

## 2. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

### 2.1. ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

#### 2.1.1. Металлы и сплавы

##### **Типы межатомных связей. Влияние на свойства материалов.**

Межатомная связь возникает в результате индукционного взаимодействия атомов, инертных газов.

Ионная связь возникает в результате взаимодействия разноименных зарядов (положительного и отрицательного), ненаправленная, ненасыщенная, локализованная.

Ковалентная связь возникает обобщением нескольких электронов (по правилу  $8-n$ , где  $n$  – число электронов), имеет высокую энергию, является направленной, насыщенной и локализованной.

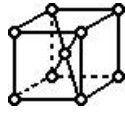
Металлическая связь возникает в результате обобществления всех электронов. Эта связь ненасыщенная, ненаправленная, не локализованная.

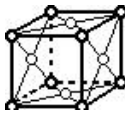
##### **Кристаллические и аморфные материалы. Кристаллическое строение. Основные типы кристаллических решеток.**

Кристаллическое тело характеризуется правильным расположением атомов в пространстве. У аморфных веществ расположение атомов случайно. Кристаллические вещества образуют кристаллическую решетку. 14 типов кристаллических решеток. Кристаллическая решетка характеризуется элементарной ячейкой. Элементарная ячейка – кристаллическая решетка наименьшего объема, воспроизведение которой в пространстве множество раз создает пространственную кристаллическую решетку. Атомы в пространстве располагаются упорядоченно, образуя кристаллическую решетку. Основные типы:

1. Простая кубическая решетка: в узлах кубика атомы касаются друг друга. Параметры: Период решетки (расстояние между атомами  $a = d$ ),  $d$  –

диаметр атома.  $1/8 \cdot 8 = 1$  атом на элемент, ячейку. Для химического соединения данный тип решетки.

2. Кубическая объемно-центрированная решетка  характерна для тугоплавких металлов.  $a = 1,21 \cdot d$ .  $1/8 \cdot 8 + 1 = 2$ . Fe $\alpha$ , Ti, W, Nb.

3. Кубическая гранецентрированная решетка   $1/8 \cdot 8 + 1/2 \cdot 6 = 4$ . Характерна для пластичных металлов. Cu, Fe $\gamma$ , Au.

### **Анизотропия кристалла и изотропия кристаллических тел.**

Анизотропия – это различие свойств в разных направлениях в кристалле. В монокристалле – анизотропия. Поликристаллические вещества – где много кристаллов. В поликристаллическом теле – изотропия (одинаковые свойства по разным направлениям).

### **Идеальное строение металла.**

Обычно кусок металла состоит из скопления большого числа маленьких кристаллов неправильной формы, называемых зернами. Кристаллические решетки в отдельных зернах ориентированы относительно друг друга случайным образом. Поверхности раздела зерен называются границами зерен. Такой кусок металла является поликристаллом. При определенных условиях, обычно при очень медленном контролируемом отводе тепла при кристаллизации (затвердевании металла), может быть получен кусок металла, представляющий собой один кристалл, его называют монокристаллом. Встречаются в природе кристаллы, как монокристаллы, так и зерна в поликристаллах, никогда не обладают строгой периодичностью в расположении атомов, т.е. не являются идеальными кристаллами. В действительности реальные кристаллы содержат несовершенства (дефекты) кристаллического строения.

**Дефекты кристаллического строения: вакансии и дислокации.**

Эффект вакансии – точечный дефект, вызывает искажение. Диффузия ускоряется. Дислокация – линейный дефект (много вакансий в ряд): эффект имеет длину, определяет высокую пластичность материала.

### **Дефекты кристаллического строения. Кристалл зерно.**

Дефекты: точечные, линейные, поверхностные, объемные. Точечные: внедрение, вакансии, вызывают искажения. Линейные: дислокации, определяют высокую пластичность материала, эффект имеет длину. Поверхностные: границы зерен, резко повышают пластичность и снижают прочность материала. Объемные – порог в металле, дефекты имеют объем.

Зерно – кристалл неправильной формы.

### **Первичная кристаллизация металлов, законы кристаллизации.**

Первичная кристаллизация – переход из жидкого состояния в твердое. Энергетические условия первичной кристаллизации: из двух состояний: жидкого и твердого при данной температуре более устойчивым будет то, в котором металл имеет свободную энергию. Свободной энергией называют часть внутренней энергии вещества, уменьшение которой приводит металл в более равновесное состояние. Процесс кристаллизации происходит в два этапа: зарождение центра кристаллизации и рост кристаллов.

### **Первичная кристаллизация. Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства металлов.**

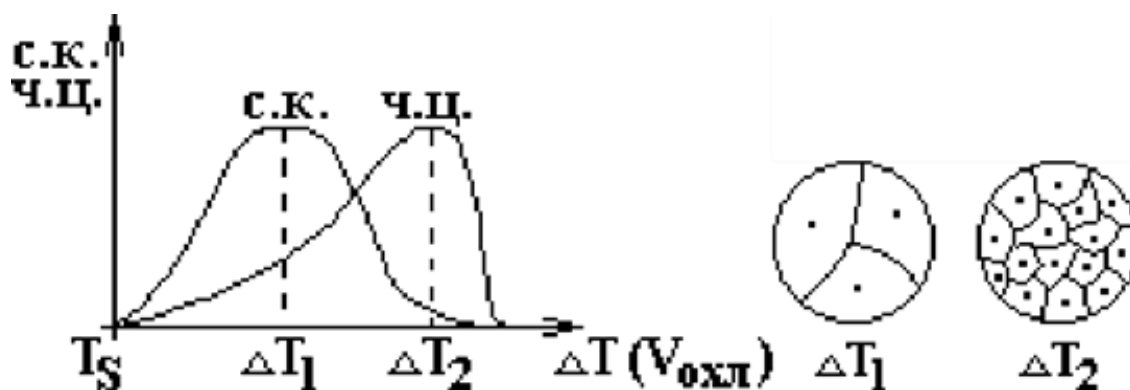


Рис.1. Диаграмма Тамман

ч.ц. – число центров, с.к. – скорость кристаллизации. Чем больше переохлаждение, тем меньше зерно. В крупных изделиях очень трудно получить мелкое зерно. Чем выше скорость кристаллизации, тем металл менее прочен.

### **Зерно в сплавах. Влияние величины зерна на свойства.**

Зерно – это кристалл неправильной формы. Кристаллы могут иметь форму дендрита.

Дендрит – кристалл древовидной формы. Мелкое зерно прочное, крупное зерно хрупкое.

### **Сплавы. Основные понятия и термины: сплав, компонент, фаза, структура, равновесное и неравновесное состояния.**

Сплавы – это вещества, состоящие из двух или более элементов периодической системы. Получают их с помощью спекания или сплавлением. Компонент – вещество, образующее сплав. Фаза – пространственно ограниченная и отличная от других часть системы, имеющая свою кристаллическую решетку и свои свойства. Гомогенные вещества имеют одну фазу, а гетерогенные – несколько фаз. Структура – строение металла, в котором можно различать отдельные фазы, их форму, размеры и взаимное расположение. Структура влияет на свойства. Равновесное состояние – когда в сплаве все фазы, присущие этой системе оформлены. Это состояние обеспечивается при медленном охлаждении, можно различать размеры и формы фаз. Неравновесное состояние – процесс образования и обособления фаз не закончился, образуется при быстром охлаждении.

### **Сплавы. Классификация сплавов.**

Химические соединения, твердые растворы, смеси (механические). Если оба компонента теряют свою кристаллическую решетку, и у сплава образуется новая решетка, то это химическое соединение. Если один из компонентов сохраняет кристаллическую решетку, а другие ее теряют, такие

сплавы называют твердыми растворами. Если оба компонента сохраняют кристаллическую решетку и свойства, то сплавы называются смесями.

Химические соединения: металлы обладают восстановительными свойствами, а неметаллы – окислительными.

Сплавы: стали, чугуны, медные, алюминиевые, магниевые, титановые, оловянистые и свинцовые сплавы.

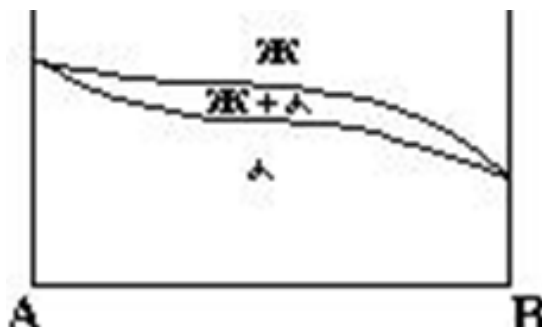


Рис.2. Диаграммы состояния двойных сплавов (основные типы).

Диаграмма состояния сплавов показывает фазовое или структурное состояние в зависимости от сплавов. Процесс кристаллизации начинается на линии ликвидус и заканчивается на солидус. Свойства сплавов твердых растворов изменяются по параболической зависимости при добавлении второго компонента.



Рис.3.

Оба компонента имеют разную химическую природу.

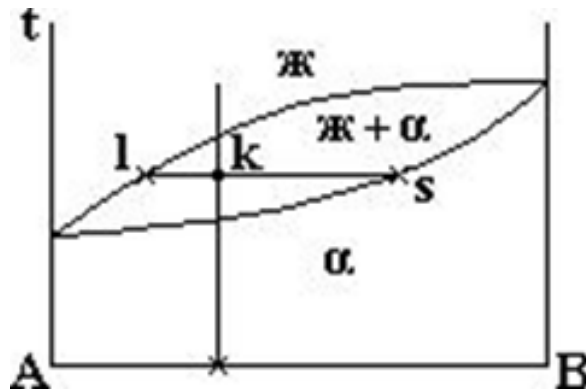


Рис.4. Диаграммы состояния сплавов. Правило отрезков.

Для определения состава твердой и жидкой фазы какой-то точки необходимо провести к оноду. Для определения количественного состава фаз в сплаве нужно брать отрезки на оноде обратно расположению фаз на диаграмме.  $Q_\alpha$  относится так к  $Q_{\text{спл}}$ , что  $Q_\alpha/Q_{\text{спл}} = lk/ls$ , а  $Q_{\text{ж}}/Q_{\text{спл}} = ks/ls$ .

#### Сплавы. Деформируемые и литейные сплавы. Особенности строения и свойства.

Литейный сплав в твердом состоянии хрупок, происходит разрушении в условиях растяжения или изгиба (ударного). Деформируемый сплав пластичен.



Рис. 5.

Напряжение  $\sigma = P/F_0$ ,  $P$  – действующая нагрузка,  $F_0$  – площадь образца, которую он имеет в начале испытания на растяжение. Важнейшая характеристика:  $\sigma_B$  – предел прочности при растяжении, что соответствует

наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.  $\sigma_B$  – сопротивление большой пластической деформации. Чем больше энергия атомов, тем выше  $\sigma_B$ . Структура с мелким зерном прочнее, чем структура с крупным.

### **Способы упрочнения сплавов.**

**Наклеп** – упрочнение металлов и сплавов в результате измельчения зерна при холодной пластической деформации. **Перекристаллизация** – упрочнение в результате измельчения зерна при полиморфном превращении. **Дисперсионное твердение** – упрочнение сплавов в результате выделения мелких частиц второй фазы из пересыщенного твердого раствора.

### **Деформация упругая и пластическая.**

Деформация может быть упругой, исчезающей после снятия нагрузки, и пластической, остающейся после снятия нагрузки. При упругом деформировании под действием внешней силы изменяется расстояние между атомами в кристаллической решетке. Снятие нагрузки устраняет причину, вызвавшую изменение межатомного расстояния, атомы становятся на прежние места и деформация исчезает. При пластическом деформировании одна часть кристалла перемещается по отношению к другой. Если нагрузку снять, то перемещенная часть кристалла не возвратится на старое место, деформация сохранится.

### **Холодная и горячая пластические деформации.**

Если пластическая деформация осуществляется при температуре выше  $T_r$ , то наклепа нет. Эта деформация называется горячей пластической деформацией. Холодная пластическая деформация (давление) происходит при температуре ниже  $T_r$ , возникает упрочнение.

### **Рекристаллизация сплавов, влияние на структуру и свойства.**

Рекристаллизация – возвращение свойств в первоначальное состояние в процессе нагрева наклепанного металла. Процессы: уменьшение количества дефектов, рост зерна (до исходного).

## **Диффузионные и бездиффузионные процессы в металлических сплавах, влияние на свойства.**

Бездиффузионные характеризуются перемещением атомов в пределах элементарной ячейки кристаллической решетки, высокой скоростью. Диффузионные превращения характеризуются перемещением атомов на большие расстояния. Они ускоряются с повышением температуры. К таким процессам относят частичный расплав твердого раствора  $\alpha_1 \rightarrow \alpha_2 + \beta$ .

### **Полиморфные превращения в сплавах.**

**Полиморфизм** – свойство металла изменять свою кристаллическую решетку под влиянием внешних факторов (температура, давление). Fe $\alpha$   $\leftrightarrow$  Fe $\gamma$ . 42 металла имеют полиморфные превращения. Железо, титан, марганец, графит, алмаз, олово. Свойство используется при термической обработке.

### **Дисперсионное твердение.**

**Дисперсионное твердение** – упрочнение сплавов в результате выделения мелких частиц второй фазы из пересыщенного твердого раствора. Дуралюминий (0,5-5,6% Cu) может быть упрочнен в результате дисперсионного твердения. Нагреваем дуралюминий в области  $\alpha$ -тв. р-ра и быстро охлаждаем – закалка (задерживаем все диффузионные процессы), получаем пересыщенный  $\alpha$ -тв. р-р. Весь Cu сосредотачивается в тв. р-ре. Прочность низкая после закалки  $\sigma_b \approx 20 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{мм}^2$ . Если нагревать закаленный сплав, то начинается процесс дисперсионного твердения. Материал будет упрочняться. Процесс упрочнения тв. р-ра в результате выделения из него мелких частиц второй фазы. Старение – процесс выделения и коагуляции частиц второй фазы.

### **Понятие о термической обработке сплавов**

Термическая обработка – изменение структуры и свойств материала в результате нагрева и охлаждения в твердом состоянии.

Отжиг - термическая операция, состоящая в нагреве металла, имеющего неустойчивое состояние, и приводящая металл в более устойчивое состояние.



Закалка - термическая операция, состоящая в нагреве выше температуры превращения с последующим быстрым охлаждением для получения неустойчивого состояния сплава.

Отпуск - термическая операция, состоящая в нагреве закаленного сплава ниже температуры превращения для получения более устойчивого состояния сплава.

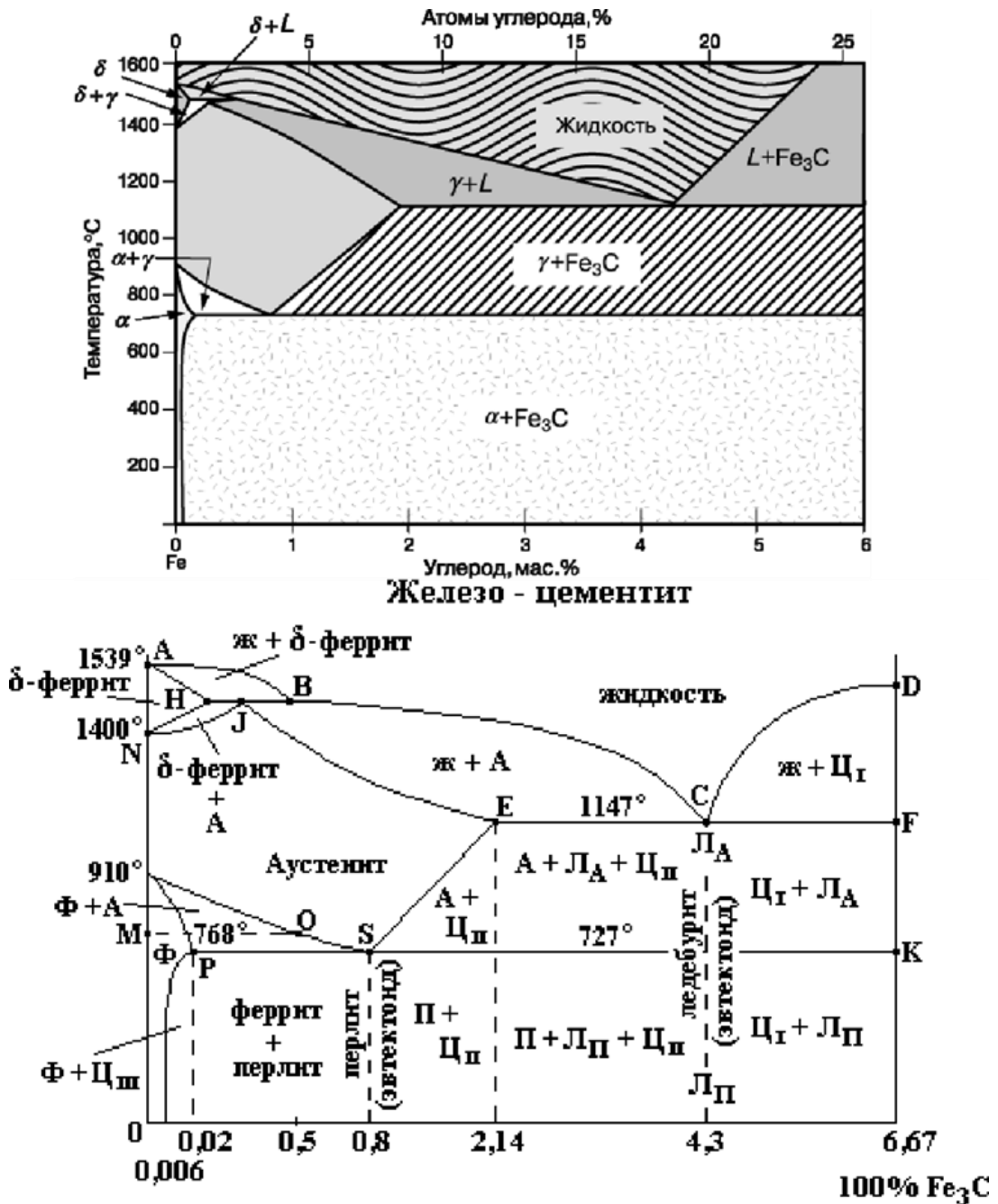


Рис.6. Диаграмма состояния «Железо – цементит».

Fe $\alpha$  от низких температур до 768°C, эта фаза имеет решетку о.ц.к., низкую прочность и твердость 80 НВ, низкий предел текучести, удельный вес 7,8 г/см<sup>3</sup>, имеет магнитные свойства (ферромагнетик), растворяет углерод 0,006% при 20°C и 0,02% при 727°C. Твердый раствор углерода в Fe $\alpha$  наз. феррит. Свойства феррита близки к свойствам чистого Fe. Fe $\beta$  – о.ц.к., существует от 768°C до 910°C, растворяет углерод в небольших количествах, немагнитен, при 768°C теряет магнетизм, 768°C – точка Кюри, парамагнетик. В 910-1400°C существует Fe $\gamma$ , решетка г.ц.к., это железо немагнитно, растворяет 2,14% С при 1147°C. Раствор углерода в Fe $\gamma$  наз. аустенит, немагнитен, тверже феррита, достаточно пластичен. Fe $\delta$  существует в 1400-1539°C. 1539°C – плавление Fe. Переход Fe $\alpha$ →Fe $\gamma$  происходит с изменением объема (1%) (у  $\alpha$  больше V). Fe<sub>3</sub>C - 6,7% С, твердость 800 НВ, Fe<sub>3</sub>C – цементит, при низких температурах магнитен. Fe<sub>3</sub>C→Fe+ Графит. При 1147°C идет реакция, в результате которой образуется эвтектика: смесь аустенита и цементита – ледебурит. [А+Ц] - 4,3% С. Феррит+цементит – Перлит. [Ф+Ц] – 0,8% С, твердость НВ 800. Ла – [А+Ц], Лп – [П+Ц], А→П. Из жидкости выделяется Ц<sub>1</sub>, из А - Ц<sub>II</sub>, из Ф - Ц<sub>III</sub>. До 2,14% С – стали, после – чугуны. Сначала жидкость переходит в аустенит, потом происходит переход жидкости в ледебурит аустенитовый (эвтектическая реакция), аустенит переходит в перлит (эвтектоидная реакция), аустенит переходит в феррит.

### **Равновесные структуры в сталях.**

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния сплава.

Если изменяется состав сплава, его температура, давление и состояние сплава также изменяется, то это находит графическое отображение в диаграмме состояния. Она показывает устойчивые состояния, т.е. состояния, которые при данных условиях обладают минимумом свободной энергии. Поэтому диаграмма состояния может также называться диаграммой равновесия, так как она показывает, какие при данных условиях существуют равновесные фазы.

## Стали. Классификация по качеству, структуре, назначению.

По структуре: технически чистое железо (0,006;0,02), доэвтектоидная (0,02;0,8), эвтектоидная (0,8) и заэвтектоидная сталь (0,8;2,14). Доэвтектоидная сталь: Ф+П, П – темный, твердый, НВ 180, Ф – светлый, более мягкий, пластичный, НВ 80. Эвтектоидная сталь: 100% П. Заэвтектоидная сталь: П+Ц. Ц – НВ 800, П - НВ 180. В процессе медленного охлаждения выделяется  $\text{Ц}_{\text{II}}$  по границам зерен в виде сетки.

По назначению:

1) строительные до 0,03% С, металл легко деформируется, эти стали, не закачивают, они не упрочняются;

2) машиностроительные, или конструкционные 0,3-0,6% С (валы, оси, детали машин), их можно закалить (изменить свойства), упрочняются за счет термической обработки;

3) инструментальные 0,7-1,3% С, высокая прочность, твердость.

По качеству:

1) стали обыкновенного качества, самые дешевые, плавка идет всего 30 мин, примеси все не удается удалить (S 0,05% и P 0,05%), слитки крупные  $\approx 10$  т, ликвация сильная, пустоты отрезают, прибыль небольшая;

2) стали качественные, получают мартеновским способом, S и P до 0,04% в сталях, разливаются в меньшие слитки, меньше ликвация, более дорогие, выше качество, делятся на конструкционные и инструментальные, качественные стали, подвергаются упрочняющей термической обработке, поэтому в них важно знать содержание С;

3) кипящие стали, классифицируются по содержанию Si, в некоторых случаях можно понизить содержание Si для штампуемых сталей, Si – сильный раскислитель, С выводит О из стали (жидкого Me), создается вид, что сталь кипит, чем больше Si, тем спокойнее сталь, СО ослабляют Me, нужно, чтобы предел текучести был низким, используется для холодной штамповки;

4) высококачественные, получают в электропечах, выше температура, легче удалять вредные примеси;

5) автоматные стали, для обработки на станках-автоматах, стружка должна ломаться (мелкая), в стали оставляют повышенное содержание S до 0,1%, а P до 0,06%, это грязные стали, но хорошо обрабатываемые резанием (болты, шайбы); 6) легированные стали, X - Cr, Г - Mn, Н - Ni, К - Co, В - W, Ф - V, Т - Ti, С - Si, Ю - Al.

### **Влияние примесей в стали. Марки сталей.**

Бывают вредные: S, P, O, N и полезные: Mn, Si.

Сера попадает из кокса вместе с углем. Наиболее чистый древесный уголь, шведские стали самые чистые, т.к. делают на древ. угле. Сера вызывает красноломкость (в процессе прокатки сталь расслаивается, разьежжается). Обычно S в стали 0,02-0,05%. Сера увеличивает хрупкость стали.

Влияние фосфора. Попадает из железной руды, создает хладноломкость – резкое снижение ударной вязкости при отрицательных температурах. P повышает температуру перехода в хрупкое состояние. Фосфор (много) должен снижать хладноломкость.

Кислород, азот вызывают синеломкость. Немцы первые объяснили это явление. Если работают при 300-350° C, и сталь вдруг ломается, поверхность разлома синего цвета (паровые установки). Оказалось, что в структуре образуются нитриды Fe<sub>4</sub>N на границах зерен. В сталь добавляется Al ≈ 4г на тонну стали. Al связывает нитриды, синеломкость устраняется.

Марганец имеется в стали 0,5-1,5%, иногда вводится дополнительно. Mn уводит S в шлак, освобождая сталь от S, снижает красноломкость. Mn – хороший раскислитель, отбирает кислород у стали. Mn ~ 0,5% в стали.

Кремний действует подобно марганцу, является раскислителем. Влияет сильнее, чем Mn. Si ~ 0,3-0,5% требуется. Si повышает предел текучести стали. Поэтому кремния много не вводится в сталь, штампуемая низкоуглеродистая сталь.

По качеству:

- 1) стали обыкновенного качества Сталь0 ... Сталь3 ... Сталь6, Ст.0 ... Ст.3 (0,15-0,22% С)... Ст.6, углерод увеличивается;
- 2) стали качественные: конструкционные, С меньше 0,7% Сталь 08, 10, ...45 ...60, содержание С в стали в сотых долях % и инструментальные, С больше 0,7% У7...У13, содержание С в десятых долях;
- 3) кипящие стали 08КП (меньше Si, кипящая), С (больше Si, спокойная), ПС (полуспокойная);
- 4) высококачественные У7А ... У13А;
- 5) автоматные стали А45Г (0,45% С, Г - Mn);
- 6) легированные стали 12ХН3А (0,12% С, Х - Cr 1,5%, Н - Ni 3%, А - высококачественная), ЭН-17...1000 (завод «Электросталь»), ЭП-1...1000, ЭЖ.

#### **Стали, марки сталей.**

- 1) стали обыкновенного качества Сталь0 ... Сталь3 ... Сталь6, Ст.0 ... Ст.3 (0,15-0,22% С)... Ст.6, самые дешевые, плавка идет всего 30 мин, слитки крупные  $\approx 10$  т, поставляют эти стали по механическим свойствам, не подвергаются термической обработке.
- 2) стали качественные: конструкционные, С меньше 0,7% Сталь 08, 10, ...45 ...60, содержание С в стали в сотых долях % и инструментальные, С больше 0,7% У7...У13, содержание С в десятых долях, разливаются в меньшие слитки, более дорогие, выше качество, подвергаются упрочняющей термической обработке, поэтому в них важно знать содержание С.
- 3) кипящие стали 08КП (меньше Si, кипящая), С (больше Si, спокойная), ПС (полуспокойная), классифицируются по содержанию Si, в некоторых случаях можно понизить содержание Si для штампуемых сталей, Si – сильный раскислитель, С выводит О из стали (жидкого Me), создается вид, что сталь кипит, СО ослабляют Me, нужно, чтобы предел текучести был низким, используется для холодной штамповки.
- 4) высококачественные У7А ... У13А, получают в электропечах, выше температура, легче удалять вредные примеси, более дорогие;

5) автоматные стали А45Г (0,45% С, Г - Mn) , для обработки на станках-автоматах, стружка должна ломаться (мелкая), в стали, оставляют повышенное содержание S до 0,1%, а P до 0,06%, это грязные стали, но хорошо обрабатываемые резанием (болты, шайбы);

б) легированные стали 12ХНЗА (0,12% С, Х - Cr 1,5%, Н - Ni 3%, А - высококачественная), ЭН-17...1000 (завод «Электросталь»), ЭП-1...1000, ЭК.

#### **Стали марок Ст.4, 40.**

Ст.4: сталь общего назначения, обыкновенного качества,  $\sigma_B$  (410-530) МПа или (42-54 кгс/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_T$  не менее 245 МПа или 25 кгс/мм<sup>2</sup>, больше прочность, чем у Ст.1, меньше пластичность, С 0,18-0,27%, Mn 0,4-0,7, не подвергаются термической обработке, дешевая.

Для производства машин, станков, строительных металлоконструкций, предметов широкого потребления. 40: сталь качественная, конструкционная, содержание С в стали 0,4%, более дорогая, качество выше, подвергается упрочняющей термической обработке.

#### **Ликвация в металлических сплавах, причины ее вызывающие.**

Ликвация – это неоднородность свойств и строения в сечении материалов. Причиной ликвации является образование разного состава кристалла. Разное количество примесей – серы, фосфора, углерода. Сера вызывает красноломкость, в процессе прокатки сталь расслаивается, разъезжается. Обычно S в стали 0,02-0,05%. Сера склонна к ликвации. В процессе прокатки жидкость растекается. Борьба с красноломкостью: поднимается температура за счет добавления в сталь марганца (FeMn).  $FeS + FeMn \rightarrow 2Fe + MnS$ .

#### **Стали. Превращения в стали при нагреве и охлаждении.**

У стали, кристаллизация заканчивается образованием аустенита, в структуре нет эвтектики (ледебурит отсутствует). Для сталей характерно: легко деформируются в горячем состоянии, со структурой аустенит. Температура плавления 1500-1550°C.

Кривая охлаждения чистого железа.



Рис.7.

Остановки – критические точки, обозначаемые А. Их различают при нагреве и охлаждении.  $A_{r2}$  при охлаждении,  $A_{s2}$  при нагреве.

### Преобразования в сталях.

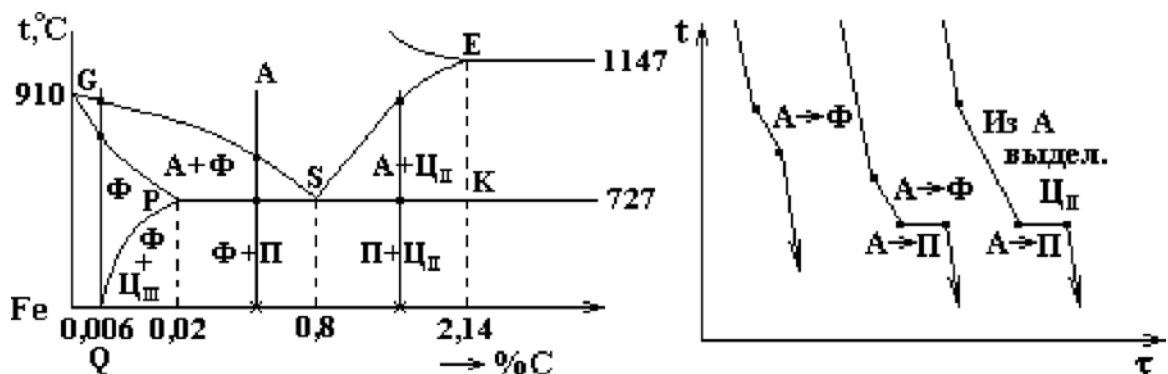


Рис.8.

### Графитизация чугунов.

Процесс графитизации:  $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{C}_{\text{гр}}$ . Этот процесс можно ускорить (Si – графитизатор) или задержать (Mn – отбеливатель). Скорость охлаждения отливки влияет на графитизацию. Большая масса и медленное охлаждение, успевает пройти графитизацию. Если небольшая масса, то белый чугун. Зависит от массы отливки. В серых чугунах, которые получают медленным охлаждением жидкого чугуна, графит пластинчатой

формы, в ковких – хлопьевидный графит, в высокопрочных – шаровидный. Графитизация проходит полностью, весь С в виде графита, цементит полностью распадается, получается чугун со структурой Ф+Гр, хрупкий, большая масса отливки. Графитизация проходит частично, образуется феррито-перлитовый чугун, прочность больше, возникает в более мелких отливках. Графитизация проходит слабо, перлитный чугун, графита мало, небольшие отливки, большая скорость охлаждения.

### **Влияние кремния, марганца и фосфора на свойства чугуна.**

Влияние кремния (Si). Si – важнейший компонент чугунов. Обычные чугуны: Fe-C-Si, 2-3% Si. Si усиливает графитизацию:  $Fe_3C \rightarrow Fe + \text{Графит}$ . Эта реакция ускоряется при увеличении содержания Si – графитизатора.

Влияние марганца (Mn). Mn – раскислитель.  $FeO + FeMn \rightarrow MnO_{(в\ шлак)} + 2Fe$ , чугун очищается от кислорода. Задерживает процессы графитизации. Отбеливание – задерживает распад цементита (отбеливает чугун). Mn до 1%.

Влияние фосфора (P). Улучшает жидкотекучесть (легче получить отливку). P до 0,2%, если художественное литье, P до 0,1% - обычное литье. Влияние серы (S). S ухудшает свойства чугуна. S до 0,1%. Если выплавляется в электропечах, то S до 0,05%.

### **Чугуны. Классификация чугунов по структуре.**

2,14-3,7% С. свойства чугуна зависят от структуры и от формы С, находящейся в структуре. Чугуны:  $Fe_3C$  – белые чугуны (на изломе светлые), С – чугуны с графитом.

Графитизация  $Fe_3C \rightarrow Fe + C_{\text{графит}}$ .

В зависимости от формы графита:

серые – пластинчатый графит СЧ25 (предел прочности 25 кгс/мм<sup>2</sup>), СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45;

ковкие – хлопьевидный графит, ферритные: КЧ30-6, КЧ35-10 (предел прочности 35 кгс/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение 10%, твердость 149 НВ, на



ферритовой основе), КЧ37-12, феррито-перлитные: КЧ45-6, КЧ50-4, КЧ60-3, КЧ63-2;

высокопрочные – шаровидный графит ВЧ45-5, ВЧ50-2, ВЧ60-2 (предел прочности 60 кгс/мм<sup>2</sup>, предел текучести 40 кгс/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение 2%, твердость 200-280 НВ, ВЧ70-2.

#### **Белые чугуны: состав, свойства, область применения.**

Углерод находится в виде цементита Fe<sub>3</sub>C. Излом будет белый, если сломать. В структуре доэвтектического чугуна НВ 550 наряду с перлитом и вторичным цементитом присутствует хрупкая эвтектика (ледебурит), количество которой достигает 100% в эвтектическом чугуне. Структура заэвтектического чугуна состоит из эвтектики (Лп) и первичного цементита, выделяющегося при кристаллизации из жидкости в виде крупных пластин. Высокая твердость, трудно обрабатывается резанием. Гл. свойство: высокая износостойкость. Чугун хрупкий. Редко применяется в машиностроении. Используется при изготовлении жерновов на мельнице, прокатные валки на прокатных станках, изгороди делают из этого чугуна. Если отливка небольшая (до 10 кг), то образуется белый чугун при быстром охлаждении.

#### **Отбеленные чугуны.**

Отбеленный чугун имеет в сердцевине структуру серого или высокопрочного чугуна, а в поверхностном слое повышенной твердости (НВ450-550) – ледебурит и перлит. Это создает высокую износостойкость, но резко ухудшает обрабатываемость резанием. Отбеленный чугун используют в ограниченных пределах для деталей простой формы, получающих чистую поверхность при литье, выполняемом отливкой в металлические кокили, т.е. в условиях ускоренного охлаждения поверхностных слоев.

#### **Чугуны с графитом.**

В зависимости от формы графитовых включений: серый на ферритной, феррито-перлитной и ферритной основах – пластинчатый графит, ковкий на ферритной, феррито-перлитной и ферритной основах – хлопьевидный графит, высокопрочный – шаровидный графит. Лучшие

литейные свойства по сравнению со сталью. Более низкая температура плавления и окончание кристаллизации при постоянной температуре (образование эвтектики) обеспечивают не только удобство в работе, но и лучшие жидкотекучесть и заполняемость формы. Описанные преимущества чугуна делают его ценным конструкционным материалом, широко применяемым в деталях машин, когда детали не испытывают значительных растягивающих и ударных нагрузок.

### **Серые чугуны: применение в промышленности.**

Название чугуна получило по виду излома, который имеет серый цвет. Структуры: П (0,8% С) +Гр, П + Ф (меньше 0,8% С)+Гр, Ф +Гр (весь углерод, имеющийся в сплаве, присутствует в форме графита). Графит пластинчатой формы. Графитовые включения можно считать в первом приближении просто пустотами, трещинами. Чем больше в чугуне графита, тем ниже его механические свойства, чем грубее включения графита, тем больше они разобщают металлическую основу, тем хуже свойства чугуна. При растягивающих нагрузках облегчается образование очагов разрушения по концам графитных включений. Ценный конструкционный материал, широко применяемый в деталях машин, главным образом тогда, когда они не испытывают значительных растягивающих и ударных нагрузок.

### **Высокопрочный чугун.**

Включения в виде шаровидного графита. У него более высокая прочность. Маркировка: ВЧ 45-12 (макс. Ф), ВЧ 60-5 (макс. П), 45 и 60 – предел прочности, 12 и 5 – относительное удлинение (до 15). Эти чугуны пластичные. Это литейный сплав. Чугун прочнее стали. Магний (Mg) добавляется в эти чугуны в расплавленном виде, часто Mg возгорается и получение сопровождается взрывами. Mg вводится для образования шариков. Шарики более компактны, концентраторов напряжения мало.

### **Ковкий чугун.**

Включения графита в виде хлопьев. Получается такой чугун в две стадии: получение белого чугуна (отливка до 10 кг), графитизирующий отжиг (томление). Углерода в ковком чугуне 2,4-2,8%. Графитизированный ковкий чугун плавят в электропечах. Получили ферритовый ковкий чугун, более пластичный. На П+Ф-основе. Если закончился процесс графитизации при 725°, по получаем перлитный ковкий чугун (более прочный).

### Сплавы на основе меди.

Медь:  $t_{\text{плавления}} = 1084^{\circ}\text{C}$ , низкий коэффициент трения, высокая электропроводность, высокая теплопроводность, высокая устойчивость против коррозии, низкая прочность  $\sigma_B \approx 25 \text{ кгс/мм}^2$ , пластичность высокая  $\delta = 40\%$ . Сплавы меди. Создание сплавов приводит к повышению прочности, улучшению коррозионной прочности и снижению температуры плавления. Zn явл. легирующим компонентом. Сплавы Cu с Zn – латуни. Бронзы – сплавы с др. компонентами. Al + Cu – алюминиевые бронзы, Be + Cu – бериллиевые, Sn + Cu, ... Особенности влияния компонентов на структуру.

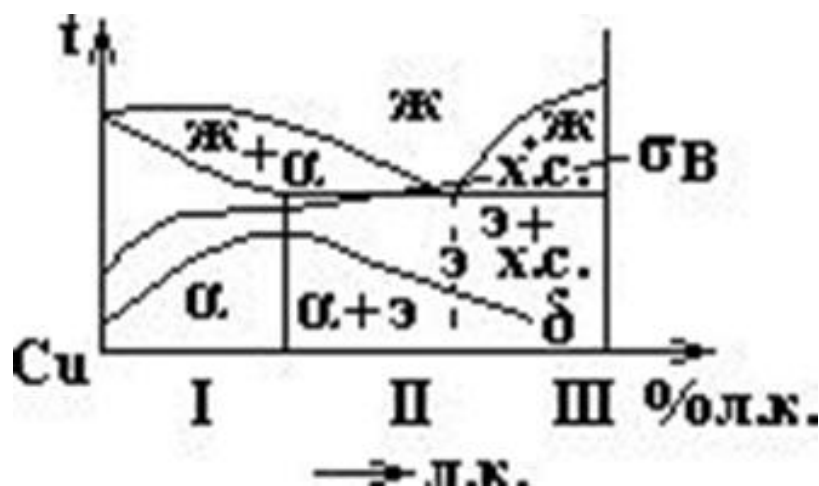


Рис.9.

л.к. – легирующий компонент, х.с. – хим. соединение. Если полиморфные превращения, значит перекристаллизация.

I - Сплавы – твердые растворы (однофазные сплавы, высокая прочность + высокая пластичность),

II - Механические смеси ( $\alpha + \text{х.с.}$  – двухфазные: более высокая прочность),

III - Хим. соединения (хрупкие) – редко используется в промышленности.

### Сплавы на медной основе, латуни Л-80 и ЛС-59-1.

Сплав меди с цинком (латуни).

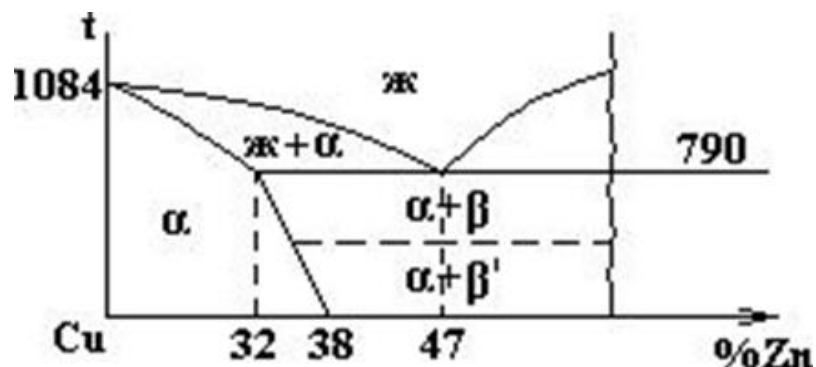


Рис.10.

$\alpha$  – тв. р-р Zn в меди,  $\beta$  и  $\beta'$  - хим. соединения,  $\beta'$  - более хрупкое. Сплавы, в которых много  $\beta$  и  $\beta'$ , плохо деформируются, поэтому используются как литейные. Для кованных и литых сплавов весной и осенью (влажность высокая) образуются трещины на поверхности. Сезонное растрескивание – коррозия под действием влаги и напряжения (наклеп + влага). Стараются снять наклеп, сделать нагрев выше  $t_{кр}$ , порядка 300°C, тогда сезонного растрескивания не возникнет. Изменение свойств латуни.

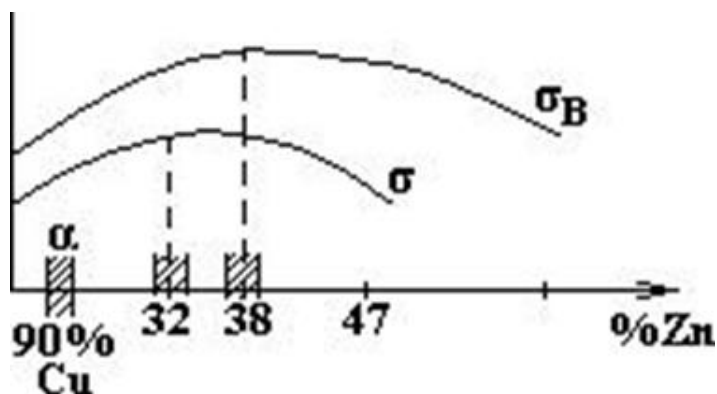


Рис.11.

Латуни:

- 1) красные латуни, самые дорогие, цинк – желтый, медь красная, красные латуни не подвержены сезонному растрескиванию, Л80 (80% Cu), самовары делают из красной латуни;
- 2) сплавы, характеризующиеся пластичностью;
- 3) латуни с высокой прочностью, автоматные (изг. на станках-автоматах), обладают хорошей обрабатываемостью резанием, ЛС-59-1 (латунь свинцовая с 59% Cu и 1% Pb), самые дешевые;
- 4) сложные латуни.

### Бронзы.

Бронзы – сплавы с др. компонентами. Al + Cu – алюминиевые бронзы, используются в судостроении, авиации, в виде лент, листов, проволоки их применяют для упругих элементов, в частности для токоведущих пружин. Be + Cu – бериллиевые, используются в изделиях небольшого сечения в виде лент, проволоки для пружин, мембран, сильфонов и контактов в электрических машинах, аппаратах и приборах. Sn + Cu – оловянные, применяют для литых деталей сложной формы. Si + Cu – кремнистые, применяют для арматуры и труб.

### Оловянные бронзы.

Оловянные бронзы – сплавы на основе меди + олово.



## Рис.12.

Влияние олова на сплавы меди. Олово улучшает литейные свойства, т.к. снижает температуру плавления, образуется эвтектика, которая уменьшает ликвацию. Олово уменьшает коэффициент усадки, можно сделать художественное литье. Много пор у оловянной бронзы, поэтому плохо работает под давлением пара. Эти сплавы коррозионно-стойкие, используются в судостроении. Оловянная бронза с течением времени темнеет, поэтому из них часто изготавливают украшения. Низкий коэффициент трения. Есть однофазные (5-6% Sn) и двухфазные (>8% Sn). Из однофазной бронзы изготавливают медные монеты, т.к. у них высокая пластичность и хорошая коррозионная стойкость. Чаще используются двухфазные бронзы, их используют для подшипников скольжения. БрОФ-10-1 (бронза оловянно-фосфорная, 10% олова, 1% фосфора), БрОЦС-5-5-5 (с цинком свинцовая).

### **Деформируемые сплавы на основе алюминия.**

Алюминий: легкий металл, имеет малый удельный вес  $2,7 \text{ г/см}^3$ , обладает высокой электропроводностью, высокой коррозионной стойкостью, температура плавления -  $658^\circ\text{C}$ , теплостойкость невысока, дешевый, добывается из бокситов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , мех. свойства низкие,  $\sigma_B = 6 \text{ кгс/мм}^2$ ,  $\delta = 40\%$  (малопрочный металл, но пластичный).

Сплавы алюминия делятся на две группы: легко обрабатываемые давлением (дуралюминий) – деформируемые сплавы и силумины – литейные сплавы.

Дуралюминий – сплав Al с Cu (Cu  $\approx 4\%$ ). Al-основа, также вводятся Mg, Si, Fe  $\approx 1\%$  каждого. Дуралюминий может быть упрочнен в результате дисперсионного твердения.

### **Литейные алюминиевые сплавы.**

К литейным сплавам относятся силумины – это сплавы Al и кремния. Их основу составляют эвтектические сплавы.



*Рис.13.*

Обычно в литейных сплавах силуминах содержится 12-13% Si. Структура этих сталей при охлаждении состоит из грубой эвтектики [Al+Si] и хрупких зерен Si. Для устранения данного явления эти сплавы модифицируют натрием или смесью  $[\frac{2}{3}\text{NaF} + \frac{1}{3}\text{NaCl}]$ . Модификаторы замедляют кристаллизацию хрупкого кремния и понижают температуру образования эвтектики, делая ее мелкозернистой. В результате этого сплавы с 12-13% Si становятся доэвтектическими. Структура таких сплавов состоит из Al+ε, эвтектика будет мелкозернистой. В результате такого модифицирования повышаются механические свойства. До модифицирования  $\sigma_B = 130$  МПа,  $\delta = 3\%$ , после –  $\sigma_B = 180$  МПа,  $\delta = 8\%$ . Низкая жидкотекучесть. Из этих сплавов возможно получение отливок сложной формы. Обозначение: АЛ2 (самый распространенный, алюминиевый литейный, 2 – номер по ГОСТу), АЛ3, АЛ4(+Mg+Mn), АЛ6, АЛ9 (+Mg+Mn).

### 2.1.2. Электроизоляционные материалы

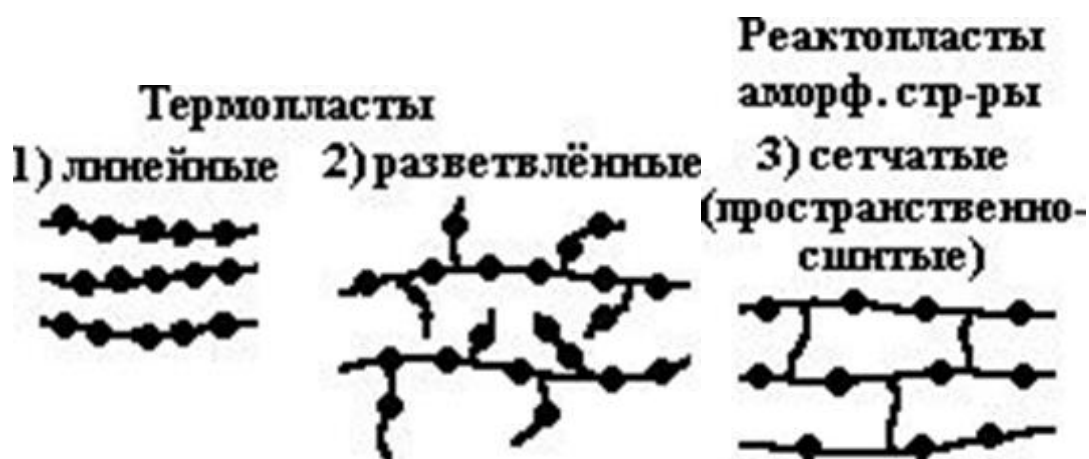
#### Полимеры.

Полимеры – это сложные высокомолекулярные соединения. У полимеров нет определенной температуры плавления. Отличие в степени

насыщения. Предела насыщения не существует. Полимеры обладают очень высокой вязкостью, высокой молекулярной массой. Полимеры – это макромолекулы, которые состоят из большого числа небольших молекул, которые называются мономерами. Бутадиен – мономер. Бутадиен + ... + бутадиен (4000 раз) → полибутадиен (искусственный каучук)  $[-CH_2-CH=CH-(n)CH_2-]$ , n – степень полимеризации. Полимеры получают либо полимеризацией, либо поликонденсацией. Процесс, при котором полимер получается вследствие соединения мономеров друг с другом, наз. полимеризацией. Поликонденсация - это процесс образования полимера в результате химической реакции исходных веществ с получением нового вещества, структура которого отличается от исходной.

Термопласты, при повышении температуры размягчаются, им придается определенная форма, которую они сохраняют при охлаждении, получают полимеризацией.

Реактопласты, при повышении температуры претерпевают хим. изменения и превращение в неплавкую массу, получают полимеризацией и поликонденсацией. Полимеры по структуре макромолекул:



*Рис.14. Механические свойства полимеров. Состояние аморфной фазы и ее влияние на свойства. Ориентационное упрочнение.*



Свойства полимеров определяются: природой мономера, молекулярной массой полимера, структурой полимера (кристаллический полимер или аморфный полимер), температурой нагрева. Есть пластическое и хрупкое разрушение.

Фазовые переходы аморфных полимеров: стеклообразное состояние  $\rightarrow$  ( $t$  стеклования) высокоэластическое состояние (каучук)  $\rightarrow$  ( $t$  текучести) расплав полимера. В стеклообразном состоянии полимеры не обладают ни сегментальной, ни молекулярной подвижностью. Это состояние характеризуется только колебательным движением атомов.

Стеклообразное состояние – это твердое и хрупкое состояние. В высокоэластическом состоянии полимер обладает сегментальной подвижностью, при этом сегменты цепи обладают значительной свободой в движении, но в то же время перемещение макромолекул запрещено. В высокоэластическом состоянии полимеры похожи на жидкости с включенными в них твердоподобными областями. Это состояние характеризуется высокой вязкостью и претерпевает вязко-упругую деформацию.  $t$  перехода из стеклообр. сост. в высокоэласт. наз.  $t$  стеклования. При дальнейшем нагревании полимер начинает течь.  $t$ , при которой происходит переход из высокоэластического состояния в вязко-текучее, называется  $t$  текучести. Из-за отсутствия в полимерах истинной кристал. решетки процесса плавления как такового в аморфных полимерах не существует.

Ориентационное упрочнение справедливо как для аморфных, так и для кристаллических полимеров. Оно состоит в том, что все макромолекулы ориентированы в одном направлении и имеют в этом направлении большую прочность и больший модуль упругости ( $E$ , МПа, характеризует жесткость системы). Оно достигается вытяжкой либо в одном направлении, либо в двух направлениях.

### **Старение полимеров.**

Старение полимеров – это самопроизвольное, необратимое изменение свойств полимера вследствие разрушения межмолекулярных связей в цепочках макромолекул. При старении происходят реакции, вызывающие: деструкцию (разложение) полимера, структурные изменения (увеличение хрупкости, уменьшение прочности, понижение эластичности). При ионизирующем излучении или под действием света процессы деструкции ускоряются. Для замедления старения вводят стабилизаторы.

### **Пластмассы.**

Пластмассы – это органические вещества, связующими которых являются полимеры. Они состоят из:

- 1) связующее (матрица) - полимеры;
- 2) наполнители (низкомолекулярные вещества), их вводят для придания специальных свойств: понижения усадки, повышения механических свойств (твердость  $HВ$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ). Наполнители: порошковые (сажа, графит, древесная мука), волокниты (волокна, стекловолокна, асбоволокна), слоистые (геминакс, текстолит), стеклоткань (стеклотекстолиты), газовые (газонаполненные: поропласты, пенопласты, сотопласты);
- 3) пластификаторы – жидкие вещества, для повышения эластичности материала;
- 4) отвердители;
- 5) краски (оксиды металлов), их вводят для изменения цвета пластмасс. Пластмассы: термопластичные, термореактивные и газонаполненные.

### **Термопластичные пластмассы.**

#### **Полиэтилен (ПЭ).**

Состав мономера:  $[-CH_2-CH_2-]_n$ . Этилен  $[-CH_2-CH_2-]$  при комнатной  $t$  находится в газовом состоянии,  $t$  кипения составляет  $-140^\circ C$ . ПЭ бывает двух видов:

1) Низкой плотности высокого давления ПЭНП (ПЭВД), разветвленная структура, плотность  $\rho = 0,91-0,92 \text{ г/см}^3$ ,  $t_{\text{экспл}} = -70 \div 120-140^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{плавл}} = 110-125^\circ\text{C}$ ;

2) ПЭВП (ПЭНД), линейная структура,  $\rho = 0,96 \text{ г/см}^3$ ,  $t_{\text{экспл}} = -70 \div 140-150^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{плавл}} = 150^\circ\text{C}$ . Недостаток – старение ПЭ. При воздействии ионизованного излучения увеличивается прочность материала и теплостойкость. Применение: упаковочная пленка, литые бутылки, трубы, электроизоляционный кабель.

### **Фторопласт (ФП).**

Состав мономера:  $[-\text{CF}_2-\text{CF}_2-]_n$ . ФП обладает аморфной кристаллической структурой. Плотность  $\rho = 0,25$ ,  $t_{\text{экспл.}} = -269 \div +250^\circ\text{C}$ . Химически стоек к действию растворителей. ФП обладает очень низким коэффициентом трения  $\mu = 0,04$ . Недостаток ФП: трудность его переработки. Применение: насосы, винтили, антифрикционные покрытия.

### **Термореактивные пластмассы.**

Текстолит относят к слоистым пластикам. Связующее в этом полимере – это термореактивные смолы. Наполнители: хлопчатобумажные ткани. Среди всех слоистых пластиков этот материал обладает наибольшей способностью поглощать вибрационные нагрузки. Кроме этого хорошо сопротивляется раскалыванию. Применяют для зубчатых колес и как вкладыши для подшипников. Температура эксплуатации:  $-60 \div 80^\circ\text{C}$ .

### **Газонаполненные пластмассы.**

Это гетерогенные (сост. из нескольких фаз) химически сложные системы, состоящие из твердой и газообразной фаз. В качестве связывающего используются термопласты (или реактопласты), которые образуют стенки ячеек или пор. В качестве наполнителей используют газообразные вещества. В зависимости от физической структуры газонаполненные пластмассы делят на пенопласты, поропласты и сотопласты. Пенопласт – система, в которой присутствуют замкнутая ячеистая структура, а газовый наполнитель изолирован от окр. среды

тонкими слоями полимерного связующего. Замкнутая ячеистая структура обеспечивает высокие теплоизоляционные свойства и хорошую плавучесть. Прочность таких материалов низкая и зависит от плотности материала.  $\rho = 20-300 \text{ кг/м}^3$ .

Применяется для изоляции кабин, холодильников, рефрижераторов, труб (поропласт), в авиа-, кораблестроении, на ж/д транспорте. Поропласт – материал с открыто-пористой структурой. Применяется для впитывания жидкости.  $\rho = 130-500 \text{ кг/м}^3$ . Сотопласты – тонкие листовые материалы, выполненные в форме гофра, которые затем сшиваются в виде пчелиных сот. Материалом для гофров служат ткани, которые пропитываются различными связующими.

Применение: тепло- и звукоизоляционные материалы (авиация), обладают радиопрозрачностью, используются для заполнения многослойных панелей в авиа- и судостроении.

### **Эластомеры и резины. Процесс вулканизации.**

Эластомеры – это материалы, которые при приложении нагрузки удлиняются, а при снятии нагрузки восстанавливают свою первоначальную форму. Цепные макромолекулы под действием нагрузки распрямляются, а при снятии нагрузки сворачиваются. Для данного состояния характерна сегментальная подвижность, кроме этого, данные полимеры должны обладать определенным межцепным свободным пространством для осуществления движения сегментов. Наиболее распространенным эластомером является каучук  $\text{C}_5\text{H}_8$ . На основе каучука получают резины. Молекулы чистого каучука слабо связаны друг с другом, поэтому легко отделяются одна от другой. В результате этого каучук прилипает к предметам, с которыми он взаимодействует.

Для устранения этого дефекта применяют вулканизацию.

Вулканизация – нагрев каучука вместе с серой. При нагреве сера разрывает двойные связи в молекуле каучука, и образуются мостики между

линейными цепочками каучука. Свойства каучука зависят от содержания серы, до 30% S – твердый каучук (шайбы).

### **Пластмассы как конструкционный материал.**

Полиэтилен, фторопласт, текстолит. Малая плотность материала  $\rho = 1-2 \text{ т/м}^3$ . Низкие значения модуля упругости и других мех. свойств. Низкая теплопроводность. Хорошие изоляционные свойства (электро, звуко, тепло). Для них характерно старение материалов и ползучесть.

### **Стекло.**

Неорганическое стекло – химически сложные аморфные изотропные материалы, которые обладают свойствами хрупкого твердого тела.

Стекла состоят:

1. Стеклообразователи – основа:

а)  $\text{SiO}_2$  – силикатное стекло, если  $\text{SiO}_2 > 99\%$ , то это кварцевое стекло;

б)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$  – алюмосиликатное стекло;

в)  $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$  – боросиликатное стекло;

г)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$  – алюмоборосиликатное стекло;

2. Модификаторы, вводятся для придания стеклу определенных свойств. Ввод оксидов щелочноземельных металлов (I, II группа: Na, K) уменьшает температуру размягчения. Оксиды хрома, железа, ванадия придают стеклу определенные цвета. Оксиды свинца увеличивают коэффициент преломления. По количеству модификаторов стекла бывают трех типов: щелочные – стекла, в которых содержится модификаторов до 20-30%, бесщелочные – до 5% модификаторов, кварцевое стекло – модификаторов нет;

3. Компенсаторы, подавляют негативное воздействие модификаторов. Стекла в автомобилях, в стеклопластиках, оптика, теплопроводимость низкая, не растворимы в кислотах (кроме плавиковой HF) и щелочах.

### **Механические свойства стекла.**

**Свойства стекол:**

Стекла отличаются высокой твердостью и пределом прочности. Теоретически предел прочности достигает 10-12 ГПа. Модуль упругости  $E = 70$  ГПа. Твердость по Виккерсу  $HV \sim 750$  кгс/мм<sup>2</sup>. Практически предел прочности составляет 50-100 МПа. Низкий  $\sigma_B$  объясняется след. факторами: высокий коэффициент линейного расширения. Поэтому, когда стекло остывает, на его поверхности образуются растягивающие напряжения. Это приводит к появлению трещин на поверхности. Кроме этого, стекло является хорошим теплоизолятором, что также приводит к образованию трещин.

Стекло не сопротивляется динамическим нагрузкам.

Способы упрочнения стекол:

1) травление с целью удаления дефектного поверхностного слоя. Предел прочности увеличивается до 3000 МПа. Но этот способ малоэффективен, т.к. в дальнейшем стекло взаимодействует с абразивными частицами или др. твердыми материалами;

2) создание на поверхности сжимающих напряжений. Это достигается путем закалки. Идет нагрев до определенной температуры, а затем производят охлаждение в заданном режиме (температура нагревания, охлаждение и время выдержки). Предел прочности в этом случае увеличивается до 1000-1500 МПа;

3) нанесение на поверхность стекол полимерных материалов. Полимерное связующее склеивает микротрещины на поверхности стекла.

### **Ситаллы.**

Ситаллы – частично закристаллизовавшиеся стекла. По структуре от обычных стекол отличаются тем, что в них вводят затравки (это соли серебра, золота, меди, свинца и т.д.). Эти стекла непрозрачны. По способу получения ситаллы различаются на фотоситаллы и термоситаллы.

## 2.2. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИТЫХ МАТЕРИАЛОВ.

### 2.2.1. Сущность процессов кристаллизации металлов и сплавов.

Любое вещество может находиться в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном. Возможен переход из одного состояния в другое, если новое состояние в новых условиях является более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

С изменением внешних условий свободная энергия изменяется по сложному закону различно для жидкого и кристаллического состояний. Характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с изменением температуры показан на рис. 14.

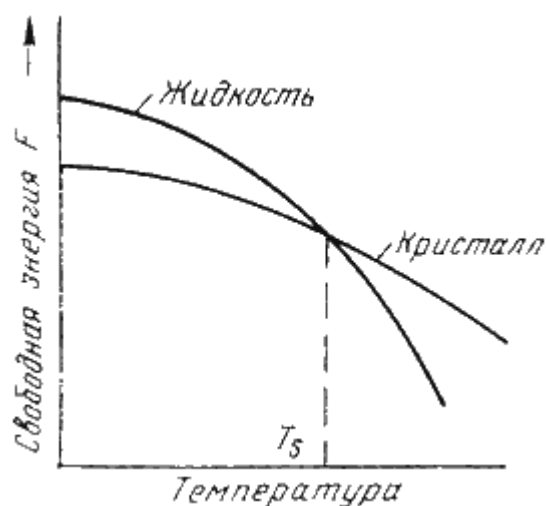


Рис.14. Изменение свободной энергии в зависимости от температуры

В соответствии с этой схемой выше температуры  $T_s$  вещество должно находиться в жидком состоянии, а ниже  $T_s$  — в твердом.

При температуре равной  $T_s$  жидкая и твердая фаза обладают одинаковой энергией, металл в обоих состояниях находится в равновесии, поэтому две фазы могут существовать одновременно бесконечно долго. Температура  $T_s$  — равновесная или теоретическая температура кристаллизации.

Для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден системе и сопровождался уменьшением свободной энергии системы. Это возможно при охлаждении жидкости ниже температуры  $T_s$ . Температура, при которой практически начинается кристаллизация называется *фактической температурой кристаллизации*.

Охлаждение жидкости ниже равновесной температуры кристаллизации называется *переохлаждением*, которое характеризуется *степенью переохлаждения* ( $\Delta T$ ):

$$\Delta T = T_{\text{теор}} - T_{\text{фр}}$$

Степень переохлаждения зависит от природы металла, от степени его загрязненности (чем чище металл, тем больше степень переохлаждения), от скорости охлаждения (чем выше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения).

Рассмотрим переход металла из жидкого состояния в твердое.

При нагреве всех кристаллических тел наблюдается четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое. Такая же граница существует при переходе из жидкого состояния в твердое.

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

Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с минимумом свободной энергии.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах время – температура. Кривая охлаждения чистого металла представлена на рис. 15.



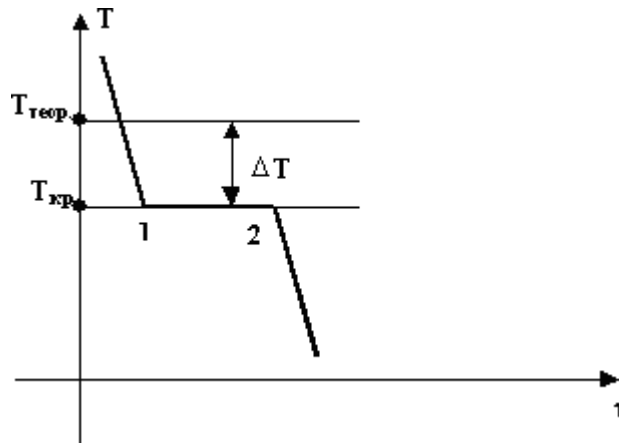


Рис15. Кривая охлаждения чистого металла

$T_{теор}$  – теоретическая температура кристаллизации;

$T_{фр}$  – фактическая температура кристаллизации.

### Процесс кристаллизации чистого металла:

До точки 1 охлаждается металл в жидком состоянии, процесс сопровождается плавным понижением температуры. На участке 1 – 2 идет процесс кристаллизации, сопровождающийся выделением тепла, которое называется *скрытой теплотой кристаллизации*. Оно компенсирует рассеивание теплоты в пространство, и поэтому температура остается постоянной. После окончания кристаллизации в точке 2 температура снова начинает снижаться, металл охлаждается в твердом состоянии.

### Механизм и закономерности кристаллизации металлов.

При соответствующем понижении температуры в жидком металле начинают образовываться кристаллики – *центры кристаллизации* или *зародыши*. Для начала их роста необходимо уменьшение свободной энергии металла, в противном случае зародыш растворяется.

Минимальный размер способного к росту зародыша называется *критическим размером*, а зародыш – устойчивым.

Переход из жидкого состояния в кристаллическое требует затраты энергии на образование поверхности раздела жидкость – кристалл. Процесс

кристаллизации будет осуществляться, когда выигрыш от перехода в твердое состояние больше потери энергии на образование поверхности раздела. Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы представлена на рис. 16.

Зародыши с размерами равными и большими критического растут с уменьшением энергии и поэтому способны к существованию.

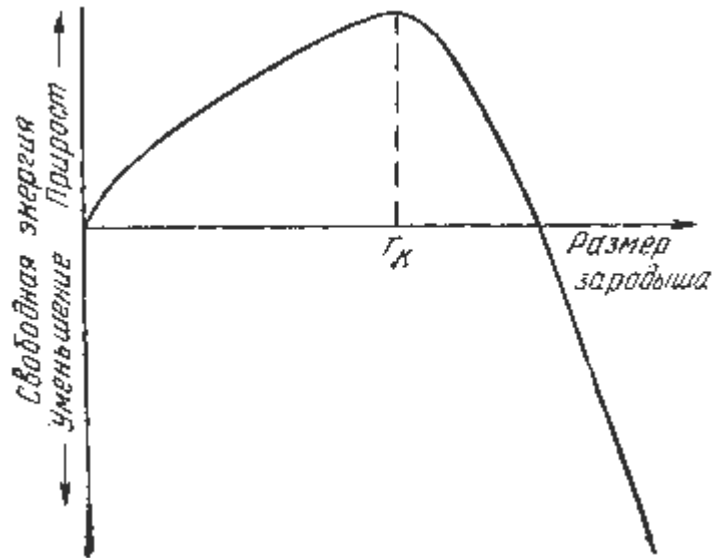


Рис.16. Зависимость энергии системы от размера зародыша твердой фазы

Механизм кристаллизации представлен на рис.17.

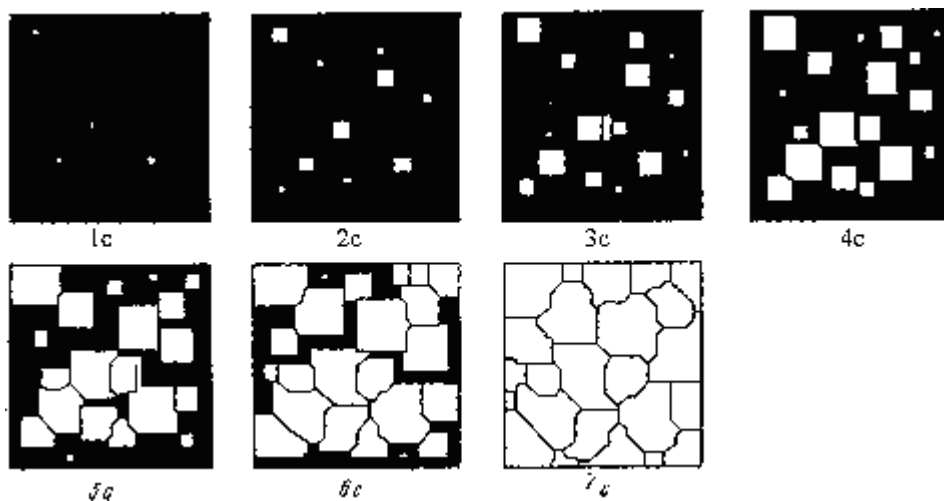


Рис.17. Модель процесса кристаллизации

Центры кристаллизации образуются в исходной фазе независимо друг от друга в случайных местах. Сначала кристаллы имеют правильную форму, но по мере столкновения и срастания с другими кристаллами форма нарушается. Рост продолжается в направлениях, где есть свободный доступ питающей среды. После окончания кристаллизации имеем поликристаллическое тело.

Качественная схема процесса кристаллизации может быть представлена количественно кинетической кривой (рис.18).

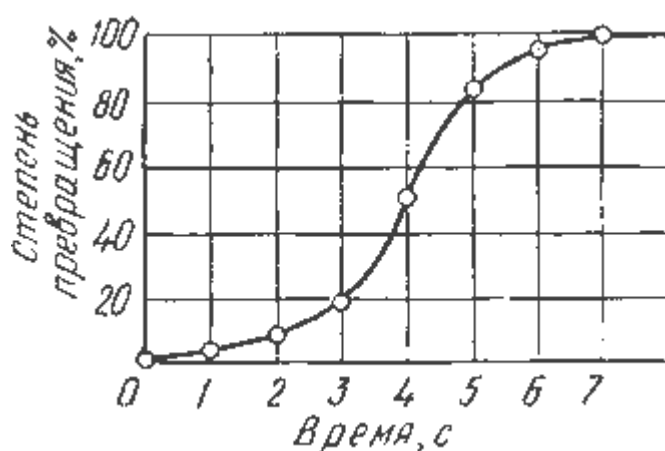


Рис. 18. Кинетическая кривая процесса кристаллизации

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

Таким образом, процесс кристаллизации состоит из образования центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров.

В свою очередь, число центров кристаллизации (ч.ц.) и скорость роста кристаллов (с.р.) зависят от степени переохлаждения (рис. 19).

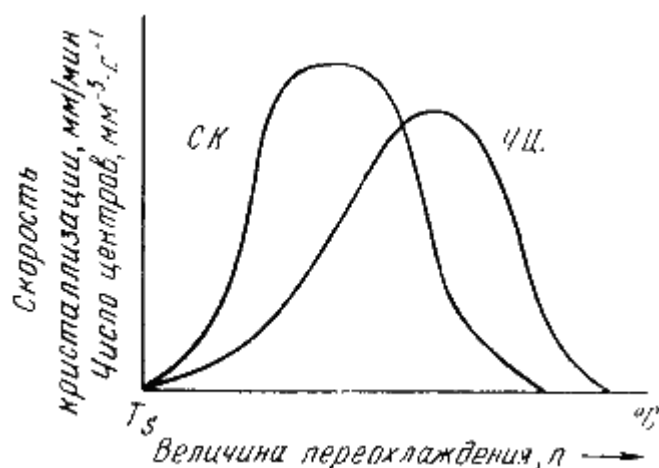


Рис. 19. Зависимость числа центров кристаллизации (а) и скорости роста кристаллов (б) от степени переохлаждения

Размеры образовавшихся кристаллов зависят от соотношения числа образовавшихся центров кристаллизации и скорости роста кристаллов при температуре кристаллизации.

При равновесной температуре кристаллизации  $T_S$  число образовавшихся центров кристаллизации и скорость их роста равняются нулю, поэтому процесса кристаллизации не происходит.

Если жидкость переохладить до температуры, соответствующей т.а, то образуются крупные зерна (число образовавшихся центров небольшое, а скорость роста – большая).

При переохлаждении до температуры, соответствующей т.б – мелкое зерно (образуется большое число центров кристаллизации, а скорость их роста небольшая).

Если металл очень сильно переохладить, то число центров и скорость роста кристаллов равны нулю, жидкость не кристаллизуется, образуется аморфное тело. Для металлов, обладающих малой склонностью к переохлаждению, экспериментально обнаруживаются только восходящие ветви кривых.

### **2.2.2. Условия получения мелкозернистой структуры**

Стремятся к получению мелкозернистой структуры. Оптимальными условиями для этого являются: максимальное число центров кристаллизации и малая скорость роста кристаллов.

Размер зерен при кристаллизации зависит и от числа частичек нерастворимых примесей, которые играют роль готовых центров кристаллизации – оксиды, нитриды, сульфиды.

Чем больше частичек, тем мельче зерна закристаллизовавшегося металла.

Стенки изложниц имеют неровности, шероховатости, которые увеличивают скорость кристаллизации.

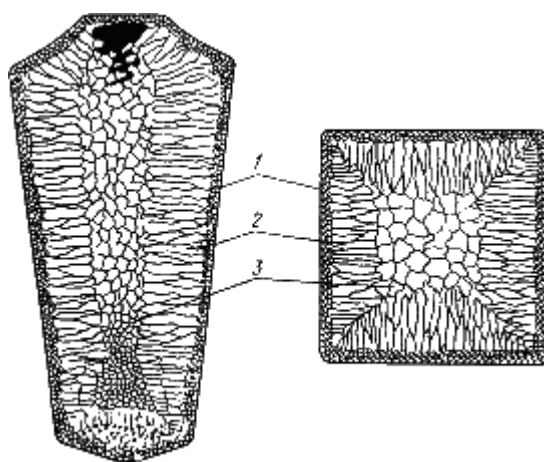
Мелкозернистую структуру можно получить в результате *модифицирования*, когда в жидкие металлы добавляются посторонние вещества – *модификаторы*,

По механизму воздействия различают:

1. Вещества не растворяющиеся в жидком металле – выступают в качестве дополнительных центров кристаллизации.
2. Поверхностно - активные вещества, которые растворяются в металле, и, осаждаясь на поверхности растущих кристаллов, препятствуют их росту.

### **2.2.3. Особенности строения металлического слитка**

Схема стального слитка, данная Черновым Д.К., представлена на рис.20.



*Рис. 20. Схема стального слитка*

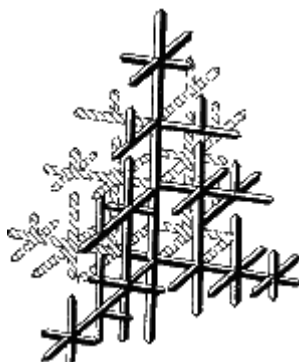
Слиток состоит из трех зон:

1. мелкокристаллическая корковая зона;
2. зона столбчатых кристаллов;
3. внутренняя зона крупных равноосных кристаллов.

Кристаллизация корковой зоны идет в условиях максимального переохлаждения. Скорость кристаллизации определяется большим числом центров кристаллизации. Образуется мелкозернистая структура.

Жидкий металл под корковой зоной находится в условиях меньшего переохлаждения. Число центров ограничено и процесс кристаллизации реализуется за счет их интенсивного роста до большого размера.

Рост кристаллов во второй зоне имеет направленный характер. Они растут перпендикулярно стенкам изложницы, образуются древовидные кристаллы – дендриты (рис. 21). Растут дендриты с направлением, близким к направлению теплоотвода.



*Рис.21. Схема дендрита по Чернову Д.К.*

Так как теплоотвод от незакристаллизовавшегося металла в середине слитка в разные стороны выравнивается, то в центральной зоне образуются крупные дендриты со случайной ориентацией.

Зоны столбчатых кристаллов в процессе кристаллизации стыкуются, это явление называется *транскристаллизацией*.

Для малопластичных металлов и для сталей это явление нежелательное, так как при последующей прокатке, ковке могут образовываться трещины в зоне стыка.

В верхней части слитка образуется усадочная раковина, которая подлежит отрезке и переплавке, так как металл более рыхлый (около 15...20 % от длины слитка)

Методы исследования металлов: структурные и физические

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

#### **2.2.4. Структурные методы исследования.**

Применяют макроскопический и микроскопический анализ, рентгеноструктурный анализ.

Определение химического состава.

Используются методы количественного анализа.

1. Если не требуется большой точности, то используют *спектральный анализ*.

Спектральный анализ основан на разложении и исследовании спектра электрической дуги или искры, искусственно возбуждаемой между медным электродом и исследуемым металлом.

Зажигается дуга, луч света через призмы попадает в окуляр для анализа спектра. Цвет и концентрация линий спектра позволяют определить содержание химических элементов.

Используются стационарные и переносные стилоскопы.

2. Более точные сведения о составе дает *рентгеноспектральный анализ*.

Проводится на микроанализаторах. Позволяет определить состав фаз сплава, характеристики диффузионной подвижности атомов.

### **2.2.5. Физические методы исследования**

1. Термический анализ основан на явлении теплового эффекта. Фазовые превращения в сплавах сопровождаются тепловым эффектом, в результате на кривых охлаждения сплавов при температурах фазовых превращений наблюдаются точки перегиба или температурные остановки. Данный метод позволяет определить критические точки.

2. Дилатометрический метод.

При нагреве металлов и сплавов происходит изменение объема и линейных размеров – тепловое расширение. Если изменения обусловлены только увеличением энергии колебаний атомов, то при охлаждении размеры восстанавливаются. При фазовых превращениях изменения размеров – необратимы.

Метод позволяет определить критические точки сплавов, температурные интервалы существования фаз, а также изучать процессы распада твердых растворов.

3. Магнитный анализ.

Используется для исследования процессов, связанных с переходом из парамагнитного состояния в ферромагнитное (или наоборот), причем возможна количественная оценка этих процессов.



### 2.2.6. Понятие о ликвации.

Слитки сплавов имеют неоднородный состав. Например, в стальных слитках 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*. Она отрицательно влияет на механические свойства. В реальных слитках помимо зональной встречаются и другие виды ликвации. *Дендритная ликвация* свойственна сплавам с широким температурным интервалом кристаллизации. *Гравитационная ликвация* образуется в результате разницы в плотностях твёрдой и жидкой фаз: например, в антифрикционном сплаве олова с сурьмой - твёрдая фаза (кристаллы сурьмы) опускаются на дно слитка, а эвтектика всплывает вверх.

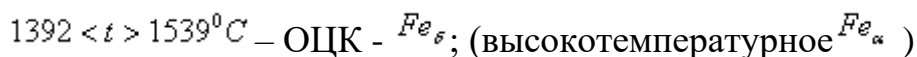
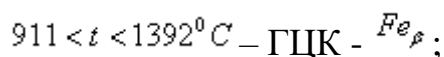
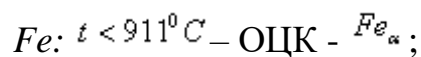
### 2.2.7. Аллотропические превращения железа при нагреве и охлаждении.

#### Гистерезис.

Способность некоторых металлов существовать в различных кристаллических формах в зависимости от внешних условий (давление, температура) называется *аллотропией* или *полиморфизмом*.

Каждый вид решетки представляет собой *аллотропическое видоизменение* или *модификацию*.

Примером аллотропического видоизменения в зависимости от температуры является железо (Fe).



Превращение одной модификации в другую протекает при постоянной температуре и сопровождается тепловым эффектом. Видоизменения элемента обозначается буквами греческого алфавита в виде индекса у основного обозначения металла.

Примером аллотропического видоизменения, обусловленного изменением давления, является углерод: при низких давлениях образуется графит, а при высоких – алмаз.

Используя явление полиморфизма, можно упрочнять и разупрочнять сплавы при помощи термической обработки.

### **2.2.8. Магнитные превращения**

Некоторые металлы намагничиваются под действием магнитного поля. После удаления магнитного поля они обладают остаточным магнетизмом. Это явление впервые обнаружено на железе и получило название ферромагнетизма. К ферромагнетикам относятся железо, кобальт, никель и некоторые другие металлы.

При нагреве ферромагнитные свойства металла уменьшаются постепенно: вначале слабо, затем резко, и при определенной температуре (точка Кюри) исчезают (точка Кюри для железа –  $768^{\circ}\text{C}$ ). Выше этой температуры металлы становятся парамагнетиками. Магнитные превращения не связаны с изменением кристаллической решетки или микроструктуры, они обусловлены изменениями в характере межэлектронного взаимодействия.

### **2.2.9. Получение монокристаллов.**

Монокристаллы отличаются минимальными структурными несовершенствами. Получение монокристаллов позволяет изучать свойства металлов, исключив влияние границ зёрен. Применение в монокристаллическом состоянии германия и кремния высокой чистоты даёт возможность использовать их полупроводниковые свойства и свести к минимуму неконтролируемые изменения электрических свойств.

Монокристаллы можно получить, если создать условия для роста кристалла только из одного центра кристаллизации.

### **2.2.10. Свойства аморфных металлов.**

При высоких скоростях охлаждения из жидкого состояния (более  $10^{-6}$  С/сек) диффузионные процессы настолько замедляются, что подавляется образование зародышей и рост кристаллов. В этом случае образуется аморфная структура. Материалы с такой структурой получили название *аморфные металлические сплавы (АМС)*, или *металлические стёкла*. Затвердевание с образованием аморфной структуры принципиально возможно практически у всех металлов.

### **3. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ.**

#### **3.1. Основные свойства металлов и краткая их характеристика.**

##### **Механические свойства и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность**

Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012)

Метод Роквелла ГОСТ 9013

Метод Виккерса

Метод царапания.

Динамический метод (по Шору)

Влияние температуры.

Б.Способы оценки вязкости.

Оценка вязкости по виду излома.

В.Технологические свойства

Г.Эксплуатационные свойства

#### **3.2. Примеры технологических проб и их назначение.**

##### **Механические свойства и способы определения их количественных характеристик**

Чтобы правильно выбрать материал для изготовления различных деталей машин и инструментов, необходимо знать свойства материалов.

Все свойства металлов и сплавов делятся на физические, химические, механические и технологические.

Механические свойства и способы определения их количественных характеристик: твердость, вязкость, усталостная прочность

*Механическими свойствами* называется совокупность свойств, характеризующих способность металлических материалов сопротивляться

воздействию внешних усилий (нагрузок). К механическим свойствам можно отнести: прочность, твёрдость, пластичность, упругость, вязкость, хрупкость, усталость, ползучесть и износостойкость.

Механические свойства металлов являются основной характеристикой, поэтому на заводах созданы специальные лаборатории, где производятся различные испытания с целью определения этих свойств.

Механические испытания делят на

- *статические*, при которых нагрузка, действующая на образец, остаётся постоянной или возрастает крайне медленно;

- *динамические (ударные)*;

- *испытания при повторных или знакопеременных нагрузках.*

*Твёрдость* – это сопротивление материала проникновению в его поверхность стандартного тела (*индентора*), не деформирующегося при испытании.

Широкое распространение объясняется тем, что не требуются специальные образцы.

Это неразрушающий метод контроля. Основным методом оценки качества термической обработки изделия. О твёрдости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса, микротвёрдости).

Во всех случаях происходит пластическая деформация материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твёрдость.

Наибольшее распространение получили методы Бринелля, Роквелла, Виккерса и микротвёрдости. Схемы испытаний представлены на рис. 22.

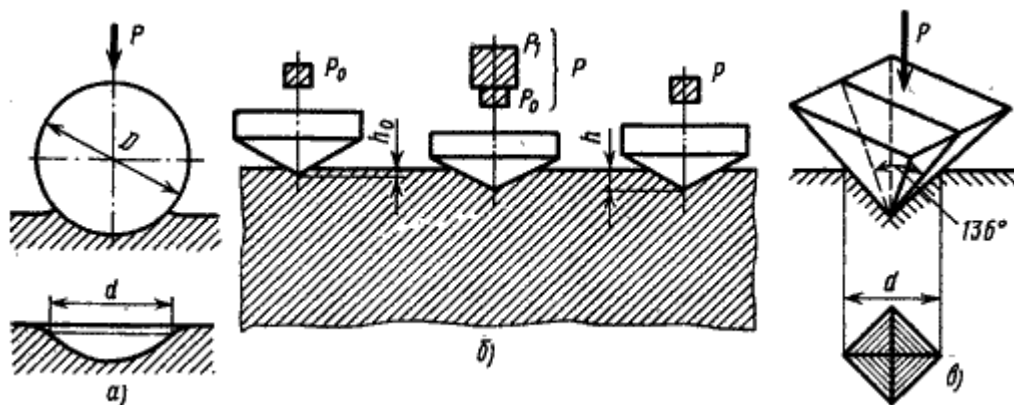


Рис. 22. Схемы определения твердости: а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

### Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012)

Испытание проводят на твердомере Бринелля (рис.7.1 а)

В качестве *индентора* используется стальной закаленный шарик диаметром  $D$  2,5; 5; 10 мм, в зависимости от толщины изделия.

Нагрузка  $P$ , в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости: для термически обработанной стали и чугуна –  $P = 30D^2$ , литой бронзы и латуни –  $P = 10D^2$ , алюминия и других очень мягких металлов –  $P = 2,5D^2$ .

Продолжительность выдержки  $\tau$ : для стали и чугуна – 10 с, для латуни и бронзы – 30 с.

Полученный отпечаток измеряется в двух направлениях при помощи лупы Бринелля.

Твердость определяется как отношение приложенной нагрузки  $P$  к сферической поверхности отпечатка  $F$ :

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Стандартными условиями являются  $D = 10$  мм;  $P = 3000$  кгс;  $\tau = 10$  с. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается HB 250, в других случаях указываются условия: HB  $D / P / \tau$ , HB 5/ 250 /30 – 80.

## Метод Роквелла ГОСТ 9013

Основан на вдавливании в поверхность наконечника под определенной нагрузкой (рис. 7.1 б)

*Индентор* для мягких материалов (до НВ 230) – стальной шарик диаметром 1/16” ( $\varnothing$ 1,6 мм), для более твердых материалов – конус алмазный.

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка  $F_0$  (10 ктс) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка  $P_1$ , в течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка  $P$ . После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника  $h$  под нагрузкой  $F_0$ .

В зависимости от природы материала используют три шкалы твердости (табл. 1)

Таблица №1. Шкалы для определения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P0	P1	P2	
A	HRA	Алмазный конус < 1200	10	50	60	Для особо твердых материалов
B	HRB	Стальной закаленный шарик $\varnothing$ 1/16"	10	90	100	Для относительно мягких материалов
C	HRC	Алмазный конус < 1200	10	140	150	Для относительно твердых материалов

## Метод Виккерса

Твердость определяется по величине отпечатка (рис.7.1 в).

В качестве *индентора* используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине  $136^\circ$ .

Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки  $P$  к площади поверхности отпечатка  $F$ :

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Нагрузка  $P$  составляет 5...100 кгс. Диагональ отпечатка  $d$  измеряется при помощи микроскопа, установленного на приборе.

Преимущество данного способа в том, что можно измерять твердость любых материалов, тонкие изделия, поверхностные слои. Высокая точность и чувствительность метода.

*Способ микротвердости* – для определения твердости отдельных структурных составляющих и фаз сплава, очень тонких поверхностных слоев (сотые доли миллиметра).

Аналогичен способу Виккерса. Индентор – пирамида меньших размеров, нагрузки при вдавливании  $P$  составляют 5...500 гс

$$H_{200} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

### **Метод царапания.**

Алмазным конусом, пирамидой или шариком наносится царапина, которая является мерой. При нанесении царапин на другие материалы и сравнении их с мерой судят о твердости материала.

Можно нанести царапину шириной 10 мм под действием определенной нагрузки. Наблюдают за величиной нагрузки, которая дает эту ширину.

### **Динамический метод (по Шору)**

Шарик бросают на поверхность с заданной высоты, он отскакивает на определенную величину. Чем больше величина отскока, тем тверже материал.



В результате проведения динамических испытаний на ударный изгиб специальных образцов с надрезом (ГОСТ 9454) оценивается вязкость материалов и устанавливается их склонность к переходу из вязкого состояния в хрупкое.

Вязкость – способность материала поглощать механическую энергию внешних сил за счет пластической деформации.

Является энергетической характеристикой материала, выражается в единицах работы. Вязкость металлов и сплавов определяется их химическим составом, термической обработкой и другими внутренними факторами.

Также вязкость зависит от условий, в которых работает металл (температуры, скорости нагружения, наличия концентраторов напряжения).

### **Влияние температуры.**

С повышением температуры вязкость увеличивается (см. рис. 7. 2).

Предел текучести  $S_m$  существенно изменяется с изменением температуры, а сопротивление отрыву  $S_{om}$  не зависит от температуры. При температуре выше  $T_e$  предел текучести меньше сопротивления отрыву. При нагружении сначала имеет место пластическое деформирование, а потом – разрушение. Металл находится в вязком состоянии.

При температуре ниже  $T_n$  сопротивление отрыву меньше предела текучести. В этом случае металл разрушается без предварительной деформации, то есть находится в хрупком состоянии. Переход из вязкого состояния в хрупкое осуществляется в интервале температур  $T_n - T_e$ .

*Хладоломкостью* называется склонность металла к переходу в хрупкое состояние с понижением температуры.

Хладоломкими являются железо, вольфрам, цинк и другие металлы, имеющие объемноцентрированную кубическую и гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку.

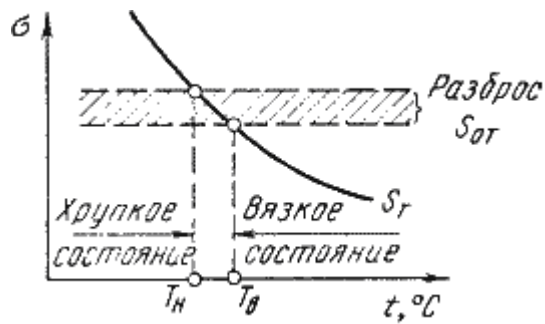
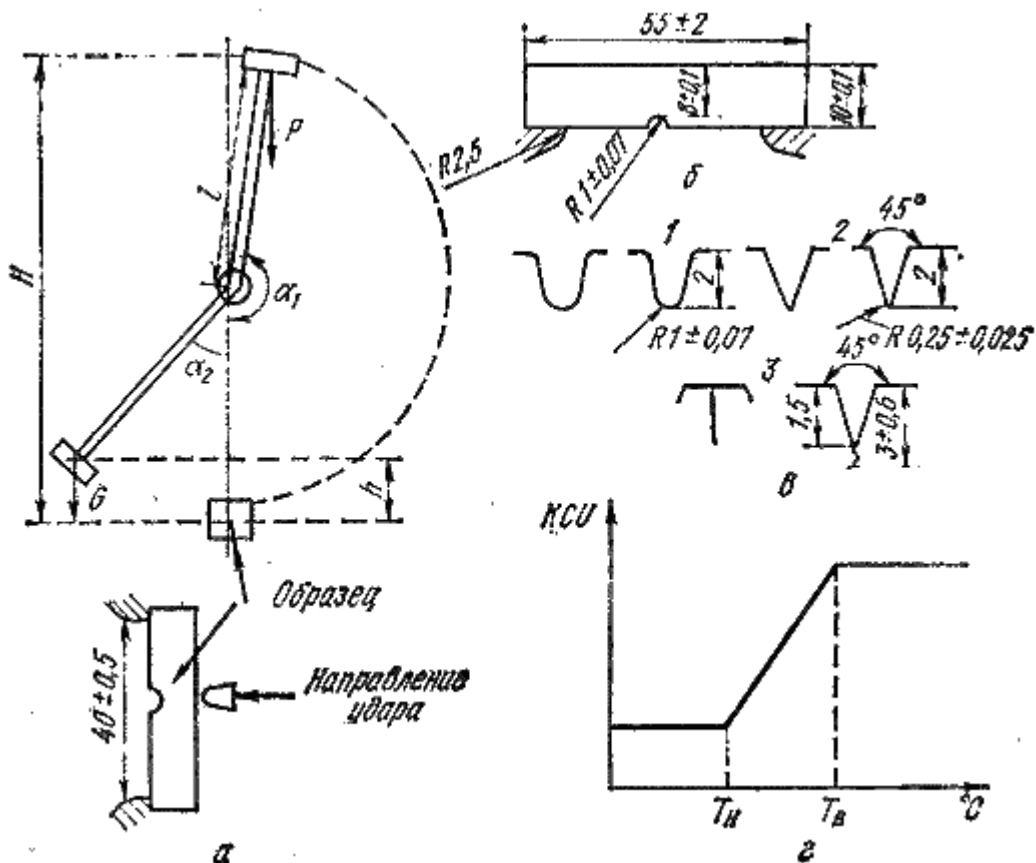


Рис. 23. Влияние температуры на пластичное и хрупкое состояние

### 3.3. Способы оценки вязкости.

Ударная вязкость характеризует надежность материала, его способность сопротивляться хрупкому разрушению

Испытание проводят на образцах с надрезами определенной формы и размеров. Образец устанавливают на опорах копра надрезом в сторону, противоположную удару ножа маятника, который поднимают на определенную высоту (рис. 24)



*Рис.24. Схема испытания на ударную вязкость: а – схема маятникового копра; б – стандартный образец с надрезом; в – виды концентраторов напряжений; г – зависимость вязкости от температуры*

На разрушение образца затрачивается работа:

$$A = P(H - h)$$

где:  $P$  – вес маятника,  $H$  – высота подъема маятника до удара,  $h$  – высота подъема маятника после удара.

Характеристикой вязкости является *ударная вязкость* ( $a_n$ ), - удельная работа разрушения.

$$a_n = \frac{A}{F_0}$$

где:  $F_0$  - площадь поперечного сечения в месте надреза.

ГОСТ 9454 – 78 ударную вязкость обозначает КСV. КСУ. КСТ. КС – символ ударной вязкости, третий символ показывает вид надреза: острый (V), с радиусом закругления (U), трещина (Т) (рис. 7.3 в)

Серийные испытания для оценки склонности металла к хладоломкости и определения критических порогов хладоломкости.

Испытывают серию образцов при различных температурах и строят кривые ударная вязкость – температура ( $a_n - T$ ) (рис. 7.3 г), определяя пороги хладоломкости.

Порог хладоломкости - температурный интервал изменения характера разрушения, является важным параметром конструкционной прочности. Чем ниже порог хладоломкости, тем менее чувствителен металл к концентраторам напряжений (резкие переходы, отверстия, риски), к скорости деформации.

#### **Оценка вязкости по виду излома.**

При вязком состоянии металла в изломе более 90 % волокон, за верхний порог хладоломкости  $T_6$  принимается температура, обеспечивающая такое состояние. При хрупком состоянии металла в изломе 10 % волокон, за

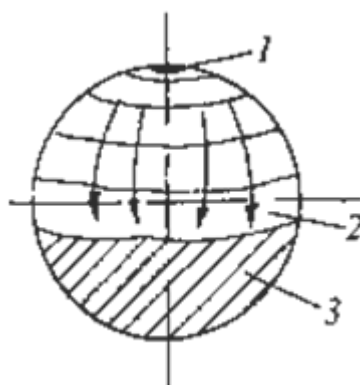
нижний порог хладоломкости  $T_n$  принимается температура, обеспечивающая такое состояние. В технике за порог хладоломкости принимают температуру, при которой в изломе 50 % вязкой составляющей. Причем эта температура должна быть ниже температуры эксплуатации изделий не менее чем на 40°C.

Испытания на выносливость (ГОСТ 2860) дают характеристики усталостной прочности.

*Усталость* - разрушение материала при повторных знакопеременных напряжениях, величина которых не превышает предела текучести.

*Усталостная прочность* – способность материала сопротивляться усталости.

Процесс усталости состоит из трех этапов, соответствующие этим этапам зоны в изломе показаны на рис.25.



*Рис.25 Схема зарождения и развития трещины при переменном изгибе круглого образца*

1 – образование трещины в наиболее нагруженной части сечения, которая подвергалась микродеформациям и получила максимальное упрочнение

2 – постепенное распространение трещины, гладкая притертая поверхность

3 – окончательное разрушение, зона “долома“, живое сечение уменьшается, а истинное напряжение увеличивается, пока не происходит разрушение хрупкое или вязкое

Характеристики усталостной прочности определяются при циклических испытаниях «изгиб при вращении».

Схема представлена на рис. 26.

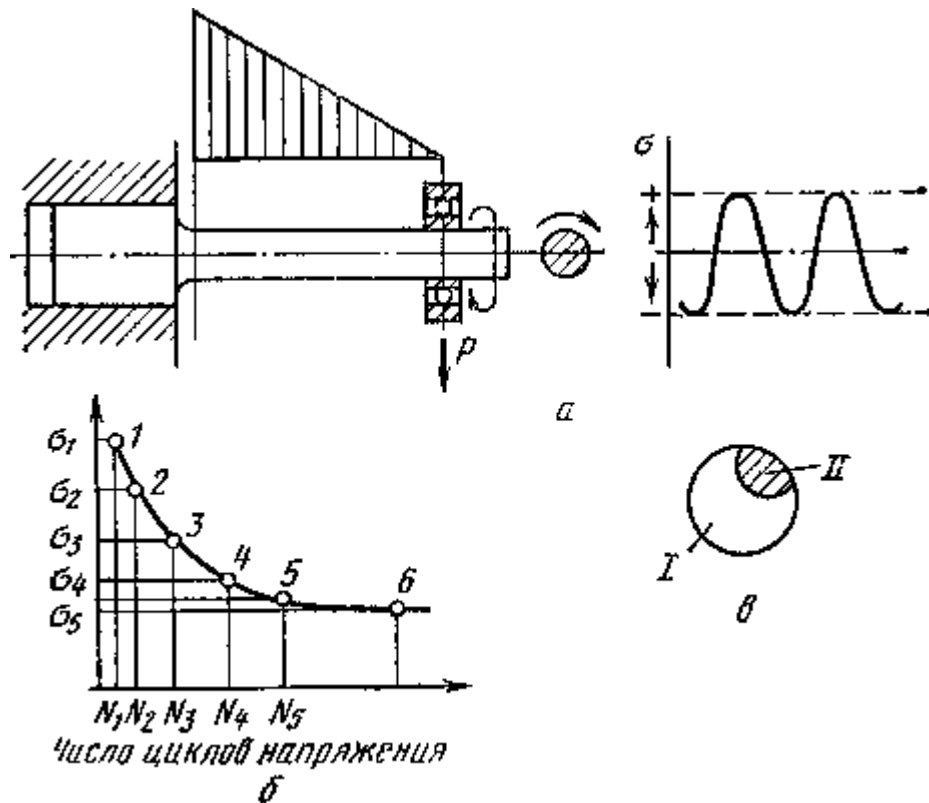


Рис. 26. Испытания на усталость (а), кривая усталости (б)

Основные характеристики:

*Предел выносливости* ( $\sigma^{-1}$  – при симметричном изменении нагрузки,  $\sigma_R$  – при несимметричном изменении нагрузки) – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за произвольно большое число циклов нагружения  $N$ .

*Ограниченный предел выносливости* – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за определенное число циклов нагружения или время.

*Живучесть* – разность между числом циклов до полного разрушения и числом циклов до появления усталостной трещины.

### **3.4. Технологические и эксплуатационные свойства**

#### **Технологические свойства**

*Технологические свойства* характеризуют способность материала подвергаться различным способам холодной и горячей обработки.

##### **1. Литейные свойства.**

Характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

*Жидкотекучесть* – характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

*Усадка (линейная и объемная)* – характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения. Для предупреждения линейной усадки при создании моделей используют нестандартные метры.

*Ликвация* – неоднородность химического состава по объему.

##### **2. Способность материала к обработке давлением.**

Это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь.

Она контролируется в результате технологических испытаний, проводимых в условиях, максимально приближенных к производственным.

Листовой материал испытывают на перегиб и вытяжку сферической лунки. Проволоку испытывают на перегиб, скручивание, на навивание. Трубы испытывают на раздачу, сплющивание до определенной высоты и изгиб.

Критерием годности материала является отсутствие дефектов после испытания.

##### **3. Свариваемость.**

Это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества. Оценивается по качеству сварного шва.

#### 4. Способность к обработке резанием.

Характеризует способность материала поддаваться обработке различным режущим инструментом. Оценивается по стойкости инструмента и по качеству поверхностного слоя.

### Эксплуатационные свойства

Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

1. *Износостойкость* – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

2. *Коррозионная стойкость* – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.

3. *Жаростойкость* – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.

4. *Жаропрочность* – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.

5. *Хладостойкость* – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.

6. *Антифрикционность* – способность материала прирабатываться к другому материалу.

Эти свойства определяются специальными испытаниями в зависимости от условий работы изделий.

При выборе материала для создания конструкции необходимо полностью учитывать механические, технологические и эксплуатационные свойства.

Примеры технологических проб и их назначение.

*Технологические пробы* - это вид испытаний для выявления способности материалов принимать определённые деформации, аналогичные тем, которые претерпевают при обработке или в условиях эксплуатации.

Рассмотрим некоторые технологические пробы.

*Технологические испытания на изгиб* лент, полос, листов, сортового проката, поковок и отливок применяются для определения способности металла выдержать заданную пластическую деформацию, характеризуемую углом изгиба.

*Проба на осадку* служит для определения способности металла выдержать заданную пластическую деформацию сжатия и для выявления дефектов поверхности изделий.

*Проба на искру* позволяет приближённо судить о химическом составе стали. При обработке сталей на абразивных кругах получается мелкая стружка, которая, сгорая на воздухе, даёт сноп искр, отличающихся по форме и цвету. Углеродистые стали дают белый пучок искр; присутствие в стали вольфрама определяют по красному цвету искр, хрома - по оранжевому.