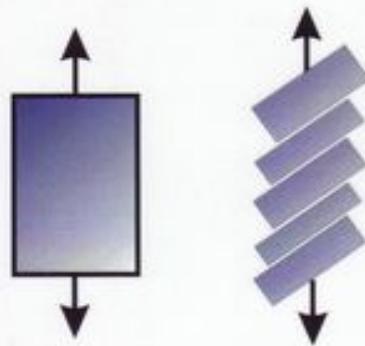


## Деформация скольжением



Полосы скольжения в деформированном алюминии

## Плоскости и направления скольжения

Решетка ГЦК (Cu, Al)

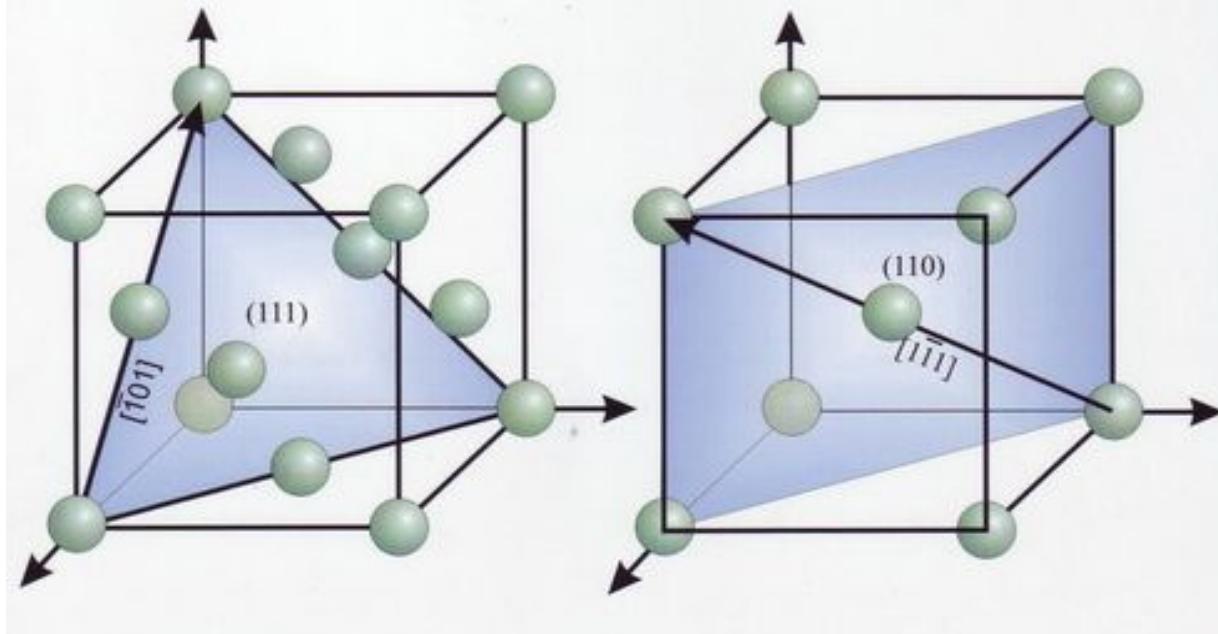
Плоскости скольжения - {111}

Направления скольжения - <110>

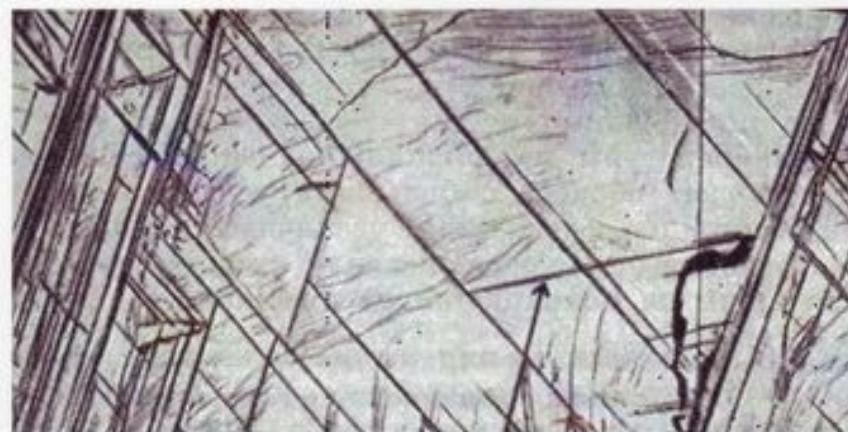
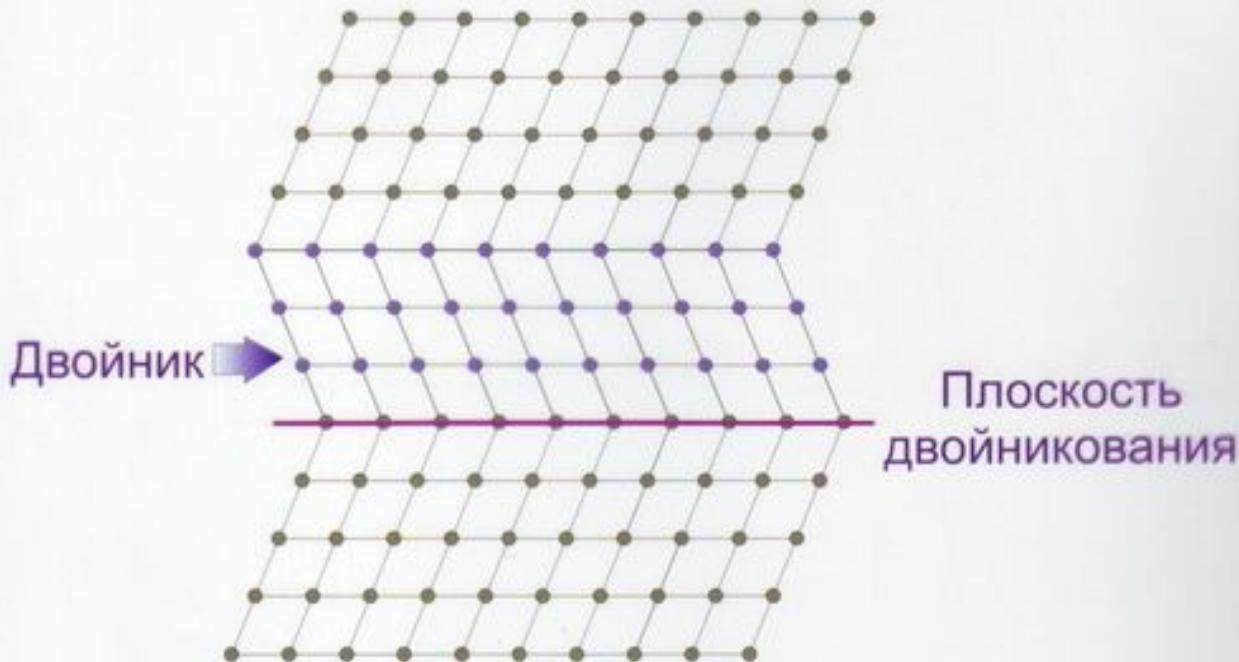
Решетка ОЦК (Cr, W)

Плоскости скольжения - {110}, {112}

Направления скольжения - <111>

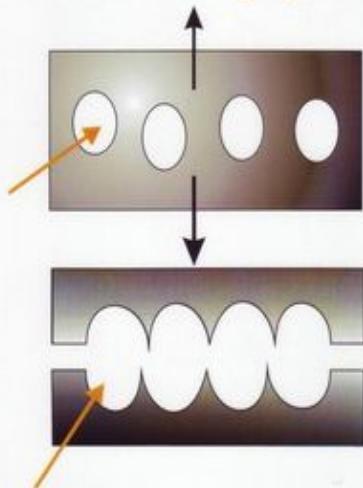


## Деформация двойниками

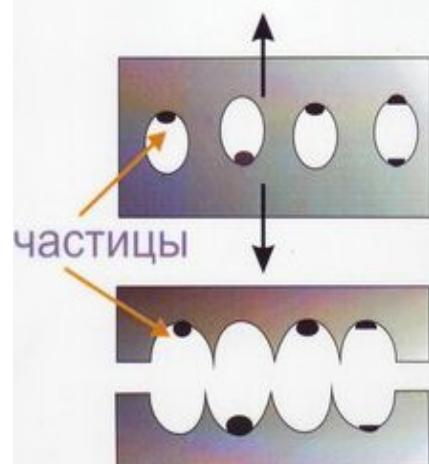


Двойники деформации в кристалле цинка

### Вязкое внутризеренное разрушение



РЭМ x 400

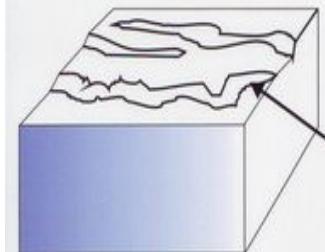


частицы

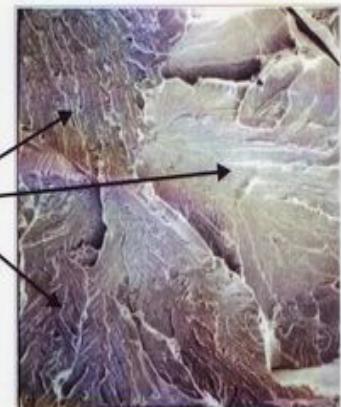


РЭМ x 750

### Хрупкое внутризеренное разрушение (скол)

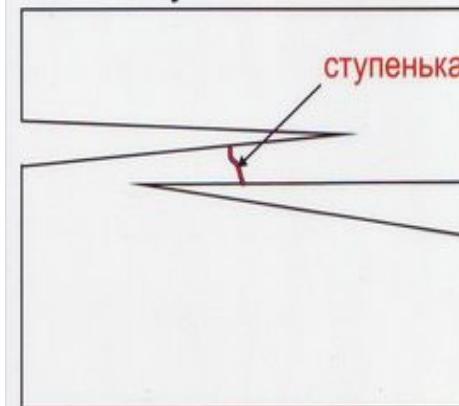


ступеньки  
(ручьи)



РЭМ x 300

Образование  
ступенек.

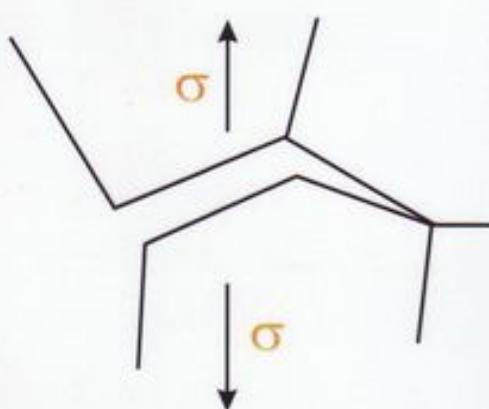


ступенька

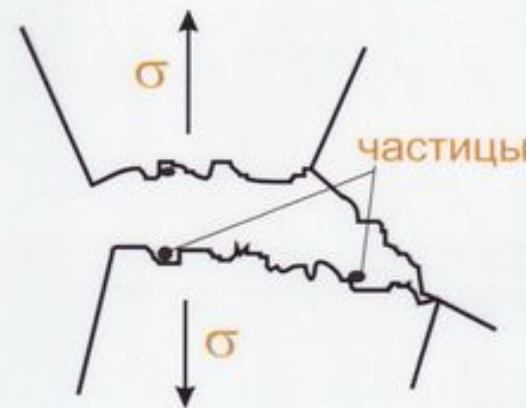
Хрупкое разрушение  $\text{Fe}_{\alpha}$  происходит по плоскостям {100}.

# Межзеренное разрушение

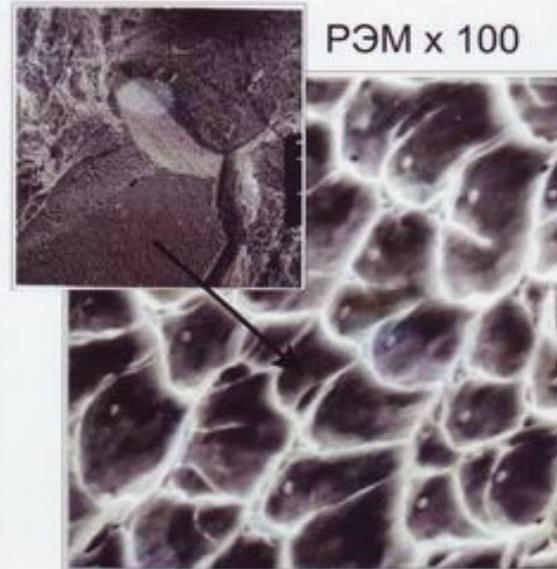
Хрупкое разрушение



Вязкое разрушение

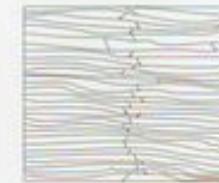


РЭМ x 300



РЭМ x 500

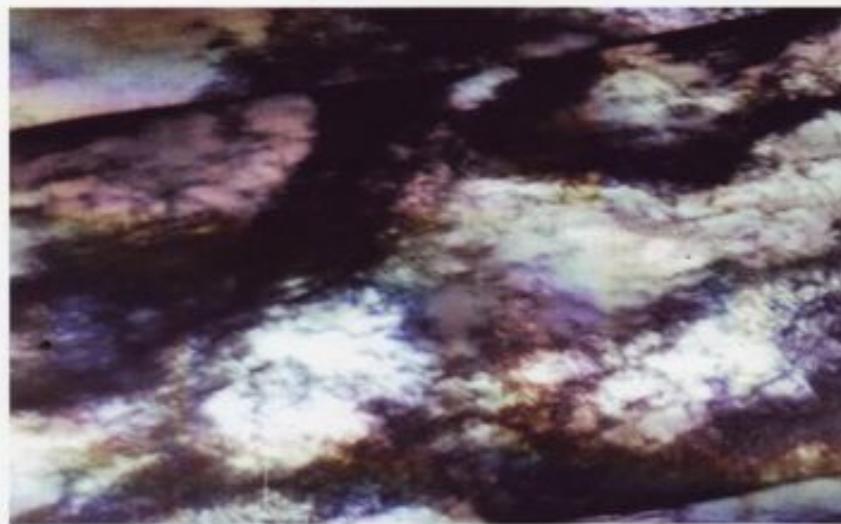
## Изменение микроструктуры при пластической деформации



Исходная  
структура

Увеличение степени деформации →

Ячеистая дислокационная структура  
деформированного металла



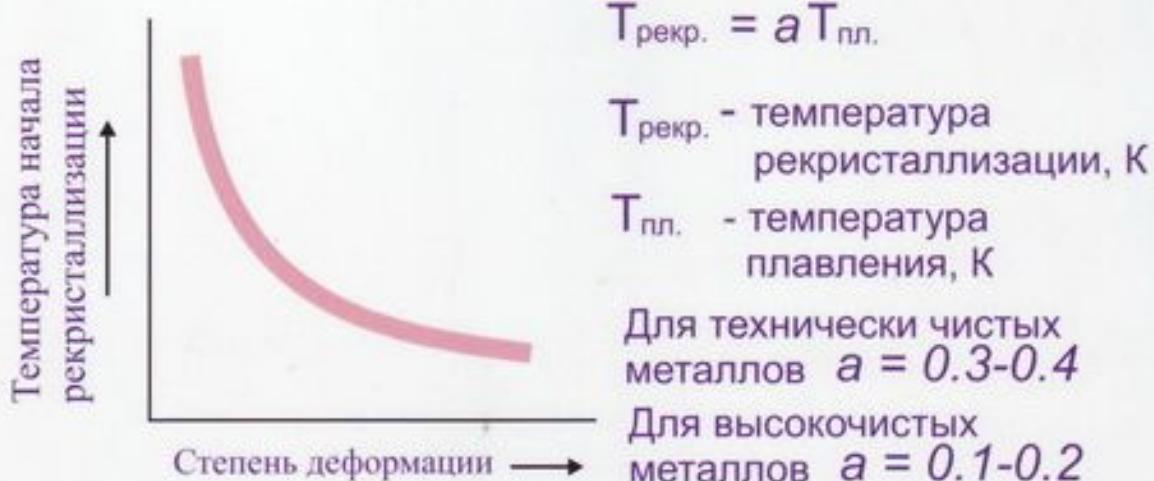
# РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Изменение микроструктуры деформированного металла при нагреве

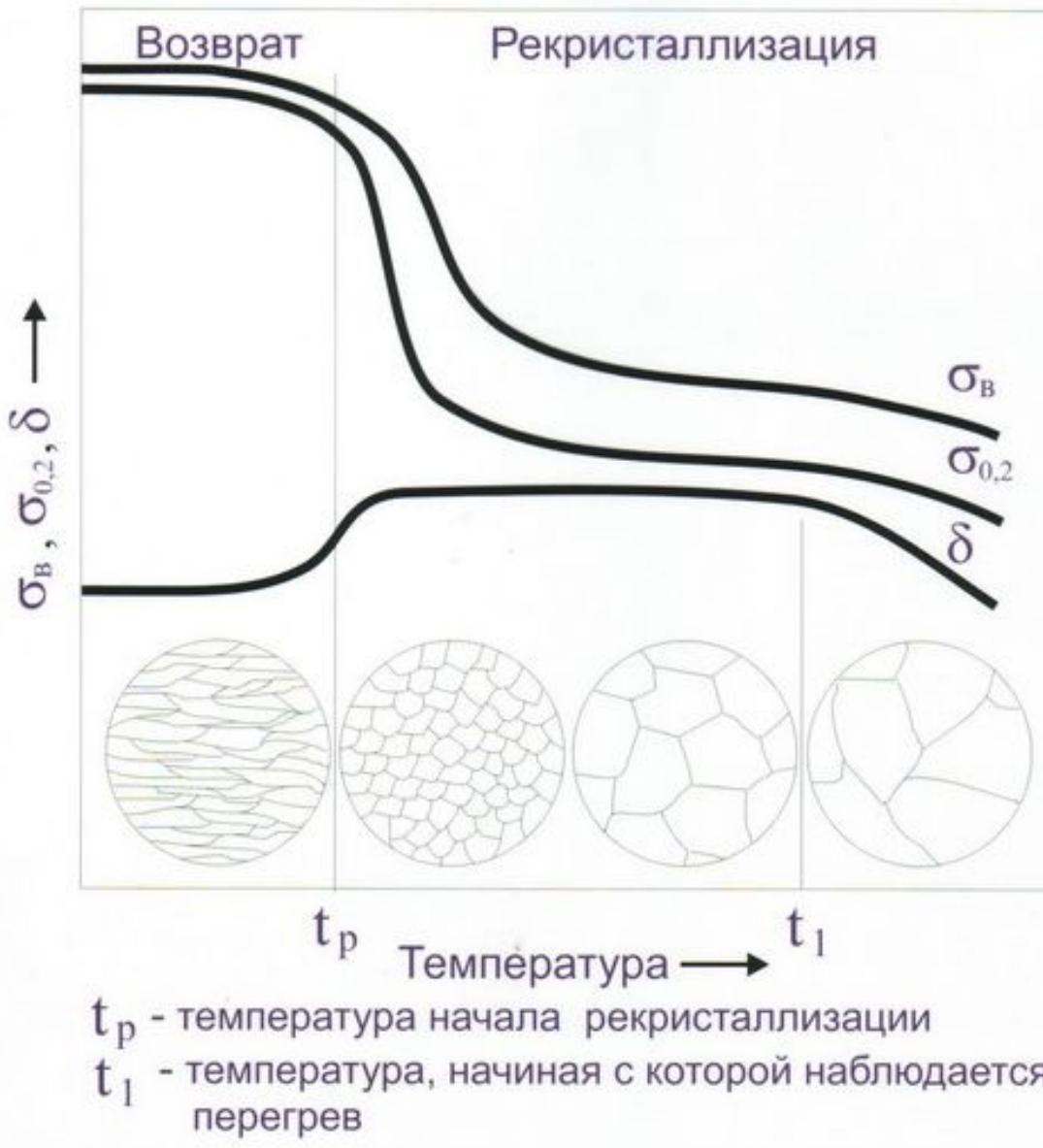
Температура нагрева →



После деформации      Первичная рекристаллизация      Собирательная рекристаллизация



## Влияние нагрева на свойства деформированного металла



## Диаграмма условных напряжений



Условное напряжение:

$$\sigma = \frac{P}{F_0}$$

Где  $F_0$  - исходная площадь поперечного сечения образца

Относительная деформация

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

где  $l_0$  - начальная длина образца.

## Характеристики прочности (МПа)

Предел пропорциональности -  $\sigma_{\text{пц.}}$

Предел упругости -  $\sigma_{\text{упр.}}$

Предел текучести -  $\sigma_t$  ( $\sigma_{0.2}$ )

Предел прочности  
(временное сопротивление) -  $\sigma_{\text{в}}$

## Характеристики пластичности (%)

Относительное удлинение -  $\delta$

Относительное сужение -  $\psi$

## 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  $F_{\text{отп}}$ :

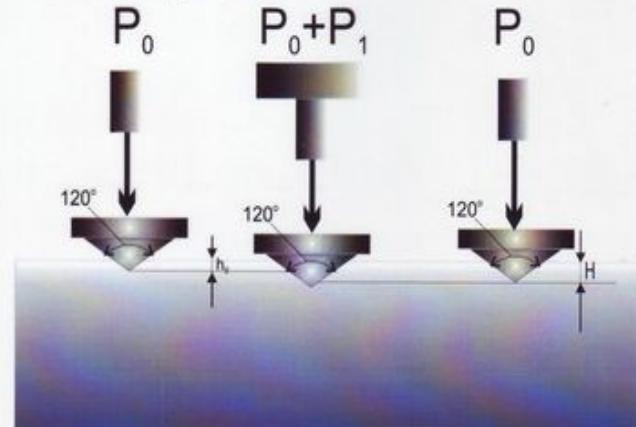
$$HB = \frac{P}{F_{\text{отп}}} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## Измерение твердости по Роквеллу

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

P<sub>0</sub> - предварительная нагрузка (100 Н),

P<sub>1</sub> - основная нагрузка.

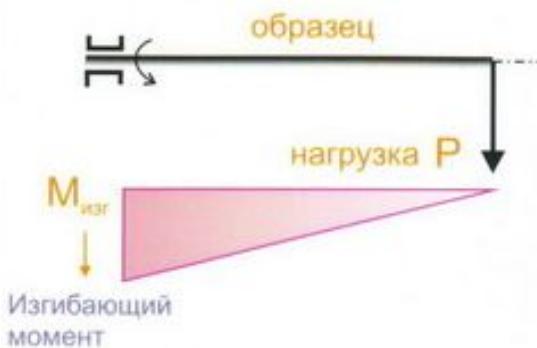


**Единица твердости по Роквеллу (HR)** - безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению индентора на 0,002 мм.

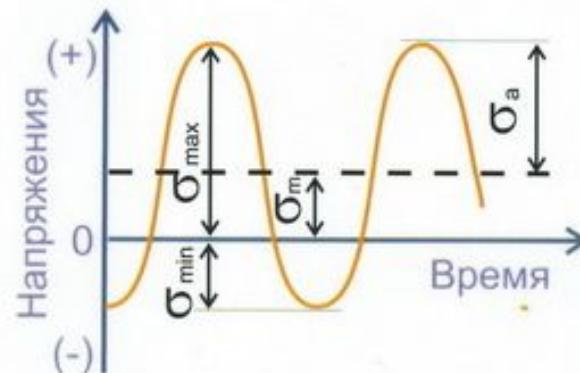
Обозначения твердости	Индентор (наконечник)	Шкала индикатора	Основная нагрузка	Расчетная формула
HRC	алмазный конус	C	1400 Н	$100 - \frac{H - h_0}{0,002}$
HRA	алмазный конус	A	500 Н	$100 - \frac{H - h_0}{0,002}$
HRB	стальной шарик	B	900 Н	$130 - \frac{H - h_0}{0,002}$

# Испытания на выносливость

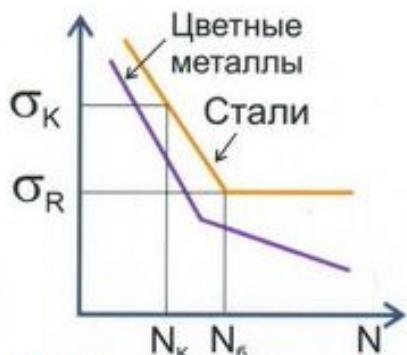
Схема нагружения - изгиб с вращением



Цикл напряжений



Кривые усталости



$\sigma_R$  - физический предел выносливости

$\sigma_K$  - ограниченный предел выносливости при заданном количестве циклов  $N_b$

$\sigma_a$  - амплитуда напряжений;  
 $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$  - среднее напряжение цикла;  
 $R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$  - асимметрия цикла

Разрушение при усталости (схема). Очаг зарождения трещины  
Зона усталости

