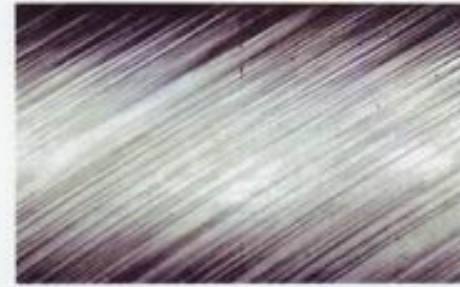
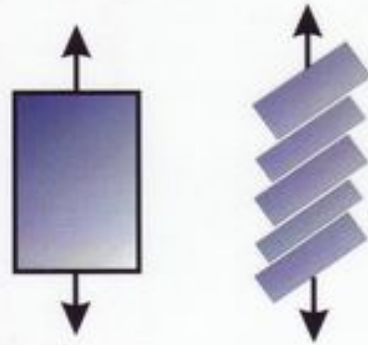


## Деформация скольжением



Полосы скольжения в деформированном алюминии

## Плоскости и направления скольжения

Решетка ГЦК (Cu, Al)

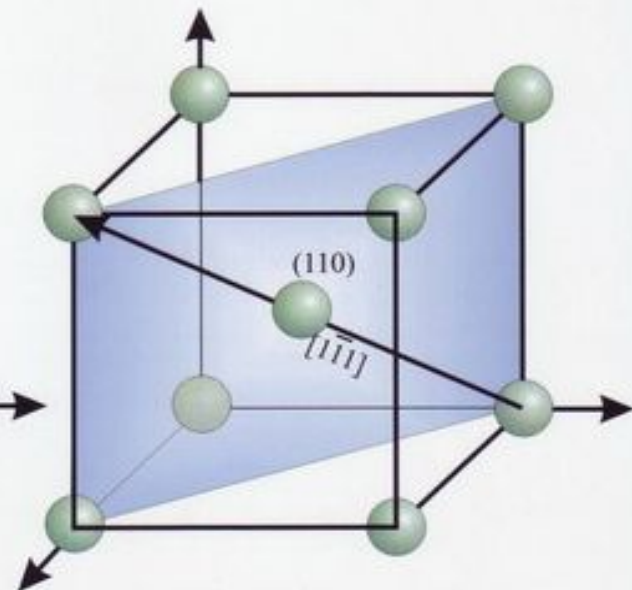
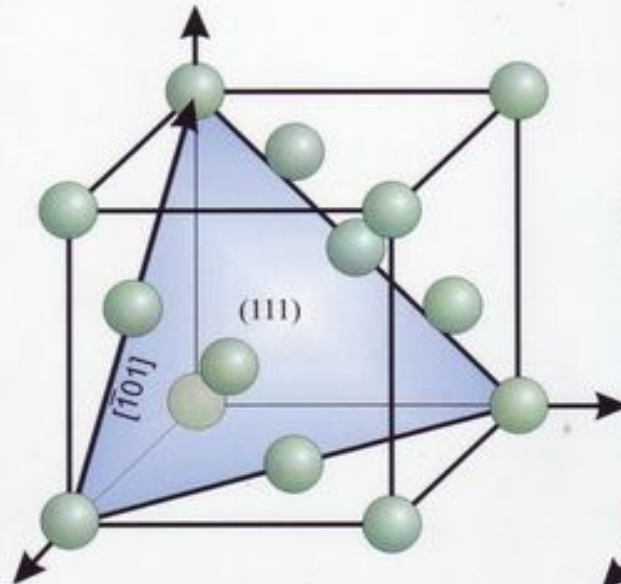
Плоскости скольжения -  $\{111\}$

Направления скольжения -  $\langle 110 \rangle$

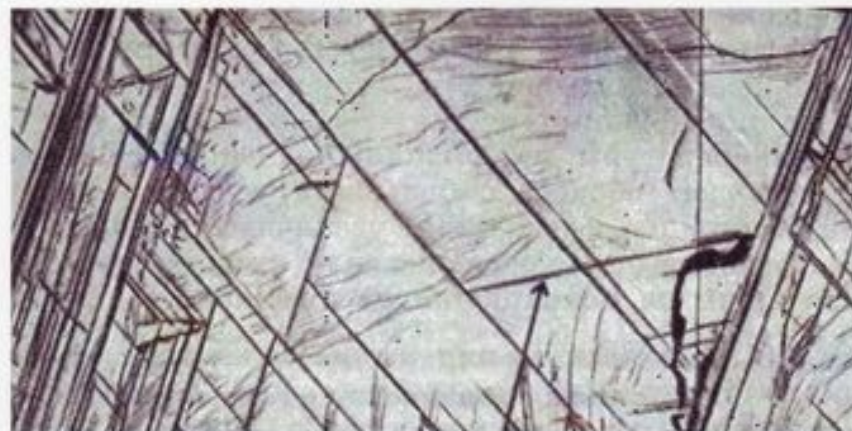
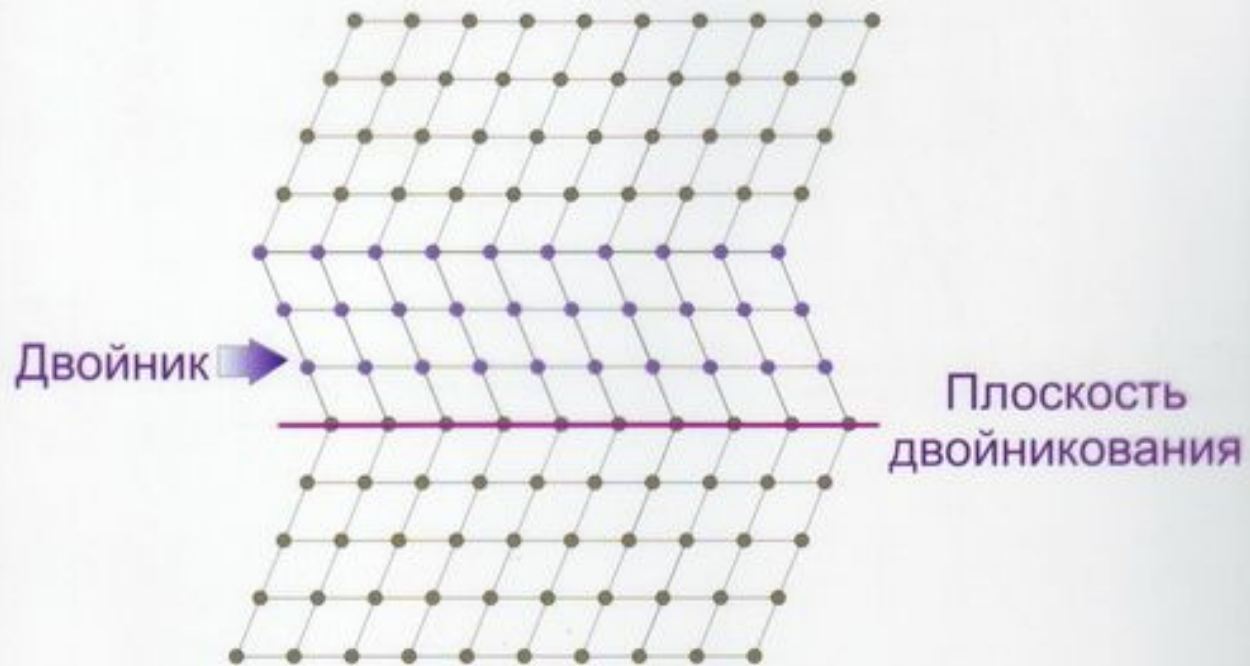
Решетка ОЦК (Cr, W)

Плоскости скольжения -  $\{110\}, \{112\}$

Направления скольжения -  $\langle 111 \rangle$

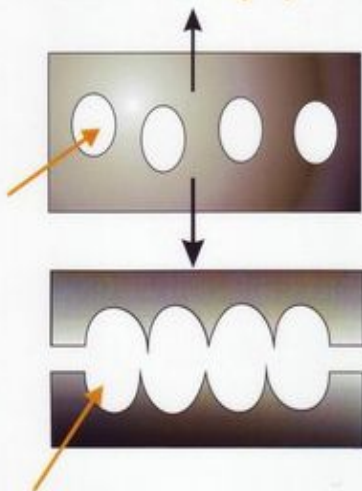


# Деформация двойникованием

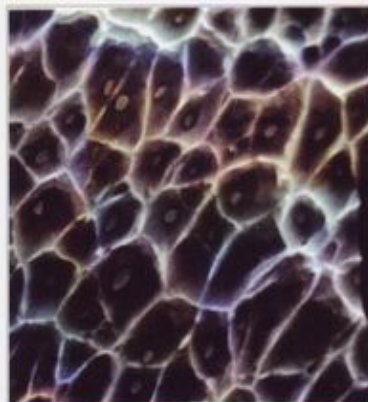
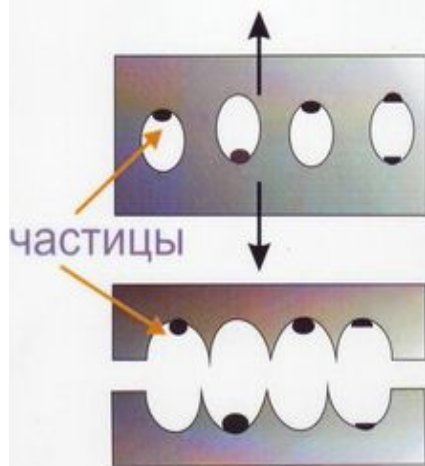


Двойники деформации в кристалле цинка

## Вязкое внутризеренное разрушение

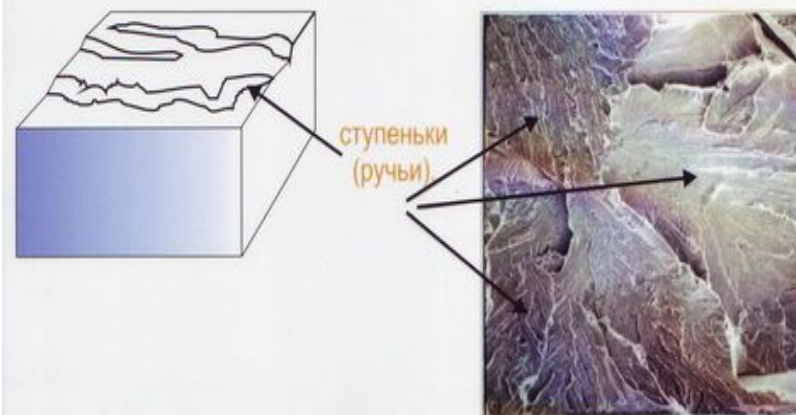


РЭМ x 400



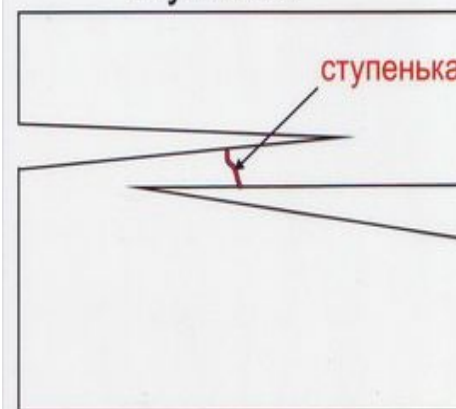
РЭМ x 750

## Хрупкое внутризеренное разрушение (скол)



РЭМ x 300

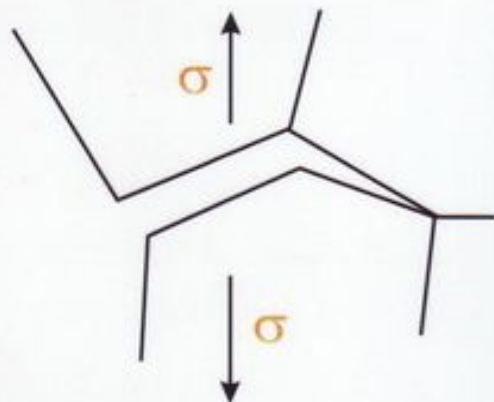
Образование ступенек.



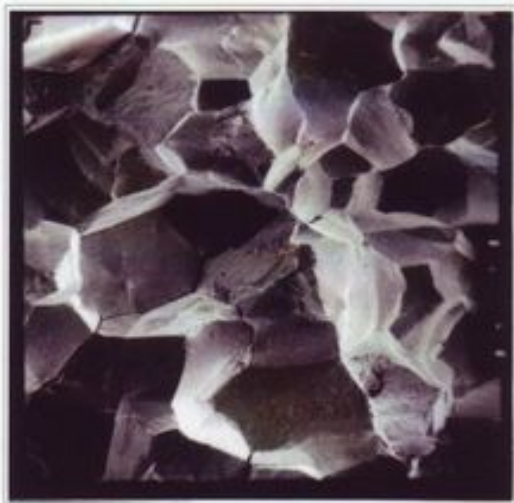
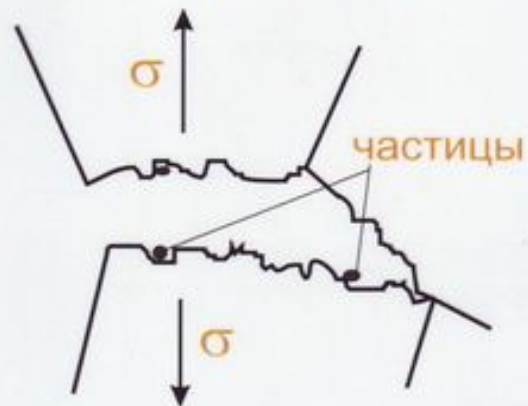
Хрупкое разрушение  $Fe_{\alpha}$  происходит по плоскостям  $\{100\}$ .

# Межзеренное разрушение

Хрупкое разрушение



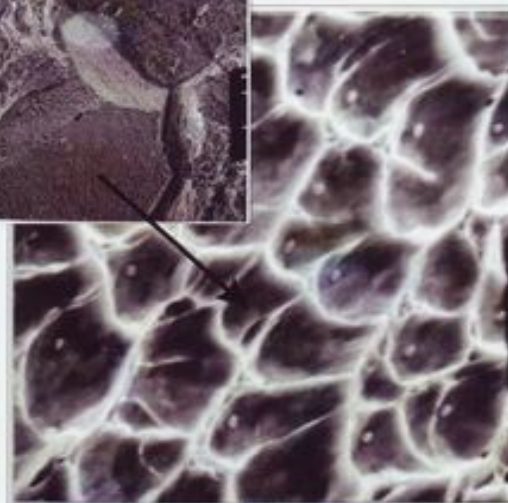
Вязкое разрушение



РЭМ x 300



РЭМ x 100



РЭМ x 500

## Изменение микроструктуры при пластической деформации

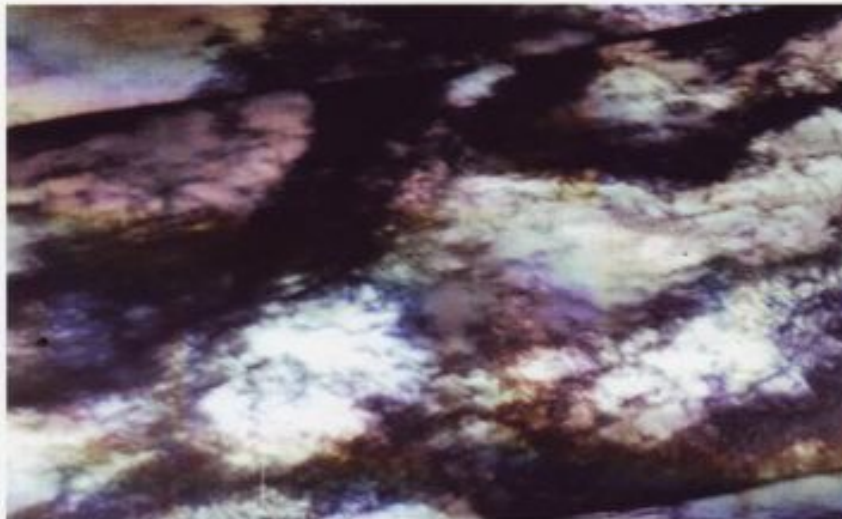


Исходная структура



Увеличение степени деформации

Ячеистая дислокационная структура деформированного металла



# РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Изменение микроструктуры деформированного металла при нагреве

Температура нагрева  $\longrightarrow$



После деформации    Первичная рекристаллизация    Собирательная рекристаллизация



$$T_{\text{рекр.}} = a T_{\text{пл.}}$$

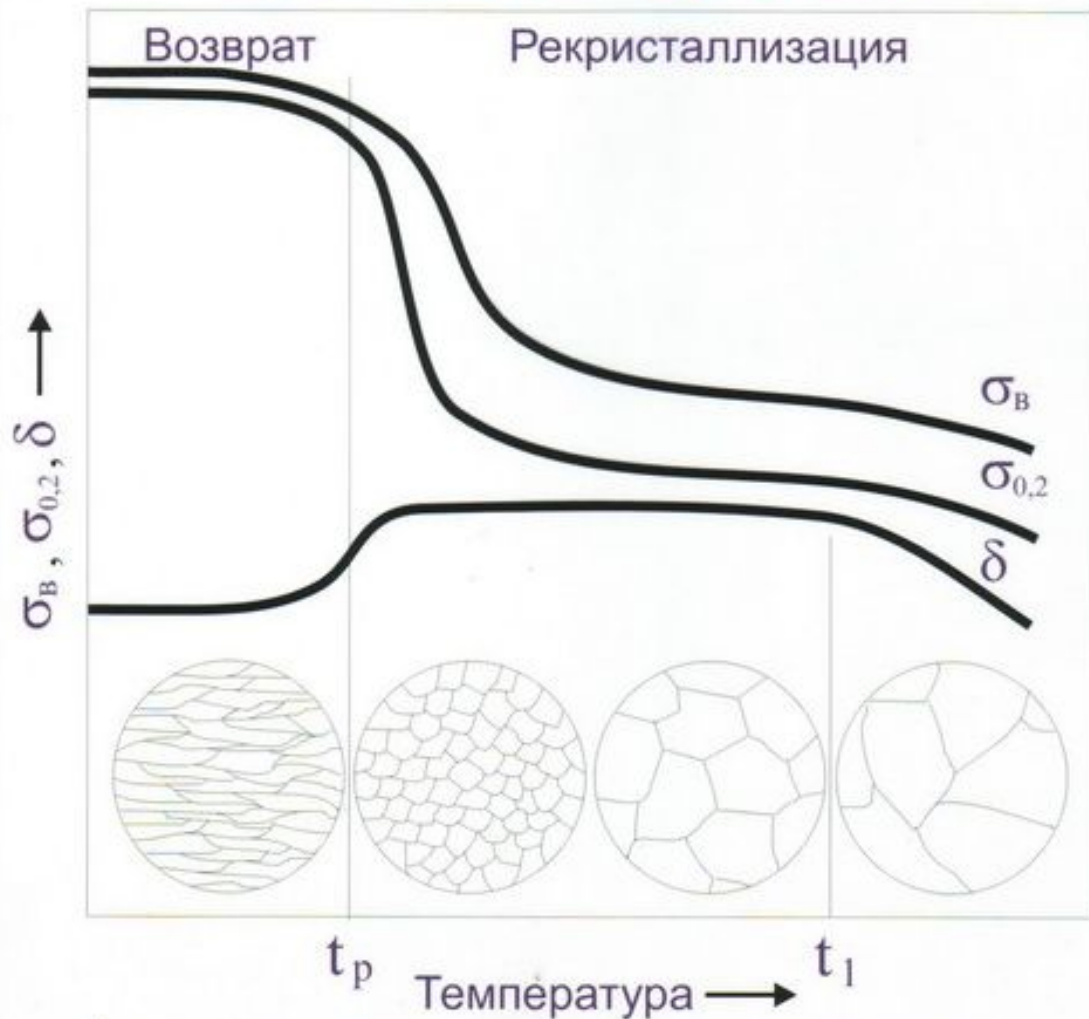
$T_{\text{рекр.}}$  - температура рекристаллизации, К

$T_{\text{пл.}}$  - температура плавления, К

Для технически чистых металлов  $a = 0.3-0.4$

Для высокочистых металлов  $a = 0.1-0.2$

## Влияние нагрева на свойства деформированного металла



$t_p$  - температура начала рекристаллизации  
 $t_1$  - температура, начиная с которой наблюдается перегрев

## 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 -	$\sigma_{пц.}$
Предел упругости -	$\sigma_{упр.}$
Предел текучести -	$\sigma_{т}$ ( $\sigma_{0.2}$ )
Предел прочности (временное сопротивление) -	$\sigma_{в}$

## 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  $F_{отп}$ :

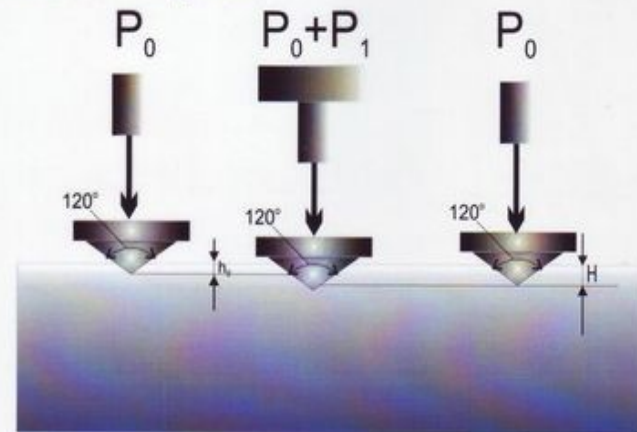
$$HB = \frac{P}{F_{отп}} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## Измерение твердости по Роквеллу

**Индентор** - алмазный конус с углом  $120^\circ$  при вершине или стальной шарик диаметром 1,588 мм.

$P_0$  - предварительная нагрузка (100 Н),

$P_1$  - основная нагрузка.

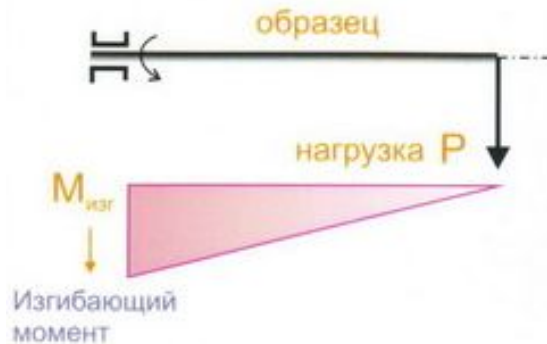


**Единица твердости по Роквеллу (HR)** - безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению индентора на 0,002 мм.

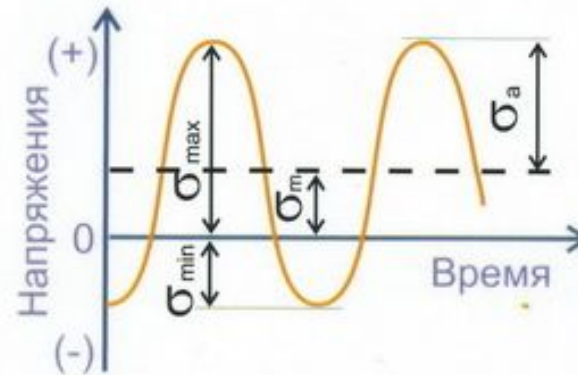
Обозначения твердости	Индентор (наконечник)	Шкала индикатора	Основная нагрузка	Расчетная формула
HRC	алмазный конус	C	1400 Н	$100 - \frac{H - h_0}{0,002}$
HRA	алмазный конус	A	500 Н	$100 - \frac{H - h_0}{0,002}$
HRB	стальной шарик	B	900 Н	$130 - \frac{H - h_0}{0,002}$

# Испытания на выносливость

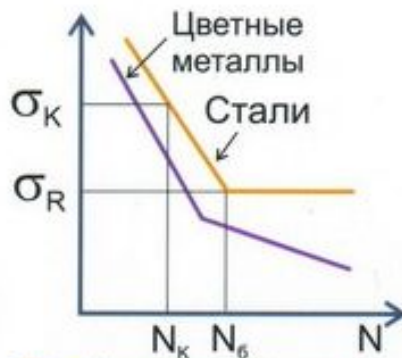
Схема нагружения - изгиб с вращением



Цикл напряжений



Кривые усталости



$\sigma_R$  - физический предел выносливости

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

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

Разрушение при усталости (схема).

