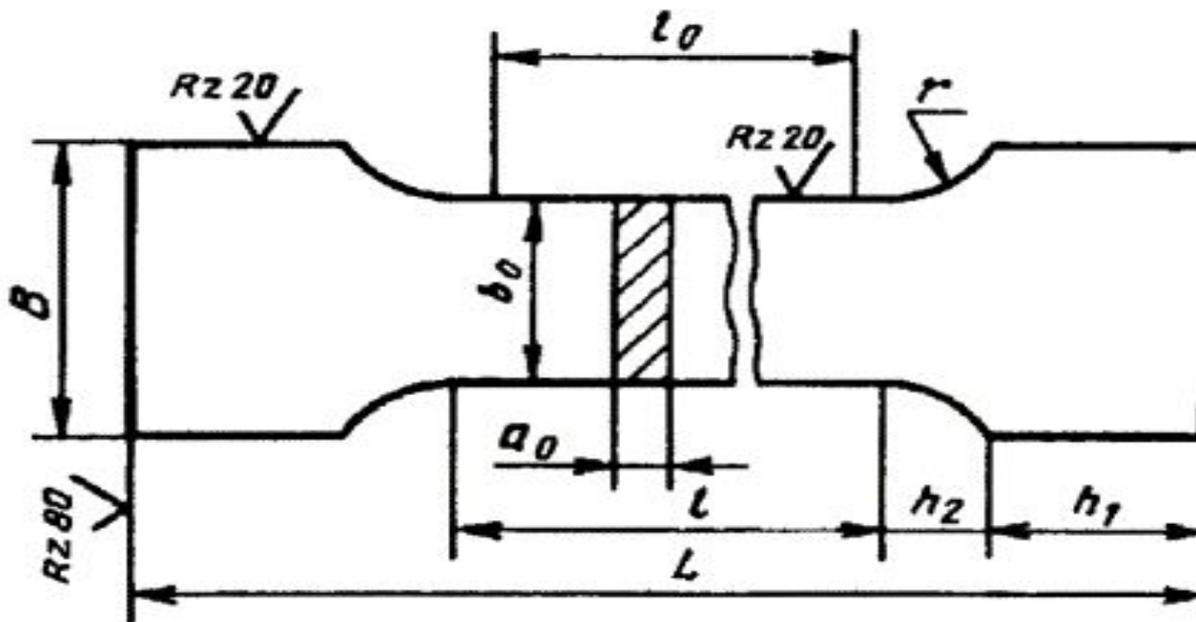


**Прочность** - способность материала сопротивляться разрушению и возникновению общей пластической деформации.

Испытания на растяжение (ГОСТ 1497-84)

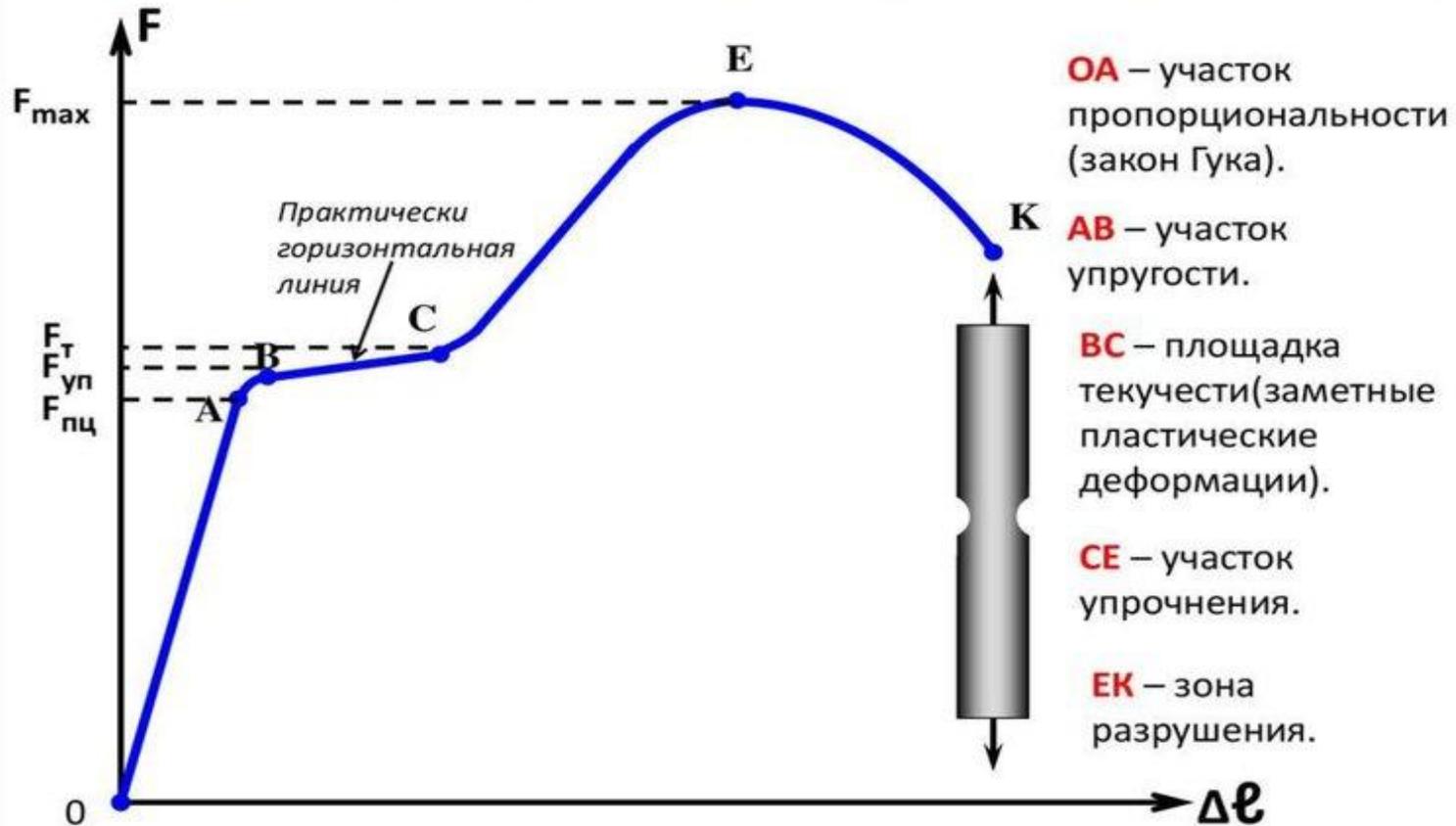




д.т.н., профессор Бакаева Раиса Дмитриевна

# Диаграмма растяжения образца малоуглеродистой стали

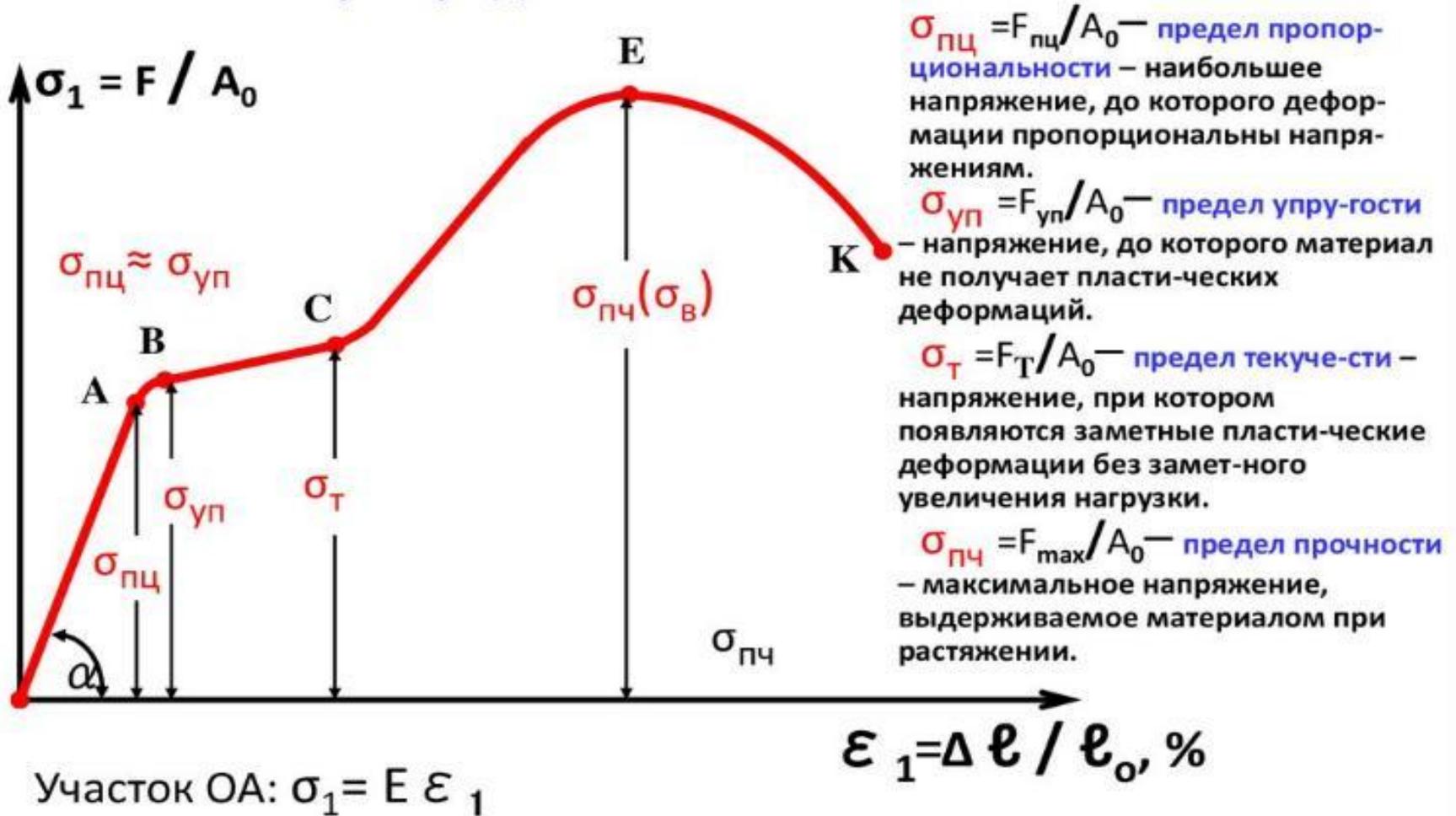
А



4



# Диаграмма растяжения материала малоуглеродистой стали



$\sigma_{пц} = F_{пц} / A_0$  — предел пропорциональности — наибольшее напряжение, до которого деформации пропорциональны напряжениям.

$\sigma_{уп} = F_{уп} / A_0$  — предел упругости — напряжение, до которого материал не получает пластических деформаций.

$\sigma_T = F_T / A_0$  — предел текучести — напряжение, при котором появляются заметные пластические деформации без заметного увеличения нагрузки.

$\sigma_{пч} = F_{max} / A_0$  — предел прочности — максимальное напряжение, выдерживаемое материалом при растяжении.

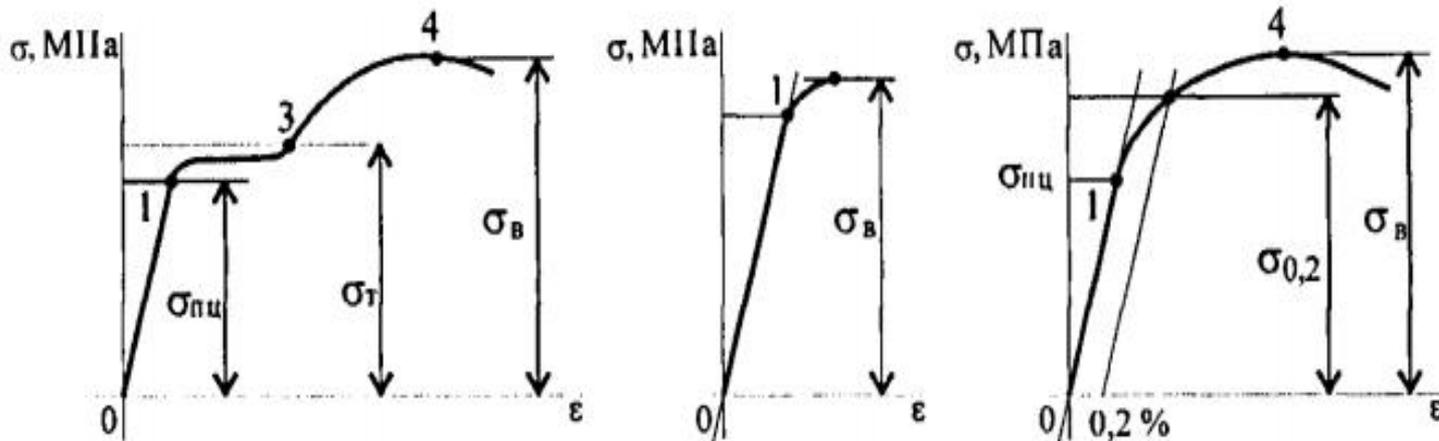
$tg \alpha = E$



# Виды диаграмм растяжения

Материалы делят на три группы в зависимости от типа диаграммы растяжения.

- I. Пластичные материалы. Имеют на диаграмме растяжения площадку текучести.
- II. Хрупкие материалы. Мало деформируются, разрушаются по хрупкому типу. На диаграмме нет площадки текучести.
- III. Пластично – хрупкие материалы. Не имеют площадки текучести, но значительно деформируются под нагрузкой.



**физический предел текучести  $\sigma_T$**  - наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметной упругости («течет»)  
Если нет площадки текучести, то определяют  $\sigma_T = P_T / F_0$

**условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$** , при котором образец получает остаточное удлинение, равное 0,2 % первоначальной расчетной длины.

**временное сопротивление  $\sigma_B$**  - напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению

$$\sigma_B = P_B / F_0$$

Величина пластической деформации к моменту разрушения характеризует **пластичность** материала. Различают две характеристики пластичности: относительное удлинение  $\delta$ , % , и относительное сужение  $\psi$ , % :

$$\delta = [(l - l_0) / l_0] \cdot 100$$

$$\psi = [(F_0 - F) / F_0] \cdot 100$$

где  $l$  - длина образца после разрыва;

$l_0$  - первоначальная длина образца;

где  $F$  - площадь сечения разрушившегося образца в месте разрыва;

$F_0$  - первоначальная площадь сечения образца.



# ПЛАСТИЧНОСТЬ



способность металла изменять форму и размеры под действием внешней нагрузки и сохранять новую форму и размеры после прекращения действия сил.

- Пластичность - свойство, обратное упругости. Чем больше пластичность, тем легче куется, штампуется и прокатывается металл.



# Упругая и пластическая деформация

**Деформацией** называется изменение размеров и формы тела под действием приложенной нагрузки

**Упругой** является деформация, которая исчезает после снятия нагрузки, при этом тело восстанавливает свои размеры и форму

**Пластическая** деформация остается после снятия нагрузки, тело своей прежней формы не восстанавливает

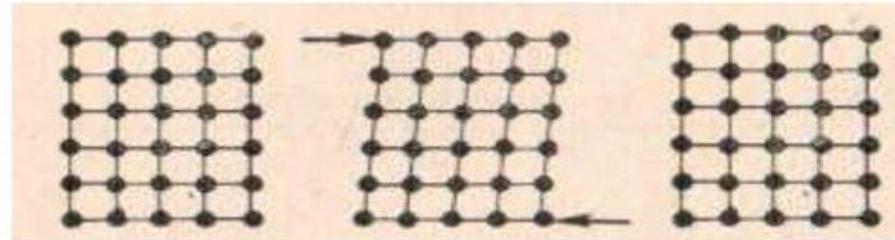


Схема упругой деформации

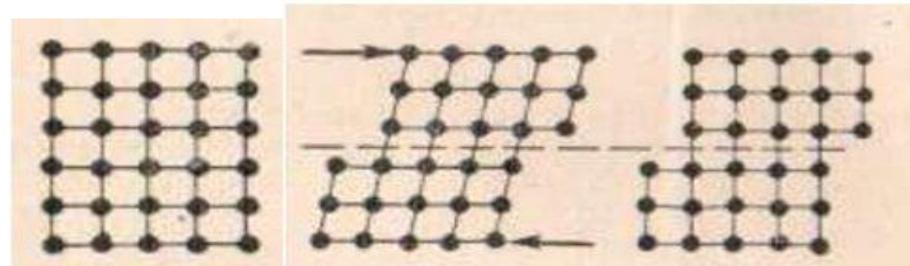


Схема пластической деформации



# Механические характеристики металлов

## Характеристики пластичности

К характеристикам пластичности относят относительное остаточное удлинение  $\delta$  и относительное остаточное сужение площади поперечного сечения  $\psi$ .

**Относительным остаточным удлинением  $\delta$**  называется отношение остаточной деформации  $\Delta l_{ост}$  образца к его первоначальной длине  $l_0$  выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{l_{ост}}{l_0} \times 100 \% = \frac{l_{к} - l_0}{l_0} \times 100 \%$$

**Относительным остаточным сужением  $\psi$**  называется отношение изменения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к первоначальной площади  $A_0$  поперечного сечения выраженное в процентах:

$$\psi = \frac{A_0 - A_{ш}}{A_0} \times 100 \%$$

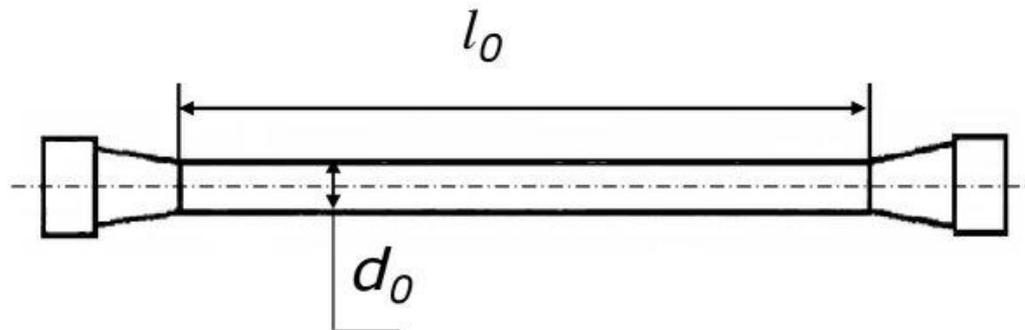
Пластические свойства материалов оцениваются величиной относительного остаточного удлинения  $\delta$ . Для оценки приняты следующие условия:

- если  $\delta < 5 \%$  материал считается хрупким;
- если  $5 \% < \delta < 10 \%$  - хрупко—пластичным;
- если  $\delta > 10 \%$  - пластичным.

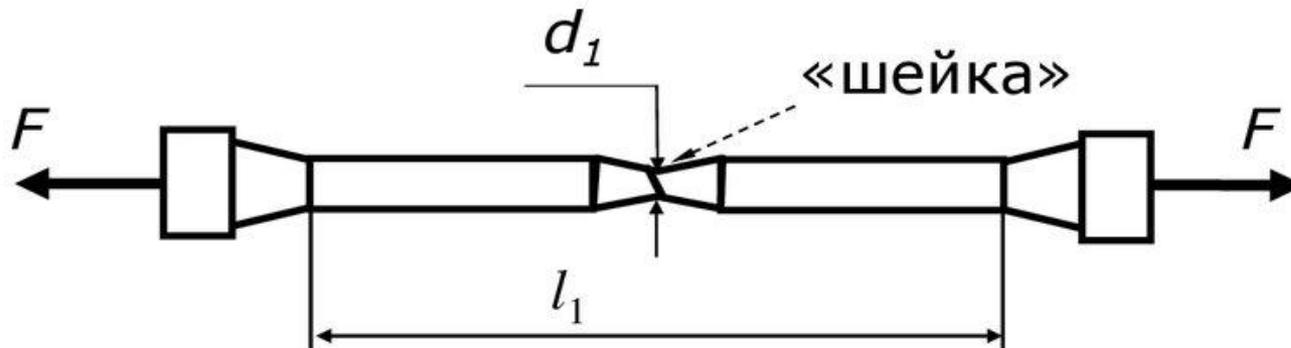


# Испытание на растяжение

Образец для испытаний



Разрушение образца из  
пластичного материала



Относительное

- удлинение

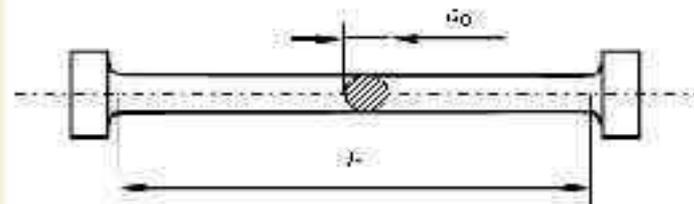
$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

- сужение

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100\%$$



# Испытания по ГОСТ 1497-84



Длинные образцы с отношением  $l_0/d_0 = 10$  ( $\delta_{10}$ ) и  
короткие -  $l_0/d_0 = 5$  ( $\delta_5$ )



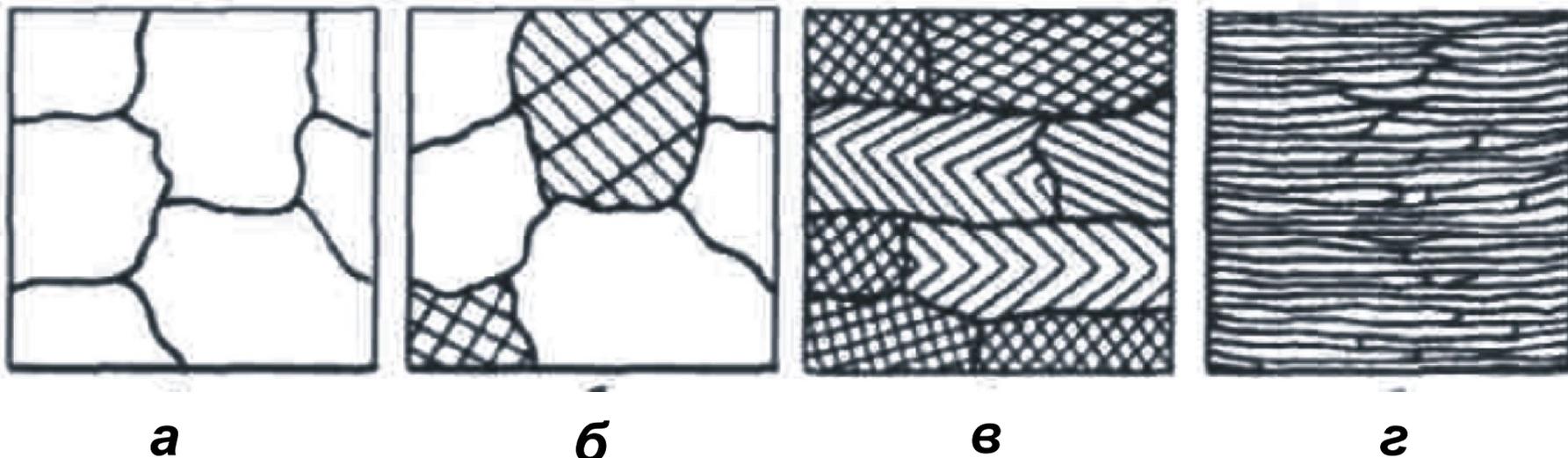
# Пластичность металлов

Большинство металлов пластичные, т.е. металлическую проволоку можно согнуть и она не сломается. Это происходит из-за смещения слоев атомов металлов без разрыва металлической связи между ними. Самыми пластичными являются: золото, серебро, медь и вольфрам... Из золота можно изготовить фольгу толщиной 0,003 мм. Однако, не все металлы пластичные.

Проволока из цинка или олова хрустит при сгибании, марганец и висмут при деформации не сгибаются, а сразу ломаются. Пластичность зависит от чистоты металла: очень чистый хром весьма пластичен, но загрязненный даже незначительными примесями становится хрупким и более твердым.



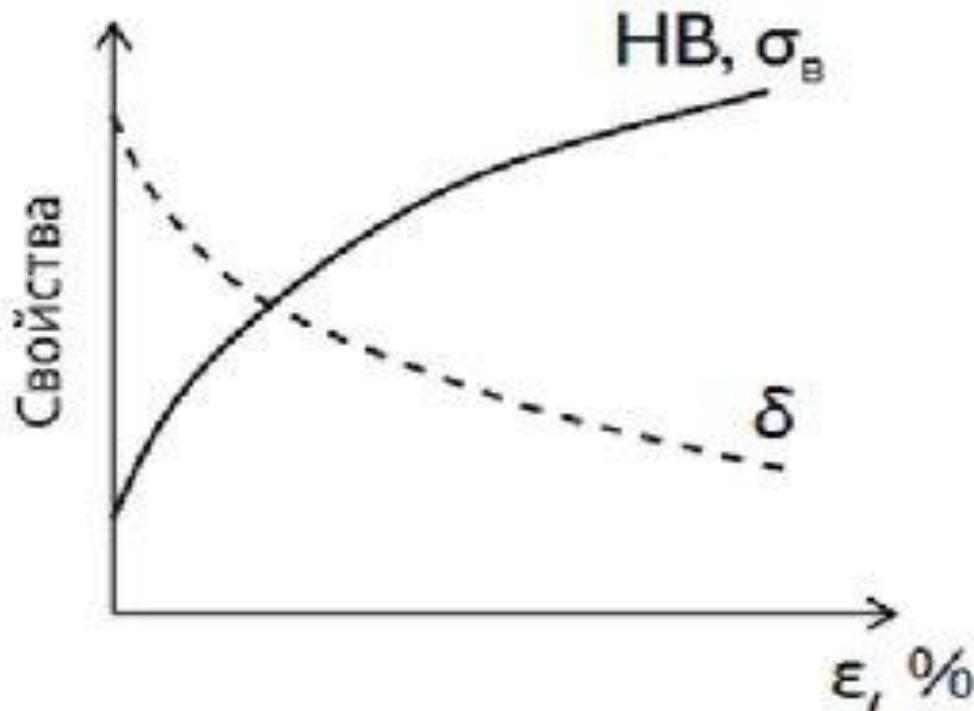
## Изменение микроструктуры поликристаллического металла при пластической деформации (наклеп)



- а – исходное состояние;**
- б – степень деформации ( $\epsilon = 1\%$ );**
- в –  $\epsilon = 40\%$ ;**
- г –  $\epsilon = 80 - 90\%$**

# НАКЛЕП

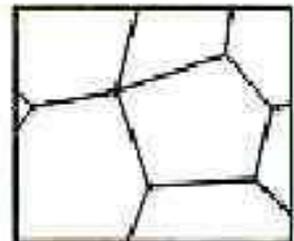
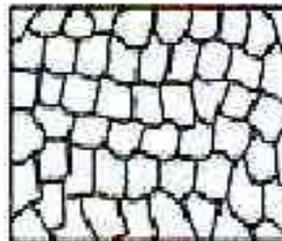
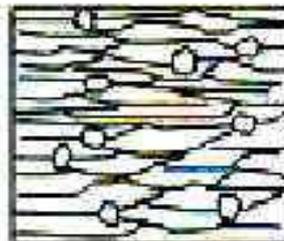
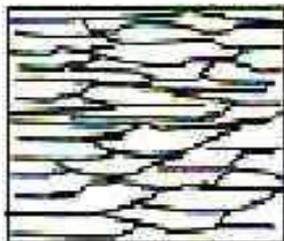
Изменение свойств металла при пластической деформации



# Рекристаллизация

При нагревании пластически деформированного металла, вследствие увеличения подвижности атомов, происходит восстановление структуры и свойств – этот процесс называется **рекристаллизацией**.

Температура нагрева  $\longrightarrow$



После деформации

Первичная рекристаллизация

Собирательная рекристаллизация

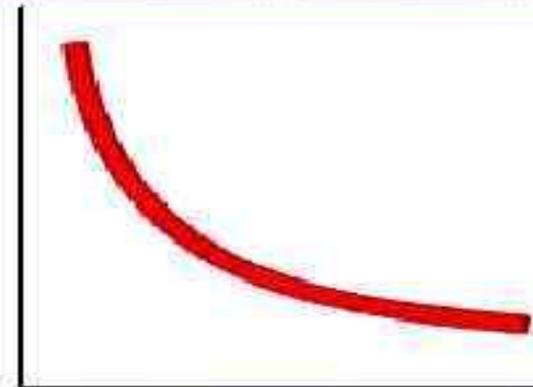
$$T_{\text{рекр}} = \alpha T_{\text{пл}}$$

$\alpha = 0,2$  для чистых металлов,

$\alpha = 0,4$  для технических металлов,

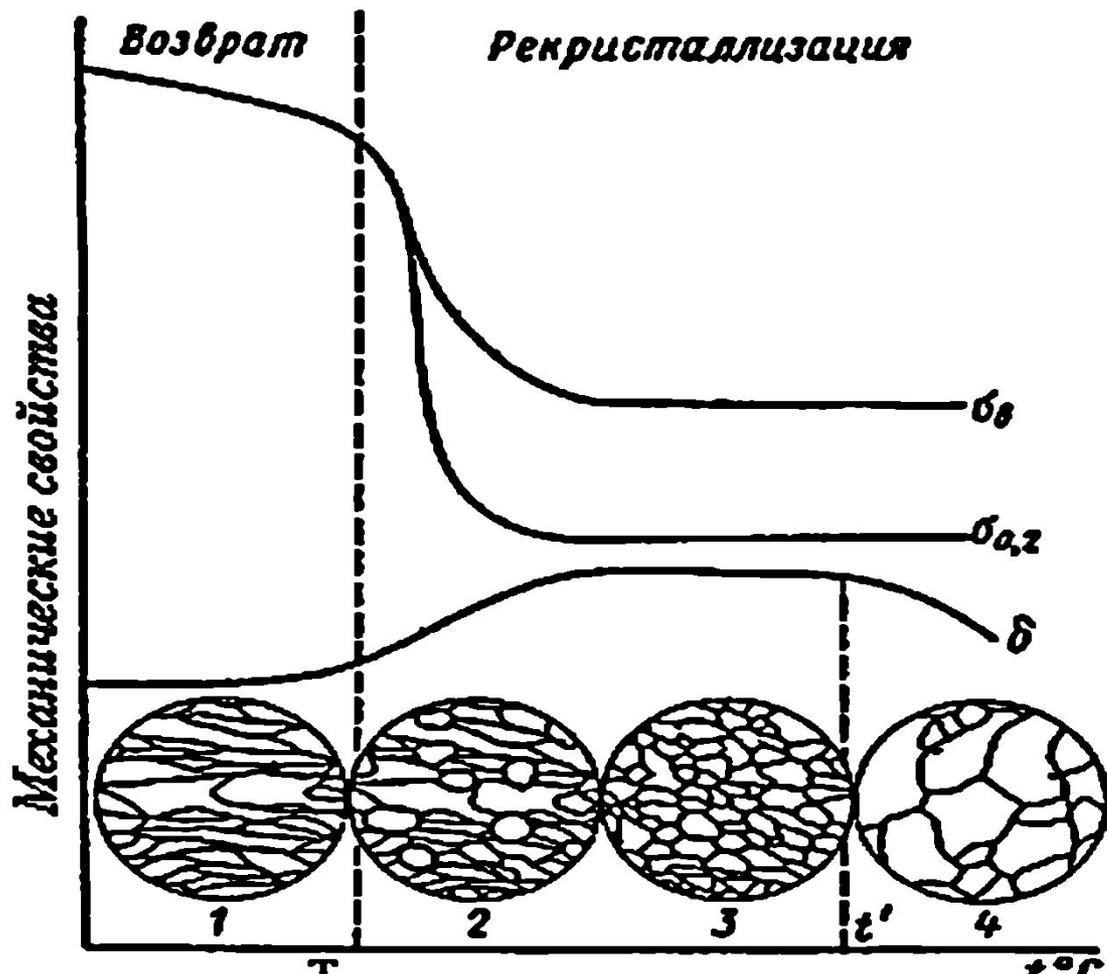
$\alpha = 0,8$  для жаропрочных сплавов

Температура начала  
рекристаллизации  $\uparrow$



Степень деформации  $\longrightarrow$

# Рекристаллизация



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

Влияние нагрева на механические свойства и структуру наклепанного металла



# Практическое значение температуры рекристаллизации

1. **Горячая обработка давлением** – пластическое деформирование выше температуры рекристаллизации. При этом упрочнение металла, если и произойдет, то будет немедленно сниматься процессами рекристаллизации, протекающими при этих температурах.
2. **Холодная обработка давлением** – пластическая деформация ниже температуры рекристаллизации. Такая обработка вызывает наклеп (нагартовку) металла – упрочнение металла под действием пластической деформации.



# Твердость металла и методы ее определения

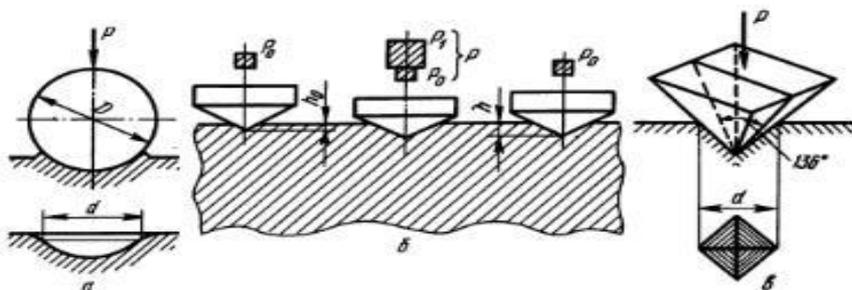


Рис. 59. Схемы испытания на твердость:  
а — по Бринеллю; б — по Роквеллу; в — по Виккерсу

**Твердость материала**  
— это сопротивление  
проникновению в  
него другого, более  
твердого тела

**Метод Бринелля:** используют для мягких материалов (цветные сплавы); индентор — стальной шарик различного диаметра; число твердости HB находят по таблицам по диаметру отпечатка шарика.

**Метод Роквелла:** используют для всех материалов, индентор — алмазный конус или стальной шарик малого диаметра (~1,6 мм); число твердости (в зависимости от шкалы) HRA, HRB, HRC — по глубине отпечатка.

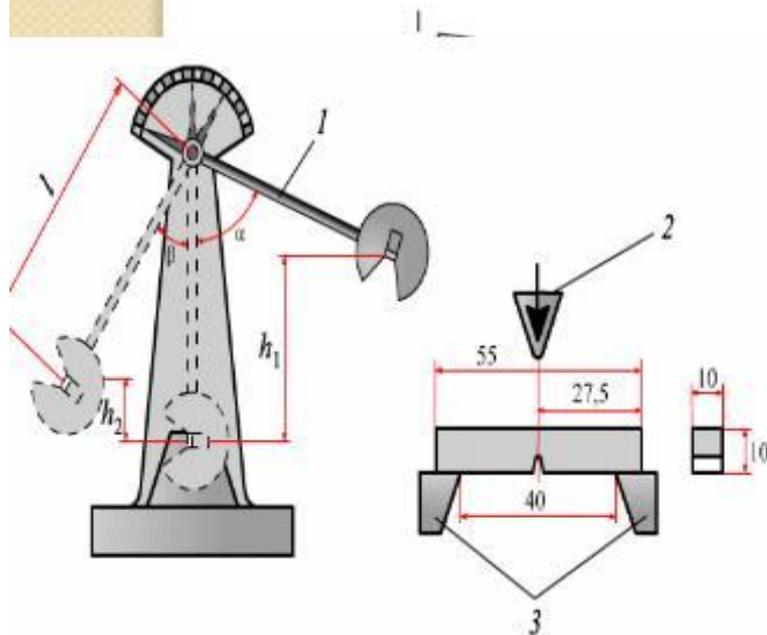
**Метод Виккерса:** используется для тонких поверхностных слоёв, имеющих высокую твердость (цементированных, азотированных), индентор — алмазная пирамида, число твердости HV находят по таблицам по диагонали отпечатка



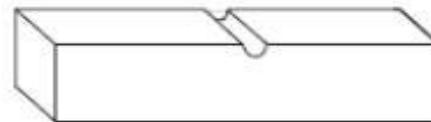
# Ударная вязкость

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

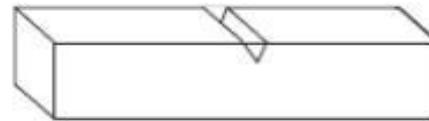
Копёр для испытания на удар



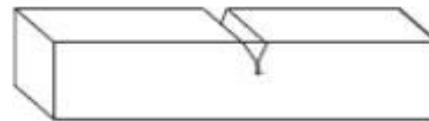
Образцы для испытания на удар



1) С U-образным вырезом



2) С V-образным вырезом



3) С V-образным вырезом и трещиной

Работа разрушения образца:

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

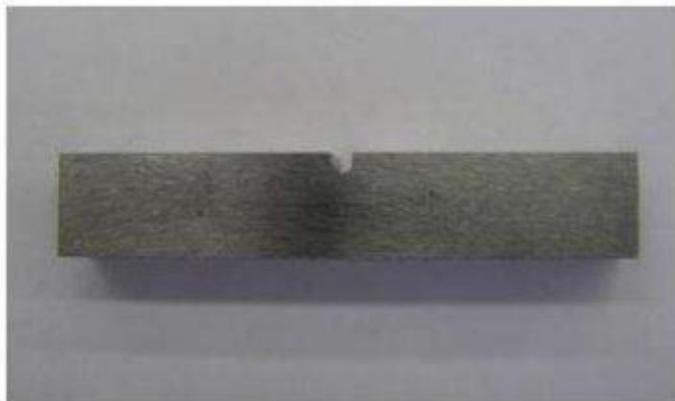
Ударная вязкость:  $a_H = A/F_0$

Обозначения: КСУ (1), КСВ (2), КСТ (3)



# Испытания на ударную вязкость ГОСТ(9454-84)

Образцы на ударный изгиб до и после испытаний



# Фрактография

Фрактография - область знаний о строении изломов, характеризующих механизм разрушения.

Излом – поверхность, образующаяся в результате разрушения металла.

Излом бывает: 1. зернистый, кристаллический.

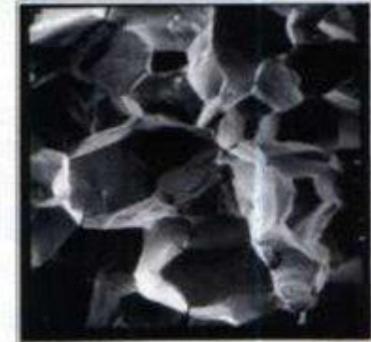
Показывает размеры и форму зерна металла.

Может быть межкристаллическим (проходит по границам) и транскристаллическим (пересекает зерна).

2. волокнистый, «аморфный». Структура металла не обнаруживается, т.к. излому предшествует пластическая деформация, искажающая форму зерна.

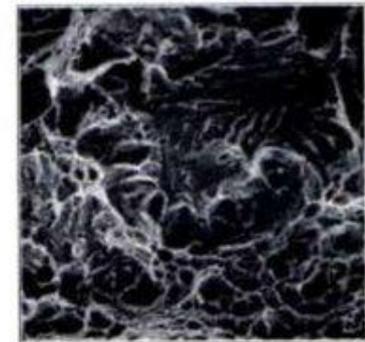
Аморфное тело, не имеющее кристаллического строения, дает раковистый излом.

Кристаллический излом



РЭМ x 300

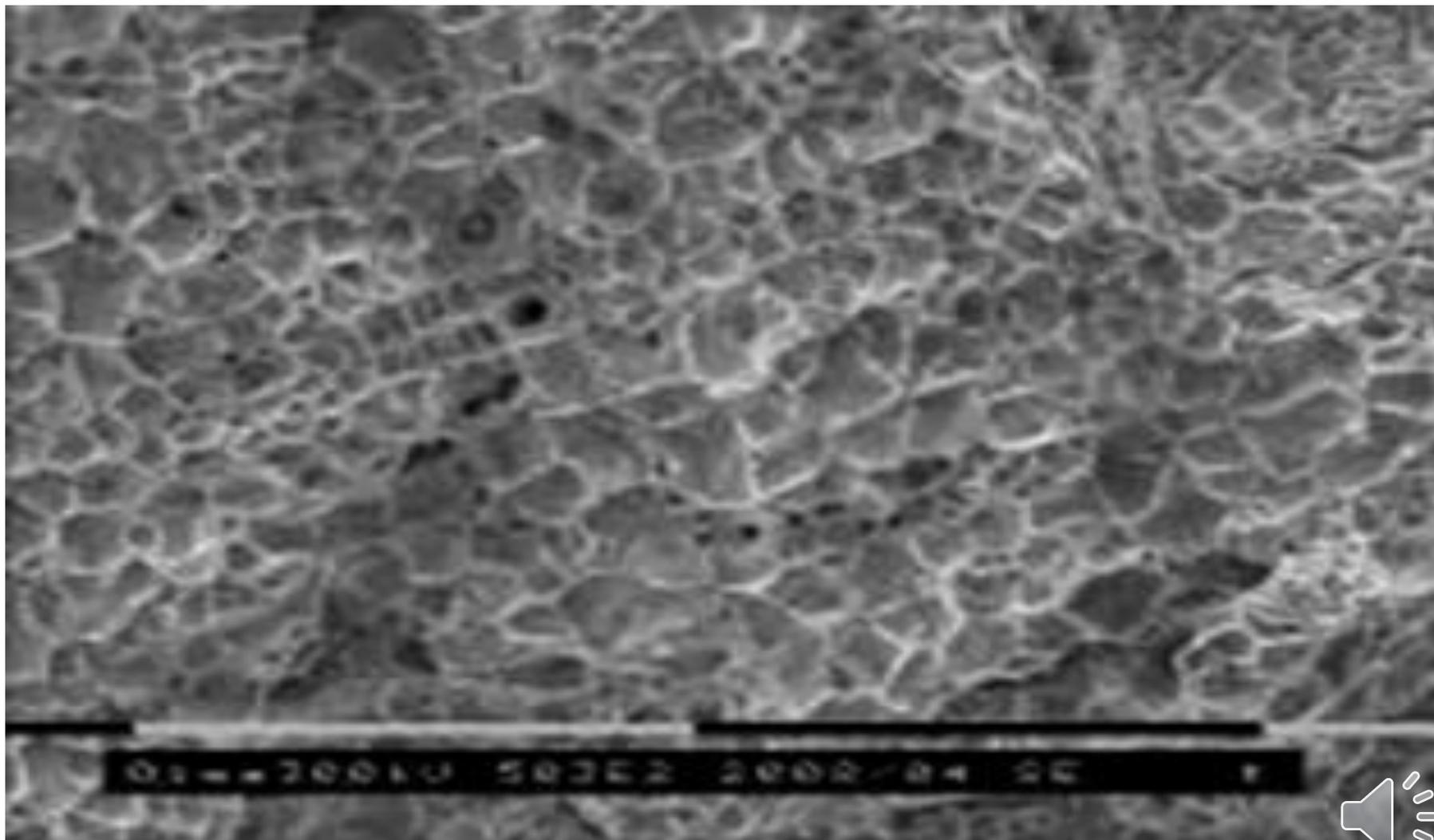
Волокнистый излом



РЭМ x300

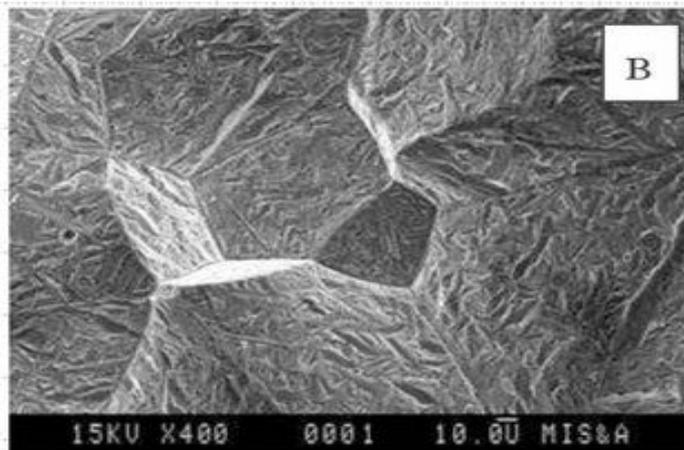
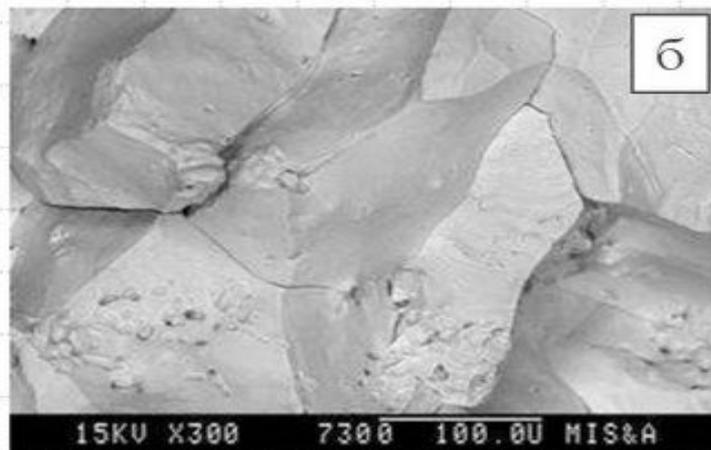
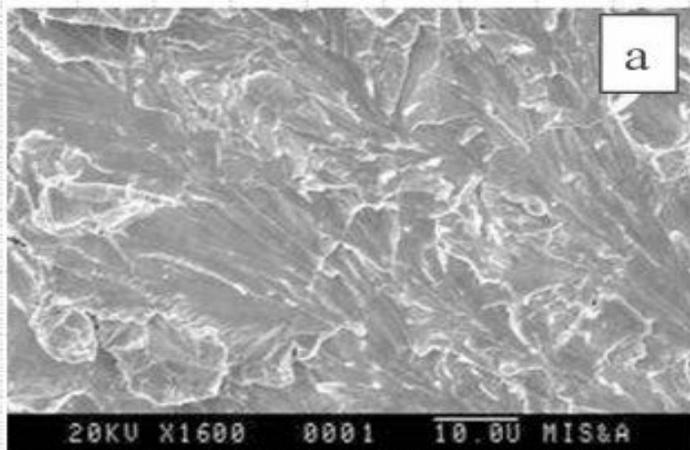


# Типичный вид вязкого излома



# ХРУПКОЕ РАЗРУШЕНИЕ

*Фрактограммы внутризеренного скола (а) и межзеренного разрушения (б, в). б – небольшое количество частиц избыточных фаз на межзеренной поверхности; в – большое количество частиц избыточных фаз на границах зерен*



**Хладноломкость** — склонность металла к переходу в хрупкое состояние с понижением температуры.

**Порог хладноломкости** — температурный интервал изменения характера разрушения

- Влияние снижения температуры на склонность материала к хрупкому разрушению оценивают по порогу хладноломкости ( $t_{50}$ ). Это температура, при которой в изломе образца имеется 50% волокнистой составляющей.

