионной стойкости в морской воде, в азотной и соляной кислотах

Термическая обработка

Термическая обработка с оплавлением поверхности

Термическая обработка с оплавлением поверхности заключается в быстром нагреве высокоэнергетическими источниками поверхности деталей и последующем охлаждении со скоростью не менее 10^6 °C/с. При этом достигается аморфное строение поверхностного слоя. Может применяться в приборостроении, медицинской технике и аппаратах для улучшения служебных характеристик: износостойкости, физических свойств

Термомеханическая обработка

Термомеханическая обработка заключается в нагреве, выдержке и пластической деформации и последующем быстром охлаждении.

Легированные стали

Легированная сталь — сталь, которая, кроме обычных примесей, содержит элементы, специально вводимые в определённых количествах для обеспечения требуемых физических или механических свойств. Эти элементы называются легирующими.

Легирование стали преследует следующие цели:

Повышение прочности

Повышение прокаливаемости

Получение особых физико-химических свойств (жаростойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость и т.п.)

Маркировка легированных сталей

Маркировка	Элемент	
Г	марганец	Mn
С (от лат. «силициум»)	кремний	Si
Х	хром	Cr
Н	никель	Ni
Д	медь	Cu
А	азот	N
Ф	ванадий	V
Б	ниобий	Nb
В	вольфрам	W

Е	селен	Se
К	кобальт	Co
Л	бериллий	Be
М	молибден	Mo
Р	бор	B
Т	титан	Ti
Ю (от «ювенал»)	алюминий	Al
Ц	цирконий	Zr
П (от лат. «phosphorus»)	фосфор	P
Ч	редкоземельные металлы	

Легированные стали

Марка легированной стали состоит из сочетания букв и цифр, обозначающих ее химический состав. Буквы пишутся после цифры, указывающей содержание углерода в сотых долях процента в конструкционных сталях и в десятых долях процента в инструментальных. Если после буквы нет цифры, то содержание легирующего элемента в стали составляет 1 – 1,5%. Исключение сделано для молибдена и ванадия, содержание которых в большинстве сталей 0,2 – 0,3%. Если легирующего элемента больше 1,5%, то цифра после буквы указывает его содержание в процентах. Например, марка 15Х обозначает сталь, имеющую в среднем 0,15% углерода и 1,0 – 1,5% хрома, сталь 35Г2 – 0,35% углерода и 2% марганца.

Особо высококачественная сталь в конце марки обозначается буквой Ш (например, 30ХГС – Ш). У сталей, применяемых для изготовления отливок, в конце марки стоит буква Л (35Л, 30ХГСЛ).

Расшифровка марок легированных сталей

30ХГСА, 20ХН4ФА, 38ХН3МА, 09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД, 15ХН10Т, 40ХНМА, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 18ХГТ, 03Х13АГ19

Легированные стали

Исключения:

- все инструментальные легированные, а также стали и сплавы с особыми физическими свойствами, нержавеющие и жаропрочные всегда высококачественные (или особовысококачественные), поэтому в марках этих сплавов буква А не указывается;
- шарикоподшипниковые хромистые стали обозначаются в начале марки буквами ШХ, содержание хрома в этих сталях указывается в десятых долях процента, а содержание углерода, одинаковое при разном содержании хрома, не указывается (например, сталь ШХ15 содержит в среднем 1% углерода и 1,5% хрома);
- быстрорежущие стали для упрощения маркировки обозначаются буквой Р (режущие быстро), следующая за ней цифра указывает содержание вольфрама – главного легирующего элемента этих сталей в процентах. Другие элементы обозначаются, как и в остальных сталях, если они присутствуют в количестве более 1% (в быстрорежущих сталях количество хрома в среднем 4%);
- электротехнические стали обозначаются четырьмя цифрами, первые три цифры в обозначении марки означают тип стали, четвертая – ее порядковый номер; нестандартные легированные стали, выплавляемые заводом «Электросталь», маркируют сочетанием букв ЭИ (электросталь исследовательская) или (П – пробная) и порядковым номером, например, ЭП53, ЭП54 ЭИ – 415 и т.д. После промышленного освоения условное обозначение заменяют на марку, отражающую примерный состав стали.

МАТЕРИАЛЫ С ОСОБЫМИ МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Общие сведения о ферромагнетиках

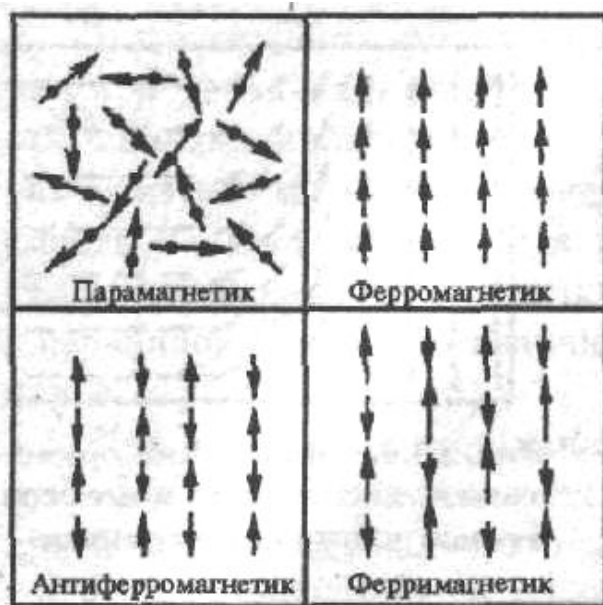
Материалы в магнитном поле намагничиваются. Намагничивание связано с наличием у атомов (ионов) собственного магнитного поля, которое и определяет степень намагниченности материала. Магнитный момент атома является суммой векторов орбитальных и собственных (спиновых) моментов электронов. При наложении внешнего магнитного поля векторы ориентируются вдоль поля. Орбитальный момент при этом уменьшается, так как в атоме индуцируется добавочный момент, направленный против поля, — диамагнитный эффект. Наличие нескомпенсированных спинов электронов, наоборот, усиливает намагниченность атома — парамагнитный эффект. В твердых телах атомы сближены настолько, что происходит перекрытие энергетических зон электронов; атомы обмениваются электронами и в результате преобладает тот или иной эффект.

Диамагнетиками называют кристаллы, в которых преобладает диамагнитный эффект. Это металлы Cu, Ag, Au, Be, Zn, полупроводники Ge и Si, сверхпроводники. Они слабо намагничиваются в направлении, противоположном направлению магнитного поля.

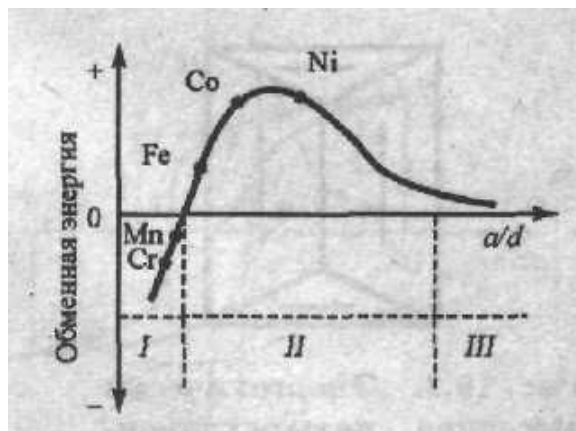
Парамагнетиками называют кристаллы, в которых преобладает парамагнитный эффект. Это Pt, Al, Mg, Ti, Zr и тугоплавкие металлы. Они намагничиваются также слабо, но в направлении намагничивающего поля.

Ферромагнетизм — результат обменного взаимодействия электронов недостроенных подуровней соседних атомов, перекрывающихся при образовании кристаллов.

Общие сведения о ферромагнетиках

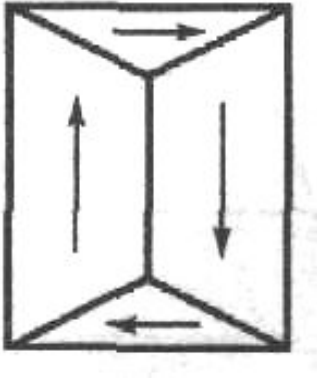


Ориентация магнитных моментов атомов различных материалов



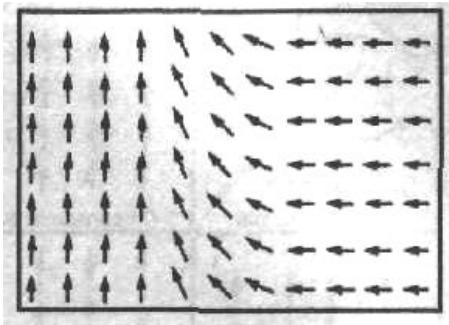
Обменная энергия ферромагнитных металлов: I – антиферромагнетники; II – ферромагнетики; III – парамагнетики

Общие сведения о ферромагнетиках



Энергетически выгодная четырехдоменная структура с замкнутым магнитным полем

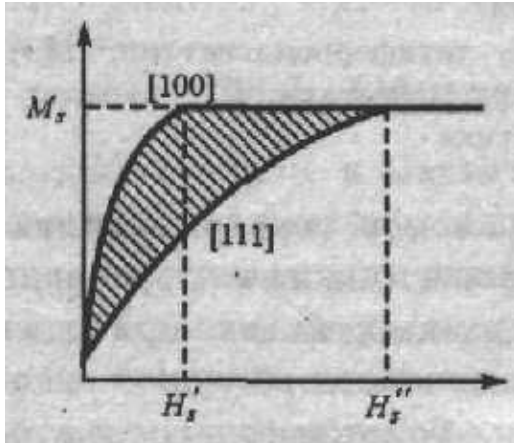
Домен — это область кристалла размером $10^{-4} - 10^{-6}$ м, где магнитные моменты атомов ориентированы параллельно определенному кристаллографическому направлению.



Изменение ориентации
магнитных моментов атомов в
доменной границе

В антиферромагнетиках магнитные моменты атомов ориентируются антипараллельно, и результирующий момент равен нулю. Если же эти магнитные моменты не скомпенсированы, то возникает результирующий магнитный момент, и такой материал называется ферримагнетиком.

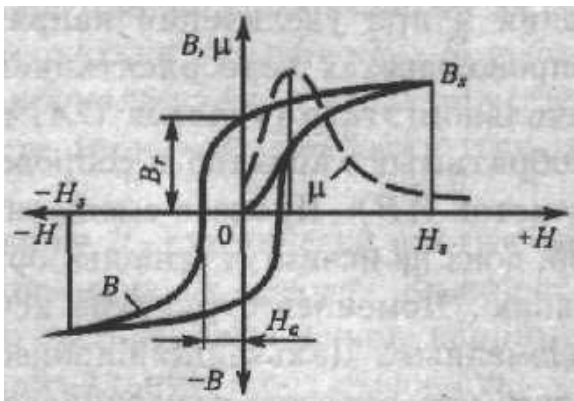
Общие сведения о ферромагнетиках



Кривые намагничивания
для монокристалла
железа

Удельная энергия, которую необходимо затратить на перемагничивание из направления легкого намагничивания в направление трудного намагничивания (заштрихованная зона), называется константой кристаллографической магнитной анизотропии K .

Интенсивность роста индукции при увеличении напряженности намагничивающего поля характеризует магнитная проницаемость μ . Она определяется как тангенс угла наклона касательной к первичной кривой намагничивания $B = f(H)$

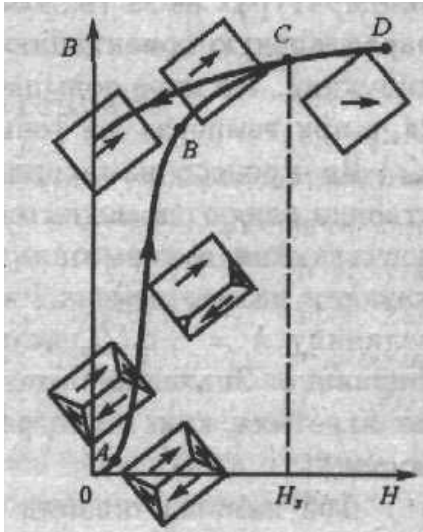


Петля гистерезиса
ферромагнетика

Процессы намагничивания полностью необратимы. Если магнитное поле, доведенное до $+H_s$, уменьшать до нуля, то индукция сохранит определенное значение B_r , называемое остаточной индукцией. Намагничивание поликристалла полем обратного знака уменьшает индукцию B , и при напряженности поля H_c индукция падает до нуля. Напряженность магнитного поля, равная H_c , называется коэрцитивной силой. При перемагничивании от $+H_s$ до $-H_s$ и обратно кривые не совпадают. Площадь, ограниченная этими кривыми, определяет потери на гистерезис или перемагничивание.

Кривая намагничивания и форма петли гистерезиса — важнейшие характеристики ферромагнетика, так как они определяют основные его константы, а, следовательно, и области применения.

Общие сведения о ферромагнетиках



Изменение индукции и
доменной структуры при
намагничивании
ферромагнетика

При намагничивании изменяется доменная структура поликристалла ферромагнетика. При слабых полях наблюдается смещение границ доменов, в результате чего происходит увеличение тех доменов, векторы намагниченности которых составляют с направлением поля H меньший угол. Эти домены находятся в энергетически выгодном положении и при увеличении напряженности поля продолжают расти, что сопровождается переориентацией моментов атомов.

На начальном этапе (участок OA) процесс обратим. Затем он приобретает необратимый характер и сопровождается интенсивным ростом индукции (участок AB). Процесс смещения доменных стенок продолжается до тех пор, пока не исчезнут домены, ориентированные невыгодно по отношению к полю. Доменная структура исчезает, каждый кристалл становится однодоменным. Дальнейший процесс намагничивания (участок BC) состоит в том, что векторы намагниченности кристаллов вращаются до полного совпадения с направлением внешнего поля. Полная ориентация векторов намагниченности вдоль поля соответствует индукции насыщения BS .

Магнитомягкие материалы

Магнитомягкие материалы намагничиваются в слабых магнитных полях ($H \leq 5 \times 10^4$ А/м) вследствие большой магнитной проницаемости ($\mu'_H \leq 70 \times 10^3$ и $\mu'_{\max} \leq 240 \times 10^3$) и малых потерь на перемагничивание.

Такие материалы применяют для изготовления сердечников катушек, электромагнитов, трансформаторов, динамомашин.

Материалы с высокой индукцией насыщения

К этим материалам, прежде всего, относят железо, нелегированные и легированные электротехнические стали. Благодаря большой магнитной индукции ($B_3 < 2,15$ Тл), малой коэрцитивной силе ($H_c \leq 100$ А/м), достаточно высокой магнитной проницаемости ($\mu'_{\max} \leq 63 \times 10^3$) и хорошей технологичности их применяют в электротехнике для магнитных полей напряженностью от 10^2 до 5×10^4 А/м.

Магнитные свойства железа

Железо	C, %	$\mu'_H \cdot 10^{-2}$	$\mu'_{\max} \cdot 10^{-3}$	H_c А/м
Карбонильное	0,005 – 0,01	32	-	6,4
Электролитическое переплавленное в вакууме	0,01	-	63	7,2
Электролитическое	0,02 – 0,025	6,4	15	28
Технически чистое*	0,02 – 0,04	2,4	7,2	64

Материалы с высокой индукцией насыщения

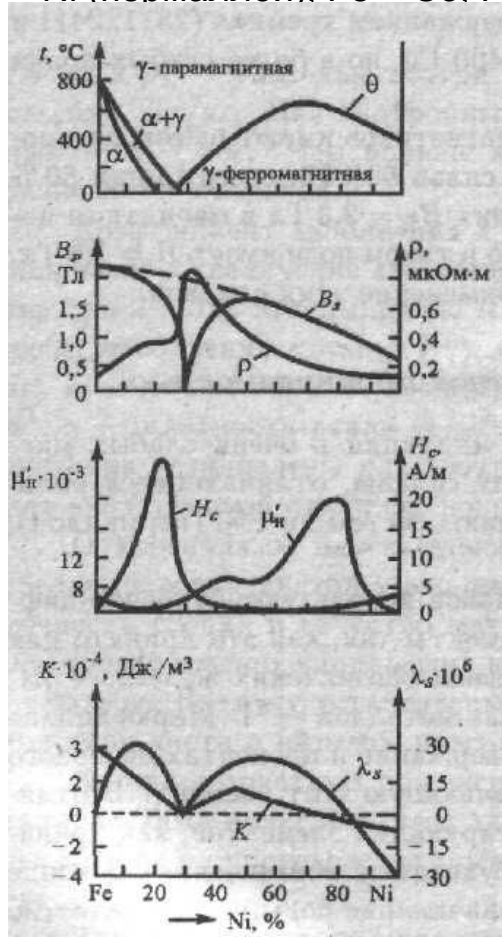
Нелегированные электротехнические стали изготавливают теми же металлургическими способами, что и технически чистое железо; содержание углерода и примесей в них допускается в тех же количествах. Электротехнические стали поставляют с гарантированными магнитными свойствами для электротехнической промышленности. Промышленность выпускает стали различного сортамента, в том числе тонкий лист.

Магнитные свойства нелегированной электротехнической тонколистовой стали (ГОСТ 3836-83)

Марка стали	H_c , А/м	$\mu'_{\max} \cdot 10^{-3}$	B , Тл, при $H = 30$ кА/м
10895 20895	95	3	2,05
10864 20864	64	4,5	2,05
10848 20848	48	4,8	2,05

Материалы с высокой магнитной проницаемостью

Для достижения больших значений индукций в очень слабых магнитных полях ($H \leq 10^2$ А/м) применяют сплавы, отличающиеся большой начальной проницаемостью. Это сплавы систем Fe – Ni (пермаллои), Fe – Co, Fe – Al (альсиферы).



Пермаллои с содержанием 45 – 83 % Ni характеризуются большой магнитной проницаемостью $\mu'_H \leq 70 \times 10^3$; $\mu'_{\max} < 247 \times 10^3$, что обеспечивает их намагничивание в слабых полях. Повышенное удельное электросопротивление по сравнению с чистыми металлами Fe и Ni позволяет использовать эти сплавы в радиотехнике и телефонии при частотах до 25 кГц. Малая коэрцитивная сила ($H_c < 16$ А/м) уменьшает потери на гистерезис при перемагничивании. По значению индукции насыщения сплавы с повышенным содержанием никеля уступают железу и стали. В зависимости от состава B_s изменяется в пределах 0,5–1,5 Тл. Большим достоинством пермаллоев является их высокая пластичность, что облегчает технологию получения полуфабрикатов (тонких листов, лент и проволоки), используемых при изготовлении сердечников.

Все пермаллои по составу можно разделить на две группы: низконикелевые (45 – 50 %Ni), имеющие высокую магнитную проницаемость ($\mu'_H \leq 3,2 \cdot 10^3$) при относительно высокой индукции насыщения (1,5 Тл), и высоконикелевые (79 – 83 %Ni) с чрезвычайно высокой магнитной проницаемостью ($\mu'_H < 28 \times 10^3$), но меньшей индукцией насыщения (0,75 Тл).

Влияние содержания никеля на
магнитные характеристики
железоникелевых сплавов

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Медные сплавы

Химически чистая медь – металл красновато-розового цвета, кристаллизуется в решетке гранецентрированного куба, аллотропических превращений не имеет. Плотность меди 8,94 г/см³, температура плавления 1084°С.

Медь характеризуется высокой тепло- и электропроводностью, пластичностью, коррозионной стойкостью. По электро- и теплопроводности медь занимает второе место после серебра. Она широко применяется для изготовления проводников электрического тока в электротехнической отрасли, а также для различных теплообменников, нагревателей, холодильников, радиаторов. Медь имеет высокую коррозионную стойкость в пресной и морской воде, в атмосферных условиях, органических кислотах, едких средах.

Механические свойства меди зависят от ее состояния и от количества примесей. Примеси (Fe, P, As, Si, Pb) резко снижают тепло и электропроводность, пластичность и коррозионную стойкость. Техническую медь по чистоте подразделяют на следующие марки М00 (99,99%); М0 (99,95%); М1(99,90%); М2(99,70%); М3(99,5%) и М4(99,0%).

Техническую медь применяют в виде листов, труб, проволоки, т.е. после холодной пластической деформации. Холодная пластическая деформация повышает прочность, но снижает пластичность и электропроводность. Для снятия наклепа проводят отжиг при температуре 550 – 650°С. Медь имеет пониженную жидкотекучесть, поэтому в литом состоянии ее используют лишь в тех случаях, когда необходима высокая электро- и теплопроводность.

Медные сплавы

Медные сплавы разделяют на деформируемые и литейные, на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. По химическому составу их подразделяют на две основные группы: латуни и бронзы.

Латуни – это сплавы меди с цинком, они бывают двойные и многокомпонентные. Двойные маркируются буквой “Л” и цифрой показывающей содержание меди в процентах (Л96, Л90, Л80). В марках многокомпонентных латуней вводят дополнительно буквы и цифры обозначающие название и количество компонента в процентах, например, ЛАН 59-3-2 - латунь, содержит 59% Cu, 3%Al, 2%Ni, остальное 36% Zn.

Бронзами называют сплавы меди со всеми элементами кроме цинка. Бронзы подразделяются на оловянные, алюминиевые, бериллиевые, кремнистые. Бронзы маркируют буквами «Бр» за которыми следуют буквы, а затем цифры обозначающие название и содержание в процентах компонентов сплава, например, Бр ОЦС 5-5-5 – бронза, содержит 5%Sn, 5%Zn, 5%Pb, остальное 85% Cu.

Элементы обозначают следующими буквами и их сочетаниями: А – алюминий, О – олово, Ц – цинк, Мц – марганец, Мг – магний, Ж – железо, Б – бериллий, Х – хром. Ф – фосфор, С – свинец.

Обычно для проводников электрического тока применяют медь марок М0 и М1, для электроники бескислородную медь М0б или вакуумную медь М00. Медь марок М3, М4 используется в продовольственном машиностроении для изготовления маслопроводов, испарителей, емкостей варочной аппаратуры.

Медные сплавы

В соответствие со структурой меняются и механические свойства латуней. Если латунь имеет структуру α -твердого раствора, увеличение содержания цинка ведет к повышению ее прочности и пластичности. Появление β -фазы сопровождается резким снижением пластичности, при этом прочность продолжает повышаться до содержания цинка 45%. Переход латуни в однофазное состояние β -фазы сопровождается резким снижением прочности. Поэтому на практике применяют латуни содержащие до 45% цинка.

Двойные латуни подразделяют по структуре на две группы: однофазные со структурой α -твердого раствора и двухфазные со структурой ($\alpha+\beta$) фаз. Лучшей пластичностью обладают однофазные латуни с содержанием Zn до 30% (Л90, Л80), более высокой прочностью и твердостью двухфазные латуни (Л68, Л63, Л60).

Повышение содержания цинка удешевляет латуни, улучшает их обрабатываемость резанием, способности прирабатываться и противостоять износу. Одновременно уменьшается тепло и электропроводность, ухудшается коррозионная стойкость. Сплавы с содержанием более 20% склонны к коррозионному растрескиванию и обесцинкованию.

Из однофазной латуни изготавливают в основном изделия в виде холоднокатанных полуфабрикатов, полос, проволоки, листов. Двухфазные латуни ввиду их малой пластичности подвергают горячей прокатке, изготавливают трубы, листы, прутки, штамповки.

Двойные латуни, несмотря на хорошую жидкотекучесть, не применяются для фасонного литья, так как имеют большую концентрированную усадочную раковину. Многокомпонентные латуни применяют в виде деформируемых полуфабрикатов и фасонных отливок. Наиболее распространенными легирующими элементами латуней являются Al, Sn, Si, Ni.

Медные сплавы

Бронзы в зависимости от легирующего элемента бронзы могут быть оловянистыми, алюминиевыми, бериллиевыми и кремнистыми, марганцовистыми, свинцовистыми и др. Наибольшее распространение получили три первых вида бронз. Используют также многокомпонентные бронзы.

Оловянистые бронзы обладают высокой коррозионно-химической стойкостью. Они не корродируют в атмосферных условиях, пресной и морской воде. Бронзы широко применяются для пароводяной арматуры работающей под давлением. Они хорошо обрабатываются резанием, хуже свариваются. Среди медных сплавов оловянистые бронзы имеют самую низкую литейную усадку (1%), поэтому применяются для получения сложных фасонных отливок.

Литейные оловянистые бронзы подразделяют на машинные, предназначенные для фасонного литья деталей машин (БрОЗЦ12С5, БрОЗЦ7С5Н1), и антифрикционные, с хорошим сопротивлением истиранию (БрО5Ц5С5, БрО4Ц4С17 и др.). Антифрикционные бронзы применяют для изготовления подшипников. Из-за дефицитности олова его частично заменяют свинцом, так бронзы для художественного литья БХ1, БХ2, БХ3 содержат соответственно 1 – 7, 5 – 8, и 25 – 35% свинца, а также от 1 до 6% фосфора (для улучшения жидкотекучести). Для снятия внутренних напряжений в отливках проводят их отжиг при температуре 550°С в течение 1 ч.

Из деформируемых бронз БрОЦ-4-3, БрОФ-6-0,15, БрОЦС-4-4-2,5 изготавливают пружины, мембраны, антифрикционные детали. В продовольственном машиностроении бронзу БрОЦС-3-12-5 используют для изготовления деталей аппаратов, работающих под давлением. Деформируемые бронзы для улучшения обрабатываемости подвергают гомогенизирующему нагреву при 700 – 750°С с последующим быстрым охлаждением.

Медные сплавы

Алюминиевые бронзы, содержат не более 11% алюминия (БрА9Ц2Л, БрА10Х4НЧЛ, БрА9Ж4Н4МЦ1), и занимают первое место в промышленности по объему использования. Они постепенно вытесняют оловянистые, так как по многим свойствам их превосходят. Алюминиевые бронзы отличаются высокими механическими, антикоррозионными и антифрикционными свойствами. Небольшой интервал кристаллизации обеспечивает хорошую герметичность. Вместе с тем из-за большой усадки иногда трудно получить фасонную отливку. Недостатками алюминиевых бронз является склонность к газонасыщению и окисляемости во время плавки, образование грубой крупнозернистой структуры. Эти недостатки существенно уменьшаются при легировании бронз железом, никелем, марганцем.

Бронзы БрАЖ–9–4, БрАЖС–10–3–1,5 используют как заменители дефицитных оловянистых бронз. Из них изготавливают паропроводную арматуру высоких и низких давлений, мешалки, зубчатые колеса, клапаны, втулки, вкладыши и другие детали, контактирующие с пищевыми продуктами.

Литейную бронзу БрАЖ4Н4 используют в продовольственном машиностроении для изготовления ответственных высоконагруженных деталей технологического оборудования, работающего с агрессивными пищевыми средами: направляющие, втулки, седла клапанов, шестерни и пр.

Двухфазные алюминиевые бронзы подвергают упрочняющей термообработке: закалке с 980°С и последующему старению при 400°С, в результате этого их прочность и твердость увеличиваются в два раза.

Медные сплавы

Бериллиевые бронзы обладают уникальным сочетанием физико-механических и коррозионных свойств: очень высокой прочностью, упругостью, твердостью, коррозионной стойкостью, повышенным сопротивлением усталости, ползучести, износу. Содержание бериллия в них составляет от 1,5 до 2%. Бериллиевые бронзы подвергаются упрочняющей термообработке - закалке с 780°C и искусственному старению при 300 – 350°C в течение 1 – 3 ч, после чего прочность их достигает $\sigma_{\text{в}} = 1400$ МПа.

Бериллиевые бронзы относятся к теплостойким материалам. Они устойчиво работают при температуре 300 – 350°C. Из бериллиевых бронз БрБ2, БрБНТ1,7, БрБНТ1,9 изготавливают детали работающие при повышенных скоростях и давлениях, инструмент не дающий искры, пружины, мембраны, пружинные контакты. Основной недостаток этих бронз дороговизна и дефицитность.

Кремнистые бронзы обладают хорошими механическими, пружинящими и антифрикционными свойствами, высокой коррозионной стойкостью. Являются заменителями дорогостоящих оловянных и бериллиевых бронз. Они хорошо обрабатываются и свариваются. Литейные свойства ниже, чем у других бронз. Кремнистые бронзы БрКН1-3, БрКМц3-1. применяют для замены оловянных бронз для антифрикционных деталей и бериллиевых бронз при производстве пружинящих деталей. Кремнистые бронзы обрабатываются давлением, для отливок применяют редко.

Медные сплавы

Свинцовистые бронзы сочетают хорошие антифрикционные свойства с высокой теплопроводностью, воспринимают ударные нагрузки и работают на усталость. Их применяют для ответственных тяжело нагруженных подшипников. Недостаток свинцовистых бронз – склонность к ликвации. Легирование свинцовистых бронз никелем и оловом (БрОСЦ8-12, БрОСН10-2-3 и др.) повышает их прочность и твердость, эти бронзы используют для втулок и подшипников.

Марганцевые бронзы (БрМц5) отличаются повышенной коррозионной стойкостью и жаропрочностью. Они хорошо обрабатываются давлением и имеют хорошую жидкотекучесть, это позволяет изготавливать из них фасонные отливки. Применяются для деталей работающих при повышенных температурах до 400°C.

Алюминиевые сплавы

Алюминий – металл серебристо – белого цвета, обладает малой плотностью, хорошей тепло и электропроводностью, высокой коррозионной стойкостью и пластичностью. Его температура плавления 660°C , плотность $2,7 \text{ г/см}^3$.

В зависимости от чистоты различают алюминий особой чистоты А999 (99,999%), высокой чистоты А995, А99, А97, А95 (99,995 – 99,95%) и технической чистоты А8, А7, А6, А5, А0(99%). Примесями в техническом алюминии являются железо, медь, марганец, титан и др.

Технический алюминий выпускается в виде прутков, листов, проволоки и различных профилей.

Деформируемые алюминиевые сплавы

- типа авиаль АД31, АД33, АВ, суммарное содержание в них легирующих элементов не превышает 1 – 2%.
- высокопрочные алюминиевые сплавы В95, В96, применяемые в самолетостроении для нагруженных конструкций, работающих при $100 - 120^{\circ}\text{C}$ работающих в условиях напряжения сжатия.
- сплавы дляковки и штамповки АК6, АК8. Это сплавы системы $\text{Al} - \text{Cu} - \text{Mg}$ с повышенным содержанием кремния.
- жаропрочные алюминиевые сплавы (АД20, АК4 – 1) работают при более высоких температурах (до 300°C). Они легированы элементами Fe, Ni, Cu которые образуют упрочняющие фазы.

Литые алюминиевые сплавы

Для литейных алюминиевых сплавов важными являются технологические, а не эксплуатационные свойства: жидкотекучесть, объемная и линейная усадка, склонность к образованию горячих трещин и ликвация.

Наилучшими литейными свойствами обладают силумины (сплавы алюминия с кремнием). Они обладают высокой жидкотекучестью, малой усадкой, не склонны к образованию горячих трещин, хорошей герметичностью. Это объясняется наличием эвтектики в этих сплавах АК12, АК7. Эти сплавы имеют хорошую коррозионную стойкость и свариваемость, однако, плохо обрабатывается резанием. Силумины легированные в небольшом количестве Mg и Cu могут быть упрочены с помощью термической обработки: закалки от 500°C в воде и искусственного старения при $150 - 180^{\circ}\text{C}$.

СТРОЕНИЕ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ

Полимеры имеют очень большое значение в производстве многих изделий электротехнической, электронной, радиотехнической, машиностроительной и других отраслей промышленности. Они применяются непосредственно для создания таких материалов как пластмассы, армированные пластики, лаки, компаунды, герметики, клеи, волокна, пленки, резиновые материалы и т.п.



Автомобильные шины
на основе
синтетических
каучуков



Пластиковые окна
из
поливинилхлорида
(ПВХ)



Дышащие
полимерные
мембраны



Полимерные
трубы
для
водоснабжения

Особенности строения, способы получения и классификация полимеров

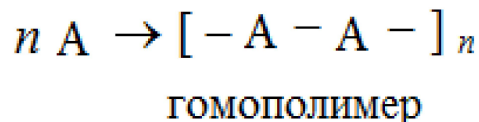
Особенности строения

Полимерами называются соединения, в которых чередуется большое число одинаковых или неодинаковых мономеров, соединенных между собой химическими связями.

Полимер в переводе с греческого значит много (поли) часть (мер)

Мономер в переводе с греческого значит один (моно) часть (мер)

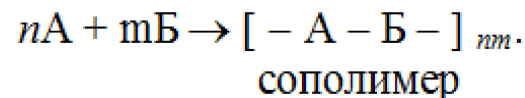
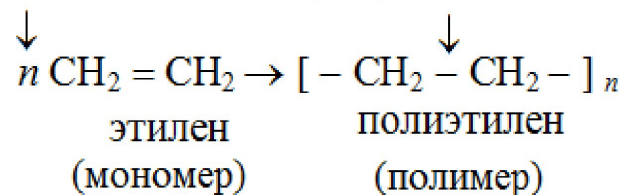
Степень полимеризации – это количество мономеров в полимерной цепи (в макромолекуле)



Полимеры, построенные из одинаковых мономеров, называются гомополимерами.

степень полимеризации

химическая связь



Полимеры, построенные из различных мономеров, называются сополимерами.

Особенности строения, способы получения и классификация полимеров

Особенности строения

Молекулярная масса – это сумма масс атомов, входящих в состав данной молекулы

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ПЕРИОДЫ	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																VIII		B
	A	I	II	III	IV	V	VI	VII	VI	VII	VI	VII	VI	VII	VI	VII			
1	(H)																		
2	Li Литий	Be Бериллий	B Бор	C Углерод	N Азот	O Кислород	F Фтор	Ne Неон											
3	Na Натрий	Mg Магний	Al Алюминий	Si Кремний	P Фосфор	S Сера	Cl Хлор	Ar Аргон											
4	K Калий	Ca Кальций	Sc Скандий	Ti Титан	V Ванадий	Cr Хром	Mn Марганец	Fe Железо	Co Кобальт	Ni Никель									
5	Rb Рубидий	Sr Стронций	Y Иттрий	Zr Цирконий	Nb Ниобий	Mo Молибден	Tc Технеций	Ru Рутений	Rh Родий	Pd Палладий									
6	Cs Цезий	Ba Барий	La* Лантан	Hf Гафний	Ta Тантал	W Вольфрам	Re Рений	Os Осмий	Ir Иридий	Pt Платина									
7	Fr Франций	Ra Радий	Ac** Актиний	Rf Рифторидий	Db Дубний	Sg Сенегбий	Bh Бергвий	Hs Хассий	Mt Мейтнерий										
КРАТКИЕ ФОРМУЛЫ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ R₂O RO R₂O₃ RH₃ RO₂ R₂O₅ RO₃ R₂O₇ RO₄																			
КРАТКИЕ ФОРМУЛЫ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu																			
КРАТКИЕ ФОРМУЛЫ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr																			

Особенности строения, способы получения и классификация полимеров

Особенности строения

По форме макромолекул полимеры делятся



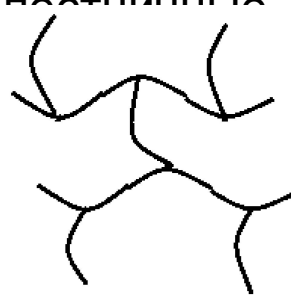
1.
линейные



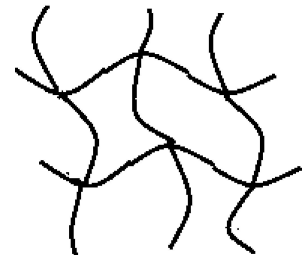
2.
разветвленные



3.
сшитые



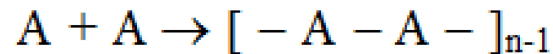
4.
сетчатые



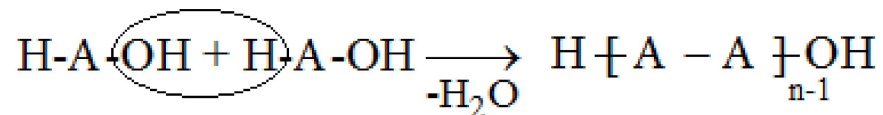
Особенности строения, способы получения и классификация полимеров

Способы получения полимеров

Полимеризация – процесс получения полимеров, который не сопровождается выделением низкомолекулярных веществ и протекает без изменения элементного состава (полимеризацией получают полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид и т.п.)



Поликонденсация – процесс получения полимеров, который сопровождается выделением низкомолекулярных веществ (H₂O, HCl, CO₂ и т.д.)и протекает с изменением элементного состава (поликонденсацией получают, например, фенолформальдегидные смолы).



Химическое превращение – это получение простых и сложных эфиров целлюлозы, белков и т.п.

Особенности строения, способы получения и классификация полимеров

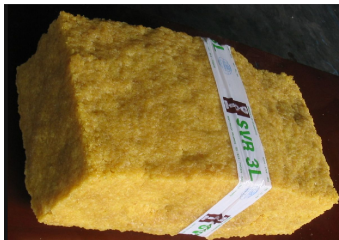
Классификация

полимеров

По происхождению полимеры
делятся



природные



натуральный
каучук



целлюлоз
а



крахма
л



синтетически
е



полиэтиле
н



полистиро
л



полиурета
н

Особенности строения, способы получения и классификация полимеров

Классификация полимеров

В зависимости от состава атомов в главной

цепи



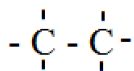
органические

полимеры



гомоцепные

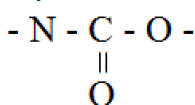
е



Если основная полимерная цепь построена из одинаковых атомов, то такой полимер называется гомоцепным

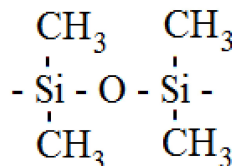
гетероцепные

е



Если основная полимерная цепь построена из различных атомов, то такой полимер называется гетероцепным

элементарноорганические

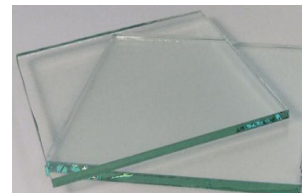


Если основная полимерная цепь не содержит атомов углерода, но углерод присутствует в боковых ответвлениях, то такой полимер называется элементарноорганическим

неорганические



керамика



стекло

Особенности строения, способы получения и классификация полимеров

Классификация полимеров

По структуре и отношению к температуре полимеры делят



термопластичные



полиэтилен



полистирол

Термопластичные полимеры – это полимеры, которые при нагревании не образуют сетчатые макромолекулы и при определенной температуре размягчаются и переходят обратимо из твердого в пластичное состояние



термореактивные



Применение фенолформальдегидной смолы
(бильярдные шары)



(древесностружечные плиты)

Термореактивные полимеры – это полимеры, которые сначала имеют линейную структуру, а затем при нагревании образуют сетчатую структуру и переходят необратимо в твердое и неплавкое состояние

Если полярные связи в молекуле расположены симметрично, то их электрические поля компенсируются и $\mu = 0$.

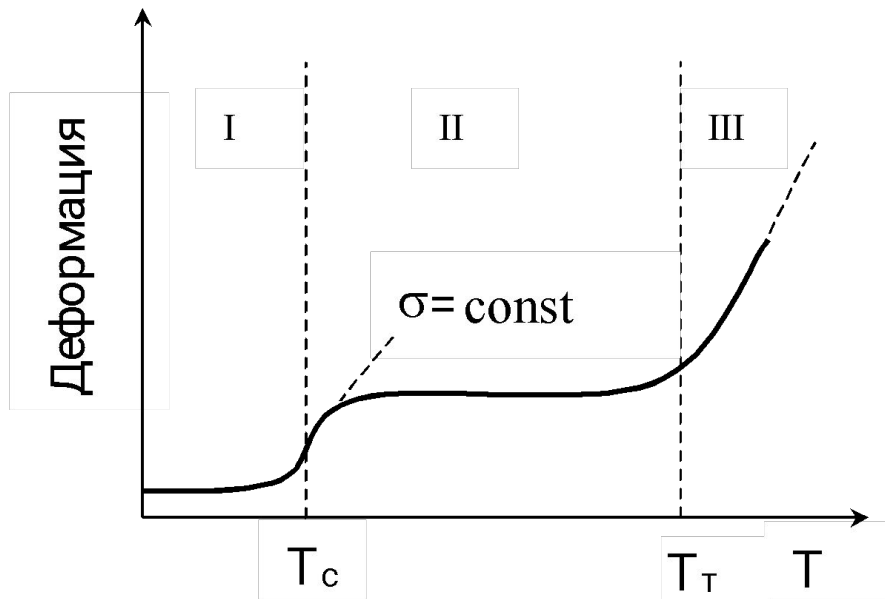
Физические состояния полимеров

Кристаллизация – это процесс перехода из состояния ближнего порядка в состояние дальнего порядка, т.е. процесс образования новой фазы.

Стеклование – это процесс перехода легкоподвижной жидкости в твердое состояние без изменения фазы, т.е. с сохранением ближнего порядка.

Если расстояние между атомами соизмеримо с размерами самих атомов, то реализуется **ближний порядок**

Если расстояние между атомами в десятки, сотни и тысячи раз превышает размеры самих атомов, то реализуется **дальний порядок**



температура стеклования (T_c)

температура текучести (T_t)

I - Стеклообразное состояние

II - Высокоэластическое состояние

III - Вязкотекучее состояние

**Термомеханическая кривая
аморфных линейных полимеров**

Физические состояния

полимеров

При охлаждении расплавленных некристаллизующихся полимеров при определенной температуре, характерной для данного полимера, он переходит в твердое стеклообразное состояние, которое является единственно возможным для него твердым состоянием. Это обычно происходит в некотором интервале температур, составляющем 10-20°C, в котором постепенно теряются свойства, характерные для жидкого состояния, и приобретаются свойства твердого тела. Средняя температура области называется температурой стеклования (T_g).

Стеклообразное состояние полимера характеризуется наличием колебательного движения атомов, входящих в состав цепи около положения равновесия. Колебательное движение звеньев и перемещение цепи как единого практически отсутствуют.

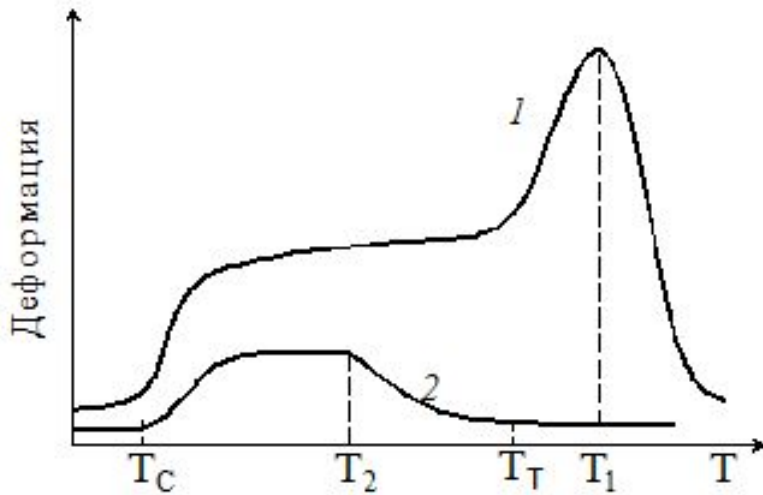
При нагревании выше T_g начинают проявляться крутильные колебания звеньев, цепь приобретает способность изгибаться. Это состояние аморфного полимера называется высокоэластическим.

Высокоэластическое состояние – это такое состояние, находясь в котором полимер способен к очень большим обратимым деформациям, происходящим под влиянием очень небольших нагрузок.

При дальнейшем нагревании линейного полимера реализуется подвижность цепи как целого, полимер может течь, т.е. он переходит в вязкотекучее состояние. Это происходит в некоторой области температуры, средняя температура которой называется температурой текучести (T_m).

Эти три состояния аморфных полимеров называются физическими состояниями.

Физические состояния полимеров



Термомеханическая кривая сетчатых полимеров

Сшитый полимер может находиться только в двух физических состояниях — высокоэластическом и стеклообразном.

Если сшивание происходит интенсивно при температуре T_1 выше T_T , то полимер переходит в вязкотекучее состояние, но по мере образования поперечных химических связей деформация течения уменьшается (кривая 1).

Если в полимере поперечные связи образуются при температуре T_2 ниже T_T , т.е. тогда, когда полимер находится в высокоэластическом состоянии, то перейти в вязкотекучее состояние он не может и при дальнейшем нагревании вследствие увеличения частоты сетки приводит к уменьшению высокоэластической деформации, и полимер переходит в стеклообразное состояние (кривая 2).

Пластические массы

Пластмассы - искусственные материалы на основе полимеров и олигомеров, с различными добавками, находящиеся в период формования изделий в вязкотекучем или высокоэластическом состоянии, а при эксплуатации - в стеклообразном или кристаллическом.

Основные ингредиенты пластических масс

1. Полимер – основной компонент. Играет роль связующего всех компонентов.
2. Наполнители могут оказывать влияние на прочность, твердость, теплостойкость, диэлектрические, фрикционные и другие свойства. Инертные наполнители (не улучшающие механические свойства) являются заменителями дорогостоящих полимерных материалов.
3. Пластификаторы применяют для повышения пластичности, снижения вязкости и температуры формирования изделий, повышения морозостойкости и т.п.
4. Стабилизаторы - применяют для защиты полимеров от старения.
5. Отвердители вводятся в состав материалов на основе термореактивных смол для образования сетчатой структуры и перевода в твердое неплавкое состояние.
6. Антипирены - добавки, снижающие горючесть полимерных материалов.
7. Смазывающие вещества (технологические добавки) применяют с целью снижения липкости и предотвращения прилипания материала к рабочим поверхностям перерабатывающего оборудования.
8. Преобразователи (порообразователи) - соединения, разлагающиеся при нагревании с выделением газообразных веществ. Их вводят в состав композиций для получения газонаполненных пластиков.
9. Красители применяют для получения окрашенных полимерных материалов.

Пластические массы

Полиэтилен (ПЭ)



Различают полиэтилен высокого давления (ПЭВД) (ПЭНП или PEHD), образующийся при $T = 200^{\circ}\text{C}$ и давлении 1000 атм, и полиэтилен низкого давления (ПЭНД) (ПЭВП, ПЭСП или PEHD, PEHD), образующийся при $T = 60-70^{\circ}\text{C}$ и давлении 5-6 атм. ПЭ отличается высокой химической стойкостью, небольшой теплопроводностью, большим коэффициентом термического расширения, повышенной радиационной стойкостью.

Недостатки ПЭ: старение под действием солнечного света, ползучесть, горючесть, сравнительно невысокая рабочая температура.

Применяют полиэтилен для изоляции подводных кабелей, проводов, разночастотных кабелей, технических деталей, а также для производства пленок, листов, труб.

Полипропилен (ПП)



ПП является более легким, жестким и прозрачным (в тонком слое) полимером, чем ПЭ; отличается более высокой нагрево-стойкостью.

Диэлектрические свойства подобны свойствам ПЭ. Недостатки - низкая морозостойкость (-30°C) и более легкая окисляемость при действии кислорода воздуха и солнечного света.

ПП используется для электроизоляции, изготовления труб, пленки, технических деталей, волокон, пенопластов.

Полистирол (ПС)



ПС - твердый, жесткий и прозрачный полимер. ПС обладает высокими электроизоляционными свойствами, отличается высокой водостойкостью и стойкостью к действию водных растворов кислот, щелочей и солей, растворим в стироле.

К недостаткам ПС относятся: невысокая механическая прочность, особенно ударная вязкость и сравнительно низкая теплостойкость (80 °С).



Полиизобутилен (ПИБ)



ПИБ представляет собой каучукоподобный эластичный материал, имеет аморфную структуру, обладает высокими электроизоляционными свойствами, высокой химической стойкостью, водостойкостью, малой газопроницаемостью.

ПИБ применяется для электроизоляции проводов, кабелей, внутренней и внешней защиты аппаратуры от коррозии, обкладки металлических труб, с добавлением сажи в ПИБ получают изоляционные ленты.

Политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт-4, фторлон-4)



Фторопласт-4 представляет собой рыхлый белый волокнистый порошок, степень кристалличности 45-85%. Диэлектрические свойства ПТФЭ исключительно высоки и практически не меняются в диапазоне частот от 50 до 1010 Гц и при повышении температуры до 200° С.

ПТФЭ ни в чем не растворим и обладает необычайно высокой химической стойкостью к действию минеральных и органических кислот, щелочей и других агрессивных сред. По химической стойкости превосходит все известные материалы (золото, платину, стекло, фарфор).

ПТФЭ негорюч, устойчив к действию тропического климата и не подвержен действию грибковой плесени, обладает высокими антифрикционными свойствами.

Однако, имеет невысокие показатели механических свойств, проявляет значительную ползучесть.

Поливинилхлорид (ПВХ)



ПВХ является вторым (после ПЭ) наиболее важным представителем пластмасс. ПВХ - жесткий полярный полимер аморфной структуры (степень кристалличности 5 - 10 %).

ПВХ обладает хорошими электроизоляционными и теплоизоляционными свойствами, а также высокой устойчивостью к действию сильных и слабых кислот и щелочей.

Применяется в двух формах: винипласт (ПВХ + стабилизатор) и пластикат (ПВХ + пластификатор + стабилизатор).



Полиамиды (ПА)



ПА обладают высокой прочностью, особенно к ударным нагрузкам, хороший бензо- и маслостойкостью, низким коэффициентом трения, легко перерабатывается в изделия всеми методами формования.

ПА широко применяют в качестве изоляционного материала для деталей электропробок, штепсельных розеток, выключателей.

Благодаря химической стойкости ПА используют для изготовления тонкостенных трубопроводов, из ПА получают разнообразные упаковки вследствие высокой прочности, эластичности и белого цвета.



Полиуретаны (ПУ) называются гетероцичные высокомолекулярные соединения, содержащие в основной цепи макромолекулы, повторяющиеся уретановые групп.



ПУ эластомеры обладают высокими физико-механическими свойствами, хорошей сопротивляемостью большим деформациям при сохранении эластичности.

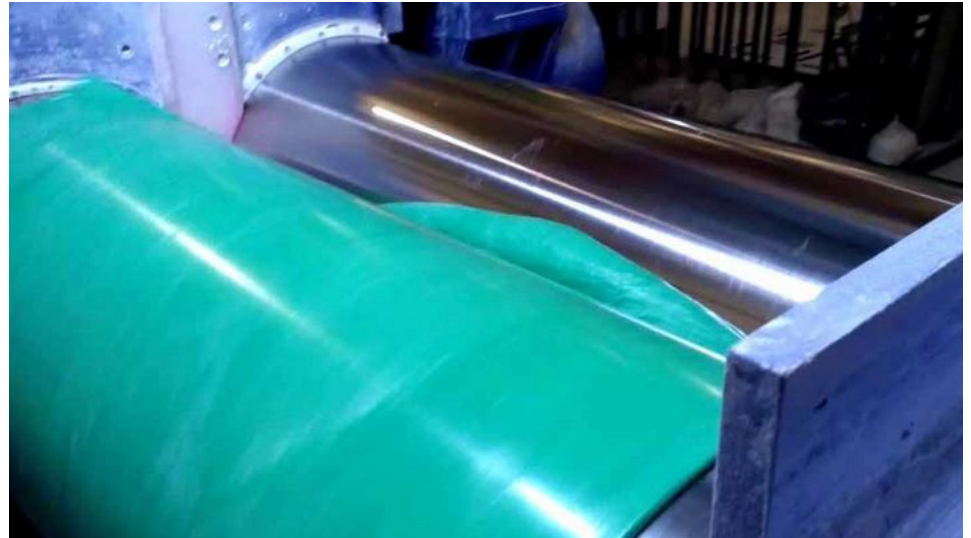
ПУ используются в производстве клеев, покрытий, лаков. Из ПУ волокон (перлон) изготавливают фильтровальные, защитные и парашютные ткани, приводные ремни, канаты, изоляционный материал для кабелей.

На основе ПУ изготавливают синтетическую кожу для обувной промышленности, которая превосходит натуральную по водостойкости, прочности, лёгкости и дешевизне. Значительная часть ПУ используется в производстве газонаполненных материалов – пенополиуретанов (ППУ)

Резиновые материалы

Резины - продукты вулканизации натурального или синтетических каучуков и представляют собой многокомпонентные смеси.

Резиновая смесь изготавливается путем введения в каучуки минеральных или углеродных порошкообразных наполнителей (мел, тальк, технический углерод и т.п.), вулканизирующих агентов (сера, сернистые соединения), ускорителей вулканизации, мягчителей, красителей и других ингредиентов.



Основные типы каучуков

Натуральный каучук (НК) - является естественным продуктом коагуляции частиц каучука, содержащихся в млечном соке, извлекаемого из стволов каучуковых деревьев.





Изопреновый каучук (СКИ) по строению, химическим и физико-механическим свойствам близок к натуральному каучуку, но несколько ему уступает и поэтому для производства изоляционных резин не применяется.



Бутадиеновый каучук (СКД) используется в производстве морозостойких резин (до -65°C), обладающих хорошим сопротивлением истиранию и высокими эластическими свойствами.



Бутадиенстирольные каучуки (СКС) используются в производстве резин с хорошим сопротивлением старению, по газопроницаемости и диэлектрическим свойствам равноценны резинам на основе НК.



Бутилкаучук (БК) благодаря хорошим электроизоляционным свойствам и стойкости к действию кислорода и озона применяется для производства изоляционных резин высокой озоностойкости.



Кремнийорганические каучуки

содержат в основной цепи макромолекулы чередующиеся атомы кремния и кислорода и в связи с отсутствием двойных связей они стойки к действию кислорода и озона. Резины обладают высокой нагревостойкостью, отличными диэлектрическими свойствами, но невысокой прочностью на раздир.



Полиуретановые каучуки (СКУ)

обладают высокой прочностью, эластичностью, сопротивлением истиранию, топливам, маслам и применяются в производстве масло- и бензостойких и других видов резин.

Классификация резин

Резины общего назначения получают на основе натурального, синтетических изопреновых бутадиеновых, бутадиенстирольных, хлоропреновых каучуков, бутилкаучука и их комбинаций. Основные области применения - производство шин, приводных ремней, лент, товаров народного потребления и т.п.

Теплостойкие резины, предназначенные для длительной эксплуатации при 150 - 200° С получают на основе этиленпропиленовых каучуков и бутилкаучука, а резины, эксплуатируемые при более высоких температурах изготавливаются из кремнийорганических каучуков, наполненных специально обработанной двуокисью кремния, а также из фторсодержащих каучуков.

Масло-бензостойкие резины получают из бутадиеннитрильных, уретановых, полисульфидных, хлоропреновых и других синтетических каучуков.

Морозостойкие резины получают на основе бутадиеновых, кремнийорганических и бутадиеннитрильных каучуков и предназначены для длительной эксплуатации при температурах ниже -50С.

Радиационностойкие резины получают на основе фторсодержащих, бутадиеннитрильных и бутадиенстирольных каучуков, наполненных окислами свинца или бария. Применяются для изготовления деталей рентгеновских аппаратов, защитной одежды для работы с радиоактивными изотопами и т.п.

АРМИРОВАННЫЕ ПЛАСТИКИ

Ведущее место среди композиционных материалов на базе синтетических полимеров занимают армированные пластики (АП), представляющие собой искусственные материалы и состоящие из двух фаз (компонентов)– полимерной матрицы и армирующего элемента.

Понятие «матрица» (от лат. matrix – матка, источник, начало) характеризует непрерывную пространственную фазу, ответственную за сохранение конфигурации изделия, передачу эксплуатационных нагрузок на арматуру, сопротивление действию внешних факторов.

Матрицами для АП служат различные термореактивные и термопластичные полимеры.

Армирующая фаза образуется обычно совокупностью непрерывных волокнистых армирующих элементов в виде элементарных волокон, комплексных нитей, жгутов, лент, тканей с различной текстурой

По деформированности матриц АП классифицируется на упругие и эластичные.

По форме армирующих элементов различаются слоистые и волокнистые АП.

АРМИРОВАННЫЕ ПЛАСТИКИ

Стеклопласти

ки



Стеклопластики (СП) –

материалы на основе полимерной матрицы, упрочненной стеклянными наполнителями, главным образом стеклянными волокнами.

Стеклянные волокна (СВ)

получаются из расплавленной стекломассы (температура 1200 – 1450°C) быстрым вытягиванием струи из фильер до диаметра 3–100 мкм, длиной несколько десятков километров. После вытягивания волокна собирают в пучок и накрывают замасливателем, который соединяет элементарные волокна в первичную нить, предотвращает склеивание нитей, облегчает размотку и кручение нитей, защищает от истирания и разрушения во время текстильной переработки.

АРМИРОВАННЫЕ ПЛАСТИКИ

Стеклопластики

Для получения СВ используют стекла различного состава: бесщелочные алюмоборосиликатные, бесщелочные или малощелочные натриево-кальциево-алюмоборосиликатные, щелочные натриево-кальциевосиликатные, бесщелочные магнитоалюмосиликатные и др.

Свойства: высокая прочность, коррозионная и химическая стойкость, радиопрозрачность, высокие электроизоляционные свойства, низкие теплопроводность и плотность

В качестве полимерной матрицы наиболее широко применяют термореактивные смолы: фенолоформальдегидные, полиэфирные, кремнийорганические и др.

Области применения

Использование различных сочетаний полимеров и стеклянных наполнителей позволяет в широком диапазоне направленно регулировать свойства материалов и использовать их в различных отраслях современного производства.

В электро- и вычислительной технике СП используют для изготовления корпусов, электроизоляции, плат; в электромашиностроении – для изготовления распорных клиньев, опорных и бандажных колец, кронштейнов и стяжных шпилек крепления обмотки статора турбогенераторов мощностью до 800 МВт и более.

АРМИРОВАННЫЕ ПЛАСТИКИ

Углепластики



Углепластики (УП) содержат в качестве наполнителя углеродные волокна (УВ).

УВ получают только из волокнистых полимеров, не плавящихся при термообработке, обеспечивающих высокий выход углерода и необходимые механические и другие свойства.

Основными видами сырья для получения УВ являются полиакрилонитрильные (ПАН-В) и гидратцеллюлозные (вискозные ГЦ-В) волокна.

АРМИРОВАННЫЕ ПЛАСТИКИ

Углепластики

Процесс получения УВ включает высокотемпературную обработку (карбонизацию и графитизацию) органических волокон. Карбонизация заканчивается в интервале температур 900–2000°C (содержание углерода 80–99%), а графитизация проводится при температурах до 3000°C (содержание углерода выше 99%).

В производстве УП применяются как термопластичные (полиимиды, полиамидоимиды и полисульфон), так и термореактивные (эпоксидные, фенольные, фенолоформальдегидные и др.) матрицы.

Свойства и области применения

Благодаря высокой устойчивости к действию химически агрессивных сред УП применяются для изготовления реакторов, трубопроводов, лопастей насосов, выхлопных труб и т.п. Высокая радиационная стойкость позволяет применять УП в нейтронном оборудовании; низкий коэффициент термического расширения позволяет использовать в криогенной технике при изготовлении баллонов для хранения сжиженных газов; высокая биологическая и механическая совместимость углеродных волокон с тканями живого организма определяют перспективность их применения в медицинской технике.

УП широко используют для изготовления спортивного инвентаря (шесты, весла, ракетки, клюшки, лыжи, лыжные палки, спортивные самолеты, гоночные суда, велосипеды и т.п.).

АРМИРОВАННЫЕ ПЛАСТИКИ

Органопластики



Органопластики (ОП) – композиционные материалы на основе полимерных матриц, армированных химическими волокнами. ОП отличаются от типичных представителей армированных пластиков полимерной природой обоих компонентов – волокна и матрицы.

Области применения ОП определяются их достоинствами: высокими удельными показателями прочности и жесткости при растяжении, прочности при сдвиге в плоскости листа, работы и вязкости разрушения, низкой скоростью роста усталостных трещин, способностью к длительному накоплению без образования критических трещин, низкой чувствительностью к концентраторам напряжений, высоким демпфированием колебаний, высокой химической стойкостью, высокими теплофизическими и диэлектрическими характеристиками.

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПАУНДЫ



Полимерные компаунды – композиции на основе полимеров, олигомеров или мономеров, предназначенные для заливки или пропитки токопроводящих схем и деталей с целью изоляции их в электро- и радиоаппаратуре.

В состав компаундов в зависимости от назначения вводят пластификаторы, наполнители, отвердители, ускорители отверждения, пигменты и др. добавки.

Компаунды делятся на пропиточные, которые должны иметь низкую начальную вязкость и высокую пропитывающую способность и заливочные, обладающие вязкостью, обеспечивающей хорошее заполнение различных объемов.

К компаундам предъявляются следующие основные требования: отсутствие летучих компонентов, минимальная усадка при отверждении, низкая вязкость, достаточная жизнеспособность.

ГЕРМЕТИКИ



Герметики – композиции на основе полимеров и олигомеров, предназначенные для нанесения на болтовые, клепанные и другие соединения с целью обеспечения их непроницаемости.

Полимерной основой герметиков являются полисульфидные, кремнийорганические, бутадиеновые, уретановые, фторсодержащие и другие синтетические каучуки, а также термореактивные смолы



Герметизирующие составы должны обладать следующими свойствами: эластичностью и прочностью, высокой адгезией к материалу конструкции, химической стойкостью, высокими диэлектрическими свойствами (для герметизации радиоэлектронной аппаратуры) и т.п.

ПОЛИМЕРНЫЕ КЛЕИ



Клеями называются составы, способные смачивать и обладающие адгезией (прилипанием).

В состав клеев входят следующие компоненты:

- пленкообразующее вещество (полимеры, каучуки, связующие вещества), которое определяет адгезионные, когезионные свойства и основные физико-механические характеристики;
- растворитель (спирты, бензин и др.), создающий определенную вязкость;
- пластификатор для устранения усадочных явлений и повышения эластичности;
- отвердитель и катализатор для перевода пленкообразующего вещества в термостабильное состояние;
- наполнитель для повышения прочности клеевого соединения.



ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



Лаки представляют собой коллоидные растворы пленкообразующих веществ в растворителе.

После удаления из лака растворителя, а также в результате реакции окисления, полимеризации, поликонденсации или других химических процессов образуется твёрдая лаковая пленка.

По назначению лаки делятся на три основных вида: пропиточные, покровные и клеящие.

- Пропиточные лаки используются для пропитки волокнистых материалов (тканей, бумаг) и изоляции электрических аппаратов и машин. Покровные лаки выполняют роль защитной пленки и предохраняет изоляцию от повреждения.

- Клеящие лаки служат для получения некоторых электроизоляционных материалов путём склеивания их между собой, а также для склеивания деталей в процессе сборки изделия.



НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Техническая керамика



Свойства:

высокой
нагревостойкостью (до 1000°C);
стойкость к длительному
воздействию влаги, химически
агрессивных сред и радиации;
слабое старение в электрическом
поле; высокая механическая
прочность и отсутствие остаточных
деформаций при длительном
воздействии нагрузок; доступность и
сравнительно низкая стойкость
сырья.

Керамика представляет собой материал, полученный спеканием массы заданного состава из минералов и окислов металлов.

Керамика относится к многофазным материалам и состоит из кристаллической, аморфной и газовой фаз.

- Кристаллическая фаза определяет основные характерные свойства данного керамического материала.

- Аморфная (стекловидная) фаза связывает между собой частицы кристаллической фазы и образует прослойку между ними. Обычно керамика содержит от 1 до 40% стеклофазы.

- Газовой фазой являются поры внутри керамического материала, которые образуются из-за наличия воздуха в массе и газовыделения при обжиге.