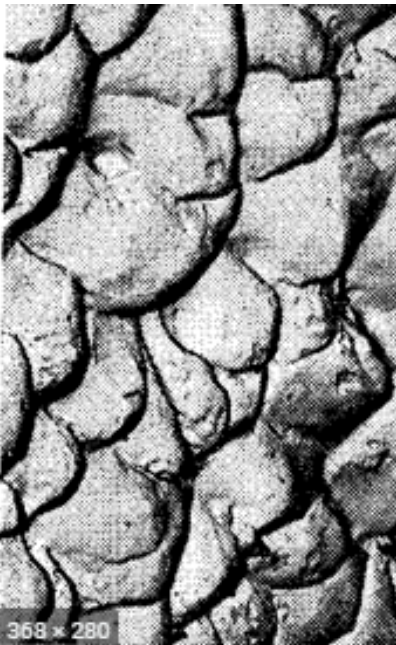


**1. Выносливость** - это способность материала сопротивляться усталостному разрушению при действии повторно-переменных напряжений.

Предел выносливости – напряжение, ниже которого образец может выдержать неограниченное число циклов нагружения.  $\sigma_R$  [МПа],

где  $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$  – коэффициент асимметрии цикла.  $\sigma_{\min}$  – минимальное напряжение цикла,  $\sigma_{\max}$  – максимальное напряжение цикла.

**2. Вязкое разрушение** - путем сдвига под действием касательных напряжений. Ему всегда предшествует значительная пластическая деформация.

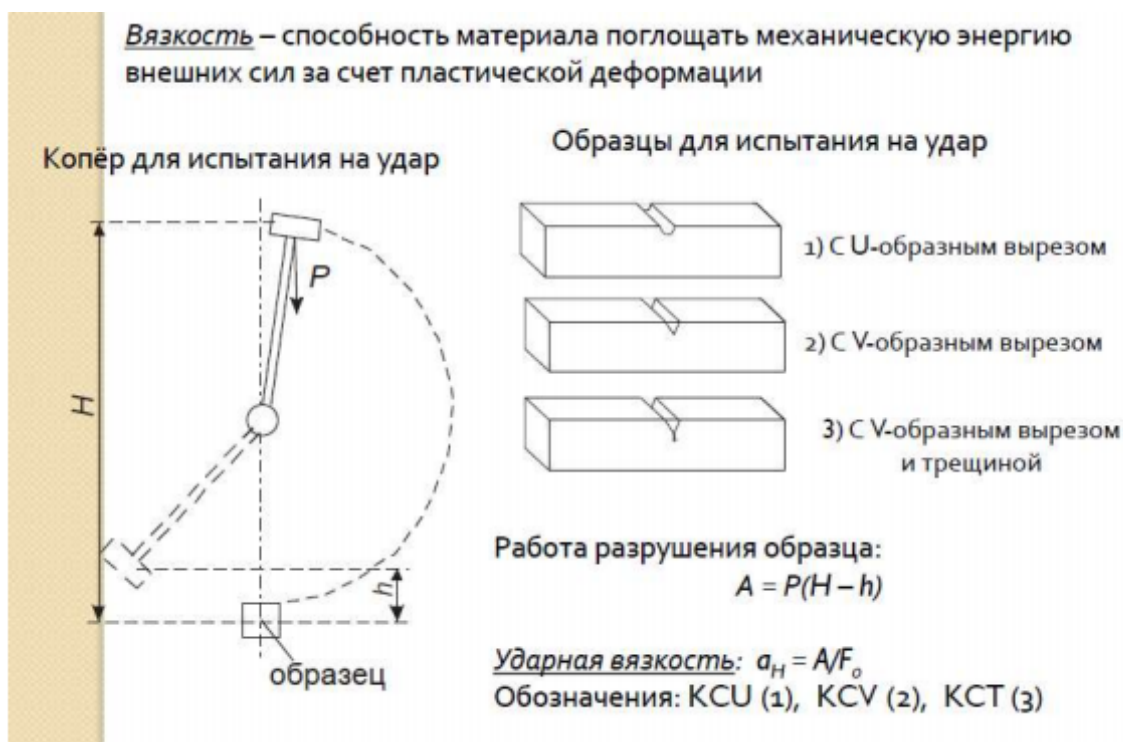


На рис. Вязкий излом (образуются ямки).

**3. Вязкость материалов динамическая** - определяется количеством работы приложенной к образцу для его разрушения. [Дж/м<sup>3</sup>]

В зависимости от характера нагрузки различают: статическую вязкость - при медленном приложении нагрузки, ударную - при быстром (ударном, динамическом) и циклическую - при многократно повторяющемся приложении нагрузки.

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



Параметром KCU оценивают пригодность материала для эксплуатации. В этом случае характеризуются одновременно 2 окручивающих фактора: надрез и ударная нагрузка.  $KCU = KСз + KСр$ ,

где  $KСз$  – энергия зарождения трещины, которая тем меньше, чем острее надрез;

$KСр$  – энергия распространения трещины;

если  $KСр=0$ , то материал хрупок.

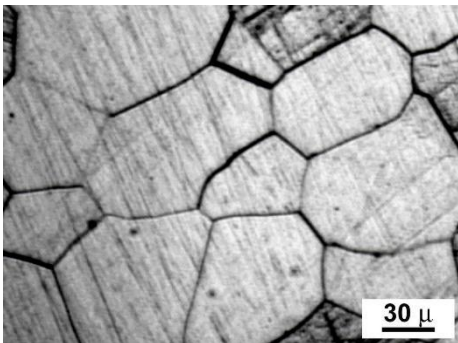
**4. Вязкость материалов статическая** - определяется при испытании металлов на растяжение и характеризуется относительным удлинением, выраженным в процентах длины образца при разрыве к его первоначальной длине. [Дж/м<sup>3</sup>]

В зависимости от характера нагрузки различают: статическую вязкость - при медленном приложении нагрузки, ударную - при быстром (ударном, динамическом) и циклическую - при многократно повторяющемся приложении нагрузки.



**5. Горячеломкость** - склонность металлов и сплавов к хрупкому межкристаллитному разрушению вблизи температуры плавления при наличии жидкой фазы по границам зёрен. Такое разрушение широко распространено при литье и сварке; оно встречается также при горячей обработке давлением, термической обработке и эксплуатации изделий при повышенных температурах.

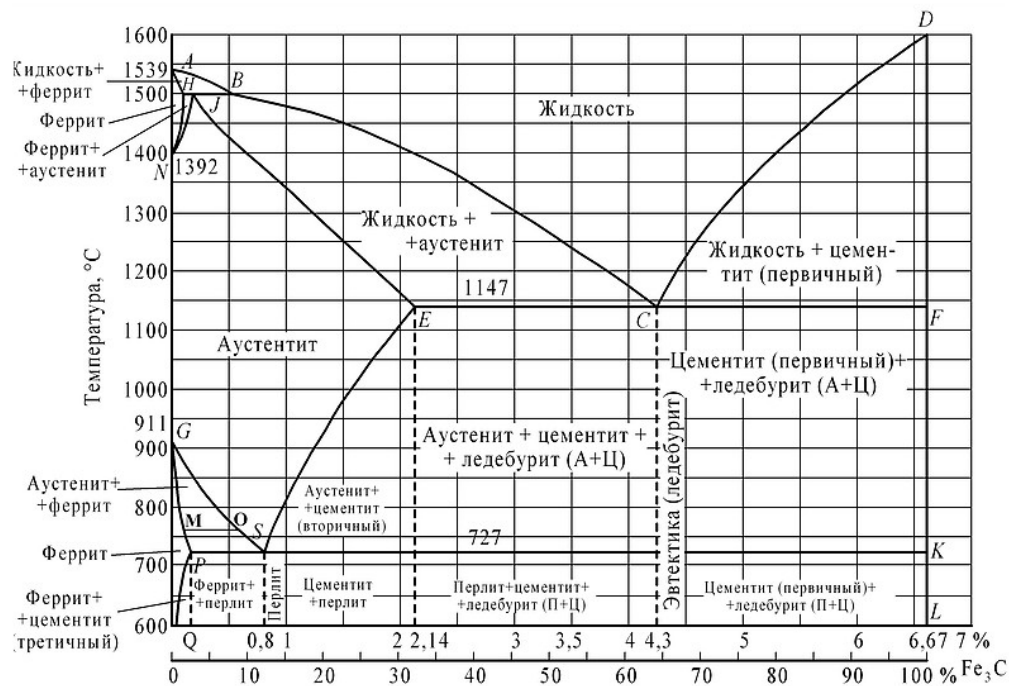
**6. Граница зерна** - поверхность раздела двух зёрен (кристаллитов) в поликристаллическом материале. Межзёренная граница является дефектом кристаллической структуры и имеет тенденцию к понижению электрической проводимости и температуропроводности.



## 7. Диаграмма состояния

Диаграмма состояния (фазовая диаграмма), графическое изображение всех возможных состояний термодинамической системы в пространстве основных параметров состояния - температуры  $T$ , давления  $p$  и состава  $x$  (обычно выражаемого молярными или массовыми долями компонентов). Для сложных систем, состоящих из многих фаз и компонентов, построение диаграмма состояния является единственным методом, позволяющим на практике установить, сколько фаз и какие конкретно фазы образуют систему при данных значениях параметров состояния.

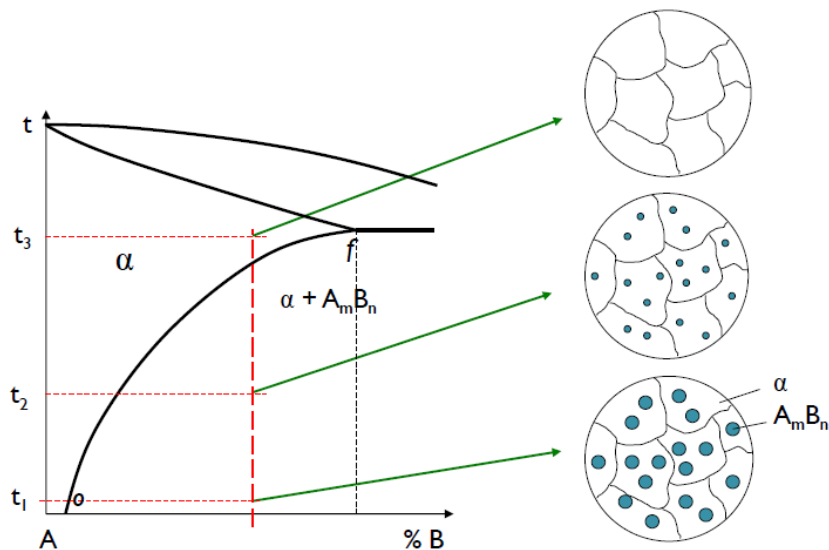
Показывает устойчивые состояния, то есть состояния, которые при данных условиях обладают минимумом свободной энергии, и поэтому ее также называют диаграммой равновесия, так как она показывает, какие при данных условиях существуют равновесные фазы.



## 8. Дисперсионное упрочнение.

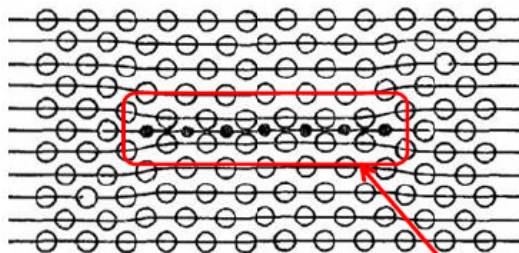
Упрочнение частицами избыточных фаз, выделившихся в результате распада пересыщенного твердого раствора. Определяющими факторами является расстояние между выделившимися частицами. Если расстояние мало (от 15 до 30 нм), то для движения дислокаций требуется значительное напряжение. Линии дислокаций вынуждены изгибаться и продавливаться между частицами, оставляя вокруг них дислокационные петли, что уменьшает расстояние между частицами. Оно возможно при введении в сплав элементов, образующих частицы карбидов, нитридов. Характерен для гетерогенных сплавов, подвергаемых старению и закалке.

## 6.2. Термическая обработка сплавов с переменной растворимостью компонентов



### I стадия – стадия образования зон Гинье-Престона (ГП)

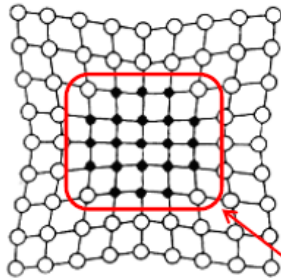
Зоны ГП – скопления атомов пересыщающего компонента (В) в виде дисков, сфер, игл и т.п. размером 20...30Å.



#### Свойства зон ГП:

- вокруг зон ГП решетка твердого раствора **искажена**, что вносит **упрочнение**, т.к. затрудняет перемещение дислокаций;
- упрочнение тем больше, чем больше разница размеров атомов А и В;
- чем сильнее пересыщен раствор, тем больше образуется зон ГП, и тем больше упрочнение.

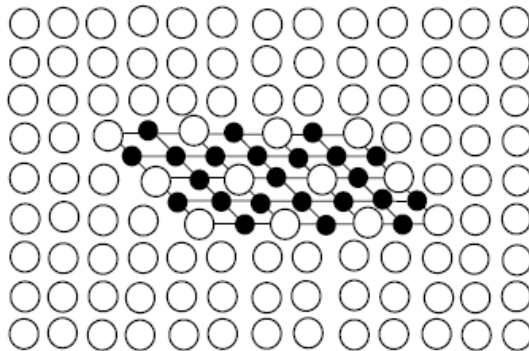
II стадия – образование частиц метастабильной фазы (МФ).  
Размер частиц МФ 50...150 Å.



Свойства частиц метастабильной фазы:

- решетки твердого раствора и частиц МФ **когерентны**;
- вблизи частиц МФ решетка твердого раствора искажена, сплав с такими частицами становится **прочнее**.

III стадия - образование частиц стабильной фазы  $A_mB_n$ .  
Размер частиц 200...500 Å



Свойства частиц стабильной фазы:

- решетки твердого раствора и частиц  $A_mB_n$  **некогерентны**;
- вблизи частиц  $A_mB_n$  решетка твердого раствора не искажена, при образовании таких частиц сплав **разупрочняется** (перестаривание).

**9. Дисперсионное твердение** – это упрочнение сплава без подготовительных процессов за счет выделения из пересыщенного и потому неравновесного твердого раствора большого количества очень мелких (дисперсных) частиц

вторичной фазы, которые эффективно препятствуют скольжению дислокаций и, следовательно, повышают прочность сплава. Дисперсионное твердение возможно в сплавах, представляющих собой твердые растворы с ограниченной растворимостью компонентов, в которых с понижением температуры уменьшается растворимость одного из компонентов, что приводит к выделению вторичной фазы.

## 10. Дисперсное упрочнение

Спеченные порошки

- В связующий компонент которых (матрицу) включены в армирующие элементы в виде специально вводимых частиц.
- Оптимальным образом подобранным распределением включений достигается значительное повышение прочности такого материала по сравнению с материалом матрицы.

**11. Долговечность материалов** - свойство материала сопротивляться развитию постепенного разрушения (постепенного отказа), обеспечивая работоспособность деталей в течение заданного времени (ресурса). Причины потери работоспособности разнообразны: развитие процессов усталости, изнашивания, ползучести, коррозии, радиационного разбухания и др. Обеспечение долговечности материала означает уменьшение до требуемых значений скорости его разрушения. При циклических нагрузках долговечность определяется числом циклов до разрушения

## 12. Жаропрочность

Жаропрочность – это способность металла сопротивляться пластической деформации и разрушению при высоких температурах. Жаропрочные материалы используются для изготовления деталей, работающих при высоких температурах, когда имеет место явление ползучести. Критериями оценки жаропрочности являются *кратковременная и длительная прочности, ползучесть*.

*Кратковременная прочность* определяется с помощью испытаний на растяжение разрывных образцов. Образцы помещают в печь и испытывают при заданной температуре. Обозначают кратковременную прочность:

$$\sigma_B^t = ,$$

Например

$$\sigma_B^{300^\circ\text{C}} = 300 \text{ МПа.}$$

Прочность зависит от продолжительности испытаний.

*Предел длительной прочности* называется максимальное напряжение  $\sigma_{xt}$ , которое вызывает разрушение образца при заданной температуре за

$$\sigma_{300ч}^{9000} = 200 \text{ МПа,}$$

определенное время. Например, , верхний индекс означает температуру испытаний, а нижний – заданную продолжительность испытания в часах.

*Ползучесть* – свойство металла медленно пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки (меньше предела текучести) при постоянной температуре. При испытаниях образцы помещают в печь с заданной температурой и прикладывают постоянную нагрузку. Испытания на ползучесть проводят, как правило, при  $t=(0,4-0,7)$  тпл.

*Предел ползучести* – наибольшее напряжение, под действием которого при температуре  $t$  за время  $T$  остаточная деформация не превышает допустимое значение.

$$\sigma_{\delta/x}^t.$$

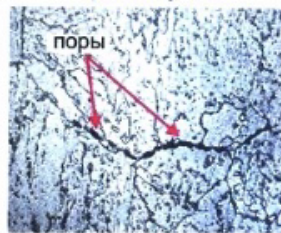
$$\sigma_{1/1000ч}^{900} \text{ МПа,}$$

Например , где верхний индекс – температура испытания в С, первый нижний индекс – заданное суммарное удлинение в процентах, второй – заданная продолжительность испытания в часах.



- 0a - деформация в момент приложения нагрузки;
- ab - стадия *неустановившейся ползучести*;
- bc - стадия *установившейся ползучести*;
- cd - стадия *ускоренной ползучести*.

Повреждаемость стали 15Х1М1Ф при ползучести



x800

Разрушение при ползучести начинается с появления пор или клиновидных трещин на границах зерен. Они растут и объединяются, образуя макротрещины.

Скорость ползучести:

$$V_{\text{пол}} = \frac{d\varepsilon}{d\tau} = \text{tg}\alpha$$

- $\varepsilon$  — деформация (ось ординат);
- $\tau$  — время (ось абсцисс);
- $\alpha$  — угол наклона кривой

Традиционно для определения ползучести строят кривые ползучести



**13. Жаростойкость** (окалиностойкость) **материалов** характеризует сопротивление металла окислению при высоких температурах.

Показатели: У металлов нагрев сопровождается образованием на поверхности оксидного слоя(окалины). Количественными характеристиками жаростойкости являются:

- увеличение массы испытуемого образца за счёт поглощения металлом кислорода;
- уменьшение массы после удаления окалины с поверхности образца.

Повышение жаростойкости достигается главным образом введением в сталь хрома, а также алюминия и кремния, то есть элементов, находящихся в твёрдом растворе и образующих в процессе нагрева защитные плёнки оксидов.

#### ГОСТ 6130—71 «Металлы. Методы определения жаростойкости»

Привес (убыль массы)

$$P = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \cdot 100\%;$$

где  $i = 50, 100, 150$  ч и т. д. (при  $1150^\circ \text{C}$ );

$P_0$  — исходный вес образца,

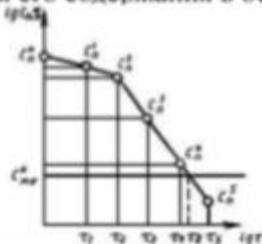
$P_1$  — вес образца после испытаний

#### Измерение глубины коррозии

- определяют толщину образца с покрытием до испытаний и сравнивают с толщиной после испытаний;
- измеряют изменение толщины нанесенного покрытия

#### Определение времени до разрушения покрытия

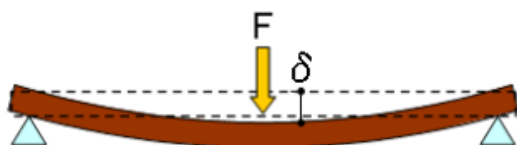
Покрытие считают исчерпавшим свои защитные свойства, если содержание в нем основного по коррозионной стойкости элемента в результате испытаний или их экстраполяции достигает уровня его содержания в основном металле



**14. Жесткость материалов** — критерий жесткости характеризует сопротивление материала упругой деформации

Оценивать жесткость принято коэффициентом жесткости ( $k$ ) — отношением усилия (силы), прилагаемого к конструкции, к максимальной деформации, вызванные этой силой.

Коэффициент жесткости  $k$  тела является мерой сопротивления упругого тела деформации. Для упругого тела при нагрузке (например, растяжение или сжатие стержня вызванные приложенной силой), жесткость определяется, как  $k = F / \delta$ , где  $F$  — сила, приложенная к телу;  $\delta$  — деформация, вызванная силой  $F$  вдоль направления действия силы (например, изменение длины растянутой пружины или прогиб балки).



Единицы измерения коэффициента механической жесткости - Н/м.

**15. Закаливаемость материалов** — способность стали получать высокую твердость при закалке, что обеспечивается получением структуры мартенсита. Закаливаемость измеряется в единицах твердости и зависит, главным образом, от содержания углерода (рис. 1). Твердость мартенсита зависит от содержания в нем углерода. Твердость закаленной стали увеличивается пропорционально содержанию в ней углерода, но, начиная с 0,7 % С, твердость закаленной стали остается постоянной (HRC 63 — 65). Это объясняется тем, что закалка всех заэвтектоидных сталей производится с одной температуры (780°C), а поэтому у всех заэвтектоидных сталей состав аустенита при температуре закалки и состав мартенсита после закалки будет одинаков. У заэвтектоидных сталей с увеличением содержания углерода увеличивается количество вторичного цементита после закалки, что должно бы способствовать повышению твердости, но одновременно с этим увеличивается количество остаточного аустенита после закалки, а это ведет к снижению твердости. Поэтому твердость всех закаленных заэвтектоидных сталей практически остается постоянной.

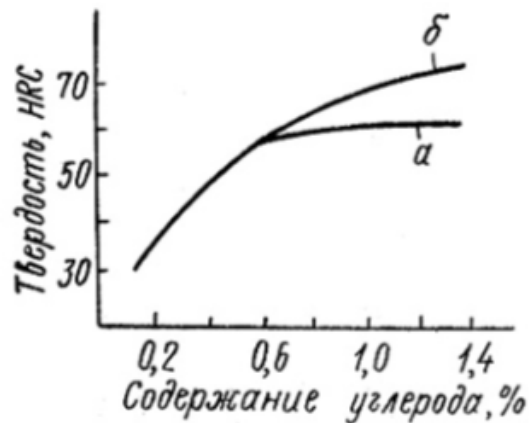


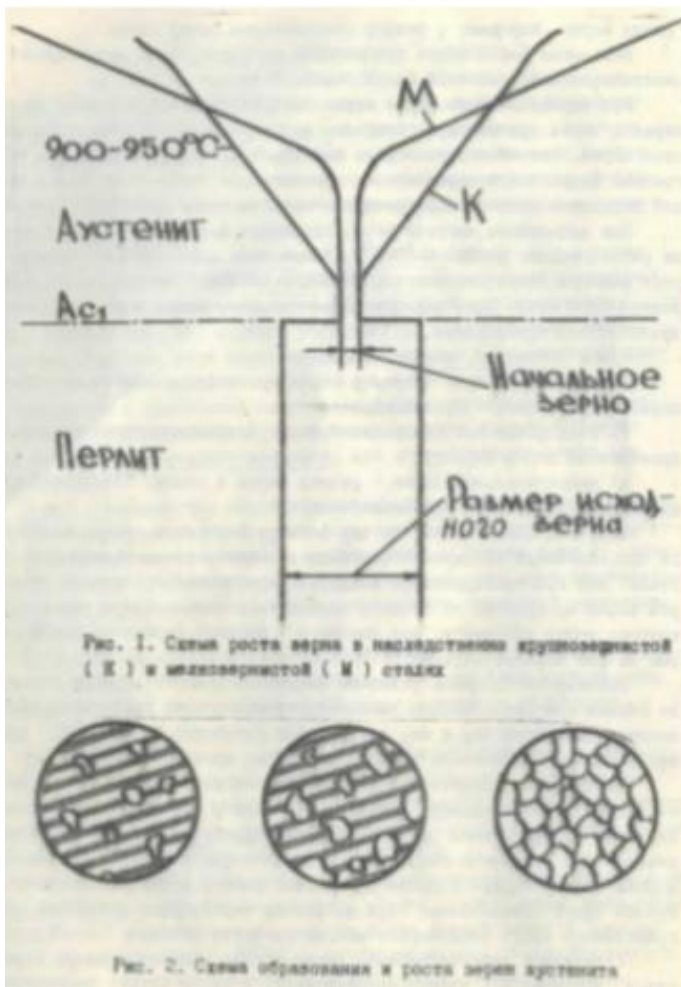
Рис. 1. Влияние содержания углерода на закаливаемость стали:

*а*— твердость закаленной стали; *б*— твердость мартенсита

**16. Зерно** - минимальный объём кристалла, окружённый высокодефектными высокоугловыми границами, в поликристаллическом материале.

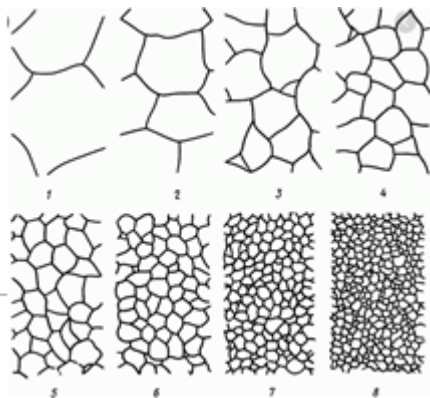
По окончании превращения перлита в аустенит образуется большое количество малых аустенитных зерен. Размер этих зерен характеризует так называемую величину начального зерна аустенита.

Различают два типа сталей: наследственно мелкозернистую и наследственно крупнозернистую; первая характеризуется малой склонностью к росту зерна, а вторая – повышенной склонностью. Под наследственной зернистостью подразумевают склонность аустенитного зерна к росту.



Размер зерна, полученный в стали в результате той или иной ТО, - это так называемое действительное зерно.

Для обычных сортов конструкционной стали – это температура 930°C. Стали, у которых при этой температуре номер зерна 1 – 4, принято считать наследственно крупнозернистой, а стали с номером зерна 5 – 8 – наследственно мелкозернистые.



**17. Изнашивание (износ) материалов**, под которым понимают процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличения его

остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела (ГОСТ 27674—88).

Изнашивание происходит в результате механического, коррозионно-механического, эрозионного, кавитационного и усталостного воздействия.

При постоянных условиях трения имеют место три стадии изнашивания (рис. 1): 1 — период приработки, при котором происходит интенсивное изнашивание, изменяется микрогеометрия поверхности и материал наклёпывается; эти процессы обеспечивают упругое контактное взаимодействие тел; после приработки устанавливается равновесная шероховатость поверхности, характерная для заданных условий трения, которая в дальнейшем не изменяется и непрерывно воспроизводится; 2 — период установившегося износа, в течение которого интенсивность износа минимальная для заданных условий трения; 3 — период катастрофического износа.

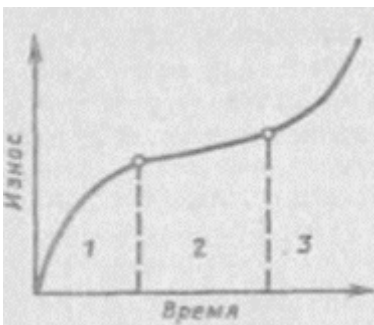


Рис.1. Кривая износа

Износ деталей машин зависит от:

- условий трения
- свойств материалов
- конструкции

### **18. Износостойкость материалов.**

В соответствии с ГОСТ 27674-88 износостойкость — это свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определённых условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания.

На скорость изнашивания деталей основное влияние оказывает удельное давление  $P$  и скорость относительного скольжения  $v$ . Эта зависимость может быть выражена формулой

$$I_1 = k \cdot p^m \cdot v^n,$$

где  $k$  - коэффициент, характеризующий влияние материала детали и качества поверхности;  $m$  и  $n$  - постоянные, характеризующие вид смазки, качество смазочных слоев.

Для абразивного изнашивания М. М. Хрущевым установлено, что  $m=n=1$  и формула примет вид

$$I_t = k \cdot p \cdot v.$$

При пластическом контакте скорость изнашивания поверхности связана с физико-механическими свойствами материала трущихся поверхностей и может быть определена по формуле

$$I_t = \frac{\left( \frac{\sigma_m + 2\tau}{\sigma_m - 2\tau} \right)^{\frac{t}{2}}}{\delta(HB)^{\frac{t+1}{2v}}}.$$

Анализируя формулу можно сделать вывод, что скорость изнашивания зависит от пластичности материала ( $G_t$  и  $\tau$ ), фрикционных свойств ( $G_t$  и  $\tau$ ), твердости HB и разрывного удлинения  $\delta$ ;  $t$  - коэффициент усталости (принимается 2 ... 3).

При упругом контакте скорость изнашивания для гладких металлических поверхностей приближенно определяется по зависимости

$$I_t = \frac{0,6 \cdot P_n}{n \cdot E}, \quad (62)$$

где  $E$  - модуль упругости.

Одной из важнейших характеристик металлов и сплавов, влияющих на скорость почти всех видов изнашивания, является твердость. С увеличением твердости износостойкость материала повышается (рис. 12), хотя и прямой зависимости не имеется. Повышенная износостойкость объясняется тем, что твердые материалы оказывают большие сопротивления проникновению в них продуктов износа. Кроме того, они меньше деформируются.

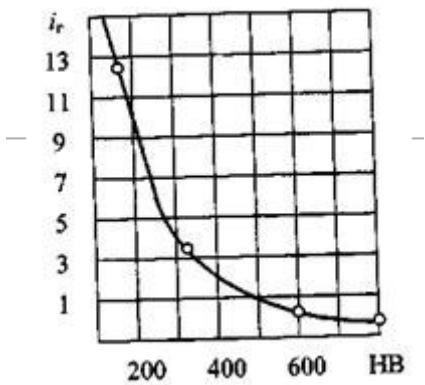


Рисунок 12 – Износостойкость углеродистых сталей при трении скольжения. Повышенная шероховатость поверхности снижает интенсивность изнашивания. Однако следует заметить, что определенным условиям работы должна соответствовать своя, оптимальная чистота поверхности (рис. 15).

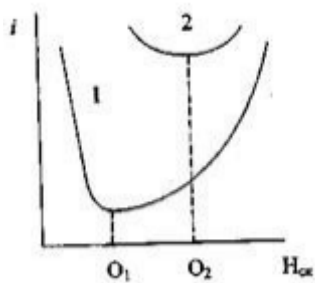


Рисунок 15 - Схема зависимости износа от микронеровности поверхности. Точки  $O_1$  и  $O_2$  характеризуют оптимальную чистоту поверхности, при которой износ деталей в легких и тяжелых условиях работы является минимальным.

**19. Конструкционные материалы**- предназначены для изготовления деталей машин, приборов, инженерных конструкций, подвергающихся механическим нагрузкам. Конструкционная прочность имеет комплекс механических свойств, таких как прочность, жесткость, надежность и долговечность, обеспечивающих надежную и длительную работу материалов условиях эксплуатации

**20. Когерентность** - У старой и новой фаз в течение некоторого времени имеются общие плоскости. Такая связь решеток называется когерентной

СВЯЗЬЮ.

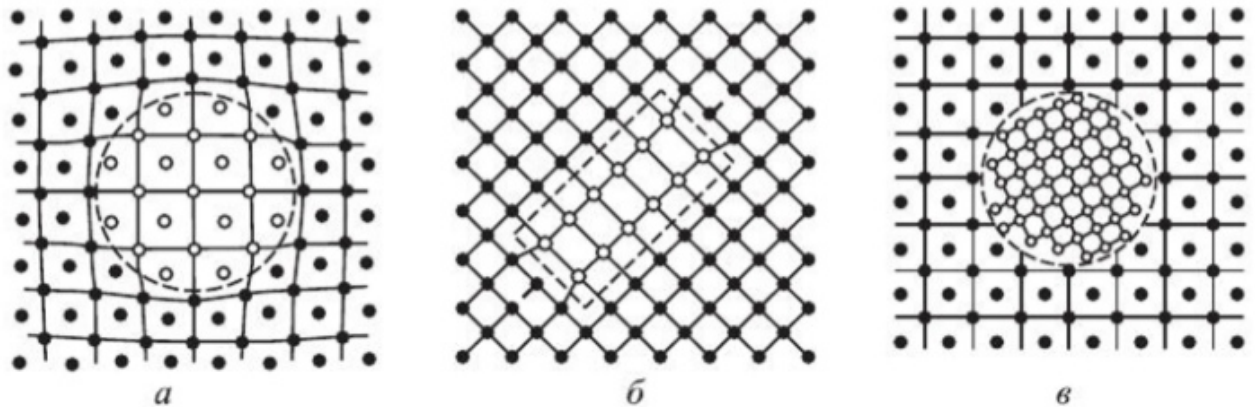


Рис. 1 а) когерентная решетка, б) частично когерентная решетка, в) некогерентная решетка

**21. Конструкционная прочность**- комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную и длительную работу материалов условиях эксплуатации.

**22. Коррозионная стойкость** — способность материалов сопротивляться коррозии, определяющаяся скоростью коррозии в данных условиях. Для оценки скорости коррозии используются как качественные, так и количественные характеристики. Изменение внешнего вида поверхности металла, изменение его микроструктуры являются примерами качественной оценки скорости коррозии. Для количественной оценки можно использовать:

- время, истекшее до появления первого коррозионного очага;
- число коррозионных очагов, образовавшихся за определённый промежуток времени;
- уменьшение толщины материала в единицу времени;
- изменение массы металла на единице поверхности в единицу времени;
- объём газа, выделившегося (или поглощённого) в ходе коррозии единицы поверхности за единицу времени;
- плотность тока, соответствующая скорости данного коррозионного процесса;
- изменение какого-либо свойства за определённое время коррозии.

**23. Красноломкость**- свойство стали давать трещины при горячей обработке давлением (ковка, штамповка, прокатка) в области температур 850—1150°C. Под красноломкостью понимают появление на поверхности трещин, которые связаны с наличием легкоплавкой эвтектики Fe — FeO — FeS, располагающейся по границам зерен.



Красноломкость проявляется преимущественно в сталях с низким содержанием марганца и углерода.

**24. Критерий Джорджа Ирвина:** Оценку надежности высокопрочных материалов по размеру допустимого дефекта проводят по критерию Дж. Ирвина. Критерий  $K$ - коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещин. Он определяет растягивающие напряжения  $\sigma_y$  в любой точке впереди вершины трещины:

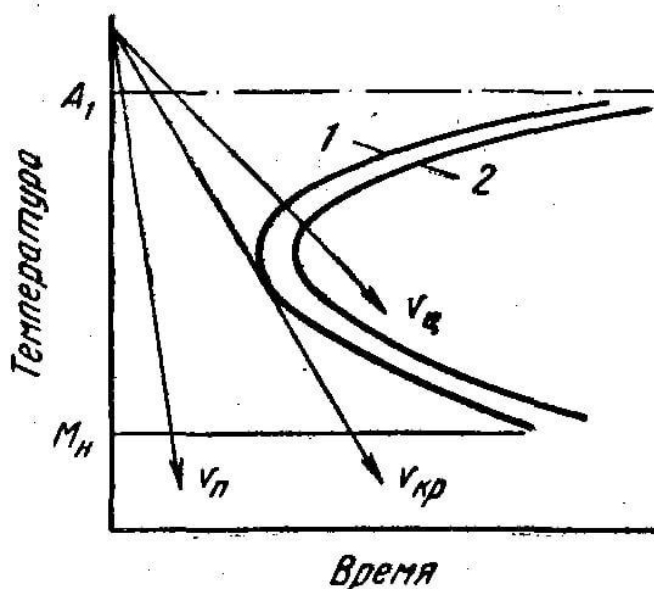
$$\sigma_y = K \sqrt{2\pi x}$$

**25. Критическая скорость закалки** - минимальная скорость охлаждения стали из высокотемпературного состояния, необходимая для подавления диффузионного распада аустенита при температуре его минимальной устойчивости и с образованием феррито-цементитной смеси и обеспечения возможности переохлаждения аустенита до  $M_n$  и превращения его в мартенсит. Величина критической скорости закалки уменьшается с увеличением содержания легирующих элементов.

Зависит от температурного режима и охлаждающей среды.

Обозначение:  $V_{кр}$

Измеряется в  $K/c$



**26. Легирование** — добавление в состав материалов, примесей для изменения (улучшения) физических и/или химических свойств основного материала.

Легирование может быть объемным и поверхностным. Объемное легирование предусматривает введение добавок в весь объем

металла. Поверхностное же легирование – введение легирующих добавок только в верхний (поверхностный) слой. Существует много технологий легирования, как поверхностного, так и объемного. Поверхностное обогащение предусматривает проникновение легирующего элемента в слой, глубиной около одного – двух миллиметров.

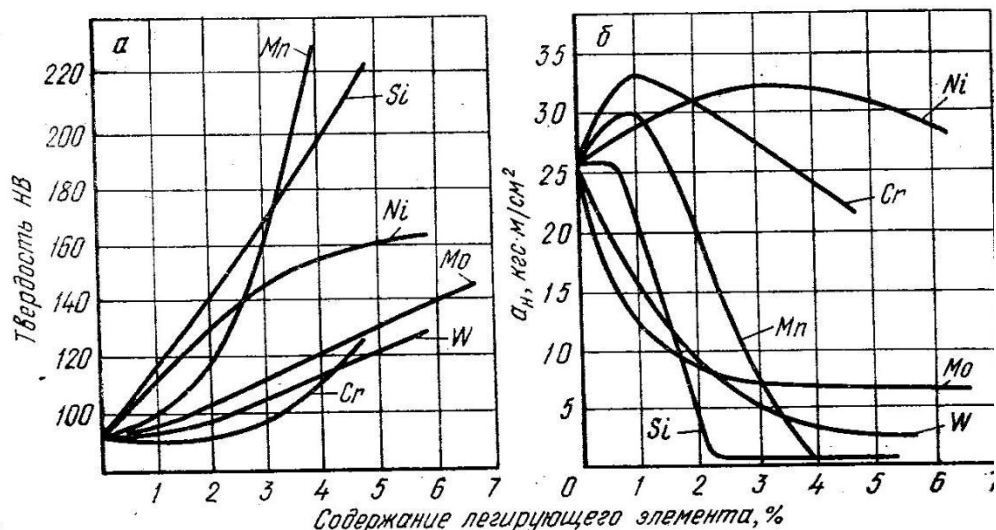
Обозначение сталей (маркировка) состоит из сочетания цифр и букв. Буквы показывают, какой химический элемент входит в состав данной марки стали. Цифры же – определяют его количество. Легирующим элементам принято присваивать определенную букву из русского алфавита. Вот обозначения некоторых из них:

Х – Cr (хром);  
Ф – W (вольфрам);  
Н – Ni (никель);  
Г – Mn (марганец);  
С – Si (кремний);  
М – Mo (молибден);  
А – N (азот);  
Д – Cu (медь);  
Ю – Al (алюминий);  
Т – Ti (титан);  
Б – Nb (ниобий).

За каждым буквенным обозначением химического элемента, который используется для легирования стали, следует цифровое значение, которое указывает концентрацию данной легирующей присадки. Число, которое стоит с самого начала, дает нам информацию о том, сколько углерода содержит данная марка стали (в сотых долях масс. %).

Такая номенклатура позволяет быстро определять состав стали только по ее названию (марке).

В зависимости от того, сколько содержится в стали легирующих элементов, ее классифицируют на: высоколегированную сталь (больше 10%), среднелегированную сталь (2,5 – 10% легирующих элементов), низколегированную (до 2,5 %).

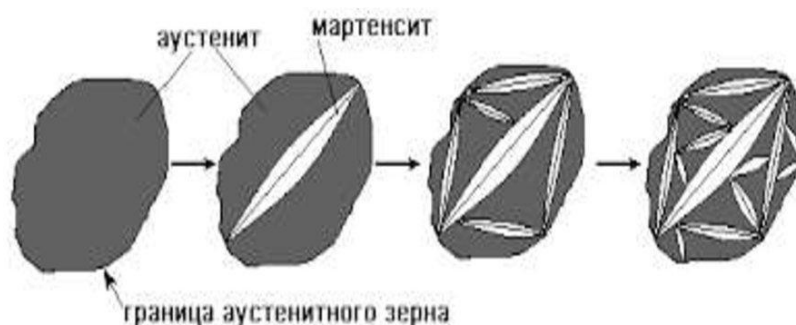


**27. Мартенсит-пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе.** Мартенсит имеет тетрагональную кристаллическую решетку. Особенностью мартенситного превращения является его бездиффузионный характер.

Мартенситное превращение осуществляется путем сдвига и не сопровождается изменением состава твердого раствора. Отдельные атомы смещаются относительно друг друга на расстояния, не превышающие межатомные, сохраняя взаимное соседство. В процессе роста мартенситного кристалла вследствие разности удельных объемов аустенита и мартенсита увеличиваются упругие напряжения, что приводит к пластической деформации и образованию межфазной границы с неупорядоченным расположением атомов. Диффузионный переход атомов из кристаллов аустенита в мартенсит при низких температурах невозможен. При переохлаждении до температуры, соответствующей точке Мн, аустенит начинает превращаться в мартенсит.

Характерной особенностью мартенсита являются его высокая твердость и прочность. Твердость мартенсита возрастает с увеличением в нем содержания углерода. В стали с 0,6...0,7 % C твердость мартенсита составляет 65 HRC, что во много раз больше твердости феррита, а временное сопротивление достигает 2600...2700 МПа.

Схема мартенситного превращения



**28. Материаловедение** - раздел науки, изучающий изменения свойств материалов как в твёрдом, так и в жидком состоянии в зависимости от некоторых факторов. К изучаемым свойствам относятся: структура веществ, электронные, термические, химические, магнитные, оптические свойства этих веществ.

**29. Межкристаллическая коррозия** - вид коррозии, при котором разрушение металла происходит преимущественно вдоль границ зерен (кристаллов). Межкристаллитной коррозии подвержены многие сплавы на основе железа (в том числе ферритные, аустенитные, аустенитно-ферритные и другие стали), а также никелевые, алюминиевые и другие сплавы, имеющие, как правило, неоднородную структуру. В нержавеющей стали часто встречается высокое (более 12%) содержание хрома, который в обычных условиях формирует на поверхности стали пассивирующий слой (оксидную пленку), защищающий её от коррозии.

На протекание межкристаллитной коррозии при воздействии сильных окислителей большое влияние оказывает не один, а несколько факторов одновременно (интенсивное растворение избыточных фаз, неустойчивых в данной среде; влияние хромат-ионов; избирательное растворение границ зерна, обедненных хромом; избирательное растворение мест концентрации примесей; т.д.).

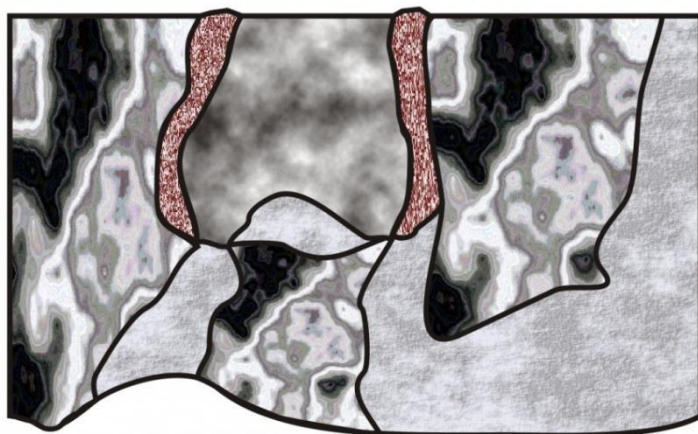
На склонность к карбидообразованию очень сильно влияет легирование нержавеющей стали. V, W, Mo, Mn, Nb снижают активность углерода, предотвращая возможность возникновения межкристаллитной коррозии. Si, Co, Ni – напротив, увеличивают активность атомов углерода, усиливая МКК.

Факторы межкристаллитной коррозии (МКК):

- 1) Состав сплава;
- 2) Температура и время выдержки при повышенных температурах;

3) Среда.

Межкристаллитное разрушение может иметь различную скорость. Она зависит от того, каким конкретно потенциалом располагает металл. Обычно ускорение протекания МКК фиксируется при более указанных величинах: 0,35 В (потенциал так называемого активно-пассивного перемещения); от 1,15 до 1,25 В (транспассивная зона).



Межкристаллитная коррозия

**30. Metallurgical methods of increasing structural strength** - methods, increasing the purity of Me, ensuring the removal of harmful impurities (S, P, O, H, N, oxides, sulfides). There are several methods of metal purification.

1. Перегонка в вакууме. Этот метод основан на различии летучести металла и имеющихся в нем примесей.
2. Термическое разложение летучих соединений металлов. В основе данного способа лежат химические реакции, в которых металл с тем или иным реагентом образует газообразные продукты, разлагающиеся затем с выделением высокочистого металла. Рассмотрим принцип данного способа на примере карбонильного и йодидного методов.

А) Карбонильный метод. Этот метод применяется для получения высоко чистых никеля и железа. Подлежащий очистке технический металл нагревают при данном методе в присутствии оксида углерода (II):  $Ni + 4CO = Ni(CO)_4$ ,  $Fe + 5CO = Fe(CO)_5$

Полученные летучие карбонилы  $Ni(CO)_4$  (температура кипения 43 °С)

или  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  (температура кипения  $105\text{ }^\circ\text{C}$ ) перегоняют для очистки от примесей. Затем карбонилы разлагают при температуре выше  $180\text{ }^\circ\text{C}$ , в результате образуются чистые металлы

Б) Йодидный метод. При данном методе очищаемый металл, например титан, нагревают вместе с йодом до температуры  $900\text{ }^\circ\text{C}$ :  $\text{Ti} + 2\text{I}_2 = \text{TiI}_4$

Затем при данной T Ti диссоциирует  $\text{TiI}_4 = \text{Ti} + 2\text{I}_2$

Чистый титан осаждается на проволоке, а йод снова возвращается в процесс очистки титана. Этим методом получают также чистый цирконий, хром и другие тугоплавкие металлы.

3. Зонная плавка. Замечательным методом очистки является так называемая зонная плавка. Зонная плавка заключается в медленном протягивании слитка очищаемого металла через кольцевую печь. Зонной плавке подвергаются металлы, прошедшие предварительную очистку до концентрации примесей приблизительно 1 %. Метод основан на различии со держании примесей в твердом и расплавленном металле. Процесс проводят путем медленного перемещения вдоль твердого удлиненного образца (слитка) узкой расплавленной зоны, создаваемой специальным нагревателем (кольцевая печь).

4. электрохимический метод очистки металлов (рафинирование металлов)

Разделение металлов под действием электролиза возможно вследствие различия электрохимических потенциалов примесей и основного металла.

**31. Механические свойства** – характеризуют способность сопротивляться деформации и разрушению. Основными механическими свойствами являются прочность, упругость, вязкость, твердость, пластичность.

1) Прочность — способность металла сопротивляться разрушению при действии на него нагрузки. В настоящее время при расчёте на прочность используют как расчёт по допускаемым напряжениям, так и расчёт по допускаемому числу циклов нагружения. Основные неравенства расчёта по допускаемым напряжениям:

$$\sigma_{max} \leq [\sigma], \quad \tau_{max} \leq [\tau],$$

где

- $\sigma_{max}$  и  $\tau_{max}$  — наибольшие расчётные нормальное и касательное напряжения, соответственно;
- $[\sigma]$  и  $[\tau]$  — допускаемые нормальное и касательное напряжения, безопасные для прочности детали.

Единицы измерения – Мпа.

2)Твёрдость — способность металла сопротивляться внедрению в его поверхность другого более твёрдого тела.

Твёрдость определяется как отношение величины нагрузки к площади поверхности, площади проекции или объёму отпечатка. Различают поверхностную, проекционную и объёмную твёрдость:

- поверхностная твёрдость — отношение нагрузки к площади поверхности отпечатка;
- проекционная твёрдость — отношение нагрузки к площади проекции отпечатка;
- объёмная твёрдость — отношение нагрузки к объёму отпечатка.

Методы измерения твердости:

- Метод Бринелля
- Метод Виккерса
- Метод Роквелла
- Методы Шора

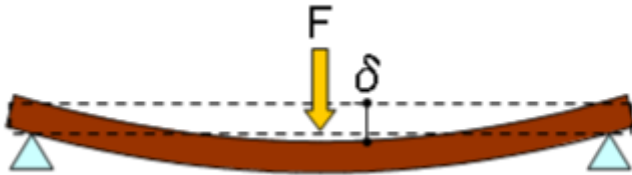
3)Жесткость — способность твёрдого тела, конструкции или её элементов сопротивляться деформации от приложенного усилия.

Оценивать жесткость принято коэффициентом жесткости ( $k$ ) — отношением усилия (силы), прилагаемого к конструкции, к максимальной деформации, вызванные этой силой.

Коэффициент жесткости  $k$  тела является мерой сопротивления упругого тела деформации. Для упругого тела при нагрузке (например, растяжение или сжатие стержня вызванные приложенной силой), жесткость определяется, как

$$k = \frac{F}{\delta},$$

где  $F$  — сила, приложенная к телу;  $\delta$  — деформация, вызванная силой  $F$  вдоль направления действия силы (например, изменение длины растянутой пружины или прогиб балки).



Единицы измерения коэффициента механической жесткости - Н/м.

4) Пластичность — способность металла изменять форму и размеры под действием внешней нагрузки и сохранять новую форму и размеры после прекращения действия сил (свойство, обратное упругости). Мерой пластичности являются относительное удлинение и относительное сужение, определяемые при проведении испытаний на растяжение. Чем больше, тем более пластичным считается материал. Единицы измерения – Мпа.

5) Вязкость — способность материала поглощать механическую энергию внешних сил за счет пластической деформации. Сила вязкого трения  $F$ , действующая на жидкость, пропорциональна (в простейшем случае сдвигового течения вдоль плоской стенки) скорости относительного движения  $V$  тел и площади  $S$  и обратно пропорциональна расстоянию между плоскостями  $h$ :

$$\vec{F} \propto - \frac{\vec{v} \cdot S}{h}$$

Коэффициент пропорциональности, зависящий от природы жидкости или газа, называют коэффициентом динамической вязкости. Различают динамическую вязкость (единица измерения в СИ — Па·с) и кинематическую вязкость (единица измерения в СИ — м<sup>2</sup>/с). Прибор для измерения вязкости называется вискозиметром.

**32. Надежность** - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Для количественной оценки надёжности используют так называемые единичные показатели надёжности (характеризуют только одно свойство надёжности) и комплексные показатели надёжности (характеризуют несколько свойств надёжности в определённом интервале времени). Показатели надёжности количественно характеризуют, в какой степени данному объекту присущи определённые свойства, обуславливающие надёжность.

Единичные показатели надёжности:



- Показатели безотказности
- Показатели долговечности
- Показатели ремонтпригодности
- Показатели сохраняемости

Комплексные показатели надежности:

- Коэффициент готовности ( $K_g$ )
- Коэффициент технического использования ( $K_{ти}$ )
- Коэффициент сохранения эффективности ( $K_{эф}$ )

### **33. Обрабатываемость** - способность подвергаться обработке.

Обрабатываемость материалов резанием - это способность материалов поддаваться обработке резанием или, иначе, комплекс свойств материалов, обеспечивающих (при их обработке резанием) достижение следующих технологических показателей:

1. скорости резания  $v_T$  при заданной стойкости
2. качества обработанной поверхности (шероховатость, наклеп, остаточные напряжения)
3. силы резания и потребляемой мощности
4. формы стружки, ее транспортабельности и т.д.

Обрабатываемые материалы подразделяют на шесть основных групп (в соответствии со стандартом ISO):

- P (стали)
- M (нержавеющие стали)
- K (чугун)
- N (алюминий)
- S (жаропрочные сплавы)
- H (материалы высокой твердости)

В соответствии с принадлежностью к той или иной группе осуществляется выбор режущего инструмента, марки сплава и режимов резания.

Обрабатываемость зависит: от химического состава обрабатываемого материала; его механических и теплофизических свойств; вида обработки резанием; конструкции инструмента и инструментального материала; режима резания и др.

$$K_{об} = \frac{V_{60}^A}{V_{60}^B},$$

Где  $V_{60}^A$  - скорость резания при  $T = 60$  мин, характеризующая обрабатываемость исследуемого материала А;  $V_{60}^B$  - скорость резания при  $T = 60$  мин, характеризующая обрабатываемость эталонного материала Б. За

эталон обычно принимают сталь 45 ( $\sigma_v = 650$  МПа, 180 НВ), и поэтому для нее коэффициент обрабатываемости  $K_{об} = 1$ .

Чем выше значение коэффициента обрабатываемости  $K_{об}$ , тем лучше обрабатываемость материала.

**34. Ползучесть** – процесс медленного и непрерывного нарастания остаточной деформации при постоянной температуре и постоянном напряжении, меньшем предела текучести.

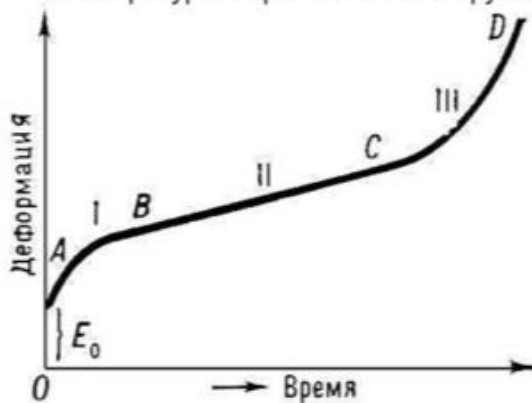
## Ползучесть

Явление непрерывной деформации под действием постоянного напряжения называется **ползучестью**.

Различают три основных вида ползучести:

- низкотемпературную  $T < 0,5 \cdot T_{плав}$
- высокотемпературную  $T > 0,5 \cdot T_{плав}$
- диффузионную: зернограничную ( $T >> 0,5 \cdot T_{плав}$ ) и внутризеренную ( $T > 0,7 \cdot T_{плав}$ ).

Ползучесть описывается так называемой **кривой ползучести**, которая представляет собой зависимость деформации от времени при постоянных температуре и приложенной нагрузке (или напряжении).



AB – участок неустановившейся (или затухающей) ползучести (**стадия I**),  
BC – участок установившейся ползучести – деформации, идущей с постоянной скоростью (**стадия II**),  
CD – участок ускоренной ползучести (**стадия III**),  
 $E_0$  – деформация в момент приложения нагрузки,  
точка D – момент разрушения.

56

Скорость ползучести:  $V_{пол} = de/dt = \operatorname{tg} \alpha$

$e$ -деформация  $t$ -время  $\alpha$ -угол наклона кривой

**Предел ползучести** – наибольшее напряжение, под действием которого при температуре  $T$ , за время  $t$  остаточная деформация не превышает допустимое значение.

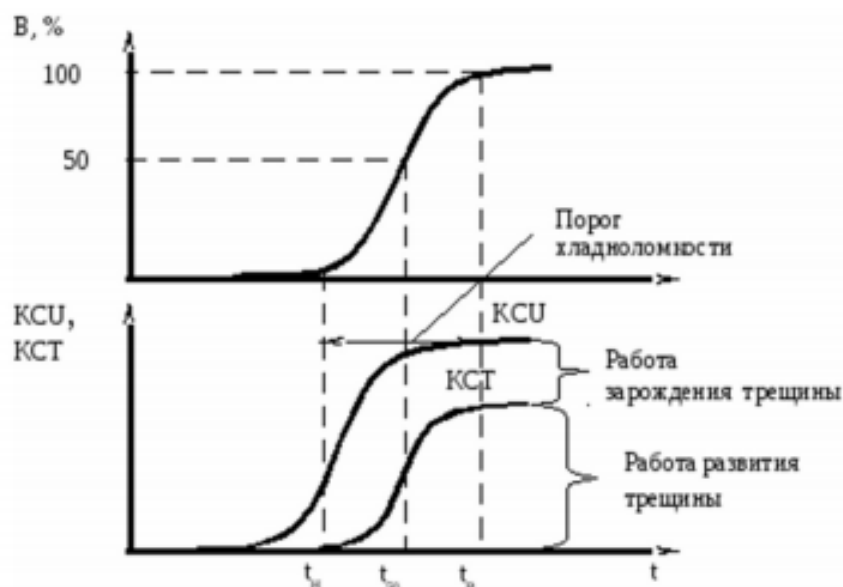
**35. Порог хладноломкости** – температурный интервал изменения характера разрушения.  $t_{50}$  – температура, при которой в изломе образца имеется 50% волокнистой составляющей. Чем ниже порог хладноломкости, тем менее чувствителен металл к концентраторам напряжений, к скорости деформации.

Охрупчивающие факторы:

- Концентраторы напряжений (дефекты)
- Характер нагрузки
- Температура

Хладноломкость материалов оценивается температурой, при которой КСУ должна быть  $\geq 0,3$  МДж/м<sup>2</sup>. Хладноломкость – склонность металла к переходу в хрупкое состояние с понижением температуры.

Материалы, обладающие высоким порогом хладноломкости, категорически запрещается использовать при динамических нагрузках в условиях с пониженными температурами.



**36. Пластичность** - свойство материала сохранять деформированное состояние после снятия нагрузки, т.е. получать остаточной деформации без разрушения. Мерой пластичности материала служит относительное остаточное удлинение при разрыве. Перед разрушением в образце в месте разрыва образуется "шейка", поперечное сечение образца уменьшается, и в зоне шейки развиваются большие местные пластические деформации.

Мерой пластичности являются относительное удлинение и относительное сужение, определяемые при проведении испытаний на растяжение. Чем больше, тем более пластичным считается материал. У пластичных материалов прочностные характеристики на растяжение и сжатие сопоставляют по пределу текучести. Принято считать, что  $\sigma_{тр} \approx \sigma_{сж}$ . Очень большое влияние на проявление свойств пластичности и хрупкости оказывают скорость натяжения и температура. При быстром натяжении более резко проявляется свойство хрупкости, а при медленном — свойство пластичности.

Относительное удлинение после разлома

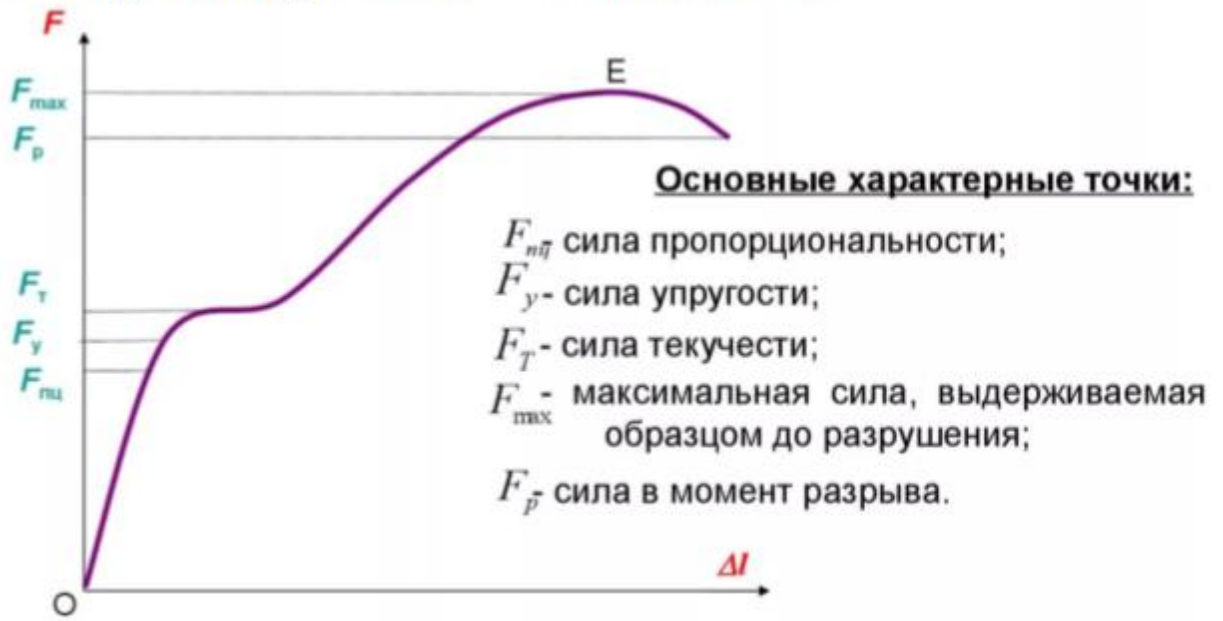
$$\delta = \frac{\ell_k - \ell_0}{\ell_0} \cdot 100\%$$

Относительное сужение после разлома

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\%$$

$\Psi$  – локальная характеристика пластичности

Измеряется в %



Единицы измерения – Мпа.

### 37. Плотность дислокаций

**Плотность дислокаций** – это среднее число линий дислокаций, пересекающих внутри тела площадку площадью  $1 \text{ м}^2$ , или как суммарная длина линий дислокаций в объеме  $1 \text{ м}^3$ . Плотность дислокации в значительной мере определяет пластичность и прочность материала.

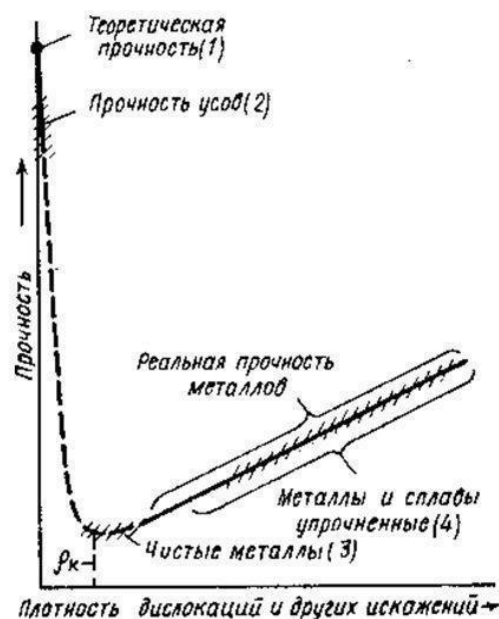
$$\rho = \frac{\sum l}{V} \quad (\text{см}^{-2}, \text{м}^{-2})$$

Минимальная прочность определяется критической плотностью дислокаций.

$$\rho = 10^5 \dots 10^7 \quad (\text{см}^{-2}, \text{м}^{-2})$$

Плотность дислокаций изменяется в широких пределах и зависит от состояния материала. После тщательного отжига плотность дислокаций составляет  $10^5 \dots 10^7 \text{ м}^{-2}$ , в кристаллах с сильно деформированной кристаллической решеткой плотность дислокаций достигает  $10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-2}$ .

## Влияние плотности дислокаций на прочность



MyShared

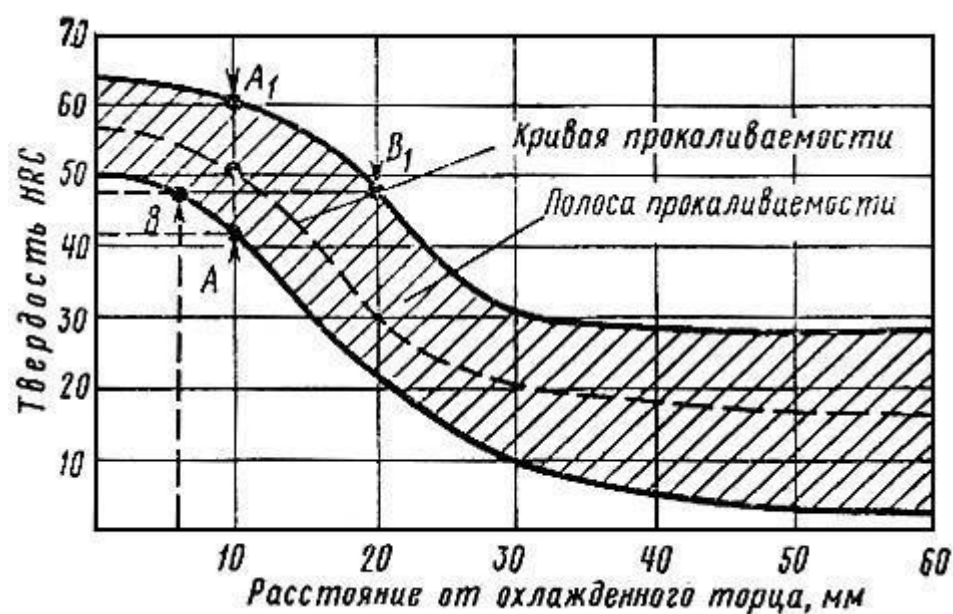
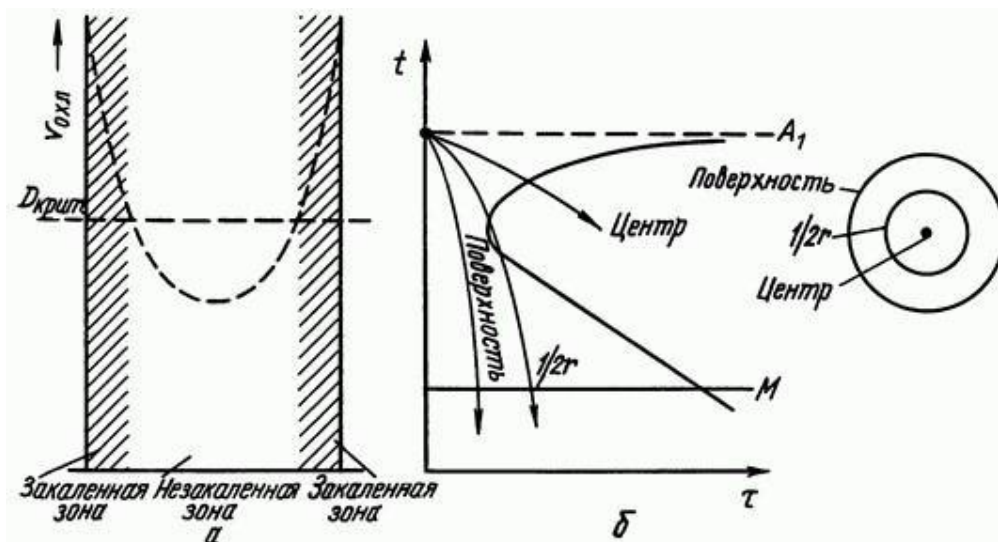
### 38. Прокаливаемость материалов, критерий, единицы измерения

**Прокаливаемость** - способность стали закаливаться на определенную глубину. С помощью термокинетических диаграмм можно не только анализировать эту способность стали, но и определять ее, если известны кривые охлаждения закаливаемой детали в различных точках.

Прокаливаемость измеряется в единицах длины (мм) и зависит от критической скорости закалки. Чем меньше критическая скорость закалки, тем больше прокаливаемость стали.

Для практической оценки прокаливаемости пользуются величиной, которая называется **критическим диаметром**.

**Критический диаметр ( $D_k$ )** - это максимальный диаметр цилиндрического прутка, который прокаливается насквозь в данном охладителе.



**39. Прочность материалов, в том числе показатели, единицы измерения**

**Прочность** - свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих под воздействием внешних сил.

Сопротивление малым пластическим деформациям характеризуют предел пропорциональности, предел упругости и предел текучести.

**Показатели прочности:** Предел пропорциональности

**Предел пропорциональности** - это напряжение, ниже которого соблюдается прямая пропорциональная зависимость между напряжением и относительной деформацией:

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}, \quad [\text{МПа}]$$

где  $P_{\text{пц}}$  - нагрузка при пределе пропорциональности.

### **Предел упругости**

**Предел упругости ? 0,05** - это условное напряжение, при котором остаточная деформация составляет 0,05% расчетной длины.

### **Предел текучести физический**

**Предел текучести физический** - это наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без увеличения растягивающей нагрузки:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \quad [\text{МПа}]$$

Если на кривой деформации отсутствует четко выраженная площадка текучести, то определяют предел текучести условный.

### **Условный предел текучести**

**Условный предел текучести ? 0,2** - это напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% длины участка образца на его рабочей части, удлинение которого принимается в расчет при определении указанной характеристики:

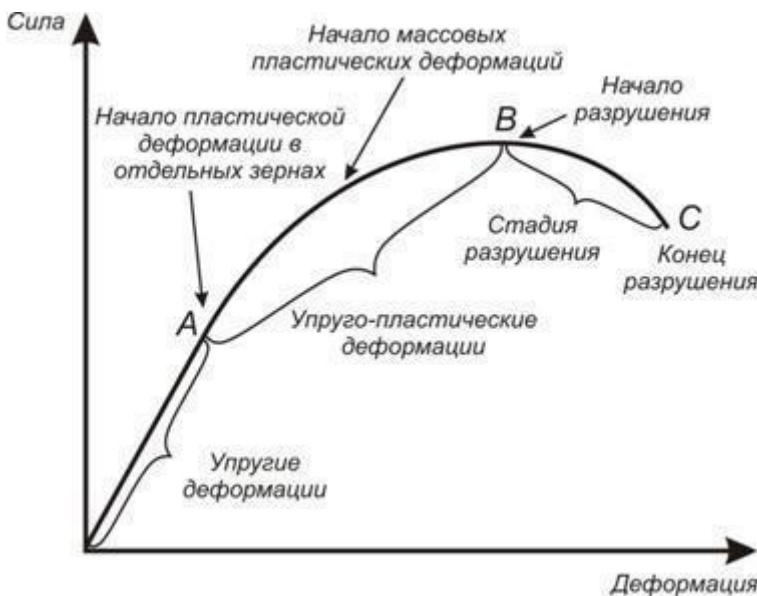
$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0} \quad [\text{МПа}]$$

## Сопротивление значительным пластическим деформациям

Сопротивление значительным пластическим деформациям (для пластичных материалов) характеризуется пределом прочности.

**Предел прочности (временное сопротивление)  $\sigma_B$**  - это условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке  $P_{MAX}$ , предшествовавшей разрыву образца:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0} \quad [\text{МПа}]$$



## 40. Рекристаллизация

**Рекристаллизация** - процесс образования и роста (или только роста) одних кристаллических зёрен (кристаллитов) поликристалла за счёт других фаз. Скорость рекристаллизации резко возрастает с повышением температуры. Рекристаллизация протекает особенно интенсивно в пластически деформированных материалах.

**Возврат**, происходит при температурах  $(0,1 - 0,3 T_{пл})$ . При возврате микроструктура не изменяется, уменьшаются внутренние напряжения. Механические свойства изменяются незначительно (на 10 - 15 %).

**Первичная рекристаллизация** (обработки) заключается в образовании центров кристаллизации и росте новых равновесных зерен с неискаженной кристаллической решеткой. Новые зерна возникают у

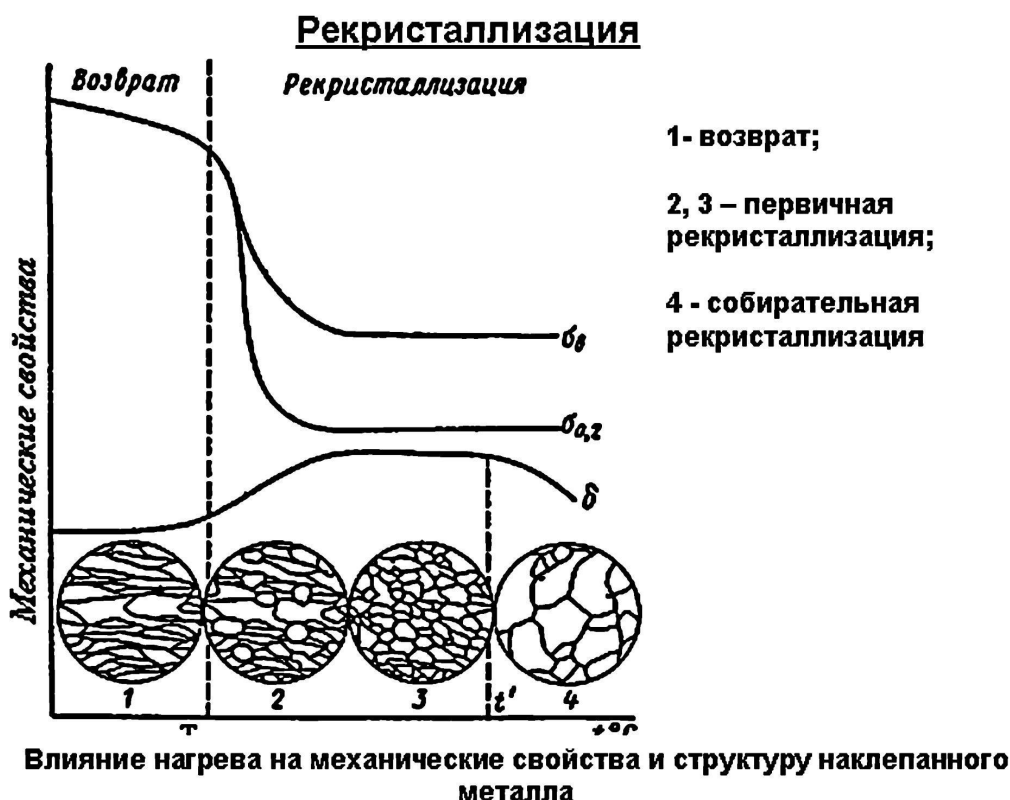


границ старых зерен и блоков, где решетка была наиболее искажена. Количество новых зерен постепенно увеличивается и в структуре не остается старых деформированных зерен.

Движущей силой первичной рекристаллизации является энергия, аккумулированная в наклепанном металле. Система стремится перейти в устойчивое состояние с неискаженной кристаллической решеткой.

**Собирательная рекристаллизация** заключается в росте образовавшихся новых зерен.

Движущей силой является поверхностная энергия зерен. При мелких зернах поверхность раздела большая, поэтому имеется большой запас поверхностной энергии. При укрупнении зерен общая протяженность границ уменьшается, и система переходит в более равновесное состояние.



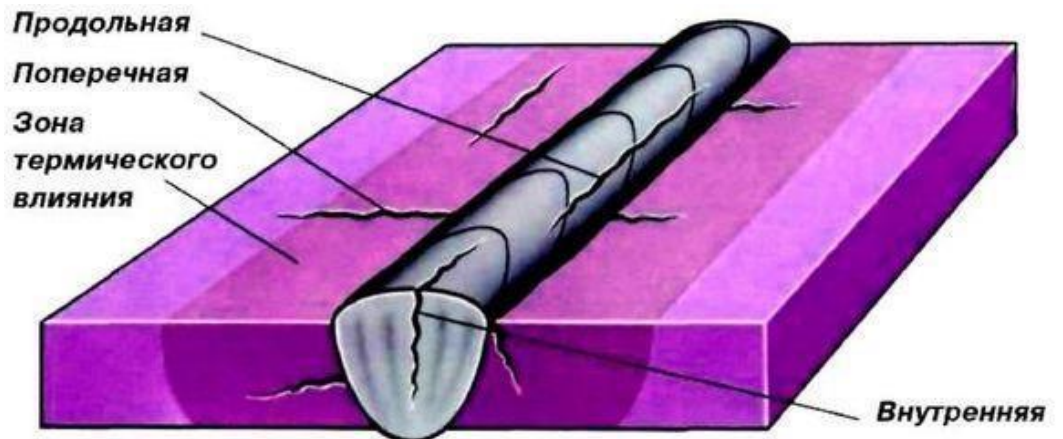
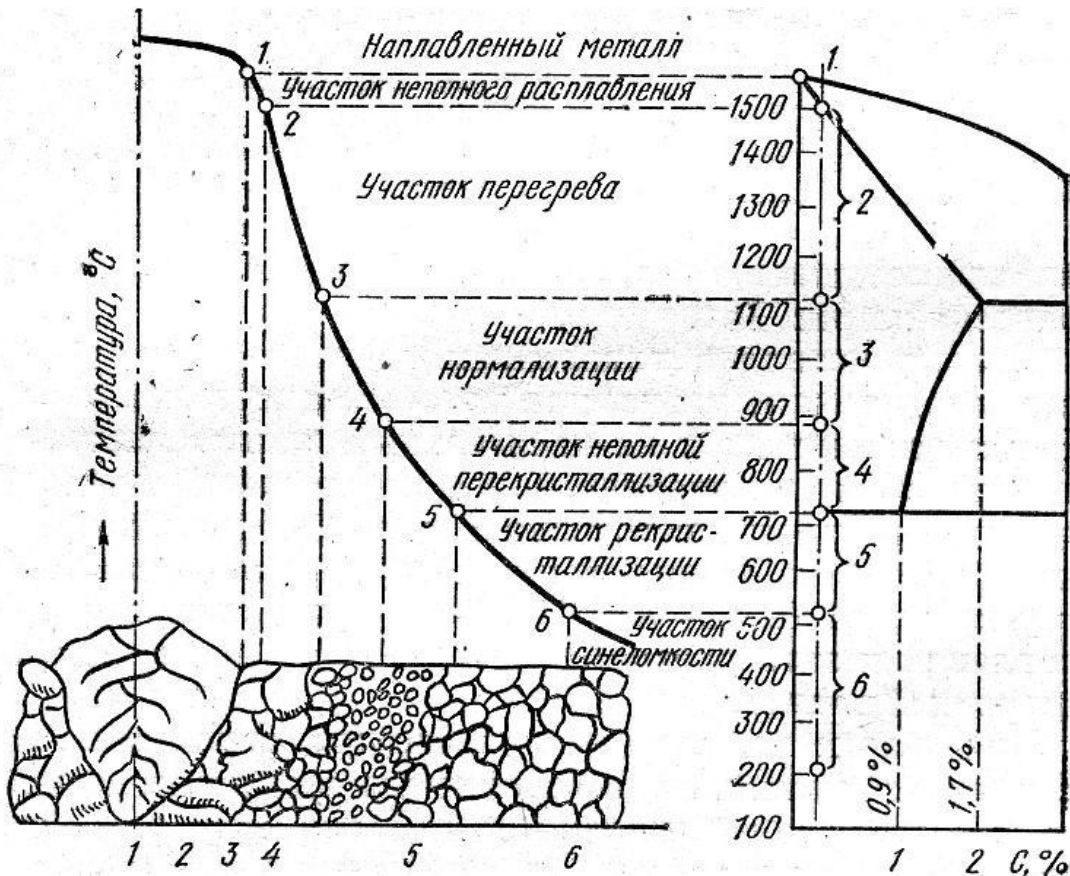
- 1 - возврат;
- 2, 3 – первичная рекристаллизация;
- 4 - собирательная рекристаллизация

#### 41. Свариваемость материалов

**Свариваемость** - свойство материалов образовывать при установленной технологии неразъемное соединение, отвечающее

требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

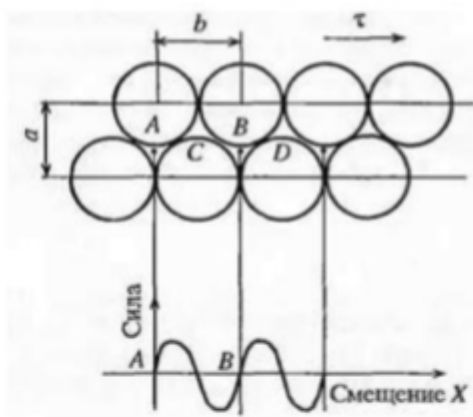
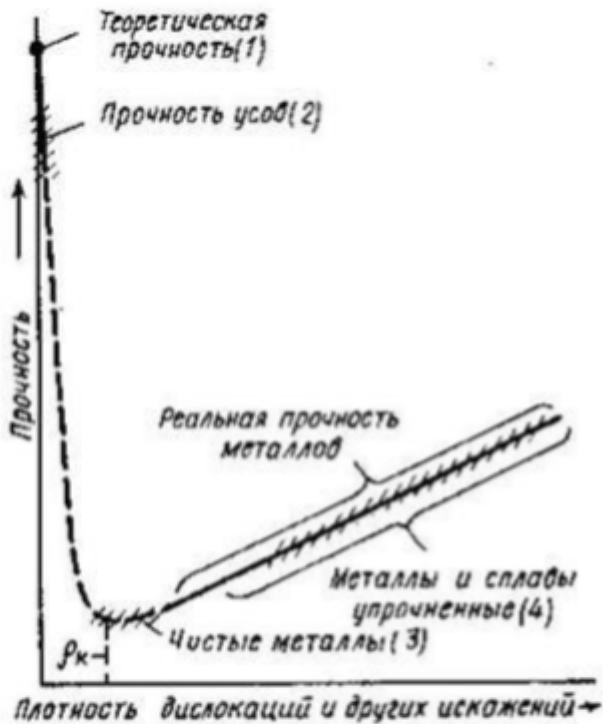
Свариваемость оценивается степенью соответствия свойств сварного соединения свойствам основного материала и его склонностью к образованию дефектов



## **42. Теоретическая прочность**

**Теоретическая прочность** - определяемая силами межатомной связи в кристаллической решетке, в сотни и тысячи раз превышает их техническую (реальную) прочность.

Определяют из условий деформации или разрушения в упругой области идеальной решетки монокристалла, в которой действию внешней нагрузки противостоит только межатомная связь.



теоретическую прочность кристалла на сдвиг

$$\tau_{теор} = \frac{b G}{a 2\pi}$$

$G$  - модуль сдвига

**43. Технологические свойства** определяют пригодность материала для изготовления из него детали тем или иным способом. К числу этих свойств относятся: обрабатываемость резанием, ковкость, свариваемость, жидкотекучесть, усадка, склонность к ликвации и др.

1) Обрабатываемость резанием – это комплексная характеристика материала, которую оценивают рядом показателей:

- производительностью обработки;
- качеством обработанной поверхности;
- видом образующейся стружки.

Производительность обработки определяется скоростью резания, при которой достигается заранее заданная стойкость инструмента [м/мин]

Качество обработанной поверхности зависит главным образом от твердости материала – более высокая твердость обеспечивает меньшую шероховатость, т.е. лучшее качество поверхности.

Стружка надлома ("сыпучая") или непрерывная(сливная).

2) Ковкость. Количественно ковкость характеризуют относительной деформацией разрушения.

3) показатели свариваемости: окисляемость металла при сварочном нагреве; сопротивляемость образованию горячих трещин; сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке;

4) Жидкотекучесть — это свойство сплава в жидком состоянии заполнять литейную форму и воспроизводить её очертания в отливке. [мм]

5) Усадка металлов в жидком состоянии характеризуется обычно объёмными единицами, в твёрдом состоянии — линейными.

6) Ликвация — это неоднородность сплава по химическому составу, структуре, образующаяся при его кристаллизации. Различают внутрикристаллическую, или дендритную, ликвацию, которая проявляется в объеме отдельных зерен (кристаллитов, дендритов), и зональную ликвацию, наблюдаемую во всем объеме отливки.

**44. Технологичность** — это одна из комплексных характеристик технического устройства (изделие, устройство, прибор, аппарат), которая выражает удобство его производства, ремонтпригодность и эксплуатационные качества.

Технологичность закладывается в конструкцию при соответствующем назначении параметров деталей (материала, размеров и их отклонений, шероховатости и т. п.), форм и взаимного расположения поверхностей их элементов.

**45. Трещиностойкость** характеризует способность материала не разрушаться при наличии трещины.

Трещина в материале может возникнуть в результате усталости, быть следствием металлургического дефекта и т.п. Трещина является концентратором напряжений.

Трещиностойкость оценивается критерием  $K_{Ic}$ . Коэффициент связывает величину разрушающих напряжений, действующих на деталь, и длину трещины. Коэффициент трещиностойкости зависит только от свойств материала, т.е. является его характеристикой.

Определение характеристик трещиностойкости при статическом нагружении по ГОСТ 25.506-85.

**46. Хладоломкость** – явление снижения ударной вязкости материалов при низких температурах. [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Хладоломкость – способность металла охрупчиваться при низких температурах. Оценив испытание на ударную вязкость при минимальных температурах, отмечают  $T_{кр}$  – критическую температуру хрупкости.

Хладоломкость – 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.

**47. Излом** - это поверхность, образовавшаяся в результате разрушения (разделения на части) образца, детали или конструкции. Область знания о строении изломов называют фрактографией.



Хрупкие (кристаллические) изломы. Хрупкому разрушению подвержены закаленные стали, поверхности изломов состоят из множества блестящих площадок. Различают следующие разновидности хрупких изломов: транскристаллический (проходит по телу зерна), межкристаллический (интеркристаллический), крупнозернистый (грубозернистый, крупнокристаллический), мелкозернистый (мелнокристаллический), нафталинистый, камневидный, шиферный, черный, усталостный.

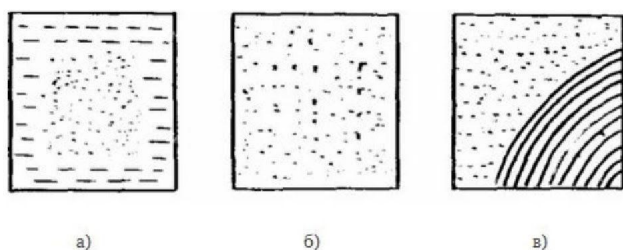


Рис.1. Строение вязкого (а), хрупкого (б) и усталостного (в) изломов

*Хрупкий* излом - это наиболее быстрый вид разрушения, поэтому и наиболее опасный. Деталь может выйти из строя внезапно. Пластическая деформация при этом минимальна. Структура такого разрушения у мягких материалов гладкая, а у недеформируемых материалов она имеет кристаллическое строение. В зависимости от условий разрушения выделяют 3 типа хрупкого излома:

- Нафталиновый (характерен для легированной инструментальной стали);
- Камневидный (характерен для металла с крупнозернистым

строением); ● Фарфоровый (встречается у правильно закалённой стали).

*Как проводится исследование?*

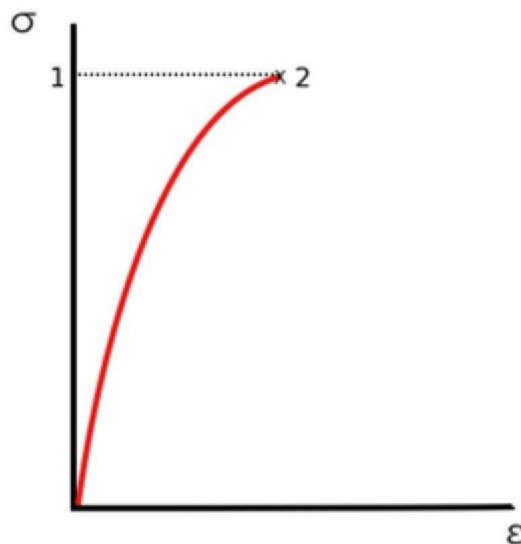
Излом осматривается визуально.

Обычно используется лупа с 8-10-кратным увеличением.

Определяем, является ли излом металла зернистым или кристаллическим, матовым или волокнистым, какой у него цвет, есть ли белые пятна (флокены).

Проверяется соответствие макроструктуры параметрам ГОСТ 10243–75 (Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры).

**48. Хрупкость** — свойство материала разрушаться без образования заметных остаточных деформаций. Является противоположным свойству пластичности. Материалы, обладающие этим свойством, называются хрупкими. Для таких материалов удлинение при разрыве не превышает 2...5 %, а в ряде случаев измеряется долями процента.



Типичная **диаграмма**  $\sigma$ – $\epsilon$  растяжения–сжатия для хрупких материалов



**49. Циклическая прочность** определяет работоспособность большинства групп ответственных деталей машин – валов, шатунов, штоков, валов-шестерен и др.

Основной характеристикой усталостной прочности является предел выносливости  $\sigma_{-1}$ .

Между характеристиками циклической и статической прочности существует связь, определяемая коэффициентом выносливости:  $k_B = \sigma_{-1} / \sigma_T$ .

В связи с этим повышение уровня статической прочности вызывает и повышение циклической прочности. Так, для сталей коэффициент  $k_B$  для углеродистых легированных сталей составляет примерно 0,5 (при  $\sigma_B$  до 1200 МПа).

**50. Упрочнение в рез-те формирования твердых растворов**

Твердорастворное упрочнение основано на введении в кристаллическую решетку металла атомов замещения или внедрения. При этом кристаллическая решетка основного металла искажается вследствие различного размера атомов, образующих твердый раствор. Особенно большие смещения атомов возникают при образовании твердых растворов внедрения (например, атомы углерода или азота в железных сплавах). Дислокации при своем движении должны преодолевать искажения кристаллической решетки, что затрудняет деформацию.

Данный механизм упрочнения проявляется при формировании любых сплавов с твердым раствором. Поэтому чистые металлы всегда имеют прочность ниже, чем сплавы на их основе.

- Оценивает упрочнение твердого раствора, растворенными в нем элементами

$$\Delta\sigma \sim G \varepsilon^2 c$$

$G$  – коэффициент природы твердого раствора;

$c$  – концентрация второго элемента;

$$\varepsilon = (r_A - r_B) / r_2.$$

*Упрочнение при легировании растет пропорционально концентрации легированного элемента в твердом растворе и относительной разницы атомного радиуса компонента.*

Твердые растворы – фазы, в которых атомы одного компонента располагаются в кристаллической решетке другого (растворителя). Имеют переменный состав и решетку растворителя

### Твердые растворы замещения

с неограниченной растворимостью

с ограниченной растворимостью

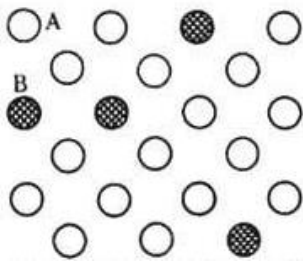
Условия неограниченной растворимости:

$$\bullet \frac{R_B - R_A}{R_A} < 7...8\%$$

$$\frac{R_B - R_A}{R_A} = 8...15\%$$

- решетки компонентов А и В одинаковы

Если  $\frac{R_B - R_A}{R_A} > 15\%$ , то вещества нерастворимы

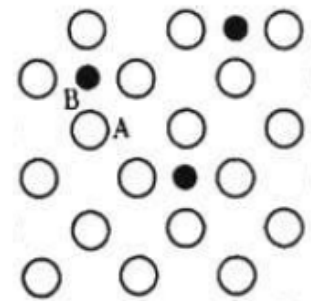


### Твердые растворы внедрения

Условие растворимости:

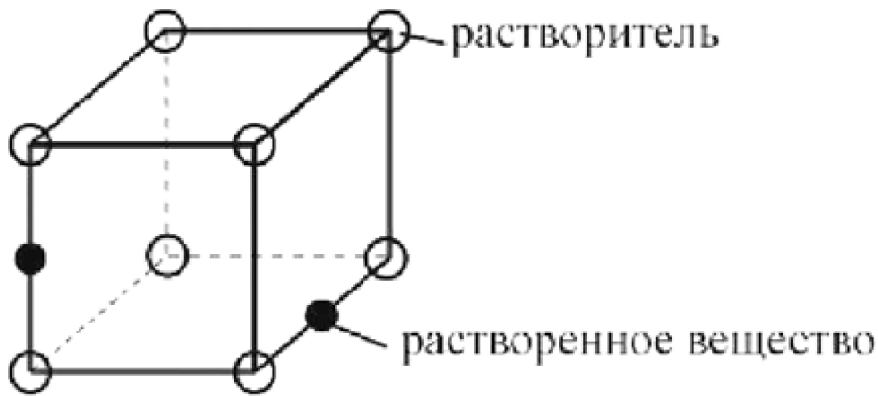
$$R_B \leq 0,59R_A$$

$$R_{\text{поры ГЦК}} \leq 0,41R_A, \quad R_{\text{поры ОЦК}} \leq 0,29R_A$$



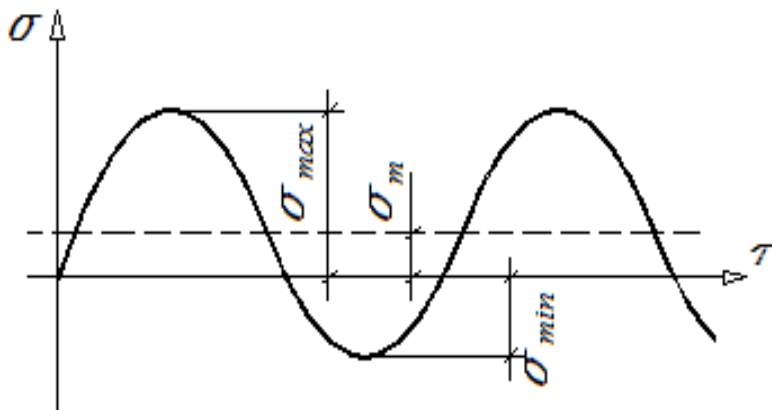
Обозначаются твёрдые растворы либо греческими буквами алфавита:  $\alpha, \beta, \gamma, \delta...$ , либо:  $A(B)$ , где  $A$  - растворитель,  $B$  - растворенный компонент.

Например:  $Fe\alpha(C)$  – твердый раствор углерода в  $\alpha$ - железе – феррит.



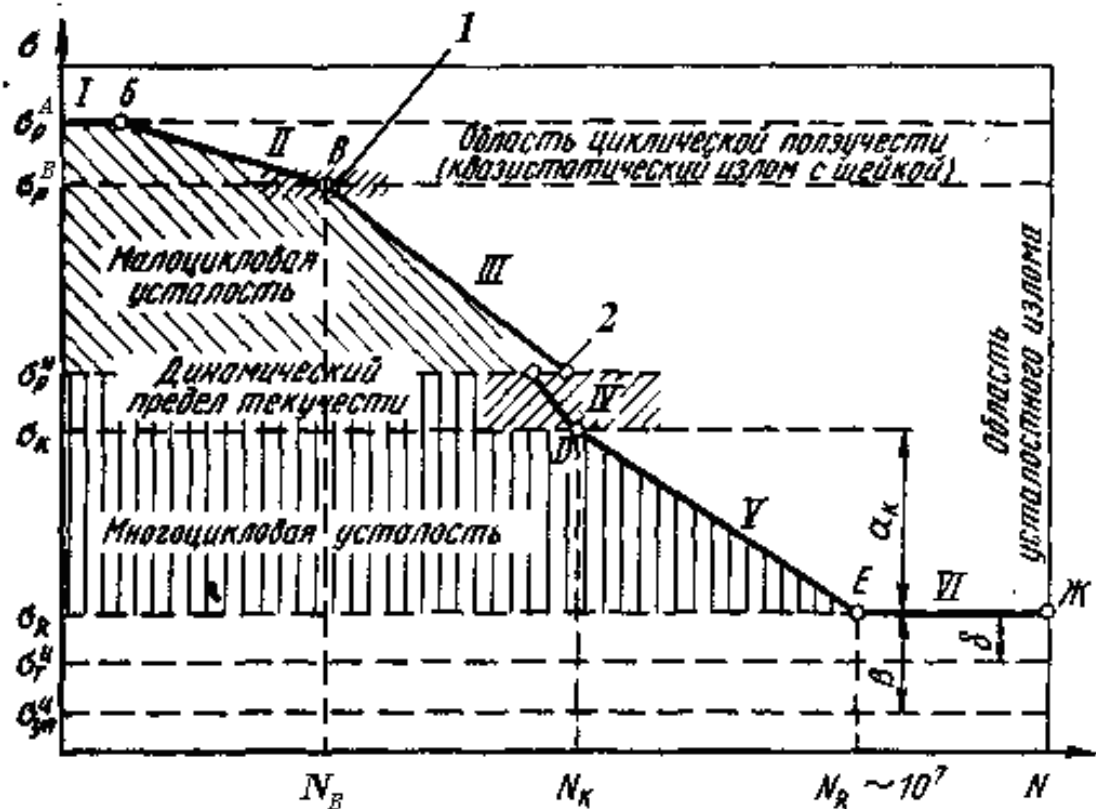
50. Усталость, в т.ч. показатели, единицы измерения. Усталостный излом.

**Усталость** – процесс постепенного накопления повреждений под действием циклической нагрузки, приводящий к уменьшению срока службы.



- При длительных знакопеременных нагрузках используют критерий циклической прочности.
  - **Характеристики циклов:**
    - –  $\sigma_{min}$  минимальное напряжение цикла;
    - – максимальное напряжение цикла;
    - –  $\sigma_m = \frac{\sigma_{min} + \sigma_{max}}{2}$  среднее напряжение цикла.
    - –  $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$  коэффициент асимметрии;
- если  $R = -1$ , цикл симметричный (синусоидальный).

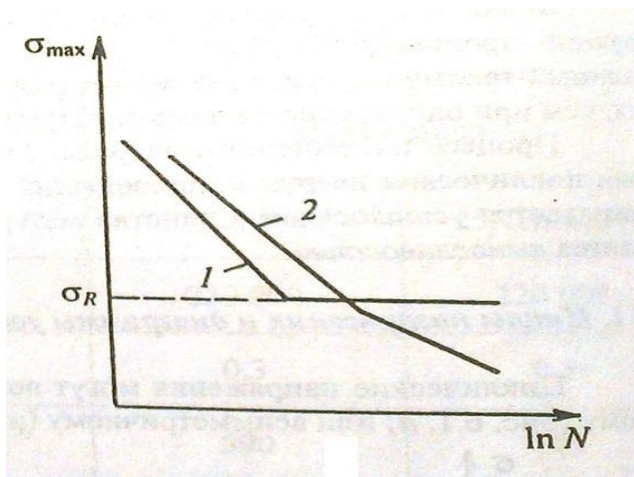
Для оценки сопротивления усталости испытывают серию образцов (10-15 шт.) при разных нагружениях  $N$ . В результате испытаний получают диаграмму усталости, представляющую собой зависимость напряжения от числа циклов нагружения  $N$  (в логарифмической оси, т.к. число циклов нагружения значительное)



При испытаниях на усталость чем выше максимальное напряжение, тем меньше число повторных нагружений  $N$  до разрушения образца, т.е. тем меньше его выносливость. При снижении напряжения кривая усталости в большинстве случаев переходит в горизонтальное положение. Следовательно, существует некоторое напряжение – **предел выносливости**, ниже которого образец может выдерживать неограниченное число циклов нагружения.

Диаграмма усталости:

- 1 – для материалов, имеющих физический предел выносливости;
- 2 – не имеющих.



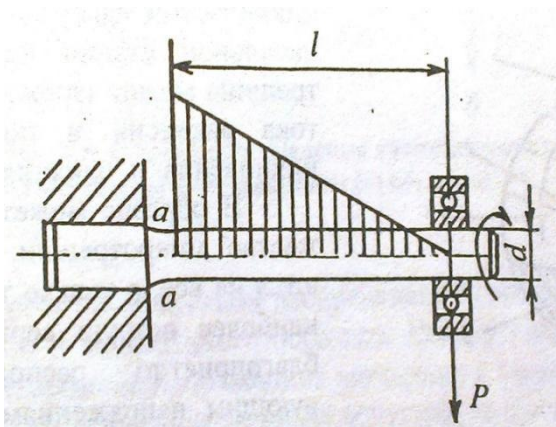
Циклические испытания материалов на усталость можно осуществлять при различных видах нагружения. Наиболее часто выполняют в условиях изгиба образца в одной плоскости или изгиба вращающегося образца при симметричном цикле нагружения

$$\sigma_{\max} = Pl/W = 32Pl/(\pi d^3),$$

где  $P$  – вертикальная нагрузка;

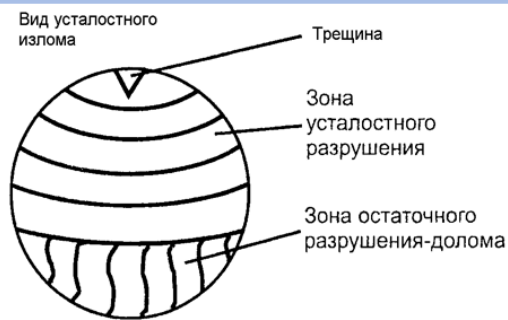
$l$  и  $d$  – плечо и диаметр сечения образца;

$W$  – момент сопротивления изгибу сечения образца.



**Схема испытания на круговой изгиб консольно закреплённого образца.**

Такая стадийность процесса определяет специфическое строение усталостного излома:

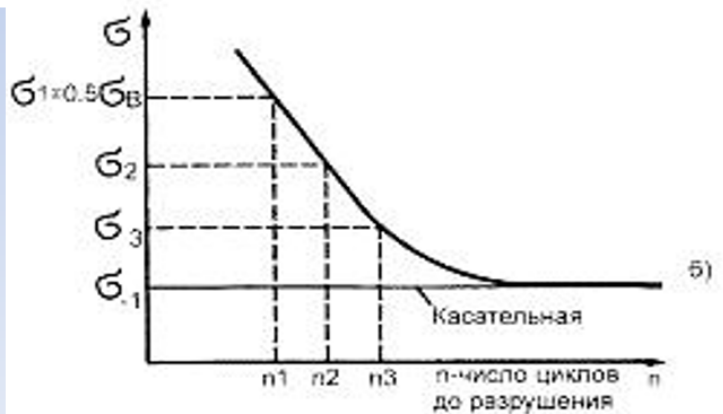
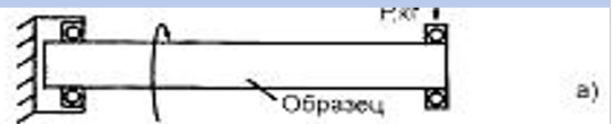


ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СТАНДАРТОВ  
СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР  
СВЕРДЛОВСКИЙ ФИЛИАЛ ВОССТОЧНОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬНОГО  
ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ им. Д. К. МЕНДЕЛЕЕВА (СФ ВНИИМ)

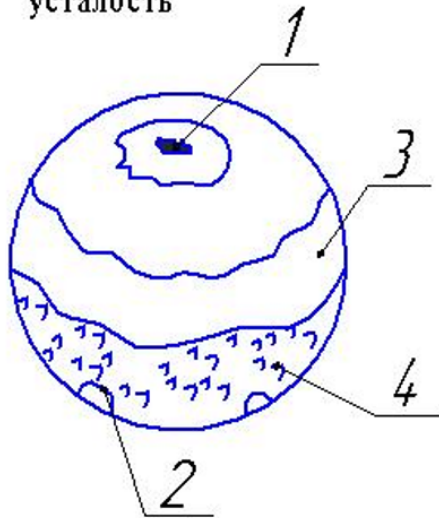
**МЕТОДИКА**  
ПОВЕРКИ МАШИН  
ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛОВ НА УСТАЛОСТЬ  
ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ  
МИ 73-75

Разрушение начинается постепенно и включает несколько стадий:

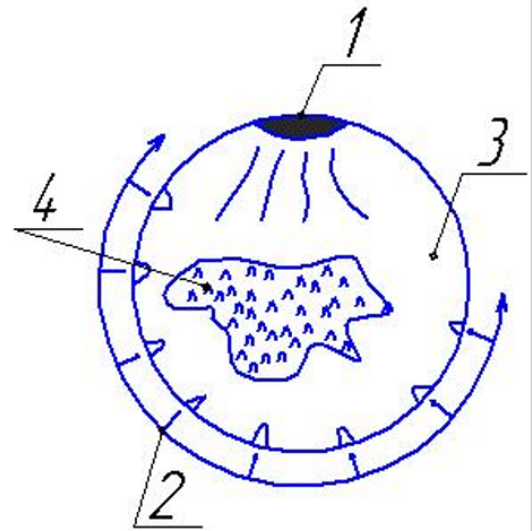
- Формирование повреждений.
- Образование микротрещин.
- Слияние микротрещин в одну или несколько.
- Развитие трещины.
- Окончательное разрушение – долом.



механическая усталость

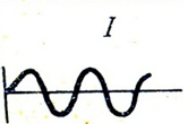



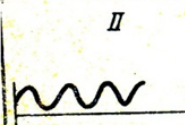



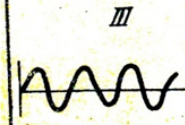
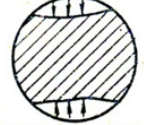


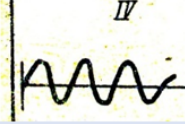





термоусталость



1 - первичный очаг разрушения, 2- вторичные очаги, 3- зона разрыва усталости, 4- зона долома.

## Схемы усталостных изломов при различных видах нагружения:

Вид нагрузки	Высокое номинальное напряжение		Низкое номинальное напряжение	
	Гладкий образец	Образец с надрезом	Гладкий образец	Образец с надрезом
I – осевая нагрузка				
II – односторонний плоский изгиб				
III – двухсторонний плоский изгиб				
IV – изгиб вращающегося образца				

52. Эксплуатационные свойства материалов, в т.ч. показатели, единицы измерения

Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

1. **Износостойкость** – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения. Она оценивается либо *потерей массы* на единице площади поверхности в единицу времени,  $г/(м^2 \times ч)$ , либо *уменьшением размеров* образца (детали) в единицу времени, мм/ч, мм/год (ГОСТ 23.002-78).
2. **Коррозионная стойкость** – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.

Для количественной оценки можно использовать:

- время, истекшее до появления первого коррозионного очага;
- число коррозионных очагов, образовавшихся за определённый промежуток времени;
- уменьшение толщины материала в единицу времени;
- изменение массы металла на единице поверхности в единицу времени;

- объём газа, выделившегося (или поглощённого) в ходе коррозии единицы поверхности за единицу времени;
- плотность тока, соответствующая скорости данного коррозионного процесса;
- изменение какого-либо свойства за определённое время коррозии.

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

Привес (убыль массы)

$$P = \frac{P_i - P_0}{P_0} \cdot 100\%;$$

где  $i = 50, 100, 150$  ч и т. д. (при  $1150^\circ \text{C}$ );

$P_0$  — исходный вес образца,

$P_i$  — вес образца после испытаний

4. **Жаропрочность** – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах. Критериями оценки жаропрочности являются *кратковременная и длительная прочности, ползучесть*. (см. №12)
5. **Хладостойкость** – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах. [ $^\circ\text{C}$ ].  $T_{кр}$  – критическую температуру хрупкости.
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.