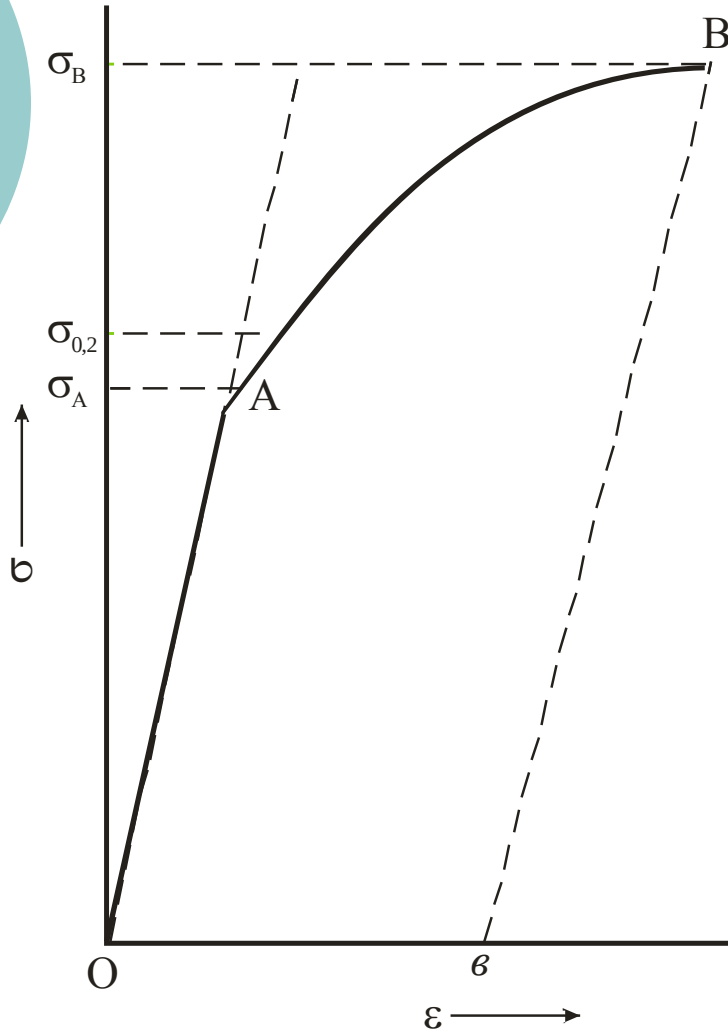


3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Упругая и пластическая деформация



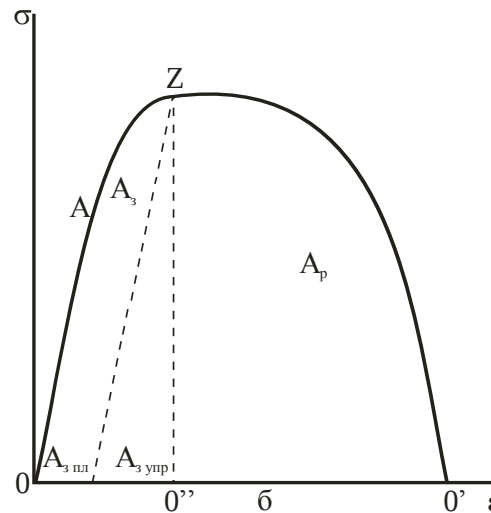
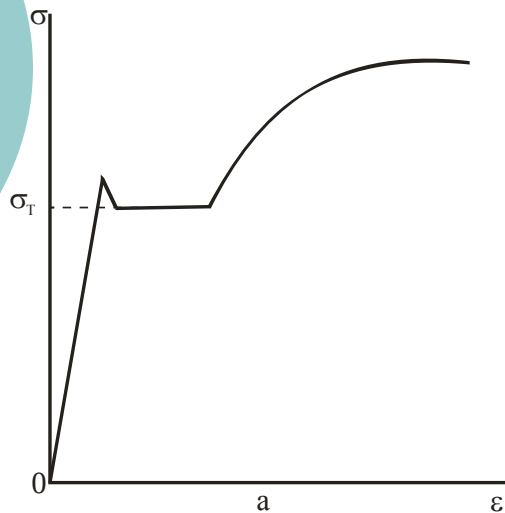
Деформация может быть **упругой**, исчезающей после снятия нагрузки, и **пластической**, остающейся после снятия нагрузки.

- наклон прямой OA показывает *жесткость* металла;
- тангенс угла наклона прямой OA пропорционален модулю упругости E ;
- условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) — напряжение, вызывающее остаточную деформацию, равную 0,2 % от длины образца;
- максимальное напряжение (σ_B) соответствует максимальному напряжению, достигнутому при растяжении;
- площадь под кривой OAB пропорциональна *работе*, которую надо затратить, чтобы разрушить образец. Она характеризует *вязкость* материала.

3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Упругая и пластическая деформация

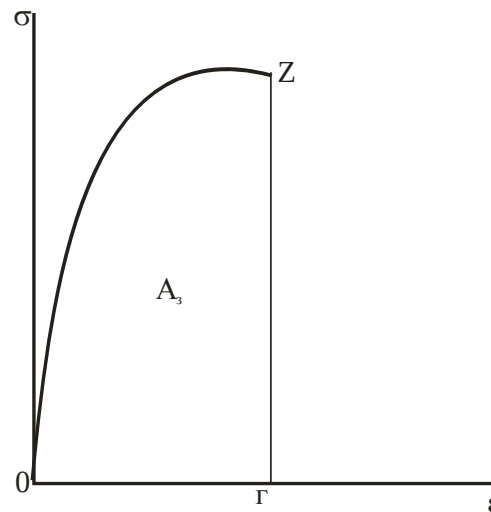
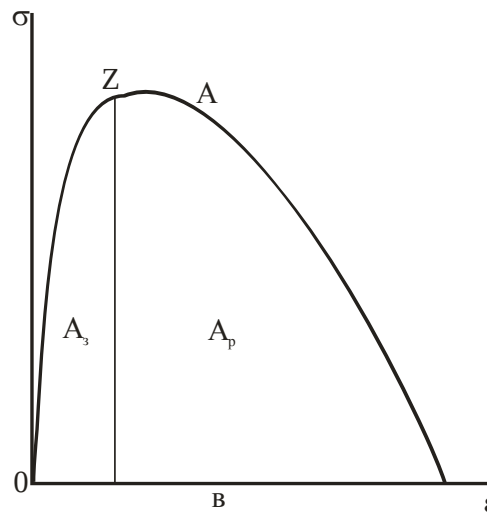
Некоторые виды диаграмм растяжения



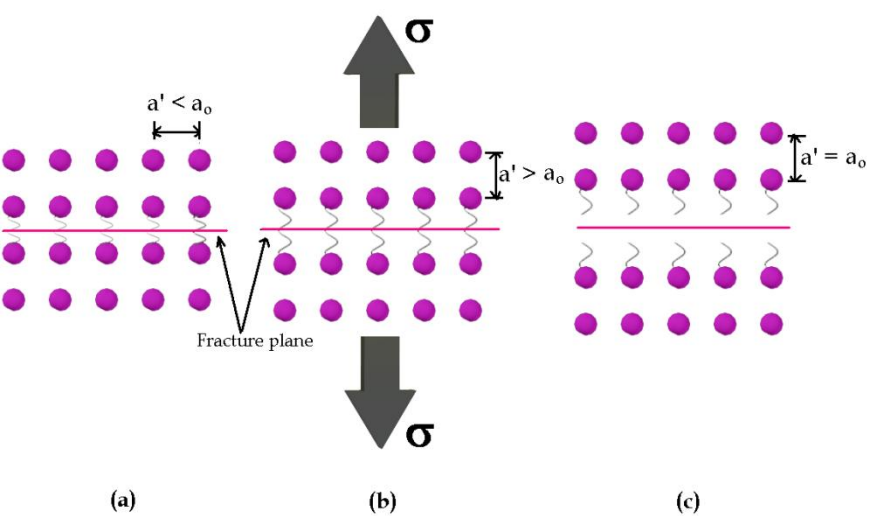
Для некоторых мягких металлов характерно наличие **площадки** (или **зуба**) **текучести** (рис.а).

Различают:

- физический предел текучести (σ_T);
- условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$).



Максимальная точка на кривой называется **временным сопротивлением** или **пределом прочности** (σ_B).



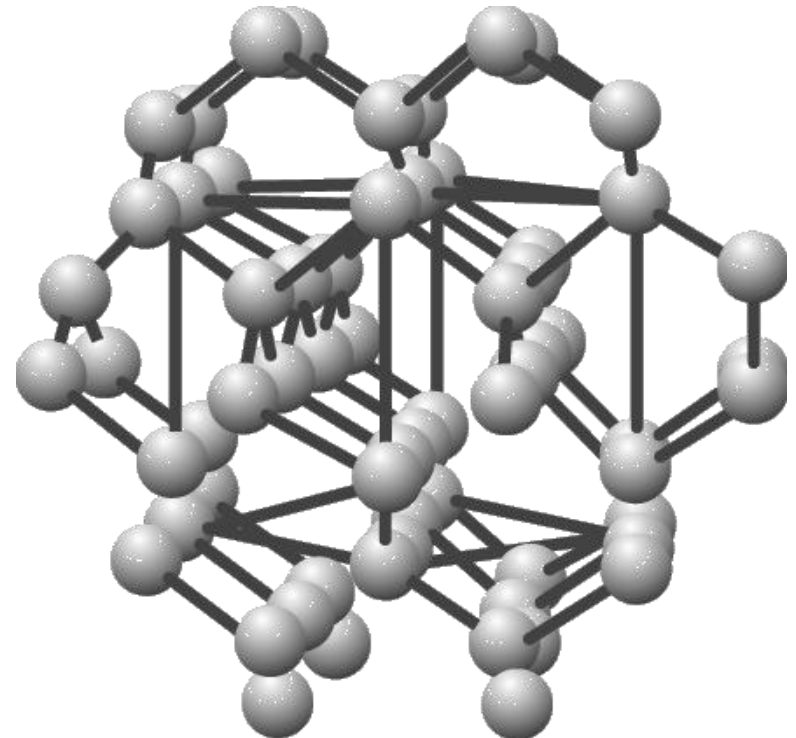
3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Упругая и пластическая деформация

Виды модулей упругости:
E – модуль Юнга, модуль I рода;
G – модуль сдвига, модуль II рода.

Для железа (Fe):
 $E = 2 \cdot 10^4 \text{ кгс/мм}^2$
 $G = 0,8 \cdot 10^4 \text{ кгс/мм}^2$

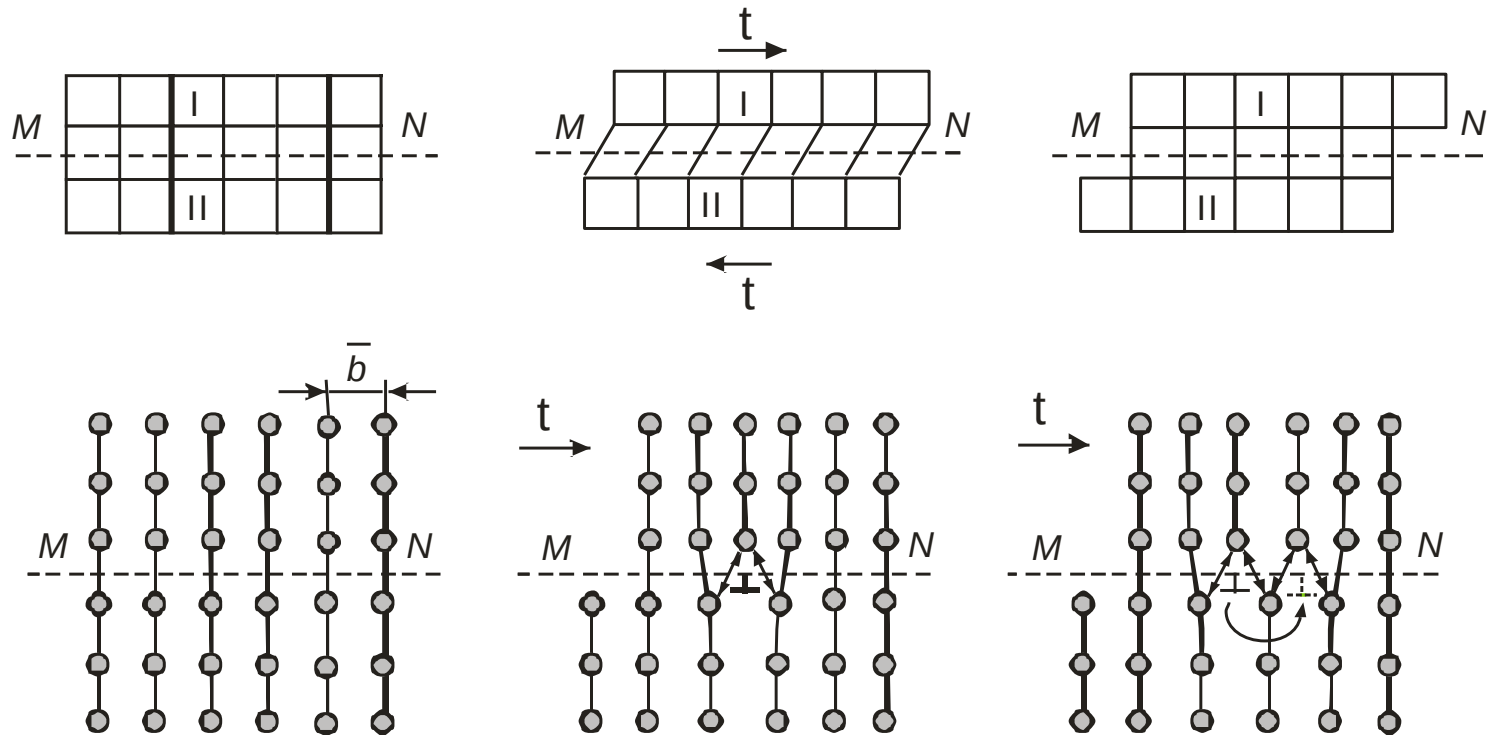
Для резины: $E = 0,00007 \cdot 10^4 \text{ кгс/мм}^2$
 Для алмаза: $E = 12 \cdot 10^4 \text{ кгс/мм}^2$



3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Упругая и пластическая деформация

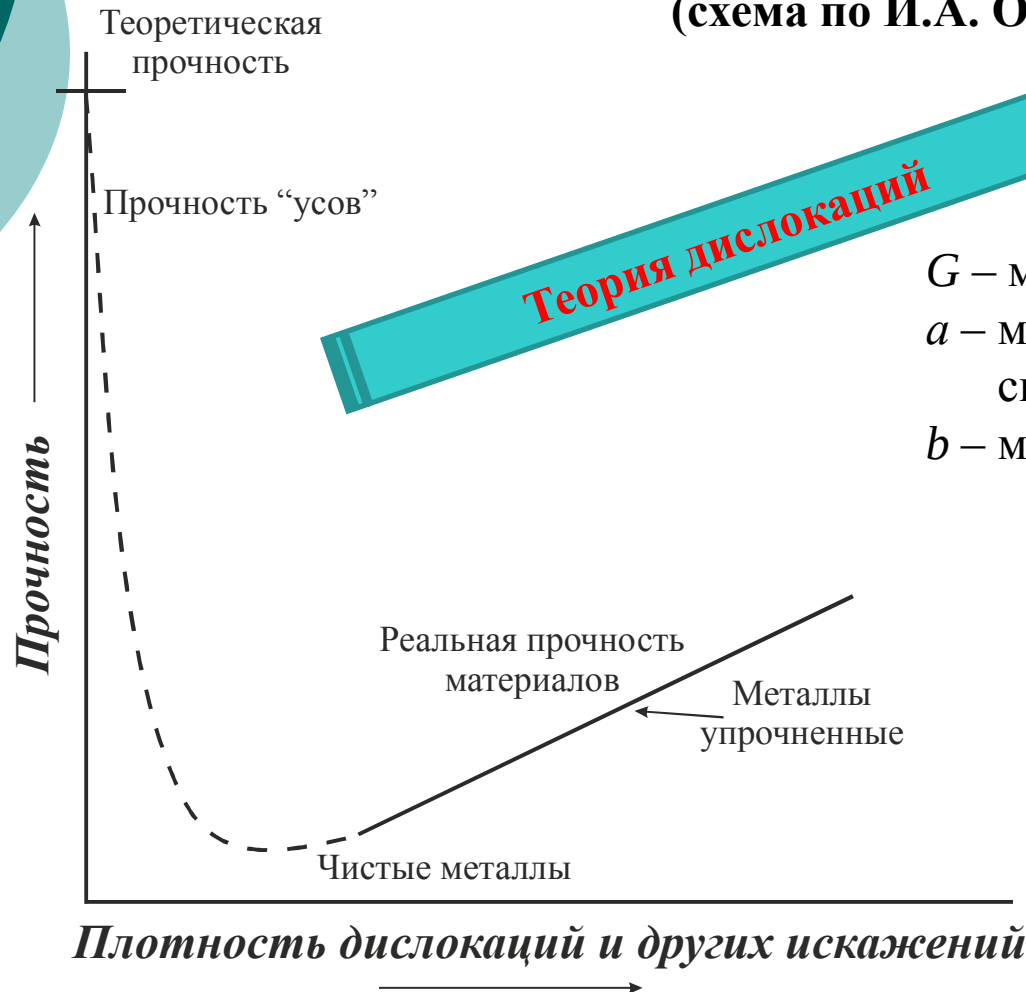
Перемещение дислокаций в кристаллической решетке



3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Упругая и пластическая деформация

Прочность кристалла в зависимости от искажений решетки (схема по И.А. Одингу)



По Я.И. Френкелю:

$$\sigma_{cd} = \frac{a}{b} \cdot \frac{G}{2\pi},$$

G – модуль сдвига;

a – межатомное расстояние в направлении скольжения;

b – межплоскостное расстояние.

Способы упрочнения металлов:

- механический наклеп;
- измельчение зерна и блоков;
- термическая обработка;
- легирование;
- упрочнение дисперсионными фазами.

Разрушение металлов

Схема зарождения микротрещины при слиянии дислокаций у препятствия.

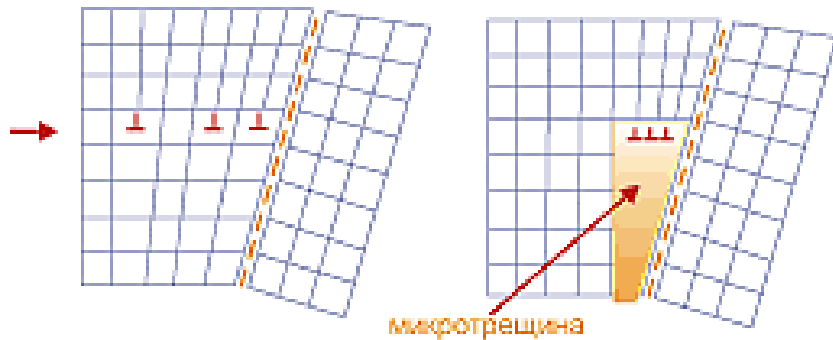


Схема зарождения микротрещины при пересечении двух плоскостей скольжения.



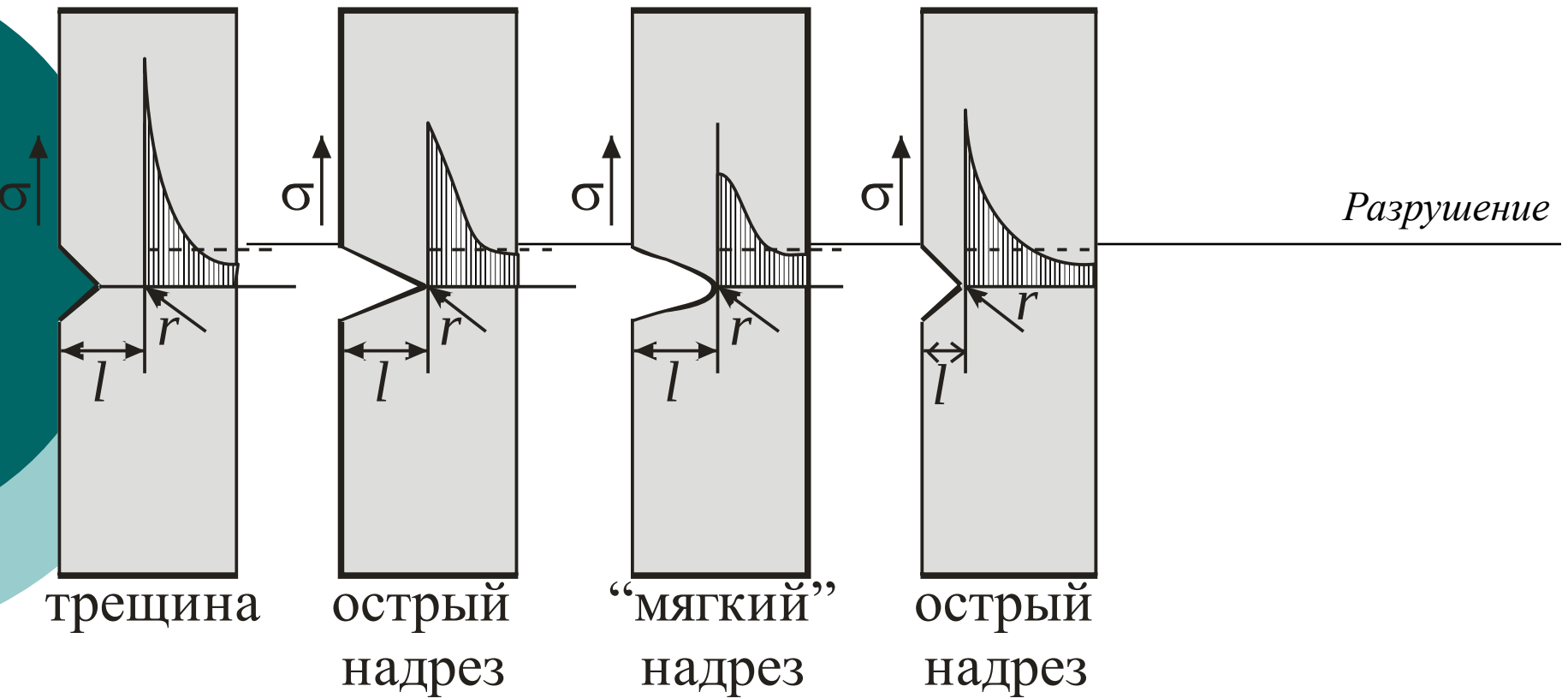
3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Разрушение



Основные характеристики металлов

1. **Прочность** – сопротивление материала деформации.
2. **Надежность** – сопротивление материала мгновенному разрушению.
3. **Долговечность** – способность материала сопротивляться разрушению не за один, а за многие акты нагружения.



Дефекты строения и несплошности являются **концентраторами напряжений**, т.е. по краям дефекта напряжения отличаются от среднего значения.

Концентрация напряжений тем больше, чем острее дефект и больше его длина, что выражается следующей формулой:

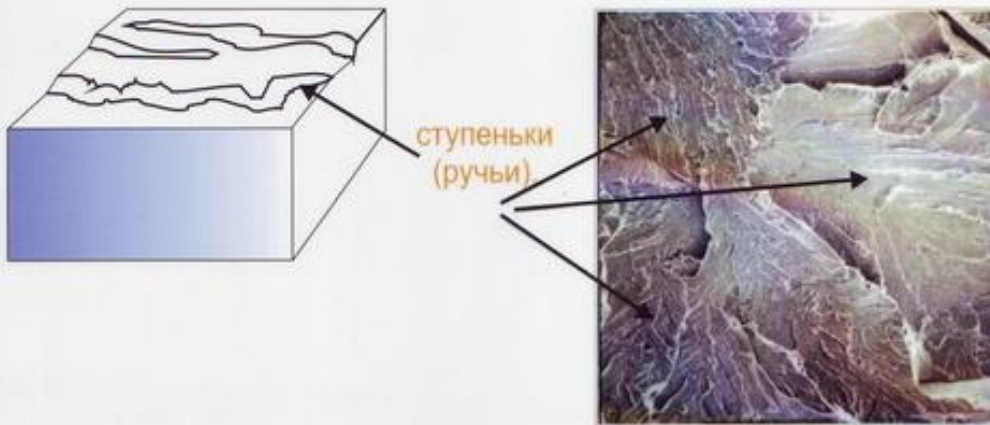
$$K = 2\sqrt{\frac{l}{r}},$$

где l – полудлина дефекта;
 r – радиус закругления в вершине дефекта.

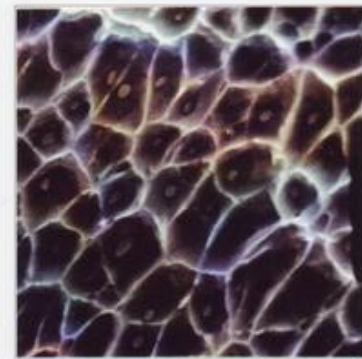
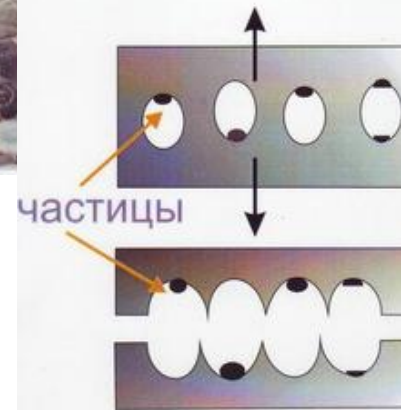
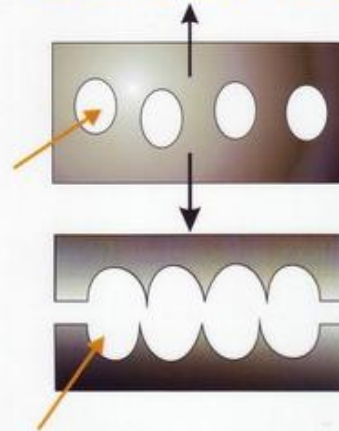
3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Разрушение

Хрупкое внутризеренное разрушение
(скол)



Вязкое внутризеренное разрушение



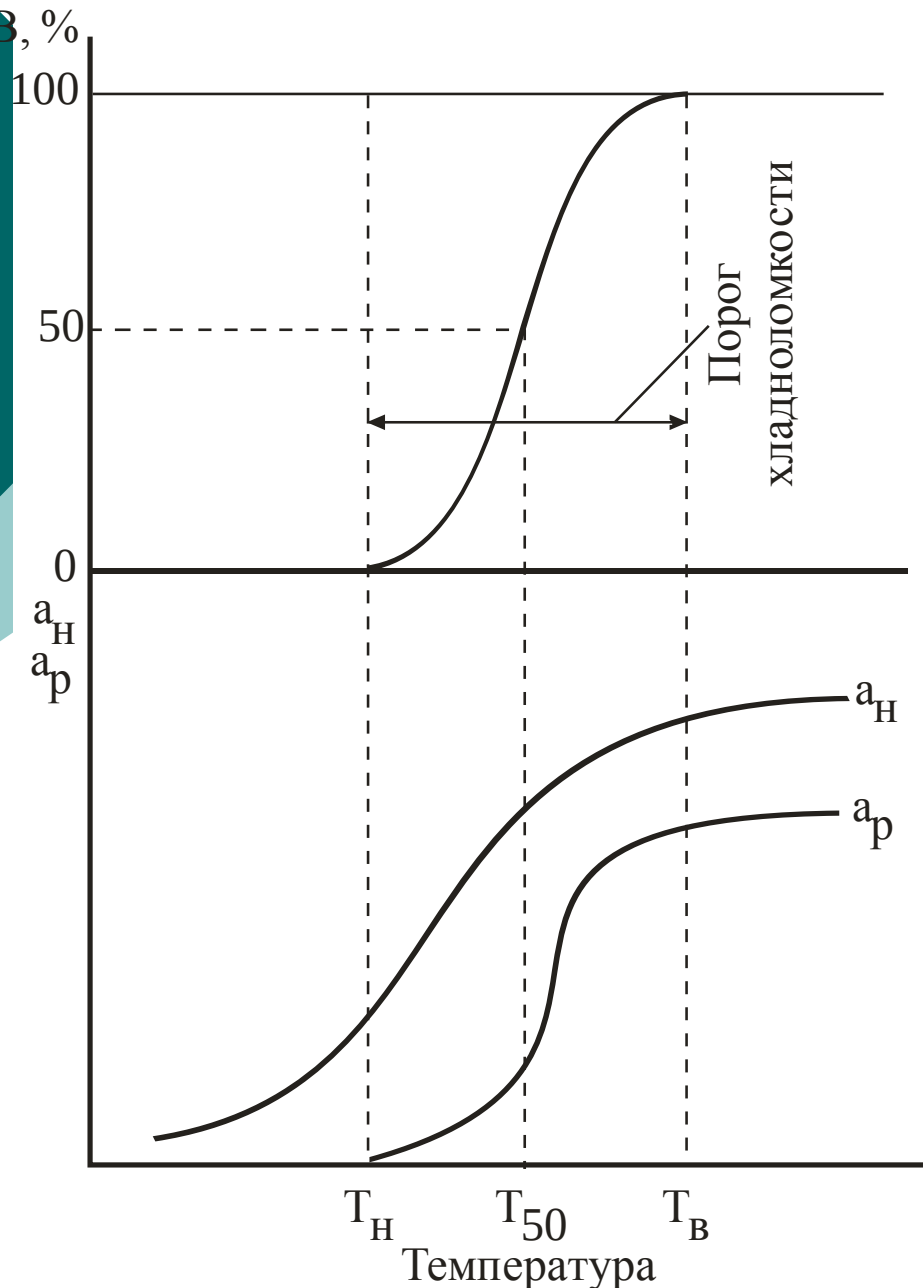
3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Разрушение

Температурный интервал изменения характера разрушения называется **порогом хладноломкости**.

Положение порога хладноломкости зависит от:

- структуры и размера зерна. Измельчение зерна понижает порог хладноломкости.
- состава материала. Вредное влияние примесей, особенно серы и фосфора.
- скорости деформации. Увеличение скорости деформации повышает порог хладноломкости.
- размера образца (детали). Чем больше сечение, тем выше порог хладноломкости.



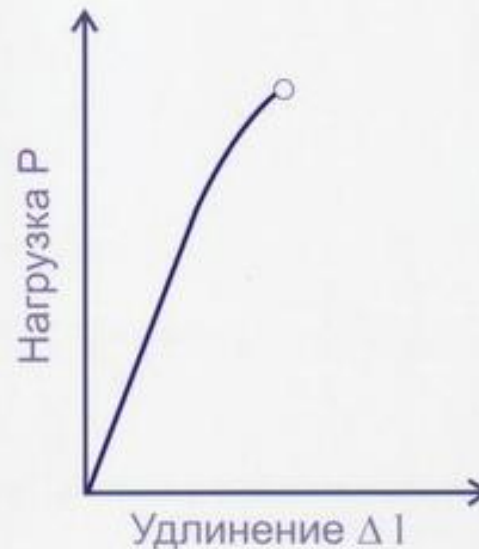
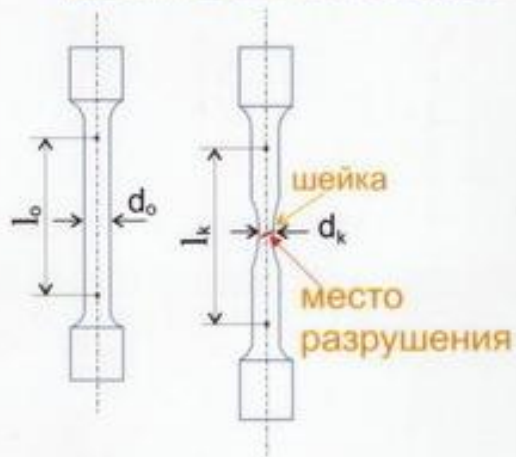
3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Методы определения
механических свойств

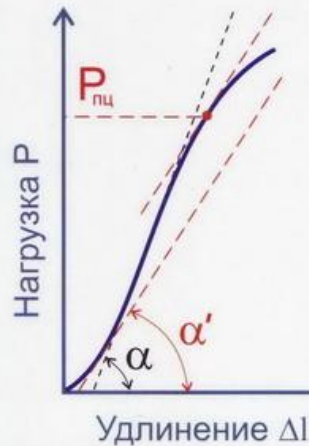
Испытания на растяжение

Разрывной образец
до и после испытаний

Кривые растяжения



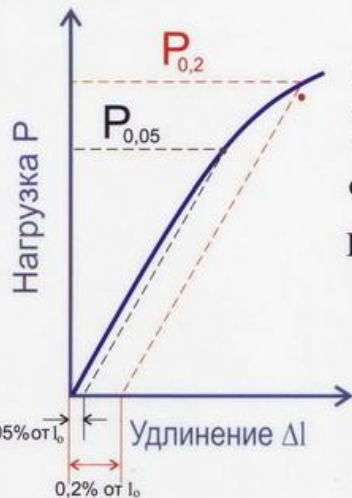
Испытания на растяжение



Предел пропорциональности - напряжение, при котором отклонение от линейной зависимости между нагрузкой и деформацией достигает некоторой определенной величины

$$\sigma = \frac{P_{пц}}{F_0} \text{ (МПа)}$$

По уменьшению $\text{tg} \alpha$ на 10, 25 и 50% определяют $\sigma_{пц10}$, $\sigma_{пц25}$ и $\sigma_{пц50}$ соответственно.



Предел упругости - напряжение, при котором остаточная деформация достигает заданной величины. Остаточная деформация выбирается от 0,05 до 0,005%

При остаточной деформации 0,05%

$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0} \text{ (МПа)}$$

Методы определения механических свойств

Испытания на растяжение



Физический предел текучести - напряжение, при котором образец деформируется под действием неизменной нагрузки

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \text{ (МПа)}$$

Предел прочности или **временное сопротивление** - условное напряжение, соответствующее максимальному усилию, которое может выдержать образец до разрушения.

$$\sigma_b = \frac{P_{max}}{F_0} \text{ (МПа)}$$

Условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) - напряжение, которому соответствует остаточная деформация, равная 0,2%

Относительное удлинение - $\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100 \text{ (%)}$
 где l_0 - начальная длина образца
 l_k - конечная длина образца.

Относительное сужение - $\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \times 100 \text{ (%)}$

где F_0 - исходная площадь поперечного сечения образца,
 F_K - площадь поперечного сечения образца в месте разрушения.

Измерения твердости по Бринеллю

Метод заключается во вдавливании стального шарика диаметром D в поверхность образца под действием нагрузки P , приложенной в течении определенного времени. После снятия нагрузки измеряют диаметр отпечатка d , остающийся на поверхности образца.



Схема определения твердости по Бринеллю

Индентор - стальной закаленный шарик диаметром D ,
равным 10, 5 или 2,5 мм

Нагрузка - от $2,5D^2$ до $30D^2$ (кгс)

Время выдержки под нагрузкой - 10, 30 или 60 секунд..

Число твердости по Бринеллю (HB) - отношение нагрузки к площади поверхности сферического отпечатка $F_{отп}$:

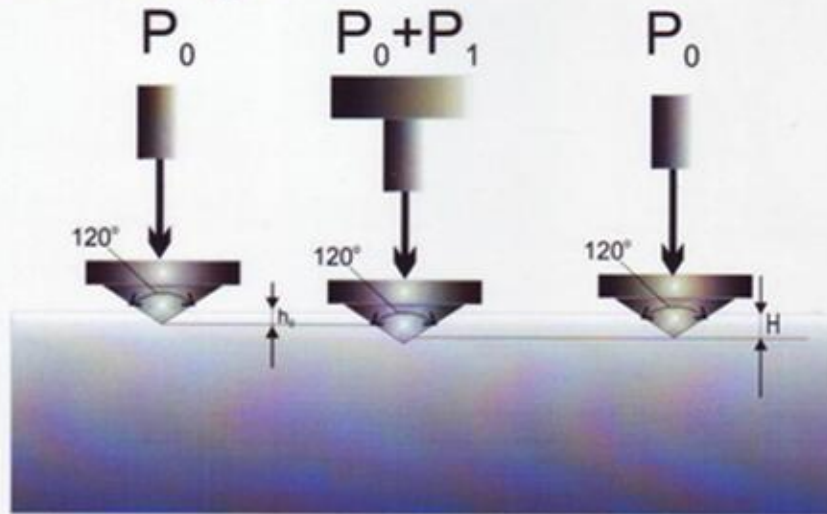
$$HB = \frac{P}{F_{отп}} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Измерение твердости по Роквеллу

Индентор - алмазный конус с углом 120° при вершине
или стальной шарик диаметром 1,588 мм.

P_0 - предварительная нагрузка (100 Н),

P_1 - основная нагрузка.



Единица твердости по Роквеллу (HR) -

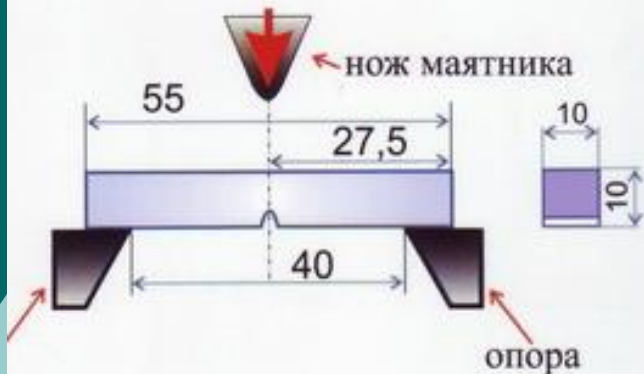
безразмерная величина, соответствующая
осевому перемещению индентора на 0,002 мм.

Обозначения твердости	Индентор (наконечник)	Шкала индикатора	Основная нагрузка	Расчетная формула
HRC HRA	алмазный конус	C A	1400 Н 500 Н	$100 - \frac{H - h_0}{0,002}$
HRB	стальной шарик	B	900 Н	$130 - \frac{H - h_0}{0,002}$

Испытания на ударный изгиб

Методы определения
механических свойств

Схема испытания

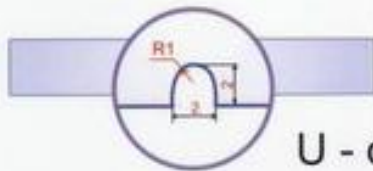


Ударная вязкость

$$K_C = \frac{K}{F} \text{ (МДж/м}^2\text{)},$$

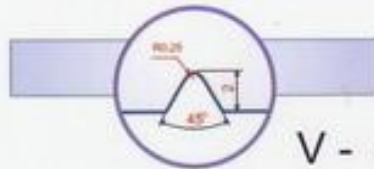
где K - работа удара, затраченная на пластическую деформацию и разрушение образца;
F - площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания.

Виды концентраторов на образце



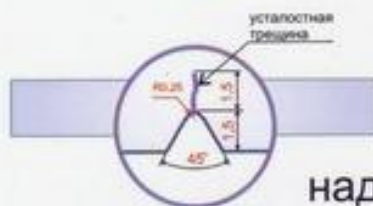
U - образный надрез

KCU



V - образный надрез

KCV



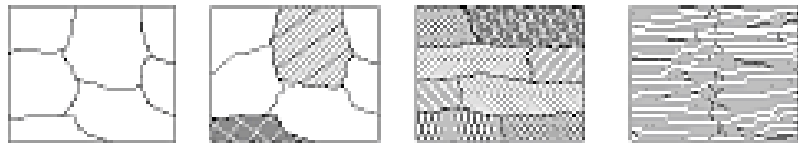
надрез с трещиной

KCT

3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Наклеп

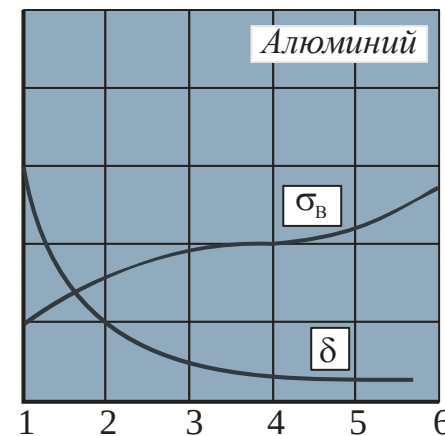
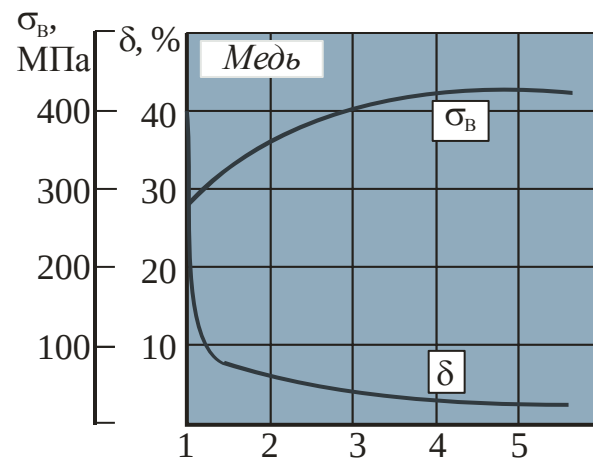
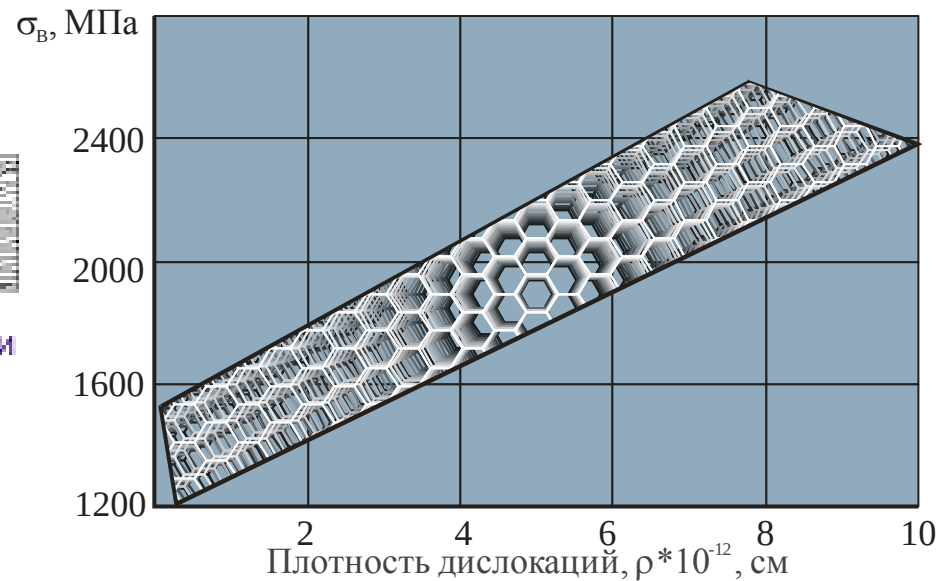
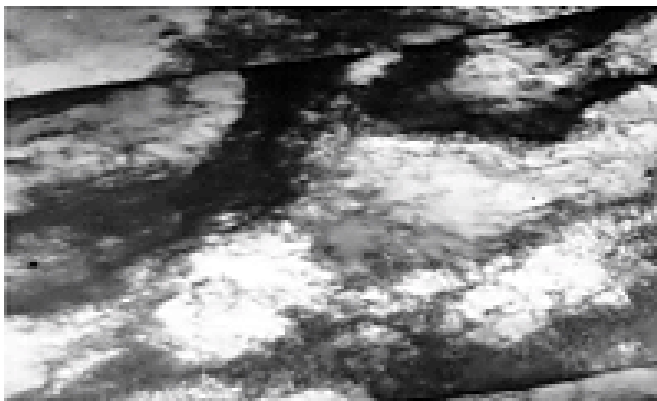
Изменение микроструктуры при
пластической деформации



Исходная
структура

Увеличение степени деформации

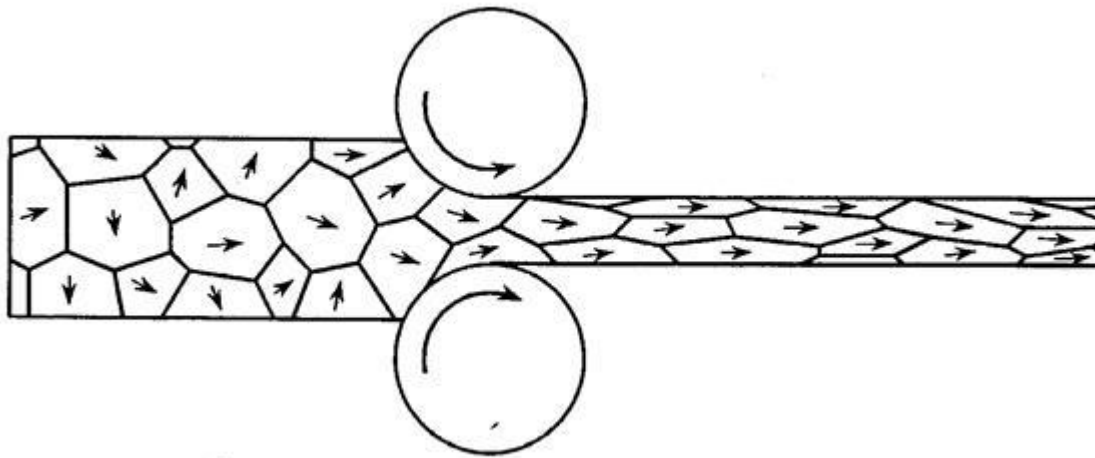
Ячеистая дислокационная структура
деформированного металла



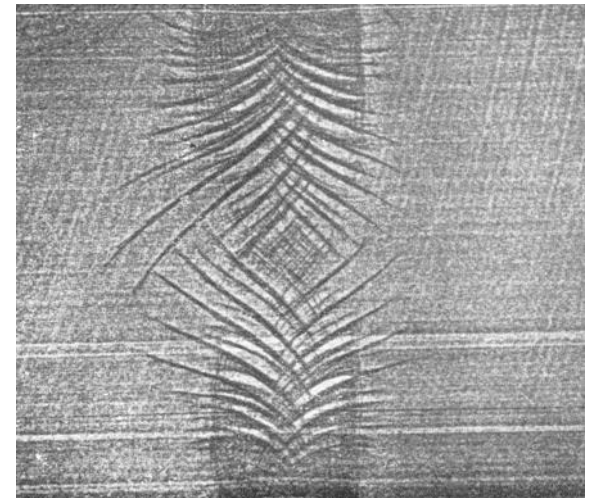
Степень деформации, %

3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Холодная пластическая деформация



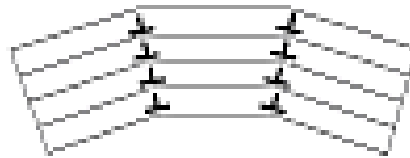
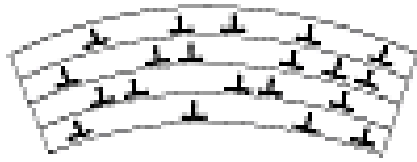
Текстура деформации



Полосы Людерса-Чернова, образованные
в результате холодной деформации

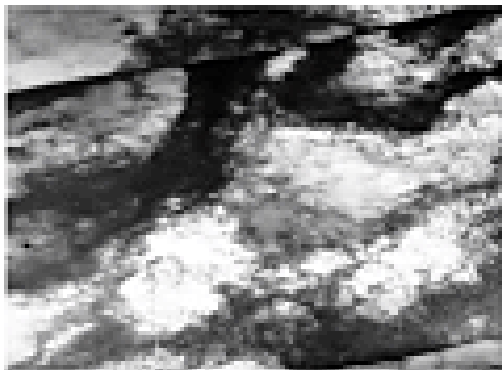
ПОЛИГОНИЗАЦИЯ

Схема полигонизации

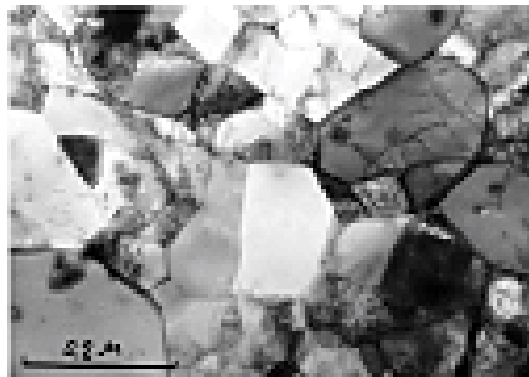


Изменение структуры при нагреве

Структура после
холодной деформации



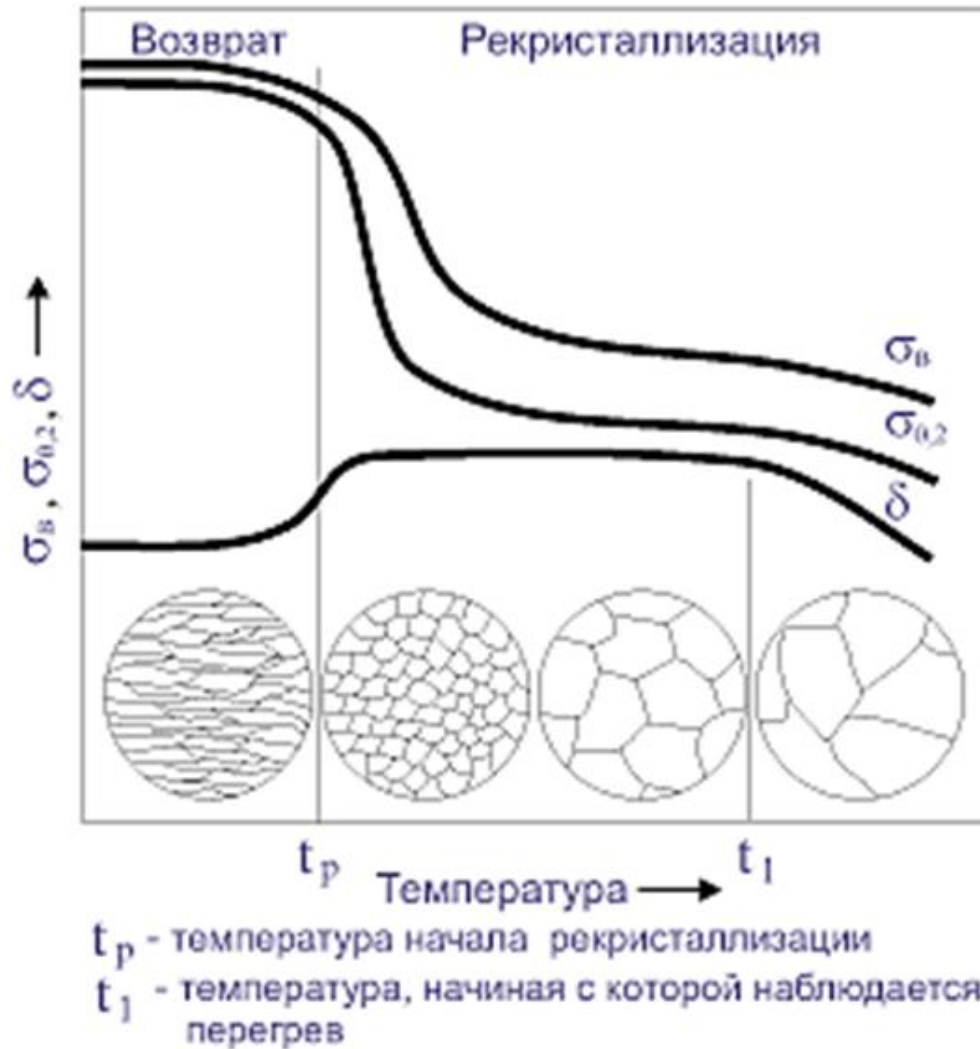
Структура после
полигонизации



**3. Механические свойства.
Наклеп и рекристаллизация.**

*Рекристаллизационные
процессы*

Влияние нагрева на свойства деформированного металла



3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

Рекристаллизационные процессы



Формула
А.А. Бочвара

$$T_{\text{рек}} = a \cdot T_{\text{пл}}$$

$a = 0,1 \dots 0,2$ – для химически чистых металлов;
 $a = 0,3 \dots 0,4$ – для технически чистых металлов;
 $a = 0,6 \dots 0,8$ – для сплавов

3. Механические свойства. Наклеп и рекристаллизация.

*Влияние степени предварительной деформации
на размер рекристаллизованного зерна*

