

# Механические свойства материалов

- Свойства, определяющие способность материала сопротивляться деформированию и разрушению.

Механические свойства отражают способность тел (материалов) сопротивляться различным видам напряжений (силовым (от механических нагрузок), тепловым, усадочным или другим) без нарушения установившейся структуры.

- Основными характеристиками механических свойств металла являются прочность, упругость, пластичность, вязкость, твердость.

# Напряжения и деформации

- *Когда на образец действует сила или система сил, он реагирует на это, изменяя свою форму (деформируется).*
- **Интенсивность силы, действующей на образец, называется *напряжением* и измеряется как полная сила, отнесенная к площади, на которую она действует.**
- **Деформация** это относительное изменение размеров образца, вызванное приложенными напряжениями.

# *Напряжение*

**Напряжение** - мера интенсивности внутренних сил, возникающих под действием нагрузок, изменений температуры и других факторов.

***Физический смысл напряжения:*** внутренние силы упругости, которые стремятся вернуть в исходное положение атомы, изменившие свое положение в пространстве при действии внешних сил.

# Деформация

**изменение взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением друг относительно друга.**

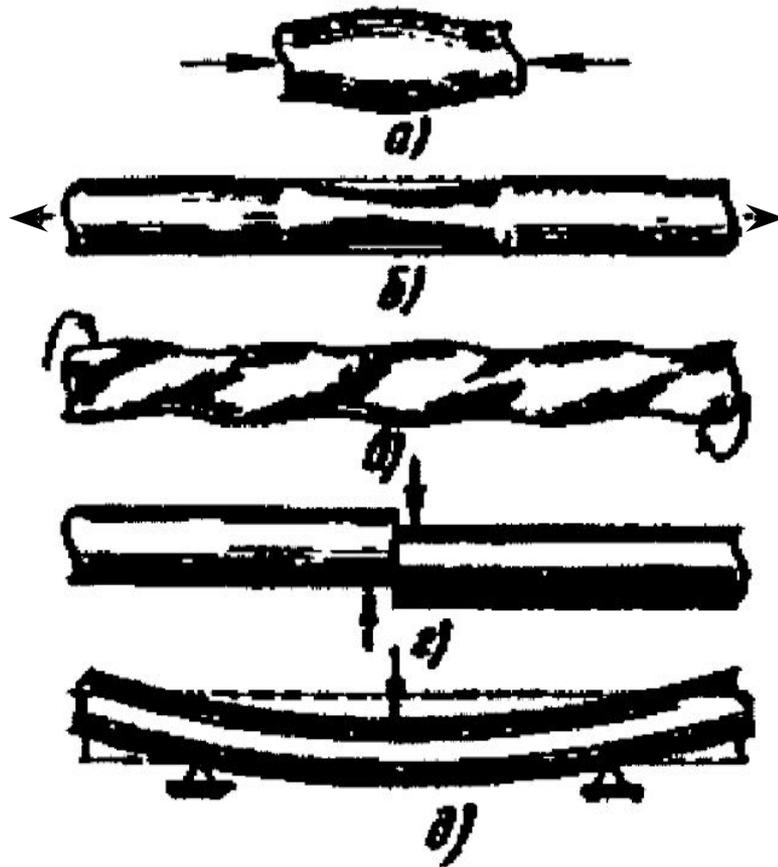
- *Деформация* представляет собой результат изменения межатомных расстояний и перегруппировки блоков атомов.
- Основные виды деформаций — *растяжение, сжатие, сдвиг, кручение и изгиб*.
- Простейшей элементарной деформацией является относительное удлинение некоторого элемента:

$$\varepsilon = (l_2 - l_1) / l_1$$

где  $l_2$  — длина элемента после деформации;  
 $l_1$  — исходная длина этого элемента.

- На характер и величину деформации влияет не только величина нагружения, но и *скорость* приложения нагрузки, а также *температура* материала.

# Виды деформаций



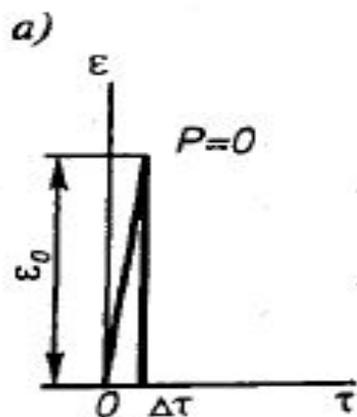
- а) – сжатие
- б) – растяжение
- в) – кручение
- г) - сдвиг
- д) - изгиб

В большинстве практических случаев наблюдаемая деформация представляет собой совмещение нескольких одновременных простых деформаций. Любую деформацию можно свести к двум наиболее простым: растяжению В большинстве практических случаев наблюдаемая деформация представляет собой совмещение нескольких одновременных простых деформаций. Любую деформацию можно свести к двум наиболее

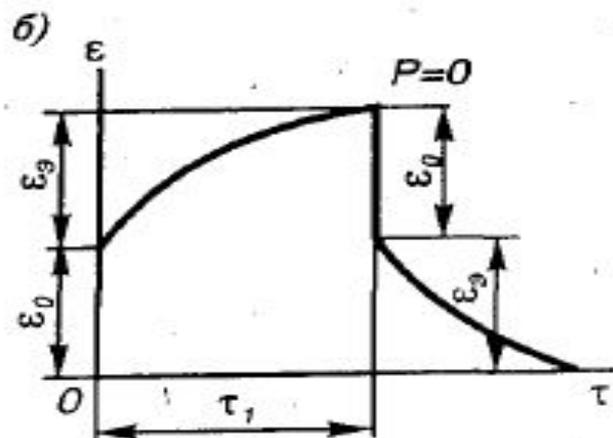
# Обратимые и необратимые деформации

- **Обратимые** деформации полностью исчезают при прекращении действия на материал факторов, их вызвавших.
- *исчезающие мгновенно и полностью, называются **упругими**;*
- *исчезающие в течение некоторого времени — **эластическими**.*
- При упругом деформировании изменяются расстояния между атомами металла в кристаллической решетке. Снятие нагрузки устраняет причину, вызвавшую изменение межатомного расстояния, атомы становятся на прежние места, и деформация исчезает.
- **Необратимые** деформации, называемые также ***пластическими*** сохраняются после снятия напряжения.

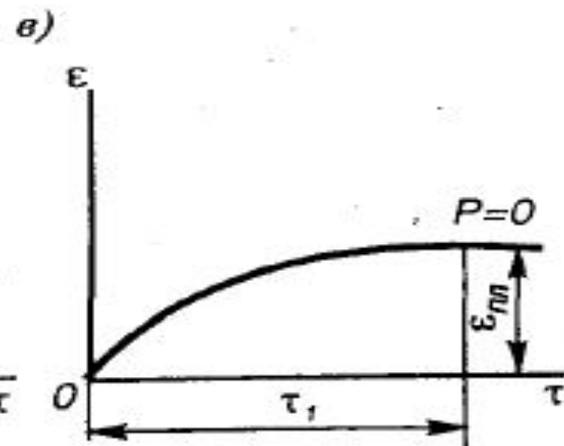
# Зависимость деформации от времени при различных видах деформаций



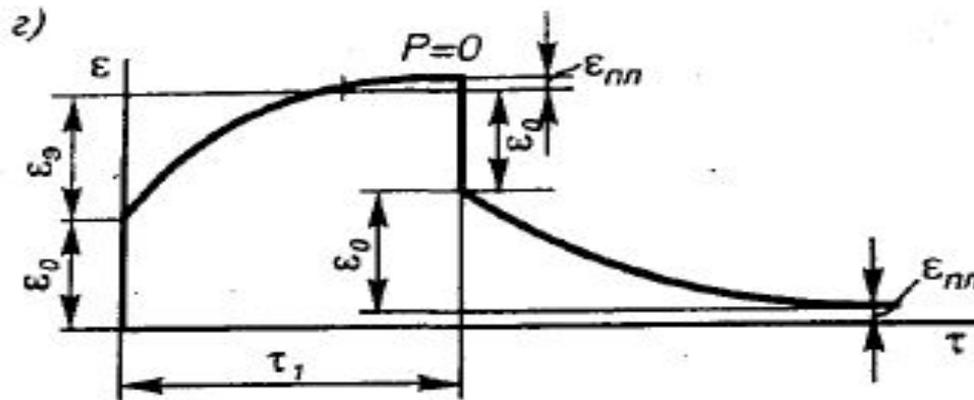
упругая



упругоэластическая

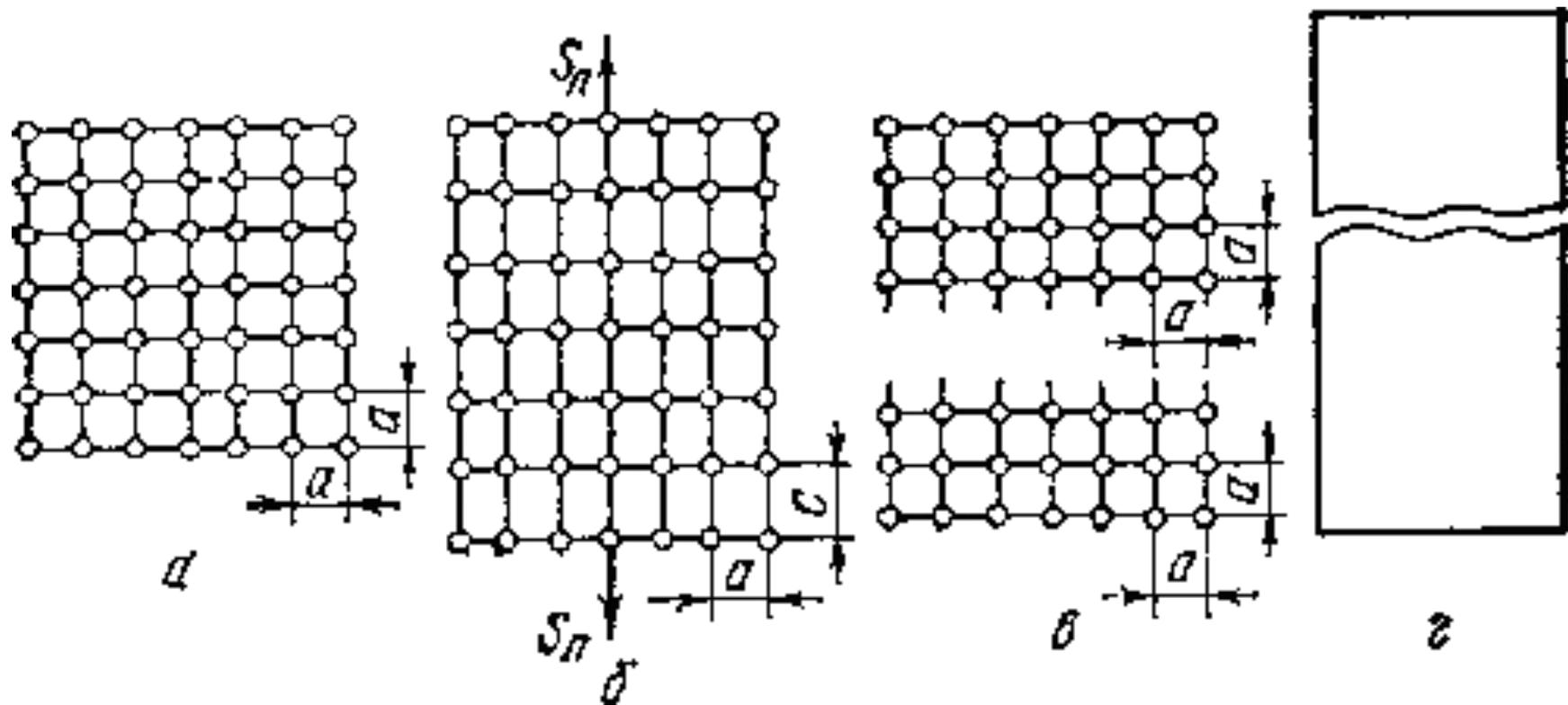


пластическая



упругопластическая

- *Разрушение* — это ослабление взаимосвязи между частицами при нарушении сплошности структуры.
- Различают *хрупкое*, т.е. мгновенное (без деформации) и *пластическое* (с деформацией) разрушение твердого тела.



**Схема упругой деформации и хрупкого разрушения под действием упругих напряжений**

**а** – ненапряженная решетка; **б** – упругая деформация;  
**в, г** – хрупкое разрушение в результате отрыва

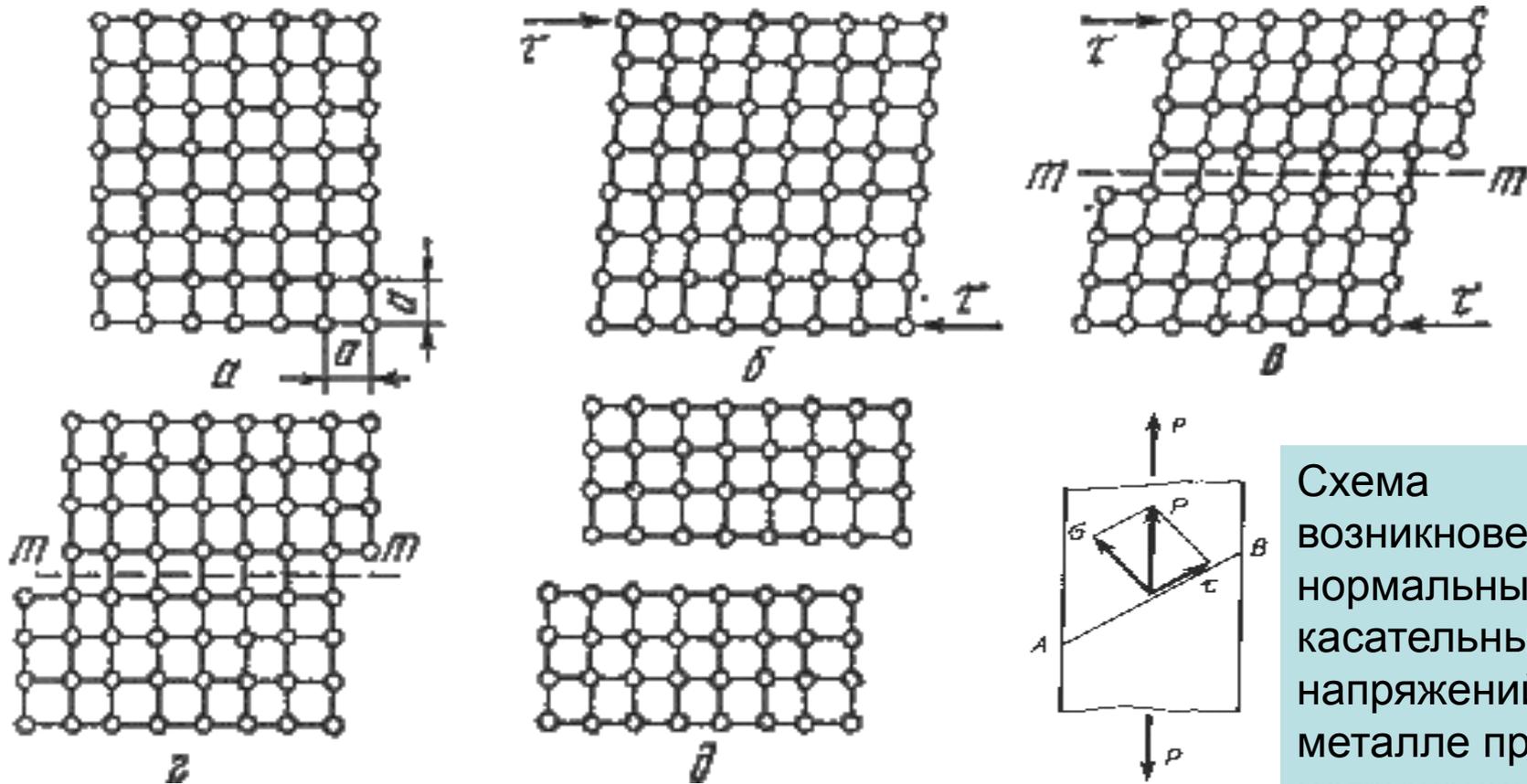
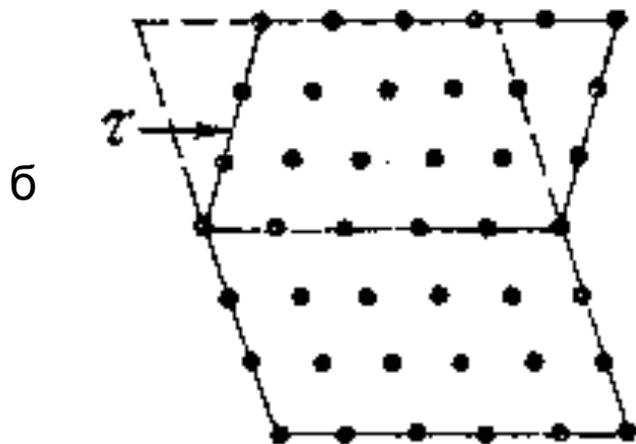
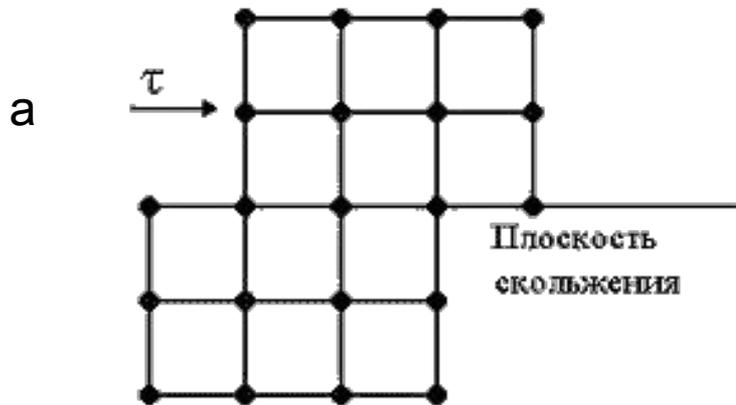


Схема возникновения нормальных и касательных напряжений в металле при его нагружении

**Схема пластической деформации и пластического (вязкого) разрушения:**

а – ненапряженная решетка; б – упругая деформация; в – упругая и пластическая деформация; г – пластическая деформация; д – пластическое (вязкое) разрушение

# Схемы пластической деформации

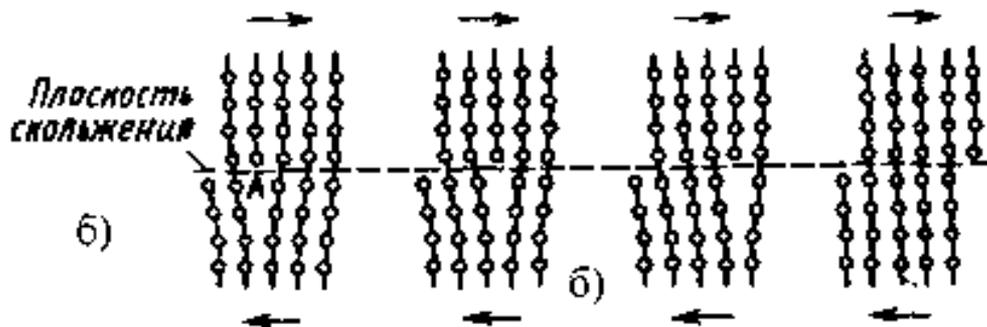
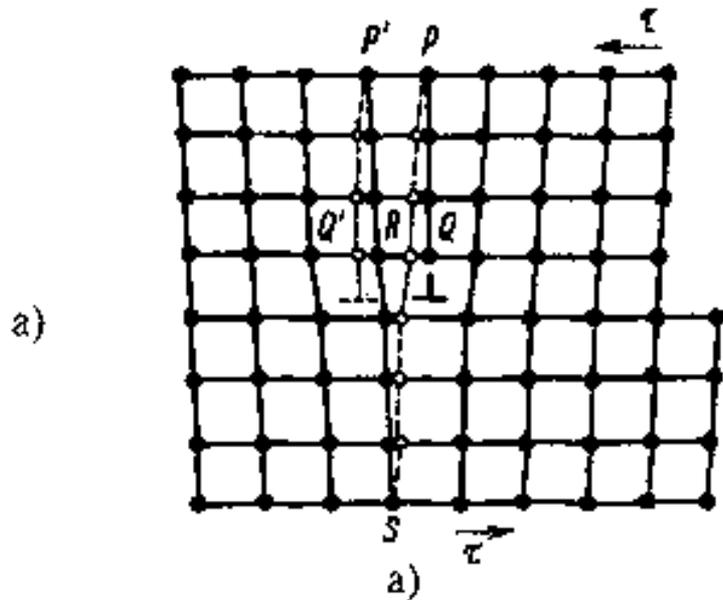


- Трансляционное скольжение по плоскостям (а). Одни слои атомов кристалла скользят по другим слоям.
- Двойникование – поворот одной части кристалла в положение симметричное другой его части. Плоскостью симметрии является плоскость двойникования (б).

а – скольжение; б – двойникование

# Дислокационный механизм пластической деформации

Скольжение начинается от мест нарушений кристаллической решетки, которые возникают в кристалле при его нагружении.



## Схема дислокационного механизма пластической деформации

а – перемещение атомов при движении краевой дислокации на одно межатомное расстояние;  
б – перемещение дислокации через весь кристалл

# Деформационные свойства материалов

- **Упругость** – способность материалов изменять форму под действием нагрузки и возвращаться в исходное состояние после снятия нагрузки.
- **Пластичность** – способность материала приобретать необратимые изменения формы под действием нагрузки.
- **Хрупкость** – способность разрушаться без заметных пластических деформаций

# Прочность

- способность материалов в определенных условиях и пределах, не разрушаясь, сопротивляться внутренним напряжениям и деформациям, возникающим под влиянием механических, тепловых и других напряжений.

Прочностными характеристиками материала являются

*предел упругости,*

*предел текучести*

*предел прочности*

при воздействии сжимающих, растягивающих или других видов усилий.

*Механические деформационные свойства изучают с помощью диаграмм деформации. Диаграммы получают при растяжении материалов с автоматической записью их деформации.*

# Напряжение

Рассчитывают по формуле:

$$\sigma = F/A, \text{ МПа}$$

где  $F$  - разрушающая нагрузка, кгс;

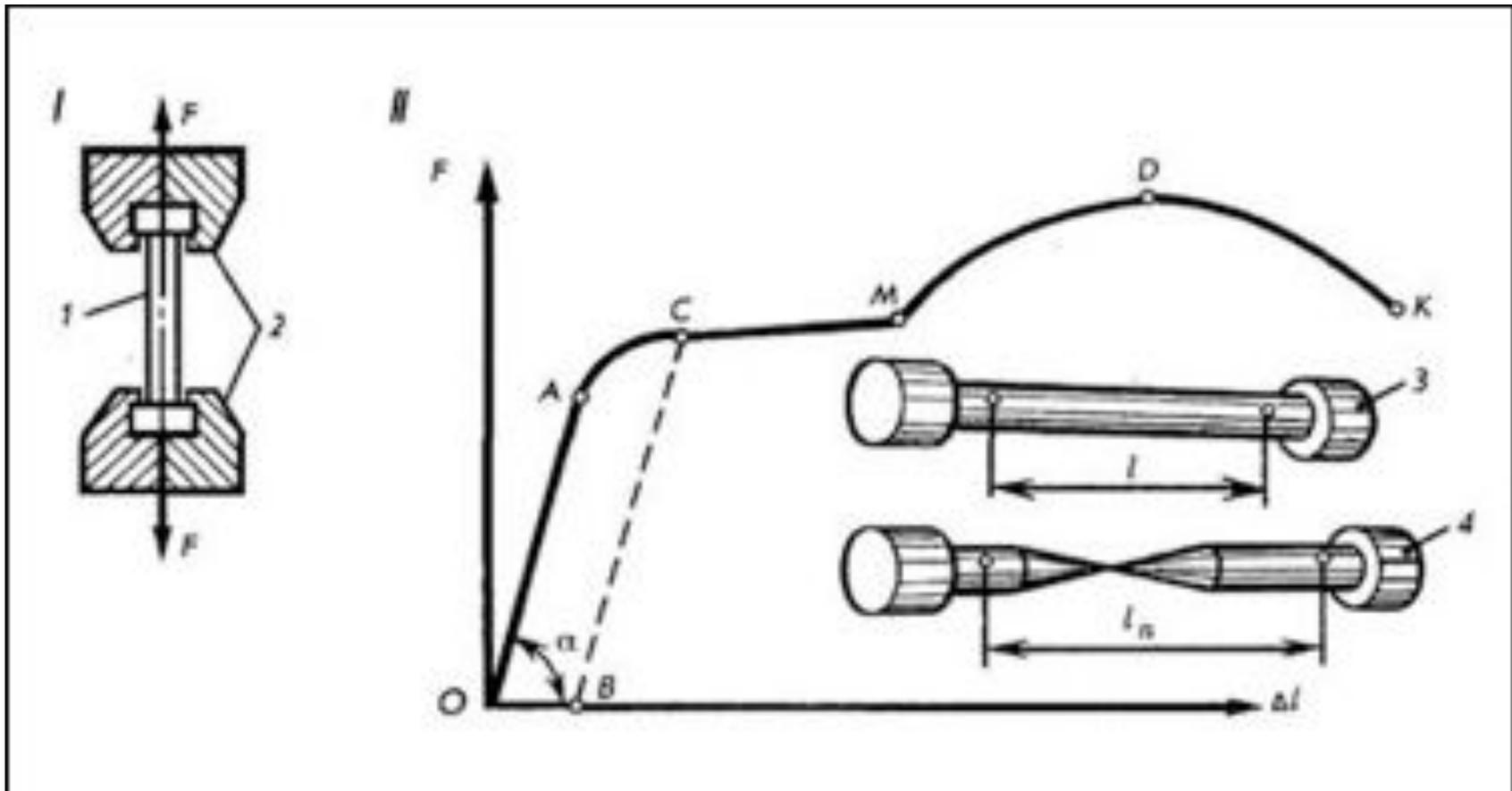
$A$  - площадь поперечного сечения образца, кв.см

В зависимости от условий нагружения механические свойства могут определяться при:

- **статическом** нагружении – нагрузка на образец возрастает медленно и плавно.
- **динамическом** нагружении – нагрузка возрастает с большой скоростью, имеет ударный характер.
- повторно, **переменном** или циклическим нагружении – нагрузка в процессе испытания многократно изменяется по величине или по величине и направлению.
- Для получения сопоставимых результатов образцы и методика проведения механических испытаний регламентированы ГОСТами.
- При статическом испытании на растяжение: ГОСТ 1497 получают характеристики прочности и пластичности.

## Статические испытания на растяжение

Чтобы определить упругость, прочность и пластичность металла, изготавливают образец, определённой длины и сечения, устанавливают его в зажимы 2 разрывной машины. Растягивающая сила  $F$  создает напряжение в испытываемом образце и вызывает его удлинение. Когда напряжение превысит прочность образца, он разорвется.



# Диаграмма растяжения

*В результате испытания получают диаграмму растяжения.*

Она характеризует поведение металл при деформировании от момента начала нагружения до разрушения образца.

- *На диаграмме выделяют три участка:*
- упругой деформации – до нагрузки  **$R_{упр}$** ;
- равномерной пластической деформации от  **$R_{упр}$**  до  **$R_{max}$** ;
- сосредоточенной пластической деформации от  **$R_{max}$**  до  **$R_k$** .

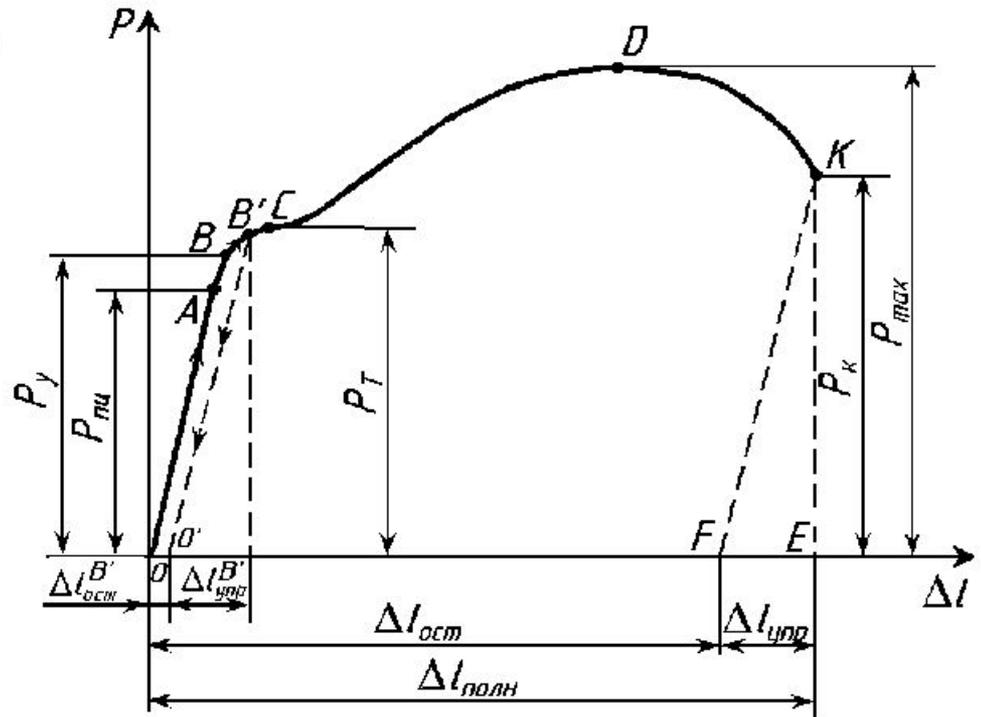


диаграмма растяжения

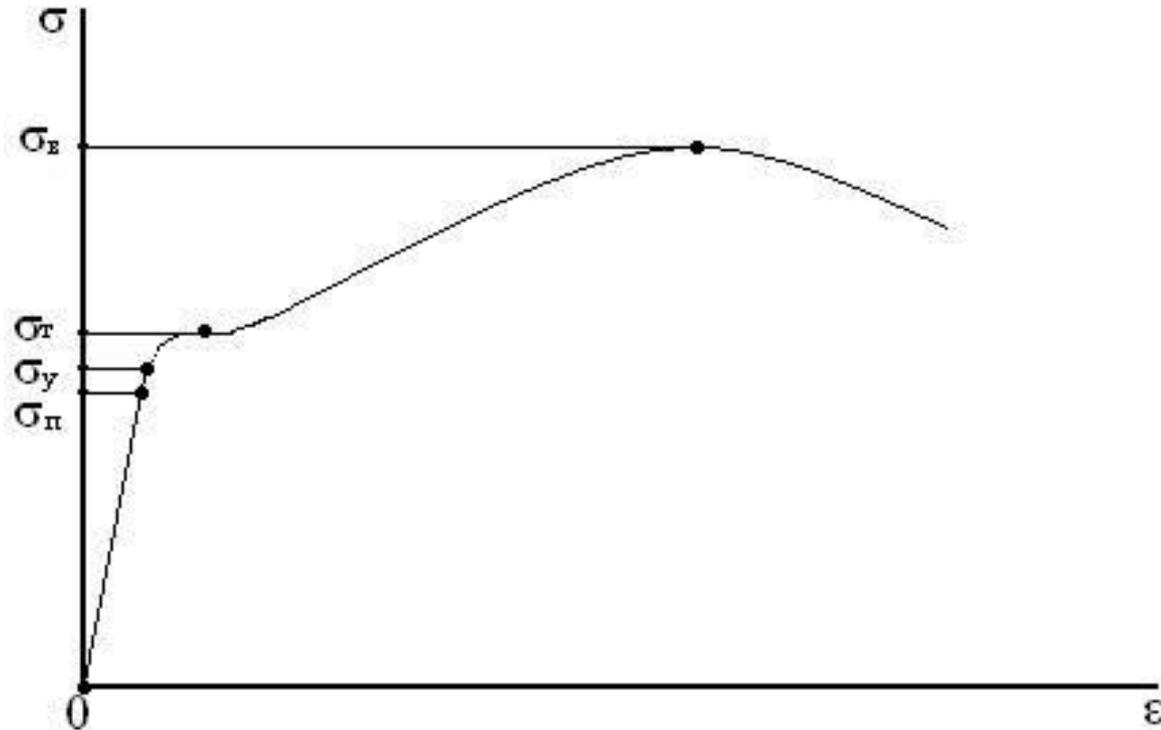
- Прямолинейный участок диаграммы  $OA$  указывает на **пропорциональность** между нагрузкой  $P$  и удлинением  $\Delta l$ . (выполняется закон Гука)
- Если испытуемый образец нагрузить растягивающей силой, не превышающей величину ординаты точки  $B$  (силы  $P_y$ ), а потом разгрузить, то при разгрузке деформации образца будут уменьшаться по тому же закону, по которому они увеличивались при нагружении. Следовательно, в этом случае в образце возникают только **упругие деформации**.
- Характерной особенностью точки  $B$  является то, что при превышении нагрузки  $P_y$  образец испытывает **остаточные деформации** при разгрузении.

- Выше точки  $C$  - образец получает значительное остаточное удлинение практически без увеличения нагрузки. *В этой стадии испытания в материале образца по всему его объему распространяются пластические деформации (площадка текучести). Материал деформируется практически при постоянной нагрузке.*
- Удлинившись на некоторую величину при постоянном значении силы, т.е. претерпев состояние текучести, материал снова приобретает способность **сопротивляться растяжению** (упрочняться), и диаграмма поднимается вверх, хотя гораздо более полого, чем раньше. В точке  $D$  усилие достигает максимального значения  $R_{max}$ .

- Наличие участка упрочнения (от конца площадки текучести до наивысшей точки диаграммы растяжения) объясняется микроструктурными изменениями материала: **когда нагрузка на образец возрастает, микроскопические дефекты (линейные и точечные) группируются так, что развитие сдвигов кристаллов, вызванных напряжениями, затрудняется, а потому сопротивление материала сдвигу начинает возрастать и приближаться к его сопротивлению отрыву.**
- При достижении усилия  **$R_{max}$**  на образце появляется резкое местное сужение, так называемая шейка быстрое уменьшение площади сечения которой вызывает падение нагрузки, и в момент, соответствующий точке  **$K$**  диаграммы, происходит **разрыв образца** по наименьшему сечению шейки.

# Диаграмма деформации материала

- Отмеченные выше нагрузки на кривой растяжения ( $R_{упр}$ ,  $R_t$ ,  $R_{max}$ ,  $R_k$ ) служат для определения основных характеристик прочности материала:
- *предела упругости;*
- *предела текучести;*
- *предела прочности;*
- *истинного сопротивления разрушению*



Напряжения  $\sigma_i$  определяют как отношение нагрузки к площади поперечного сечения образца;  $\epsilon$ - относительное удлинение образца.

**$\sigma_{II}$**  – *предел пропорциональности* – максимальное напряжение, до которого материал деформируется строго упруго, то есть соблюдается *закон Гука*:  $\sigma = E\varepsilon$ , где  $E$  – модуль упругости (модуль Юнга).

**$\sigma_{0,05}$**  – *условный предел упругости*, – максимальное напряжение, до которого образец получает только упругую деформацию. Считают напряжение, при котором остаточная деформация очень мала (0,005...0,05%).

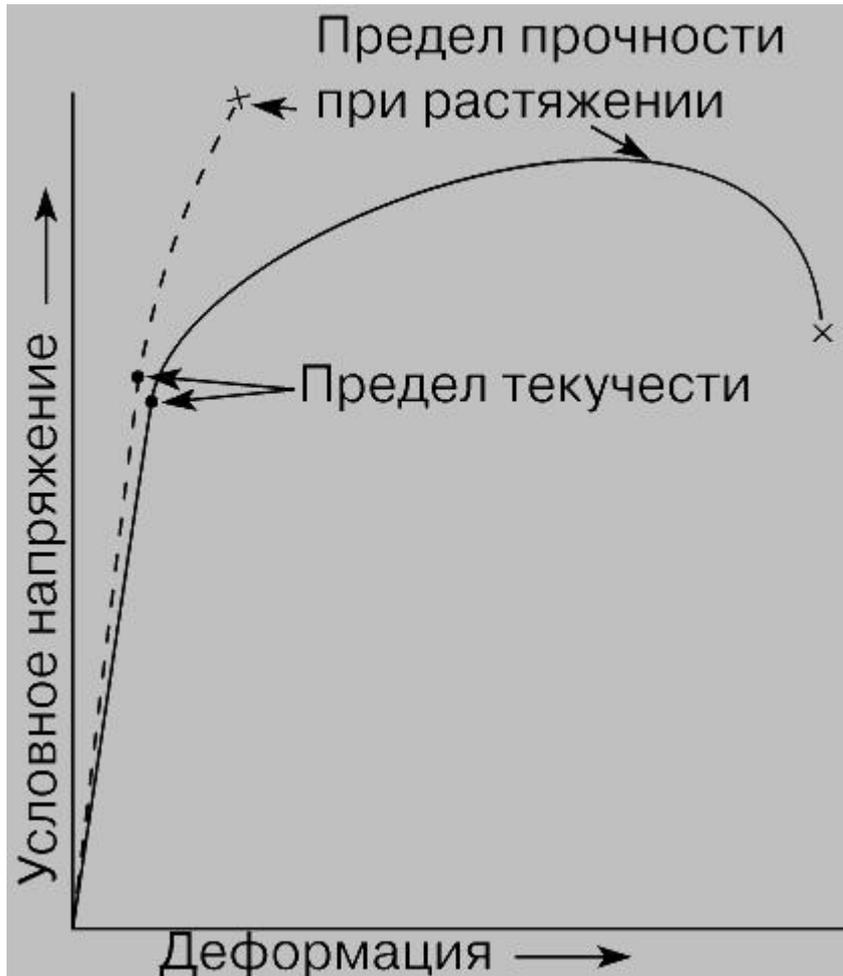
**$\sigma_T$**  – *физический предел текучести* – напряжение, при котором происходит значительное увеличение пластической деформации, при этом напряжение остается постоянным (присутствует не у всех материалов).

**$\sigma_{0.2}$**  – *условный предел текучести* – напряжение, при котором доля необратимой пластической деформации составляет 0,2 %.

**$\sigma_B$**  – *предел прочности* (временное сопротивление), выше которого происходит разрушение материала – основная характеристика механической прочности.

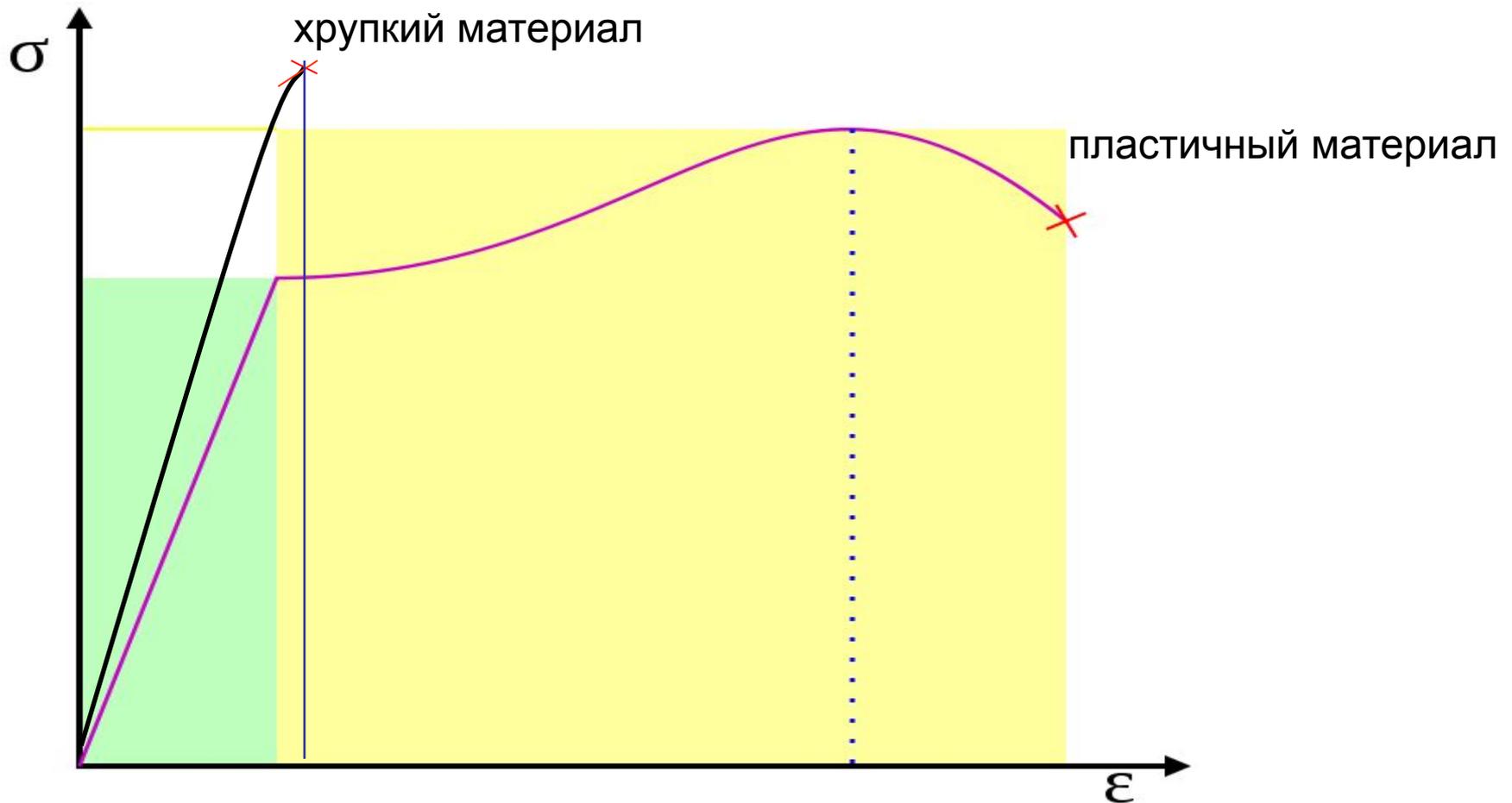
***Истинное сопротивление разрушению*** – это максимальное напряжение, которое выдерживает материал в момент, предшествующий разрушению образца

# ДИАГРАММЫ РАСТЯЖЕНИЯ для двух материалов с разной пластичностью



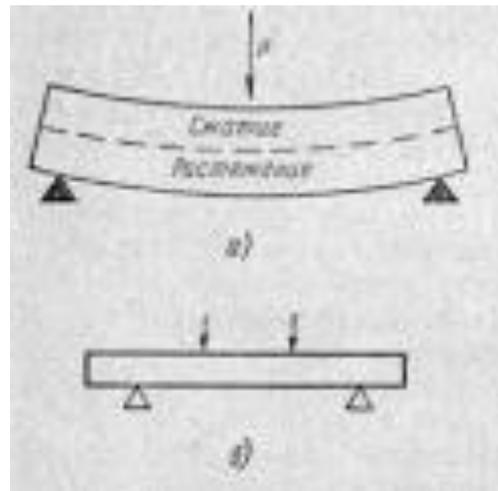
- сравнительно хрупкого (*штриховая линия*) и более пластичного (*сплошная линия*).
- Пределы текучести обоих материалов почти совпадают.
- Более хрупкий металл разрушается по достижении своего предела прочности при растяжении, а более пластичный - пройдя через свой предел прочности.

# Диаграмма зависимости деформации металла от действующих напряжений



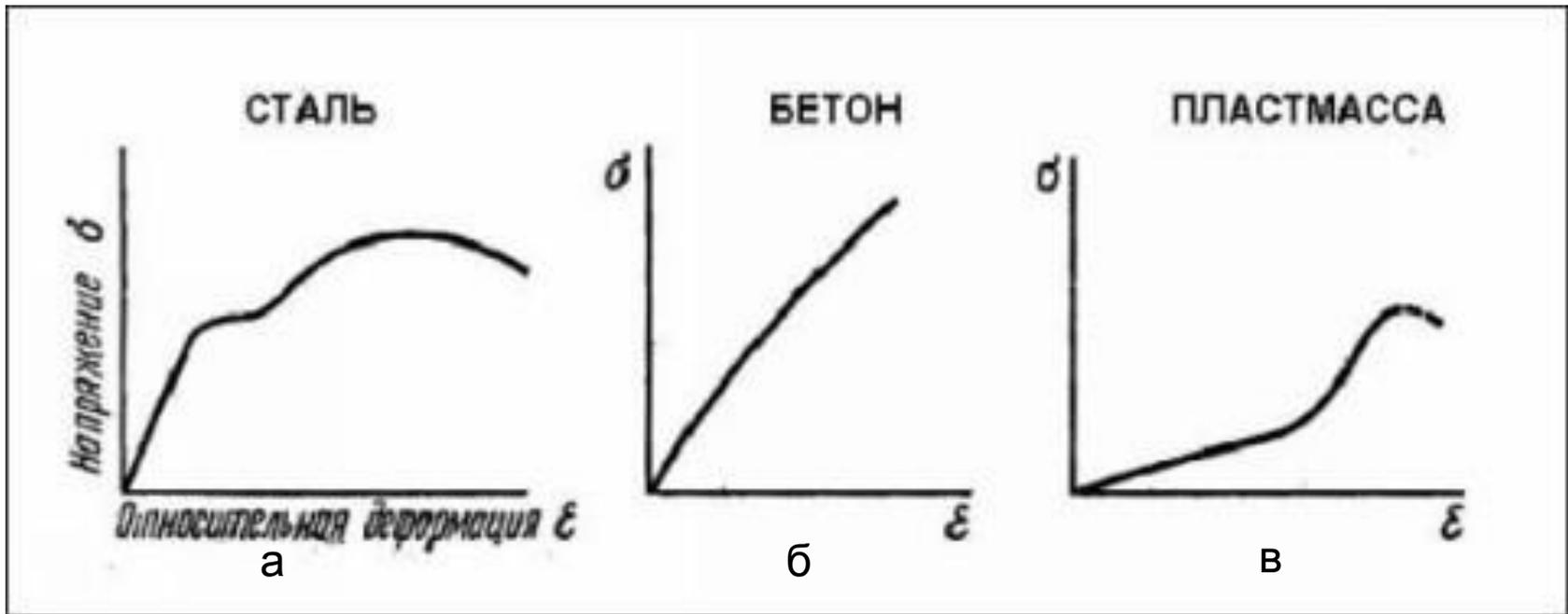
Слева – упругие деформации, справа - пластические

- *Различают:*
- предел прочности при растяжении,
- предел прочности при сжатии,
- предел прочности при изгибе,
- предел прочности при кручении.



Предел прочности при сжатии строительных материалов колеблется в широких пределах — от 5 (торфяные плиты) до  $10^4$  кгс/см<sup>2</sup> и выше (высокосортные стали).

- Предел прочности при сжатии  $R$  – отношение разрушающей нагрузки  $P(H)$  к площади сечения образца  $F$  (см<sup>2</sup>). Он зависит от размеров образца, скорости приложения нагрузки, формы образца, влажности.
- Предел прочности при растяжении  $R_p$  - отношение разрушающей нагрузки  $P$  к первоначальной площади сечения образца  $F$ .



- Поликристаллические изотропные материалы (металлы), сохраняют упругость при значительных напряжениях; для многих из них характерно пластическое разрушение, отмеченное площадкой текучести на диаграмме (а).
- При хрупком разрушении (бетон) пластические деформации невелики (б).
- Упругая деформация пластмасс может превышать 100%. Первоначально для распрямления цепей молекул эластомера требуется низкое напряжение. По мере распрямления цепей молекул сопротивление дальнейшему деформированию возрастает, так как увеличение деформаций вызывает разрыв связей уже выпрямленных молекул (в).

# Диаграммы растяжения при медленно и быстро изменяющихся нагрузках

- На характер и величину деформации влияет не только величина нагружения, но и скорость приложения нагрузки, а также температура материала.
- С повышением скорости деформирования и понижением температуры материала деформации по своему характеру приближаются к упругопластическим, уменьшаясь по абсолютной величине.



# Модуль упругости или модуль Юнга

- Если ввести относительное удлинение

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L}$$

- и нормальное напряжение в поперечном сечении

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

- то закон Гука в относительных единицах запишется как

$$\sigma = E\varepsilon$$

- Величина  $E$  называется **модулем упругости** и является механической характеристикой материала. Закон Гука выполняется только при малых деформациях.
- При превышении предела пропорциональности связь между напряжениями и деформациями становится нелинейной.

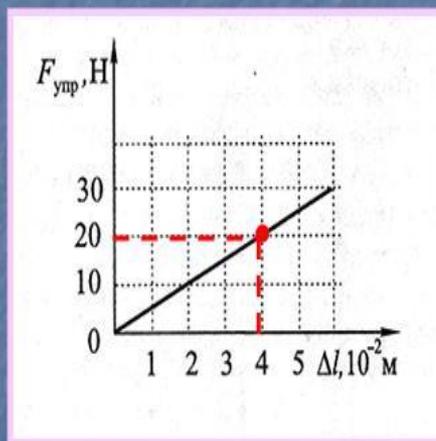
- Модуль упругости представляет собой меру жесткости материала. Материалы с высокой энергией межатомных связей (они плавятся при высокой температуре) характеризуются и большим модулем упругости.

Зависимость модуля упругости $E$ ряда материалов от температуры плавления $t_{пл}$		
Материал	$E \cdot 10^{-4}, \text{Мпа}$	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$
Карбид кремния	35,5	2800
Периклаз	24,6	2800
Корунд	37,2	2050
Железо	21,1	1539
Медь	11,2	1083
Алюминий	7,0	660
Свинец	1,5	327
Полистирол	0,3	300
Каучук	0,007	300

- **Жёсткость** – - способность тела или конструкции сопротивляться образованию деформаций.
- Если материал подчиняется **закону Гука**, то характеристикой жесткости являются **модули упругости**.

## Определите жесткость пружины

$$k = \frac{F_x}{X}$$



На графике отменим точку и опустим перпендикуляры на оси координат, запишем значения силы упругости  $F_x = 20$  Н и абсолютного удлинения пружины  $\Delta l = 0,04$  м и затем по формуле вычислим коэффициент жесткости

$$k = 20 \text{ Н} / 0,04 \text{ м} = 500 \text{ Н/м}$$

# Модуль упругости

**Модуль упругости** для пластмасс значительно меньше, чем для других строительных материалов.

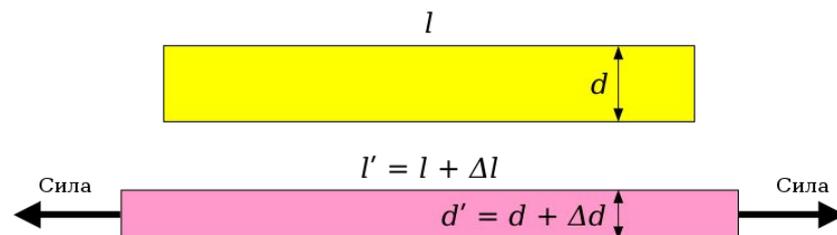
- Так, для стали он равен  $(2—2,2) \cdot 10^5$ ,
- древесины  $(0,063—0,14) \cdot 10^5$ ,
- слоистого пластика  $(0,021—0,028) \cdot 10^5$ ,
- полиэфирного стеклопластика  $(0,022 — 0,028) \cdot 10^5$  МПа.

# Жесткость пластмасс

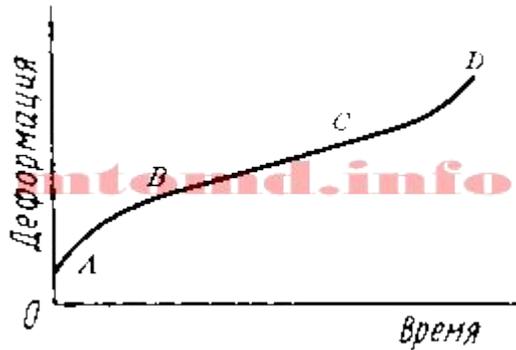
- В зависимости от *модуля упругости* выделяют **жесткие, полужесткие, мягкие и эластичные** пластмассы.
- **Жесткие** пластмассы разрушаются хрупко с незначительным удлинением при разрыве (фенолоформальдегидные и полиэфирные пластмассы имеют модуль упругости более 1000 МПа).
- **Мягкие** пластмассы (полиэтилен и др.) имеют модуль упругости 20— 100 МПа, для них характерно высокое относительное удлинение при разрыве.
- **Полужесткие** пластмассы (полипропилен и др.) имеют промежуточные значения модуля упругости 400—1000 МПа.
- Для **эластичных** пластмасс (резины и близких к ней материалов) модуль упругости не превышает 20 МПа, при нормальной температуре деформации их в основном обратимы.

# Коэффициент Пуассона

- (обозначается как  $\nu$  или  $\mu$ ) — *величина отношения относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению.*
- Этот коэффициент зависит не от размеров тела, а от природы материала, из которого изготовлен образец.
- Коэффициент Пуассона и модуль Юнга полностью характеризуют упругие свойства изотропного материала.
- Безразмерен, но может быть указан в относительных единицах: мм/мм, м/м.



# Ползучесть



## Кривая ползучести

*OA – упругая деформация образца в момент приложения нагрузки;*

*AB – участок, соответствующий начальной скорости ползучести;*

*BC – участок установившейся скорости ползучести, когда удлинение имеет постоянную скорость.*

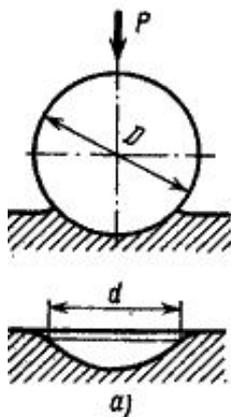
Если напряжения достаточно велики, то протекает четвертая стадия (участок CD), связанная с началом разрушения образца (образование шейки).

- **Ползучесть** – свойство металла медленно пластически деформироваться под действием постоянной нагрузки при постоянной температуре. При испытаниях образцы помещают в печь с заданной температурой и прикладывают постоянную нагрузку. Измеряют деформацию индикаторами.
- При обычной температуре и напряжениях выше предела упругости  $\sigma > \sigma_{\text{упр}}$  ползучесть не наблюдается, а при температуре выше  $0,6T_{\text{пл}}$ , когда протекают процессы разупрочнения, и при напряжениях выше предела упругости  $\sigma > \sigma_{\text{упр}}$  наблюдается ползучесть.
- В зависимости от температуры скорость деформации при постоянной нагрузке выражается кривой состоящей из трех участков.
- **Предел ползучести** – напряжение, которое за определенное время при заданной температуре вызывает заданное суммарное удлинение или заданную скорость деформации.
- Например,  $\sigma_{1/1000\text{ч}}^{900} \text{ МПа}$ ,

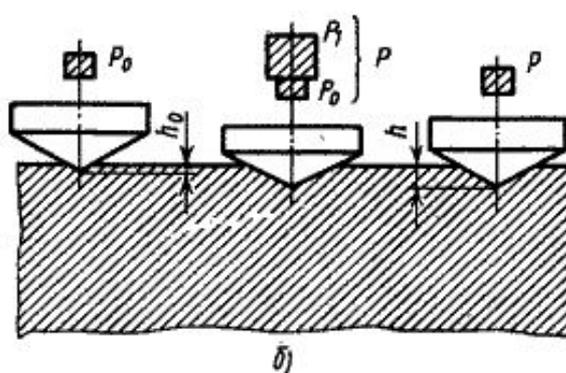
# Твердость

Твердость – способность материалов сопротивляться проникновению в него инородного тела при статическом вдавливании.

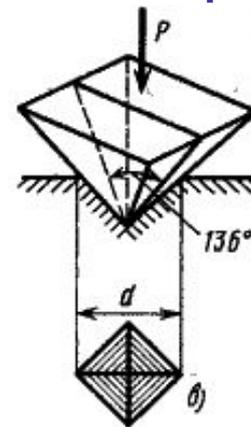
Метод Бринеля



Метод Роквелла



Метод Викерса



- О твердости металлов судят либо по площади полученного отпечатка (метод Бринеля), либо по глубине вдавливания индентора (метод Роквелла), либо по диагонали полученного отпечатка (метод Викерса для тонких образцов).

**Для каменных материалов используют шкалу Мооса**

# Измерение ударной вязкости (ударная прочность)

**Вязкостью** называется способность металла оказывать сопротивление быстро возрастающим (ударным) внешним силам. Вязкость – свойство обратное хрупкости.

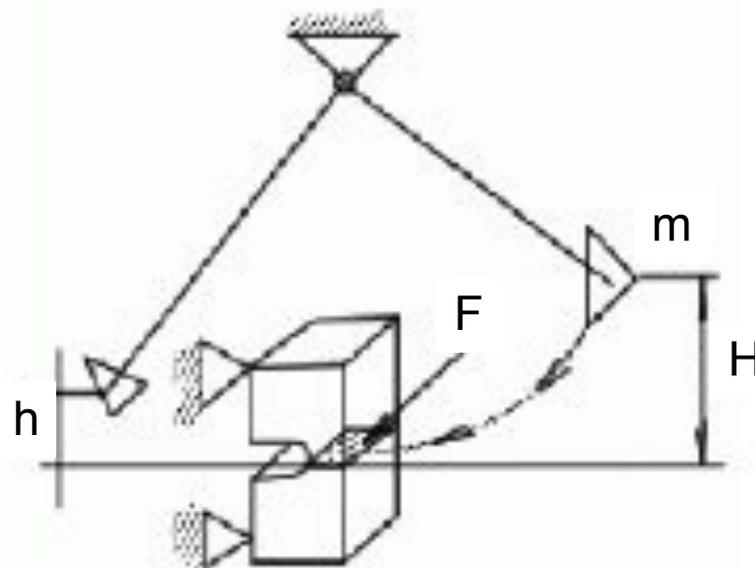
$$КС = E_{\text{разр}} / F_{\text{излома}}$$

где  $E_{\text{разр}} = mg(H - h)$  – энергия, поглощенная образцом при разрушении;

$F_{\text{излома}}$  – площадь поверхности излома.

Значение КС сильно зависит от температуры.

*Ударная вязкость* измеряется в результате разрушения образцов при испытании на ударный изгиб на *маятниковых копрах*.



- Ударную вязкость обозначают **KCV, KCU, KCT**
- **KC** – символ ударной вязкости, третий символ показывает вид надреза: острый (**V**), с радиусом закругления (**U**), трещина (**T**)

*Существующие лабораторные методы отличаются по*

- способу закрепления образца на испытательном стенде
- способу приложения нагрузки — падающая гиря, маятник, молот...
- наличию или отсутствию надреза в месте приложения удара

Для испытания «без надреза» выбирается лист материала с равной толщиной по всей площади.

При проведении испытания «с надрезом» на поверхности листа проделывается канавка, как правило, на стороне, обратной по отношению к месту удара, на всю ширину (длину) образца, глубиной на  $1/2$  толщины.

- Ударная вязкость при испытании «без надреза» может превышать результат испытаний «с надрезом» более чем на порядок.

- **Коэффициент конструктивного качества материала (К.К.К.)** материала характеризует его конструктивные свойства.
- Коэффициент конструктивного качества определяют по формулам:
- $K.K.K. = R/\rho_0$ ,
- где: **R** - предел прочности материала, МПа;
- **$\rho_0$**  - средняя плотность материала, г/см<sup>3</sup>, подставляемая в формулу в виде безразмерной величины.
- Наиболее эффективные конструкционные материалы имеют более высокую прочность при малой средней плотности.
- Повышения *К.К.К.* можно добиться снижением средней плотности материала и увеличением его прочности.

# Физико-химические свойства

– химический состав материалов меняется под действием физических факторов.

*Например:*

**Радиационная стойкость** – способность материалов сохранять свой химический состав и внутреннее строение под действием излучения

**Старение** - самопроизвольное изменение свойств металлов и полимеров в процессе их эксплуатации.

*Под действием нагревания (охлаждения), увлажнения, высушивания, замораживания, ионизации, света, механического воздействий процесс старения ускоряется.*

# Изменение свойств материалов в основных физико-химических процессах

**Старение** – изменение физико-химических свойств материала, протекающее либо самопроизвольно (*естественное старение*) при комнатной температуре, либо при нагреве (*искусственное старение*).

# Старение металлов и сплавов

- Это процессы изменения во времени их свойств, связанные с изменением металлов в твердом состоянии.
- Превращения связанные с изменением кристаллического строения.
- Превращения, сопровождающиеся образованием фаз с измененным химическим составом.
- *Старение сопровождается переходом сплава из метастабильного состояния в стабильное, характеризующееся более низким уровнем внутренней энергии.*

# Старение полимеров

- Изменяется химический состав, молекулярный вес, характер взаимодействия макромолекул и структура.
- Старение полимерных материалов обусловлено в основном процессами *деструкции* и *сшивания* макромолекул полимера.
- *Деструкция* приводит к уменьшению степени полимеризации и числа поперечных связей.
- Происходит под влиянием физических или химических факторов.
- *Сшивание* – образование поперечных химических связей между макромолекулами.

# Изнашивание

- процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.
- Изнашивание может сопровождаться коррозионными процессами, происходящими в материалах деталей под воздействием химически активных составляющих среды, и является сложным физико-химическим процессом.

- ***Изнашивание делится на три основные группы:***
- ***механическое***, происходящее в результате только механического взаимодействия материалов трущихся поверхностей.
- Наиболее распространенными разновидностями механического изнашивания являются ***абразивное*** и ***усталостное***.
- ***коррозионно-механическое***, характеризующееся процессом трения материалов при химическом и (или) электрическом взаимодействии со средой,
- изнашивание ***при действии электрического тока***.

# Абразивное изнашивание

- процесс разрушения поверхности резанием и царапанием твердыми абразивными частицами среды, в которой происходит работа деталей. *Твердость абразивных частиц выше, чем металла, что способствует разрушению поверхности деталей и резко увеличивает их износ.*
- Скорость изнашивания в абразивной среде зависит от концентрации, размеров, формы и свойств абразивов, свойств металлических поверхностей, скорости скольжения и удельного давления и достигает 0,5-5,0 мкм/ч.

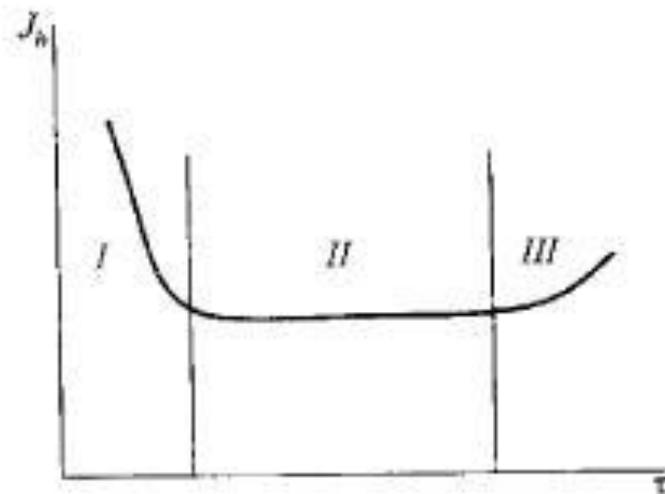
# Усталость материала

- процесс постепенного накопления повреждений под действием *переменных (часто циклических) напряжений*, приводящий к изменению его свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению материала за указанное время.

# Усталостное изнашивание

- Развитие прогрессирующего усталостного изнашивания начинается с появления усталостных трещин.
- Смазочный материал, попадая в трещины, способствует их расклиниванию и выкрашиванию частиц материала.
- *Интенсивность усталостного изнашивания зависит от нагрузки и температуры, твердости материала и шероховатости поверхности, применяемых смазочных материалов.*

Приработку проводят при пониженных нагрузках и скоростях, часто применяют приработочные присадки к маслам или абразивные пасты, что сокращает время приработки. Период II характерен для штатной эксплуатации при полных нагрузках, величину которых устанавливают в зависимости от заданного ресурса по критерию износостойкости. В конечном итоге происходит резкое увеличение интенсивности изнашивания (период III), при котором нормальная эксплуатация недопустима.



- Изменение интенсивности механического изнашивания:
- I — приработка, т. е. интенсивное изнашивание в местах концентрации нагрузки;
- II — установившееся изнашивание;
- III — ускоренное (катастрофическое) изнашивание

# Выносливость материала

- свойство материала воспринимать переменные (циклические) нагрузки без разрушения указанное время.
- Выносливость, так же как и прочность, для многих материалов сильно зависит от температуры, это явление получило название **хладноломкость** (свойство материала, пластичного, при определенных температурах, разрушаться хрупко при более низких (отрицательных) температурах).
- Для большинства конструкционных материалов существует пороговое значение температуры ( $T_{\text{хл}}$  – **порог хладноломкости**), при которой характер разрушения скачкообразно меняется:
  - ниже – хрупкое разрушение, с трещинами;
  - выше – вязкое разрушение, трещины распространяются с трудом.

# Окислительное изнашивание

- происходит в результате появления на поверхности трения пленок вследствие взаимодействия материала и кислорода.
- *Окислительный процесс наблюдается на стенках цилиндров двигателей при неполном сгорании топлива и работе при температуре ниже оптимальной.*
- *Скорость изнашивания составляет 0,1-0,5 мкм/ч.*

- **Износостойкость** – свойство материала оказывать в определенных условиях трения сопротивление изнашиванию, оцениваемое величиной обратной скорости изнашивания.
- **Истираемость** - свойство материала уменьшаться в объеме и массе вследствие разрушения поверхностного слоя под действием истирающих усилий. *Количественно истираемость оценивается потерей массы образца, отнесенной к площади истирания в г/см<sup>2</sup>.*

# Химические свойства материалов

- такие свойства, которые приводят к изменению химического состава.
- **Химическая стойкость** – способность противостоять действию химически агрессивных сред (растворы щелочей, кислот, солей)
- Химическую стойкость иногда называют **коррозийной стойкостью** – способностью материалов противостоять агрессивным факторам окружающей среды.

# Коррозия – самопроизвольное разрушение материалов под действием внешней среды

- Коррозионному воздействию подвержены металлы, бетон, природный камень, древесина, пластмассы.
- **Химическая (газовая) коррозия** металлов возникает в сухих газах и неэлектролитах (бензин, бензол, керосин). Продукты коррозии, чаще всего оксиды металлов, образуют пленку на поверхности. В некоторых случаях это защищает металл от дальнейшего разрушения.
- **Электрохимическая коррозия** протекает в токопроводящих средах за счет электрохимических процессов.
- Особенно подвержены коррозии металлы, расположенные в **ряду напряжений** (ряду активности) левее водорода.





# ХИМИЧЕСКАЯ КОРРОЗИЯ



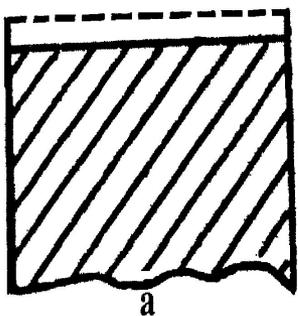
# Сущность процессов коррозии

- Коррозия металлов чаще всего сводится к их окислению и превращению в оксиды. В частности, коррозия железа может быть описана упрощенным уравнением
- $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Гидратированный оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и является тем, что люди называют ржавчиной. Это рыхлый порошок светло-коричневого цвета.
- Многие металлы при коррозии покрываются плотной, хорошо скрепленной с металлами оксидной пленкой, которая не позволяет кислороду воздуха и воде проникнуть в более глубокие слои и потому предохраняет металл от дальнейшего окисления. *Например, алюминий – очень активный металл и теоретически с водой должен был бы взаимодействовать в соответствии с уравнением*
- $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2$
- *Однако его поверхность покрывается плотной пленкой оксида  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , которая защищает металл от воздействия воды и кислорода. По этой причине вода в алюминиевом чайнике при нагревании кипит, но не действует на металл и потому чайник служит довольно долгое время.*
- Однако в воздухе часто содержатся оксиды серы, азота, углерода и другие, а в воде – растворенные газы и соли. Поэтому процесс коррозии и его продукты часто не столь простые. Например, бронзовые статуи, корродируя покрываются слоем зеленой патины, состав которой отвечает основному сульфату меди (II)  $(\text{CuOH})_2\text{SO}_4$ .

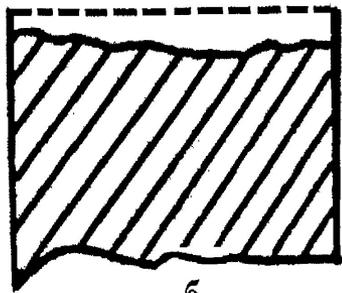
- *Коррозия металлов бывает сплошной и местной.* Сплошная коррозия не представляет особой опасности для конструкций и аппаратов особенно в тех случаях, когда потери металлов не превышают технически обоснованных норм. Ее последствия могут быть сравнительно легко учтены. Значительно опаснее местная коррозия, хотя потери металла здесь могут быть и небольшими.

- Один из наиболее опасных видов местной коррозии – это **точечная**. Она заключается в образовании сквозных поражений, т.е. в образовании точечных полостей – так называемых **ПИТТИНГОВ**.
- Местной коррозии благоприятствуют морская вода, растворы солей, в частности галогенидных (хлорид натрия, магния и др.). Опасность местной коррозии состоит в том, что, снижая прочность отдельных участков, она резко уменьшает надежность конструкций, сооружений, аппаратов

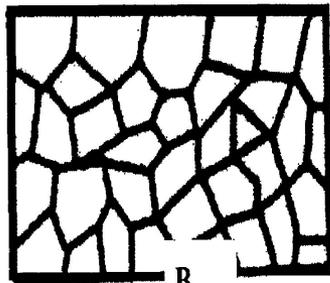
# Виды коррозионных разрушений



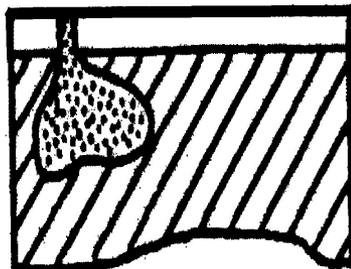
а



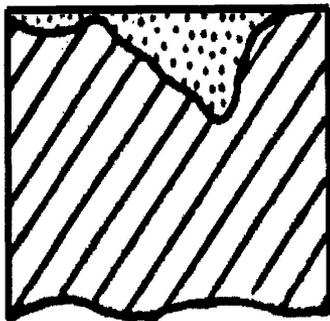
б



в



г



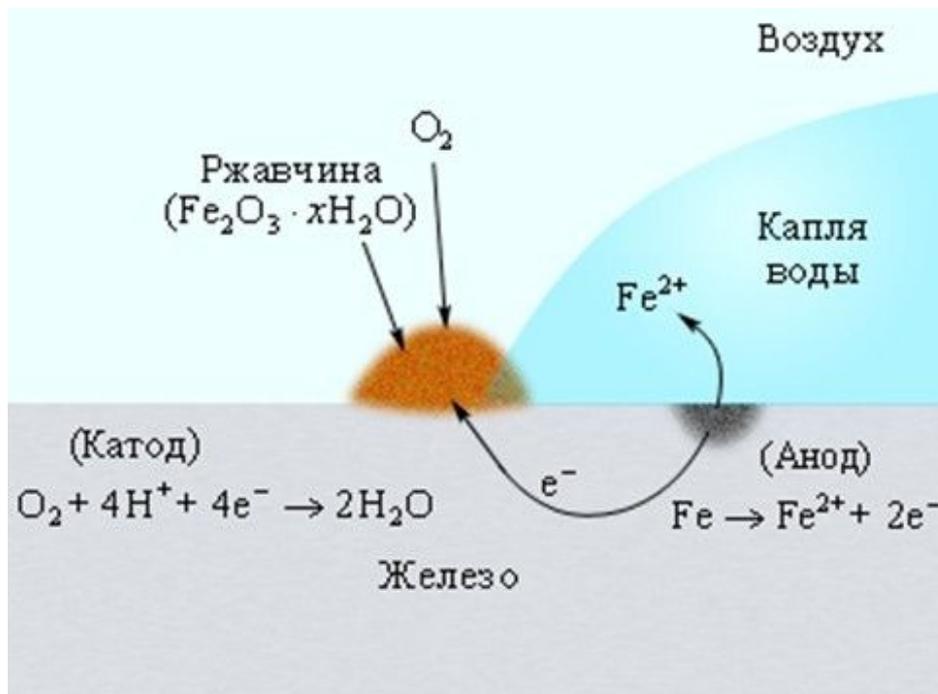
д

- а- сплошная равномерная
- б- сплошная неравномерная
- в- межкристаллитная
- г- подповерхностная
- д- локальная (питтинг)

- По своей сущности коррозию делят на **химическую и электрохимическую**.
- Ржавление железа или покрытие патиной бронзы – химическая коррозия. Если эти процессы происходят на открытом воздухе в комнатных и особенно в природных условиях, то такую коррозию часто называют атмосферной.
- *В промышленном производстве металлы нередко нагреваются до высоких температур и в таких условиях химическая коррозия ускоряется. При прокатке раскаленных кусков металла образуется окалина. Это типичный продукт химической коррозии. Окалина получается и при простой разливке на воздухе расплавленного металла в изложницы.*

- Сущность **электрохимической** теории коррозии состоит в том, что примеси в металлах создают микрогальванические элементы, в которых происходит перетекание электронов от анодных участков к катодным.
- Поскольку катодный и анодный процессы разделены на поверхности, то разделены и противоположные потоки ионов, атомов и молекул. Разделенные потоки не мешают друг другу и по этой причине процесс коррозии протекает быстрее, чем в случае отсутствия микрогальванических элементов.

# Схема процесса электрохимической коррозии железа во влажном воздухе

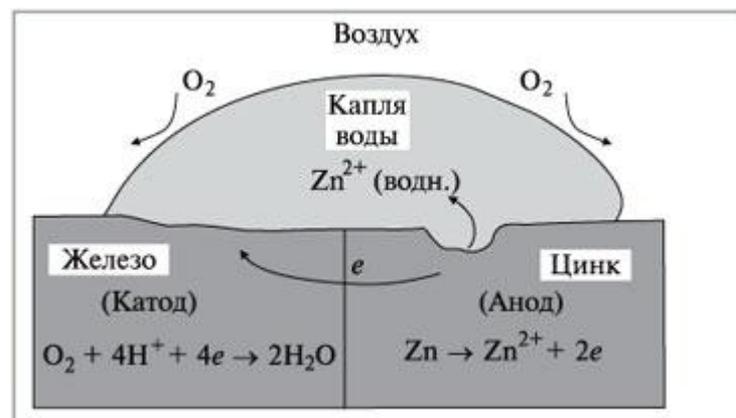
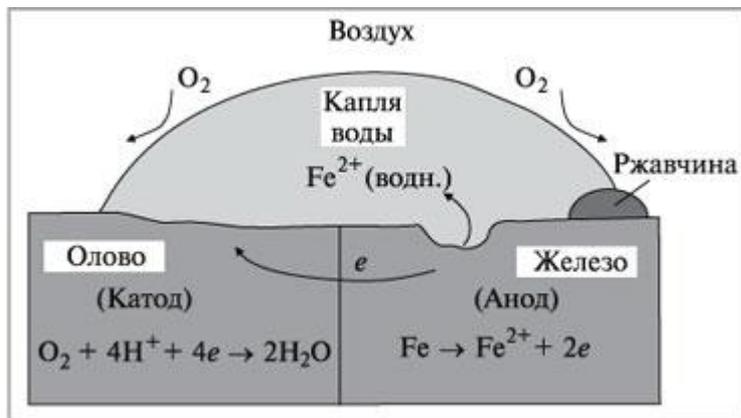


Поскольку роль катода обычно играет та часть поверхности, которая лучше всего обеспечена притоком кислорода, ржавчина чаще всего появляется именно на этих участках.

- Наличие анодного и катодного участков на поверхности железа приводит к созданию на ней двух неодинаковых химических окружений.
- Они могут возникнуть вследствие присутствия примесей или дефектов в кристаллической решетке. В местах, где есть примеси или дефекты, микроскопическое окружение конкретного атома железа может вызвать некоторое увеличение или уменьшение его степени окисления по сравнению с «нормальными» атомами в кристаллической решетке. Поэтому такие места способны играть роль анодов или катодов.
- Сверхчистое железо, в котором количество подобных дефектов сведено к минимуму, намного меньше корродирует по сравнению с обычным железом.



Классический пример – знаменитая Кутубская колонна в Индии близ Дели, которая уже почти полторы тысячи лет стоит и не разрушается, несмотря на жаркий и влажный климат. Сделана она из железа, в котором почти нет примесей. Как удалось древним металлургам получить такой чистый металл, до сих пор остается загадкой.



**Схема электрохимической коррозии железа в присутствии олова**

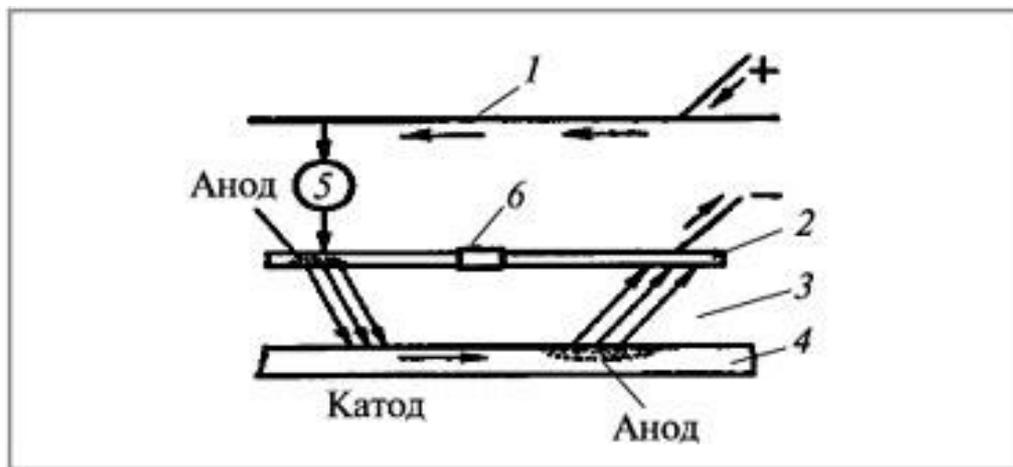
**Схема электрохимической коррозии в присутствии цинка**

Электрохимическая коррозия приводит к быстрому разрушению более активных металлов, которые в различных механизмах и устройствах контактируют с менее активными металлами, расположенными в электрохимическом ряду напряжений правее.

Использование медных или латунных деталей в железных или алюминиевых конструкциях, которые работают в морской воде, существенно усиливает коррозию.

# Электрическая коррозия (электрокоррозия)

- Блуждающие токи, исходящие от трамвая, метро, электрических железных дорог и различных электроустановок, работающих на постоянном токе, вызывают **электрокоррозию**.



- Ток с металлических конструкций выходит в грунт в виде положительных ионов металла – происходит электролиз металла. Участок выхода токов – это анодные зоны. Именно в них и протекают активные процессы электрической коррозии железа. Блуждающие токи могут достигать 300 А и действовать в радиусе нескольких десятков километров.

# Электрокоррозия

- Блуждающими токами, исходящими от источников переменного тока, вызывается слабая коррозия подземных стальных конструкций, и сильная – конструкций из цветных металлов.
- Защита металлических конструкций от коррозии является очень важной задачей, так как она причиняет огромные убытки.

# Мероприятия по борьбе с коррозией металла

## Методы борьбы с коррозией

### Основные методы защиты от коррозии

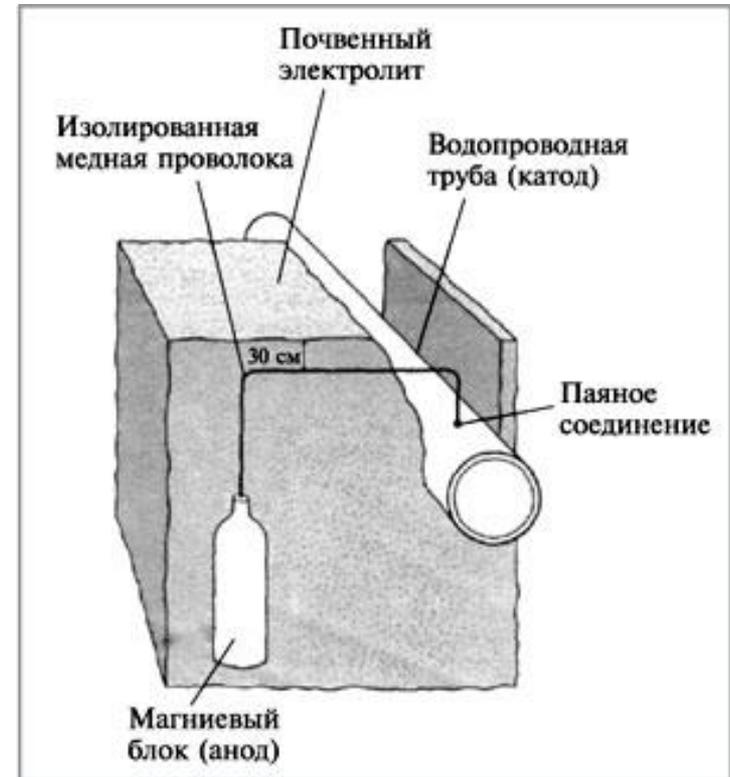


# Способы защиты деталей от коррозии



- Защищаемый металл играет роль катода. Такой способ защиты называется *катодным* (другое название – *протекторная* защита). Тот металл, который заведомо будет разрушаться в паре, называется *протектором*.
- Примеры такой защиты – оцинкованное железо (железо – катод, цинк – анод), «белая жесть» (оловом покрывают листовое железо), контакт магния и железа (магний – протектор).
- Магниевый анод окружают смесью гипса, сульфата натрия и глины, чтобы обеспечить проводимость ионов. Труба играет роль катода в гальваническом элементе.

## Протекторная защита



# Электрозащита

- Конструкция, находящаяся в среде электролита, соединяется с другим металлом (обычно куском железа, рельсом и т.п.), но через внешний источник тока.
- При этом защищаемую конструкцию подключают к катоду, а металл – к аноду источника тока.
- *В этом случае электроны отнимаются от анода источником тока, анод (защищающий металл) разрушается, а на катоде происходит восстановление окислителя.*
- Электрозащита имеет преимущество перед протекторной защитой: радиус действия первой около 2000 м, второй – 50 м.

- Если металл, например хром, создает плотную оксидную пленку, его добавляют в железо, и образуется *сплав* – нержавеющая сталь. Такие стали называются *легированными*.
- Многие сплавы, которые содержат незначительное количество добавок дорогих и редких металлов, приобретают замечательную устойчивость к коррозии и прекрасные механические свойства.
- *Например, добавки родия или иридия к платине так сильно повышают ее твердость, что изделия из нее – лабораторная посуда, детали машин для получения стекловолокна – становятся практически вечными.*

- Металл можно *пассивировать* – обработать его поверхность так, чтобы образовалась тонкая и плотная пленка оксида, которая препятствует разрушению основного вещества. *Например, концентрированную серную кислоту можно перевозить в стальных цистернах, т.к. она образует на поверхности металла тонкую, но очень прочную пленку.*

- **Ингибиторы** (замедлители) коррозии тоже переводят металл в пассивное состояние, образуя на его поверхности тонкие защитные пленки.

*Пример такого замедлителя коррозии – гексаметилентетрамин  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ .*

*В последние годы разработаны летучие, или атмосферные, ингибиторы. Ими пропитывают бумагу, которой обертывают металлические изделия. Пары ингибиторов адсорбируются на поверхности металла и образуют на ней защитную пленку.*

- Защитить металл можно, препятствуя проникновению к нему влаги и кислорода, – например, нанося на металл слой краски или лака.
- (На покраску Эйфелевой башни уже затратили средств больше, чем при ее создании.)

# Эксплуатационные свойства

*Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.*

- **Износостойкость** – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.
- **Жаростойкость** – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.
- **Жаропрочность** – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.
- **Хладостойкость** – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.
- **Коррозионная стойкость** – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.

Химическая технология – как  
основной фактор  
формирования состава,  
строения и свойств  
неорганических искусственных  
материалов.

- Сырьем, или сырьевыми материалами, называют вещества, которые поступают на предприятия для производства промышленной продукции. Сырьевые материалы могут быть природного происхождения, искусственного или представлять собой промышленные отходы.
- По отношению к выработке готовой продукции (по функциональному назначению) сырьевые материалы делят на **основные и вспомогательные**.
- Основные входят в состав готовой продукции и формируют его качество.
- Вспомогательные – служат для улучшения технологических процессов изготовления готового продукта или улучшения его потребительских свойств. Вспомогательные материалы могут не входить в состав готовой продукции, или входить в небольших количествах.

- Совокупность методов обработки исходного сырья с целью получения продукции, обладающей определенными потребительскими свойствами называется **технологией**.

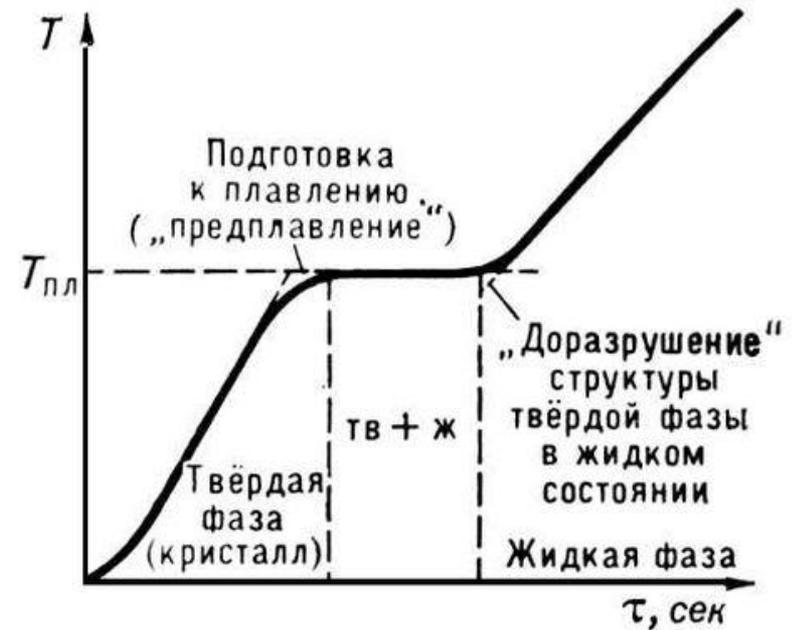
- **Технология получения неорганических материалов может включать следующие операции:**
- - добыча и подготовка сырья (добыча минеральных полезных ископаемых в карьерах открытым способом; очистка; в некоторых случаях - сушка, измельчение путем дробления и помола; разделение по фракциям);
- - дозирование и перемешивание подготовленных минеральных компонентов с целью обеспечения однородности сырьевой смеси;
- - формование изделий;
- - термическая обработка минерального сырья, в результате которой происходит формирование нового состава и строения (применяется только в химической технологии для получения искусственных материалов). *Например, в технологии получения стекла и металлов применяют такую операцию, как плавление; а в технологии получения керамики и вяжущих веществ – обжиг, спекание;*
- - контроль качества готовой продукции.

# Характеристика основных способов термической обработки минерального сырья

- В ряде технологий твердые материалы могут полностью переходить в расплав (*стекло, эмали, глазури*) или частично плавиться с образованием жидкой фазы (*фарфор, строительная керамика, портландцемент*).

**Плавление** — переход из *кристаллического* твёрдого состояния в жидкое. Плавление происходит с поглощением **удельной теплоты плавления**, которая расходуется на преодоление сил взаимодействия атомов в кристаллической решетке.

- С позиций молекулярно-кинетической теории **плавление – это накопление в веществе вакансий**.
- В стадии **предплавления** происходит сильное термическое расширение веществ, обусловленное большими амплитудами колебаний атомов, разрывом части химических связей и накоплением вакансий.
- Из-за склонности вакансий к слиянию образуются микроповерхности разрыва, отделяющие друг от друга блоки кристаллов. В расплав переходят не отдельные атомы, а их группировки, блоки.
- Затем происходит «доразрушение» этих группировок в жидком состоянии.



- Если с повышением температуры химические связи в материале ослабляются постепенно, то он размягчается постепенно, превращаясь сначала в очень вязкую жидкость, структура которой близка к структуре исходного твердого тела.
- С увеличением температуры подвижность жидкости возрастает.
- Так ведут себя при нагревании аморфные стеклообразные вещества.

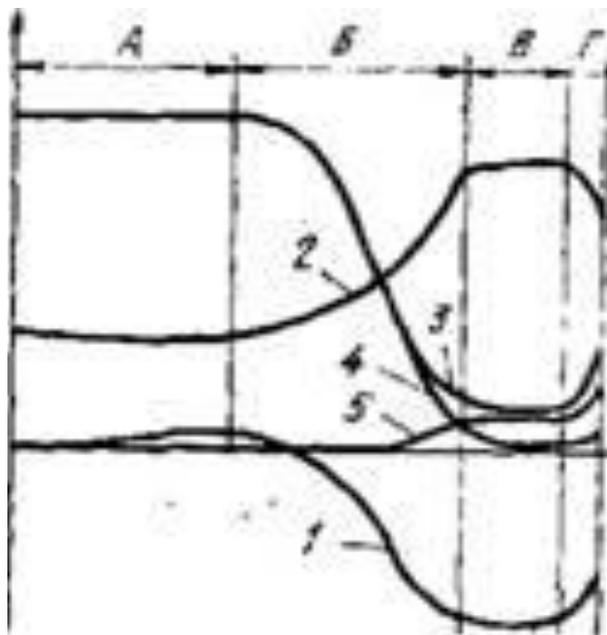
- **Обжиг** — высокотемпературная термическая обработка материалов или изделий с целью изменения (стабилизации) их фазового и химического состава и/или повышения прочности и кажущейся плотности, снижения пористости.
- **Температура обжига** это тот интервал максимальных температур нагрева в котором формируются требуемые стандартами основные эксплуатационные свойства материала.

- **Обжиг — завершающая стадия производства обожженных огнеупорных изделий.** *При обжиге некоторых изделий уменьшается пористость и увеличивается прочность, при обжиге других повышается только прочность, а пористость даже увеличивается.*

- При обжиге происходят сложные физико-химические процессы.
- Полнота протекания процессов зависит от температуры обжига, продолжительности, скорости подъема температур и охлаждения, газовой среды, состояния и свойств обжигаемого материала, условий обжига и т. п.
- Физико-химические процессы в обжиге не заканчиваются и продолжаются в период службы огнеупоров в промышленных печах.
- ***Режим обжига включает в себя:***  
скорость повышения температуры в печи в различные периоды, конечную температуру обжига, время выдержки при конечной температуре, скорость падения температуры при охлаждении характер газовой среды при обжиге.
- *Режим обжига огнеупоров обуславливается типом и размером изделий, и поэтому для разных их типов он различен.*

# Изменение размеров и характеристик плотности керамики в процессе обжига

- А — участок до начала спекания;  
Б — участок процесса спекания;  
В — интервал спекшегося состояния;  
Г — область пережога



- 1 — изменение линейных размеров;  
2 — плотности;  
3 — истинной пористости;  
4 — открытой пористости;  
5 — закрытой пористости.

*На первом температурном участке А существенны изменений не происходит, если не считать некоторого *термического расширения*.*

*На участке Б протекает процесс спекания, усиливающийся с повышением температуры, при этом происходят усадка, соответствующее ей увеличение плотности и снижение общей пористости. На определенном этапе появляются закрытые поры, в связи с чем открытая пористость становится меньше, чем общая.*

*Участок В соответствует максимальным значениям усадки и плотности при наименьшей открытой пористости.*

*Участок Г соответствует вспучиванию материала т. е. уменьшению плотности при пережоге за счет роста объема закрытых пор. На этом участке наблюдается деформация изделий. **При нормальном обжиге материал до состояния вспучивания или пережога не доводят.***

# Спекание

- Это процесс получения прочного камневидного тела из порошков при воздействии высоких температур. (применяется в производстве керамики, огнеупоров).
- *Спекание сопровождается уменьшением свободной энергии порошкообразного тела при нагреве.*

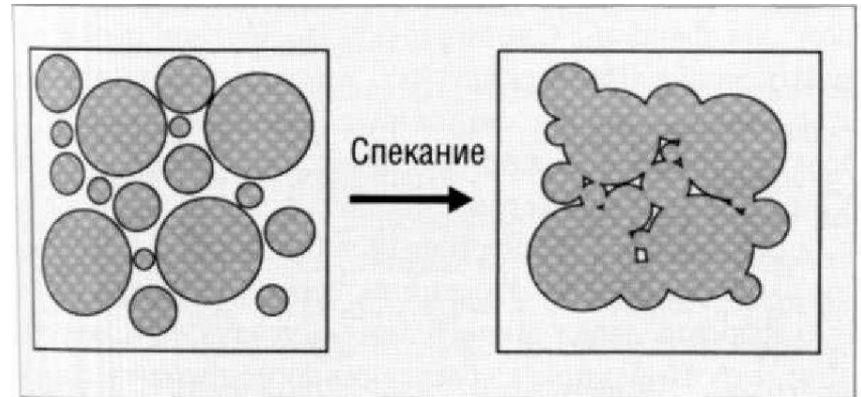
## **Внешние признаки спекания:**

- *уменьшение размеров тела (усадка)*
- *уменьшение пористости*
- *увеличение средней плотности.*

## **Внутренние превращения структуры:**

- *Исчезновение и укрупнение пор*
- *Образование и рост кристаллов*
- *Образование новых соединений и твердых растворов*
- *Полиморфное превращение*
- *Изменение дефектности кристаллической решетки*

- В зависимости от состава взаимодействующих фаз спекание разделяют на *спекание в твердой фазе* и *спекание с участием жидкой и газовой фазы*.



Стадии процесса спекания

1- припекание

2 - образование закрытых пор и их зарастание

*Спекание идет лучше если в контакте твердых частиц возникает жидкая фаза ( вследствие плавления легкоплавких примесей). Ускоряется диффузия вещества, облегчается перемещение частиц, быстрее заполняются зазоры между частицами.*

# Термическая обработка металлов и сплавов

- Это процесс изменения их внутреннего строения (структуры) путем нагрева, выдержки и последующего охлаждения в целях получения необходимых физико-механических свойств этих материалов.
- Ее основными видами являются **отжиг, закалка и отпуск.**

- **Отжиг** — это нагрев металла до температуры, определяемой целью отжига, выдержка при этой температуре и последующее медленное охлаждение.
- **Цель отжига** — *устранение химической неоднородности металла, понижение твердости для облегчения механической обработки и др.* Полный отжиг осуществляется путем нагрева металла до определенных температур; выдержки при этой температуре и последующего охлаждения вместе с печью. Время выдержки должно быть достаточным для нагрева изделия по всему сечению.

- Разновидностью полного отжига является **нормализация**, заключающаяся в нагреве металла до определенной температуры, выдержке при этих температурах с последующим охлаждением на воздухе.
- *Цель нормализации — снятие остаточных напряжений в металле и выравнивание его структуры.*

- **Закалка** состоит из нагрева металла до определенной температуры с последующим быстрым охлаждением. *Основная цель закалки — повышение твердости и прочности металла.*
- Выбор той или иной температуры зависит от назначения изготавливаемой детали.
- *При повышении температуры нагрева твердость и прочность закаленной стали снижаются, а вязкость увеличивается.*

- В процессе **отпуска** уже закаленный металл нагревается до температуры отпуска, выдерживается при этой температуре и охлаждается на воздухе или в масле.
- *Главная цель отпуска — снизить хрупкость закаленного металла.*
- Температура нагрева при отпуске стали колеблется от 75 до 650°C.

- В практике термообработки стали различают три вида отпуска:
- низкий, который выполняется при температурах до  $250^{\circ}\text{C}$ ,
- средний — при температурах до  $450^{\circ}\text{C}$
- высокий — при температурах до  $650^{\circ}\text{C}$ .

**Высокий отпуск обеспечивает более полное снятие остаточных напряжений, высокую вязкость и достаточную прочность стали.**