

# Классификация механических испытаний

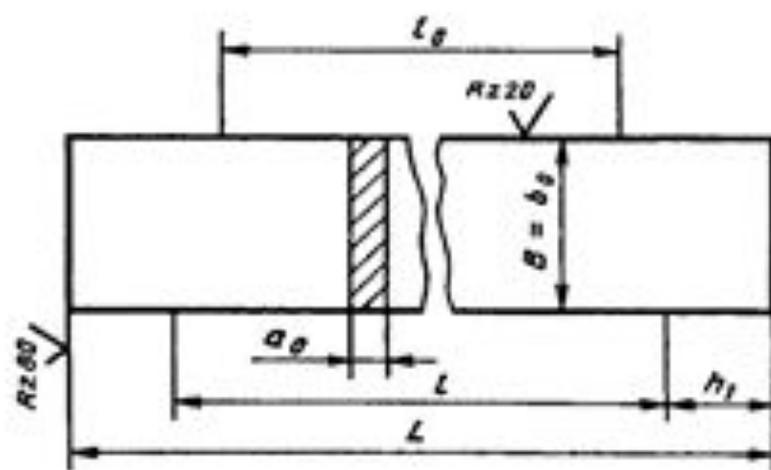
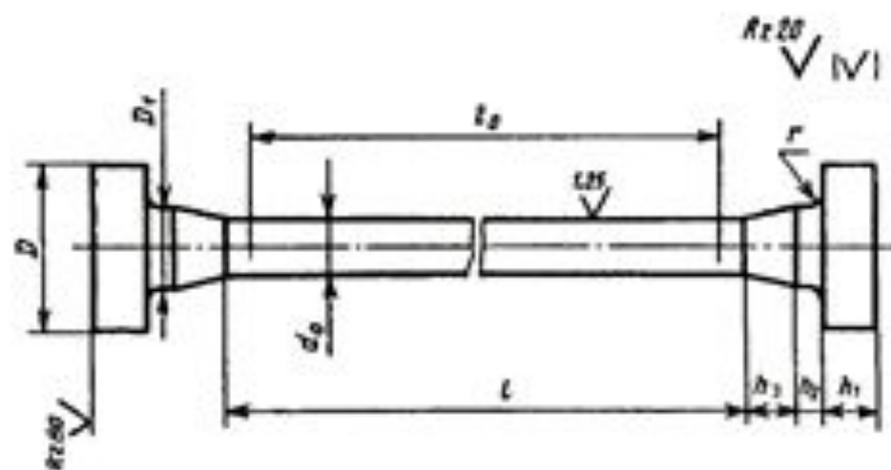
- По виду деформации - растяжение, сжатие, изгиб, кручение, срез.
- По характеру и времени воздействия нагрузок - статические (растяжение, изгиб, твердость), динамические (ударный изгиб), циклические (усталость), технологические (колпачки, выдавливание по Эриксену, кровельный замок, раздача трубы).
- По создаваемому в образце напряженному состоянию (одноосное растяжение, двухосное растяжение, трехосное объемное сжатие).
- По температуре - при нормальной, повышенной, пониженной температурах.

# Испытание на растяжение

**Испытание на растяжение** - самый распространенный вид испытаний для оценки механических свойств металла при одноосном растяжении, он легко подвергается анализу, позволяет по результатам лишь одного опыта определить несколько характеристик.

ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ регламентируется ГОСТ 1497, ISO 6892-1, ASTM A370, которые устанавливают единые методы испытания на растяжение.

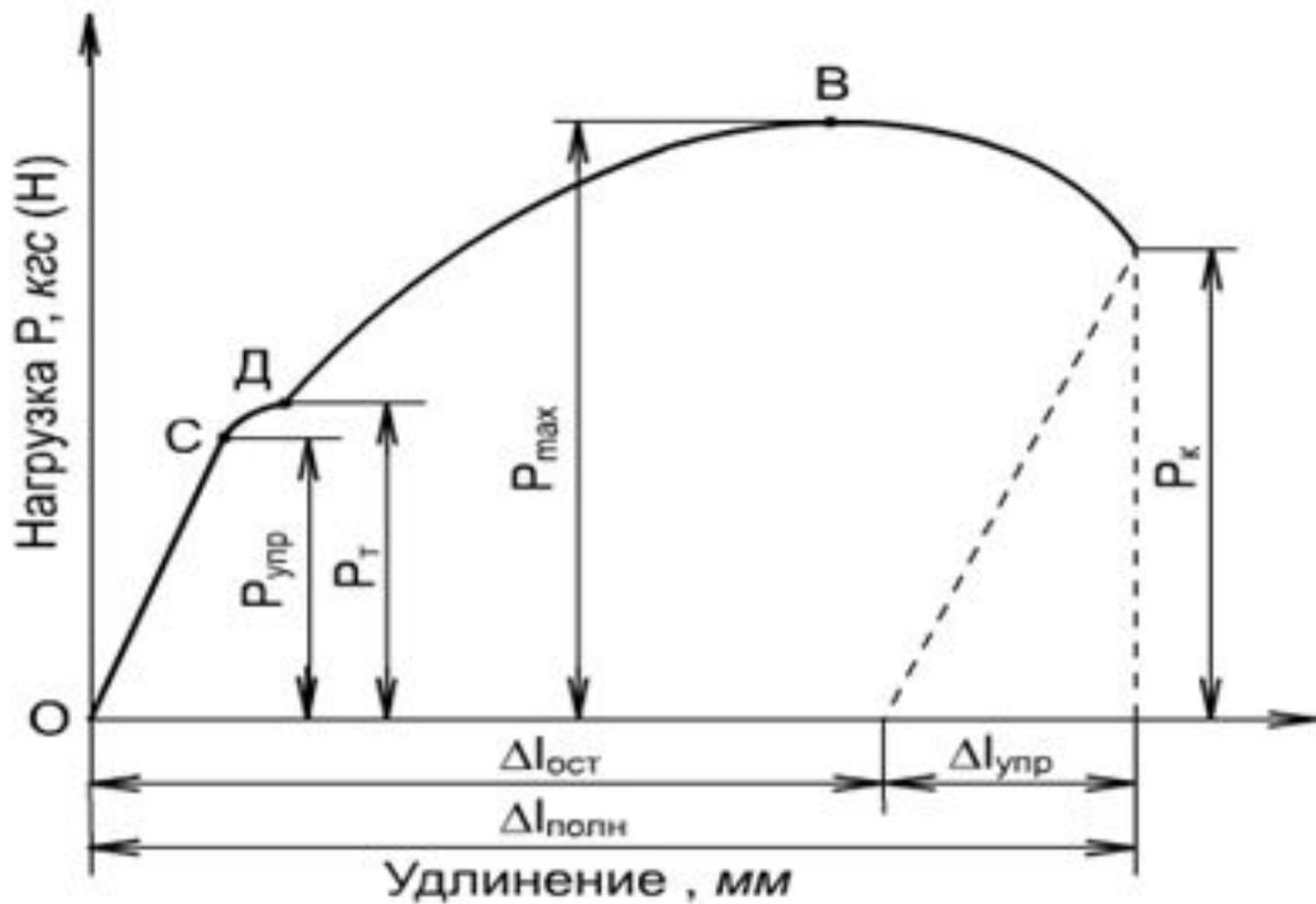
# Испытательные образцы



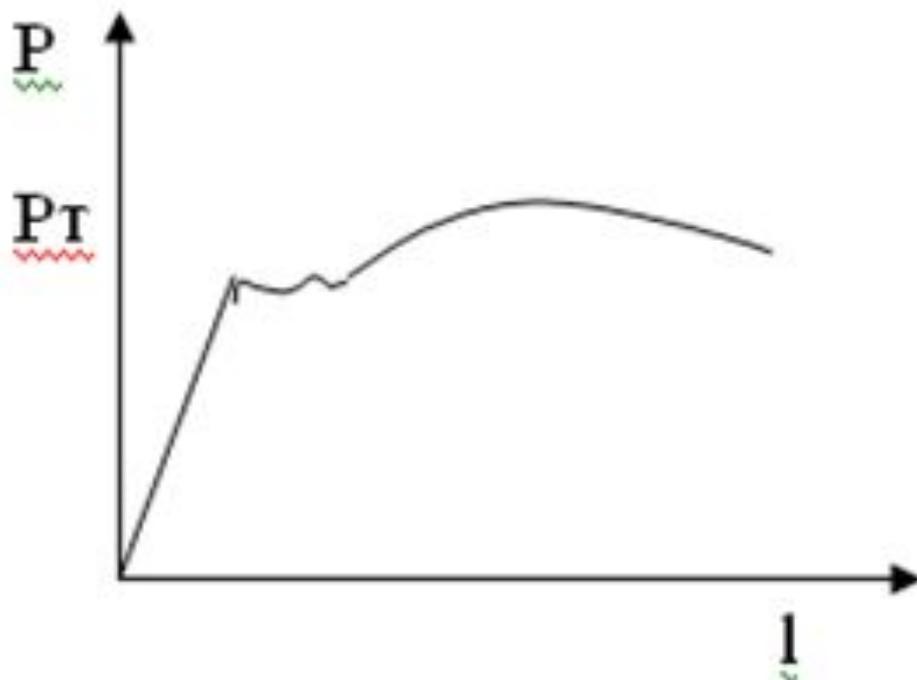
# Испытательные образцы



# Диаграмма растяжения

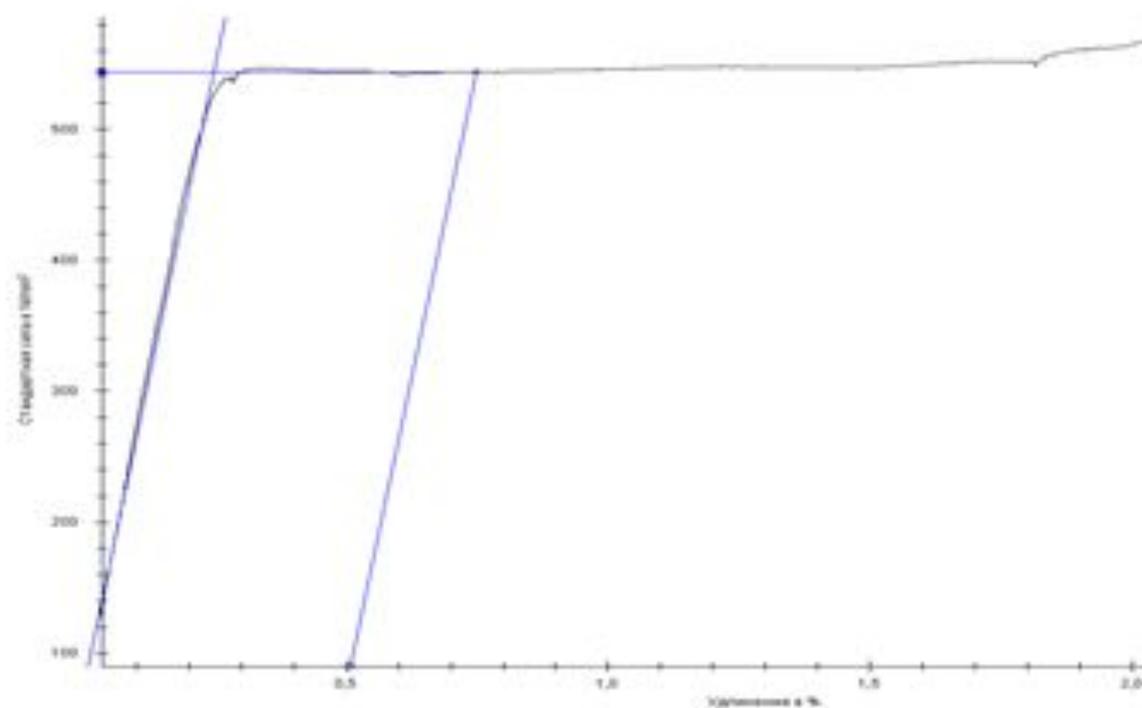


## Физический предел текучести

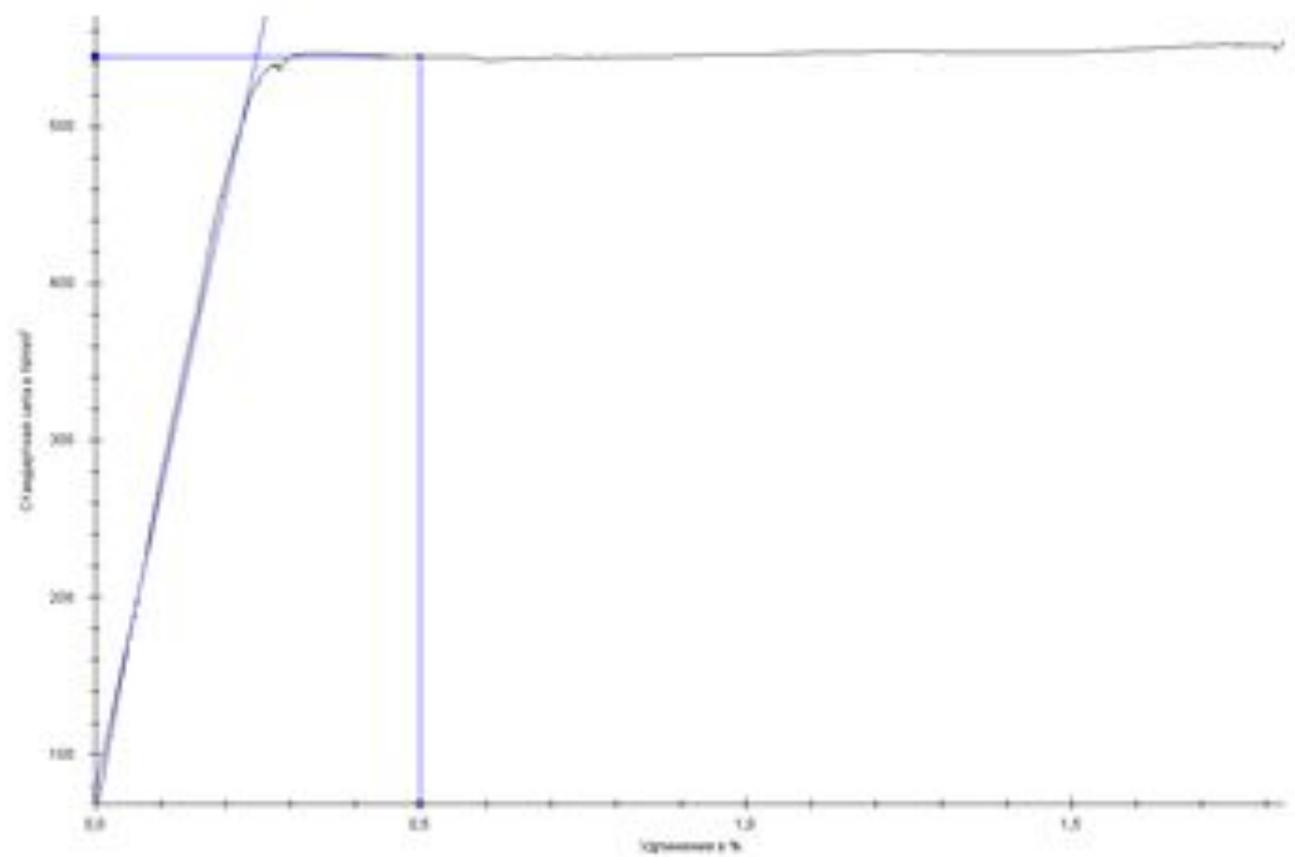


а) Предел текучести физический

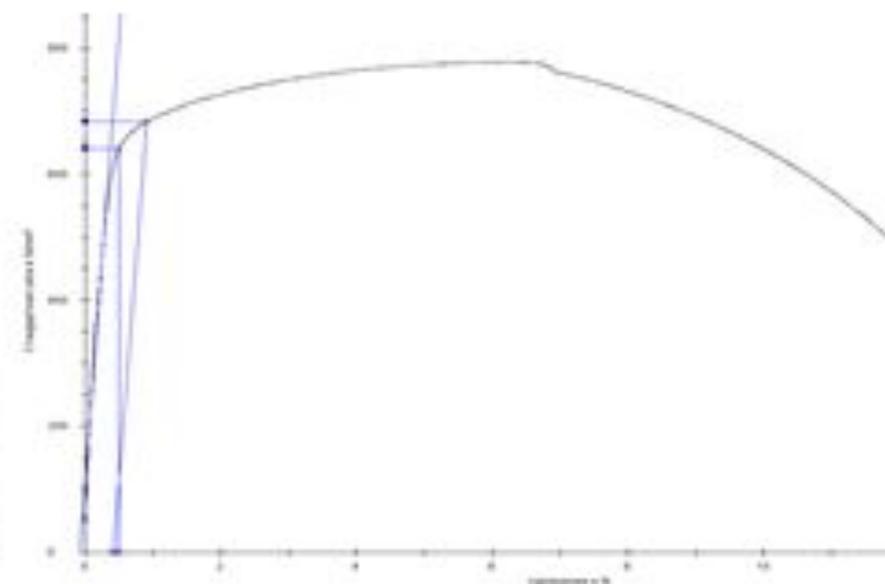
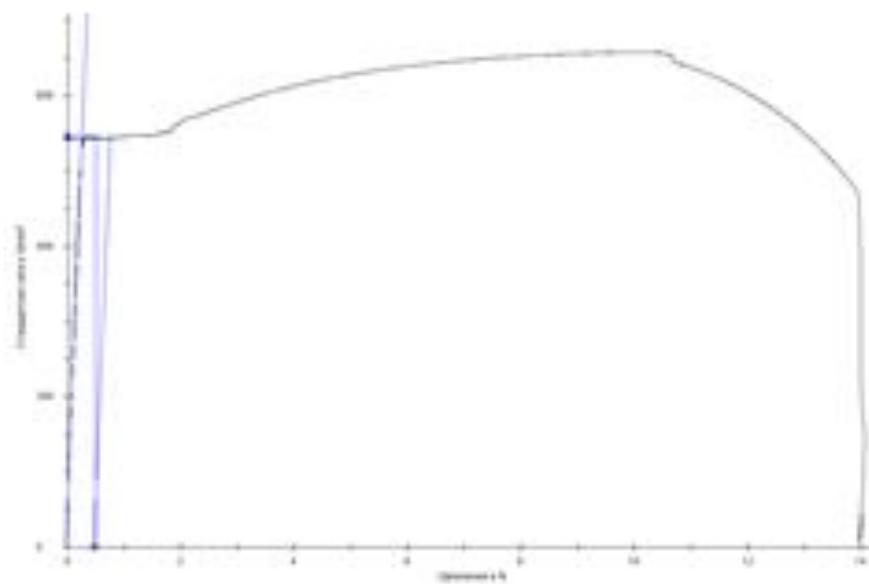
## Условный предел текучести с допуском на величину пластической деформации



# Условный предел текучести с допуском на величину полной деформации



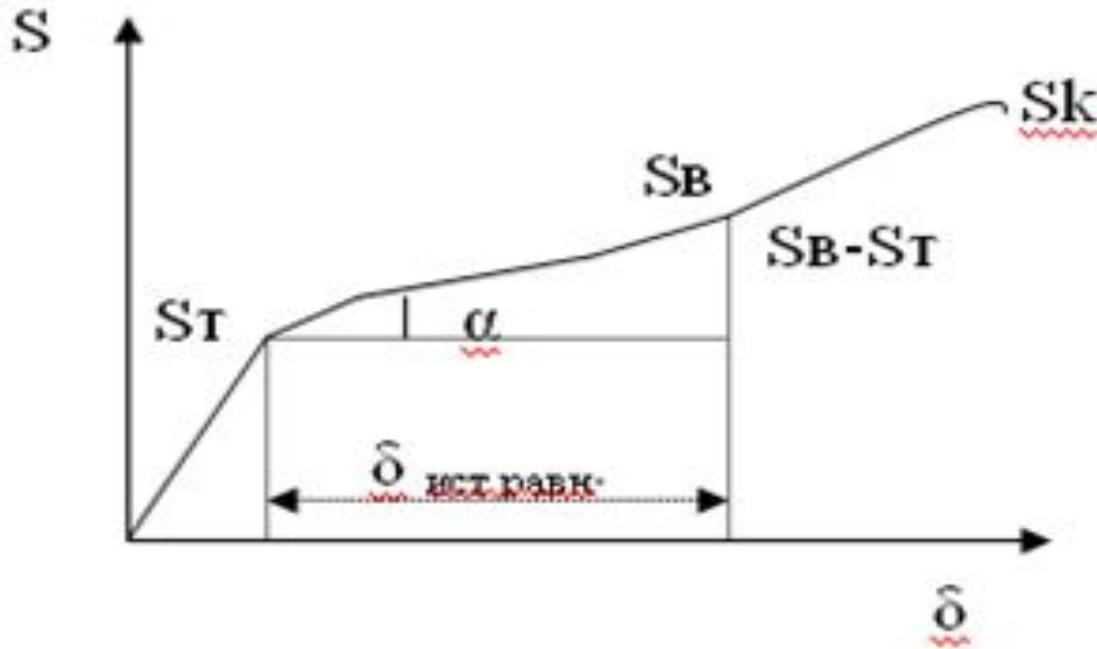
# Диаграммы растяжения



СОПРОТИВЛЕНИЕ РАЗРЫВУ – отношение нагрузки в момент разрыва к площади поперечного сечения в шейке

$$S_k = P_k / F_k$$

## Временное сопротивление



# Диаграмма растяжения

Наибольшее напряжение, которое способен выдержать образец без разрушения, называется *пределом прочности*.

# Запас прочности

Коэффициентом безопасности (или запасом прочности) называется отношение предела пропорциональности данного материала к максимальному напряжению, которое будет испытывать деталь конструкции в работе:

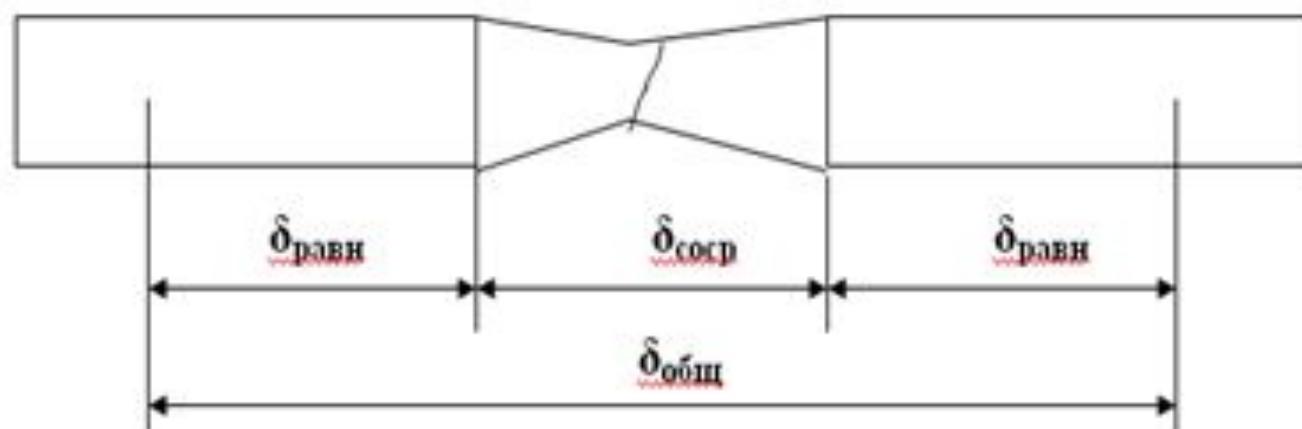
$$n = \frac{\sigma_n}{\sigma_D}$$

# Модуль упругости

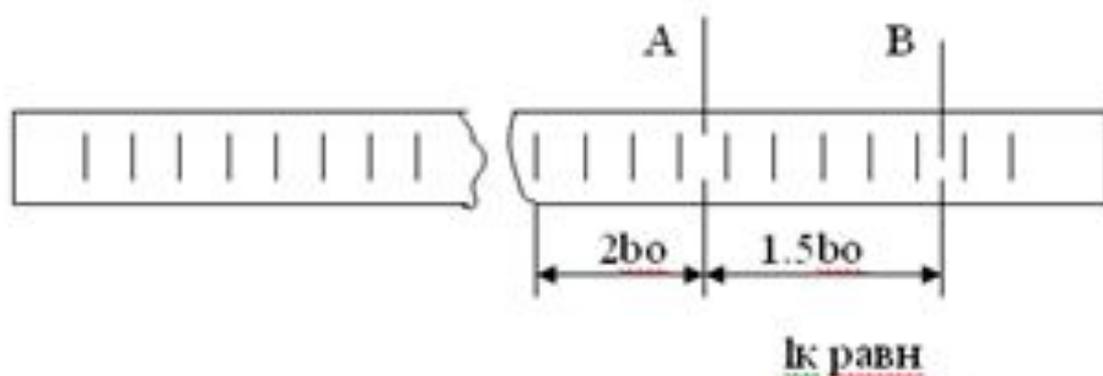
При малых (упругих) деформациях растяжения и сжатия отношение механического напряжения  $\sigma$  к относительному удлинению  $\varepsilon$  называется *модулем упругости*  $E$  (модулем Юнга):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{Fl_0}{|\Delta l|S}$$

# Относительное удлинение



# Относительное равномерное удлинение



## Определение относительного сужения

$$\psi_z = \frac{(F_0 - F_z) \cdot 100}{F_0} = \frac{(d_0^2 - d_z^2) \cdot 100}{d_0^2},$$

$$d_x = \frac{d_1 + d_2}{2};$$

- где
- $F_0$  - начальная площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>;
- $F_k$  - минимальная площадь поперечного сечения после разрыва, мм<sup>2</sup>;
- $d_1$  и  $d_2$  - измеренные значения взаимно перпендикулярных диаметров в месте наибольшего сужения образца. Если сечение поверхности образца после разрушения имеет эллиптическую форму, то  $d_1$  и  $d_2$  должны быть измерены по осям эллипса.

## Испытательные разрывные машины



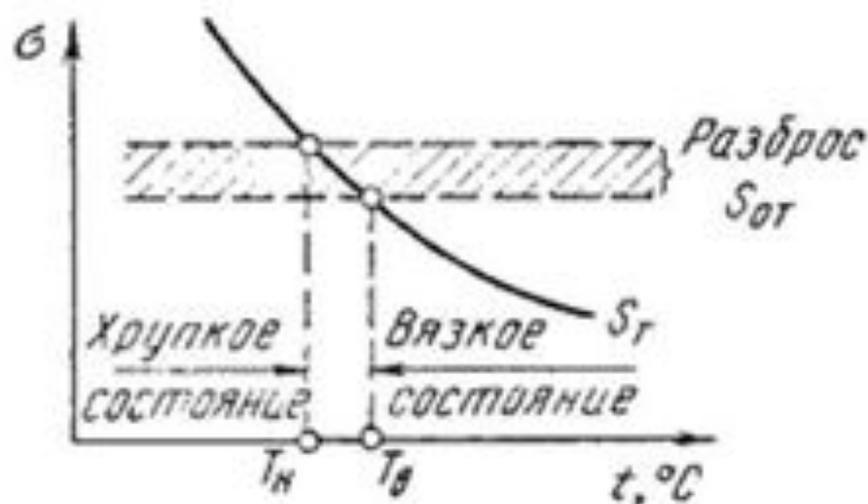
Испытания на растяжение регламентируется ГОСТ 1497 и ГОСТ 11701, которые устанавливают единый метод испытания на растяжение.

## ВЯЗКОСТЬ (ГОСТ 9454)

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

Является энергетической характеристикой материала, выражается в единицах работы. Вязкость металлов и сплавов определяется их химическим составом, термической обработкой и другими внутренними факторами.

Также вязкость зависит от условий, в которых работает металл (температуры, скорости нагружения, наличия концентраторов напряжения).



Влияние температуры на пластичное и хрупкое состояние

**УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ** - это свойство металла противостоять нагрузкам без разрушения.

## **Ударный изгиб**

Испытание на ударный изгиб – один из наиболее старых методов ударных испытаний, который был известен еще в 1884 году.

Этот метод испытаний применяют в основном для определения склонности к хрупкому излому металлических материалов. Кроме того, испытания на ударную вязкость позволяют изучать процессы старения.

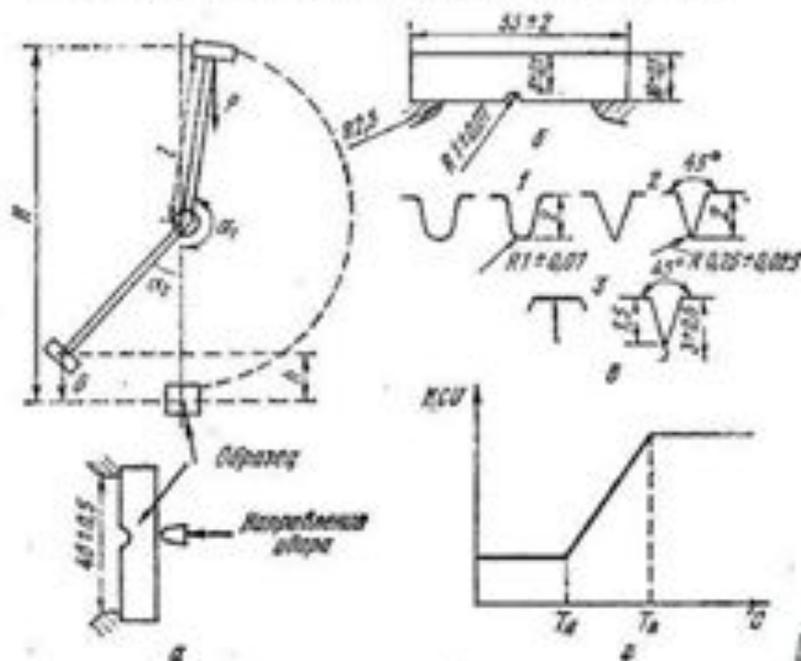
Испытания на ударный изгиб относятся к динамическим, т.е. к испытаниям при достаточно большой скорости разрушения образцов.

Испытания на ударный изгиб образцов с надрезом проводят по ГОСТ 9454.

Хладоломкостью называется склонность металла к переходу в хрупкое состояние с понижением температуры.

Хладоломкими являются железо, вольфрам, цинк и другие металлы, имеющие объемноцентрированную кубическую и гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку.

Ударная вязкость характеризует надежность материала, его способность сопротивляться хрупкому разрушению



На разрушение образца затрачивается работа  $A = P(H - h)$

где:  $P$  – вес маятника,  $H$  – высота подъема маятника до удара,  $h$  – высота подъема маятника после уда  
Характеристикой вязкости является ударная вязкость ( $a_u$ ), - удельная работа разрушения.

$$a_u = \frac{A}{F_0}$$

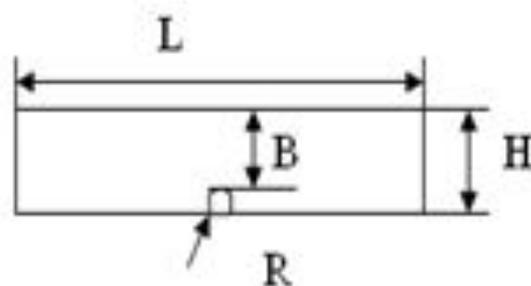
где:  $F_0$  - площадь поперечного сечения в месте надреза

ГОСТ 9454 – 78 ударную вязкость обозначает KCV, KCU, KCT, KC – символ ударной вязкости, третий символ показывает вид надреза: острый (V), с радиусом закругления (U), трещина (T).

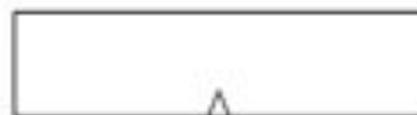
Испытывают серию образцов при различных температурах и строят кривые ударная вязкость – температура ( $a_u - T$ ), определяя пороги хладоломкости.

Порог хладоломкости - температурный интервал изменения характера разрушения, является важным параметром конструкционной прочности. Чем ниже порог хладоломкости, тем менее чувствителен металл к концентраторам напряжений (резкие переходы, отверстия, риски), к скорости деформации.

# Типы образцов на ударный изгиб



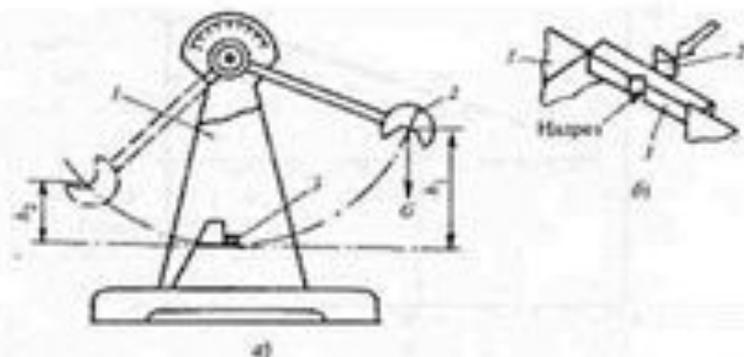
Образец с круглым надрезом



Образец с острым надрезом

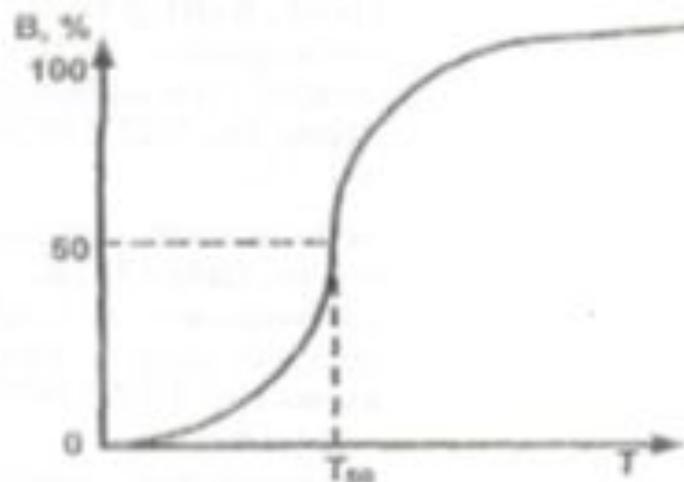


## Ударная вязкость металла



*Схема испытания на ударную вязкость:*

- а) схема маятникового копра;  
б) расположение образца на копре:
- корпус
  - маятник
  - образец



*Порог хладноломкости*

# Маятниковый копер



## ИСПЫТАНИЕ НА ИЗГИБ, ПЕРЕГИБ

В практике нагружения конструкций изгиб встречается довольно часто. Схема испытания на изгиб в приложении сосредоточенной силы к образцу на середине расстояния между опорами. Нижняя часть образца оказывается растянутой, а верхняя – сжатой. Максимальное напряжение возникает вблизи поверхности.



Испытания на ударный изгиб образцов с надрезом проводят по ГОСТ 14019

# Испытание на твердость

Механическими свойствами называется совокупность свойств, характеризующих способность металлических материалов сопротивляться воздействию внешних усилий (нагрузок).

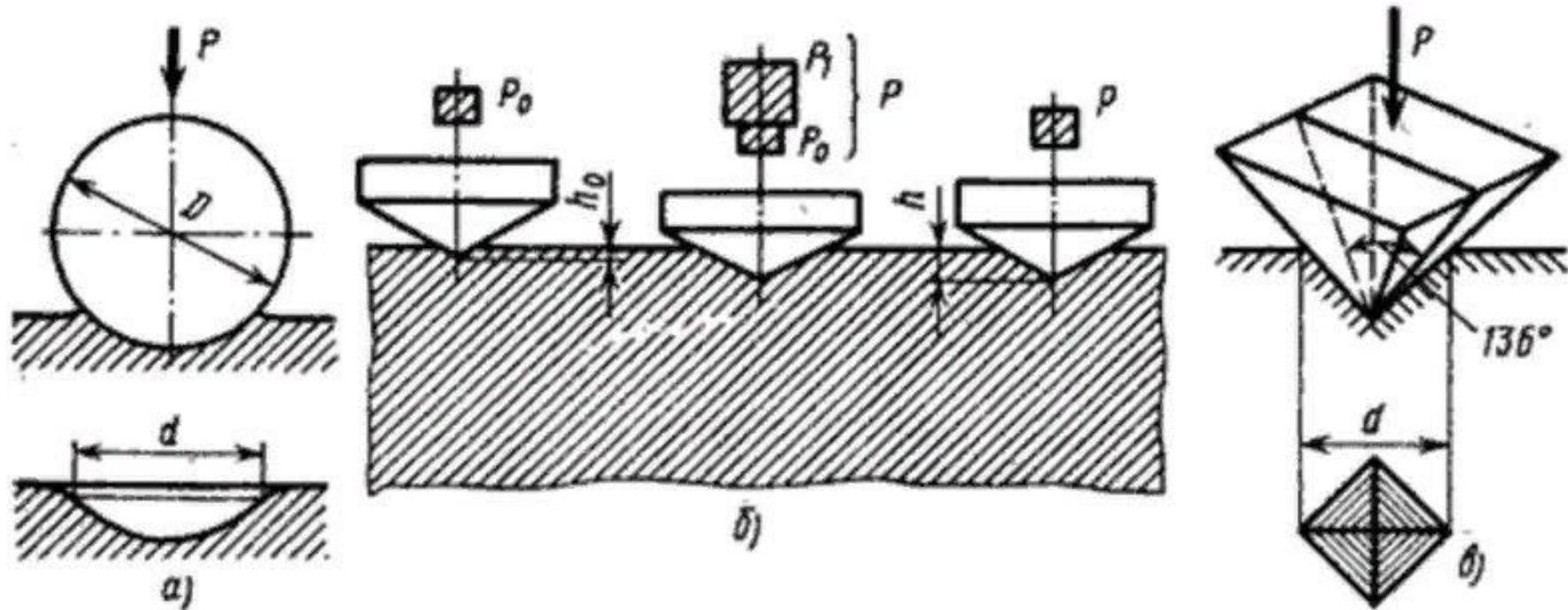
К ним можно отнести: прочность, твёрдость, пластичность, упругость, вязкость, хрупкость, усталость, ползучесть и износостойкость.

Механические испытания делят на

- *статические*, при которых нагрузка, действующая на образец, остаётся постоянной или возрастает крайне медленно;
- *динамические (ударные)*;
- *циклические* испытания при повторных или знакопеременных нагрузках.

**Твердость** – это сопротивление материала проникновению в его поверхность стандартного тела (*индентора*), не деформирующегося при испытании.

Это неразрушающий метод контроля. Основной метод оценки качества термической обработке изделия. О твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса, микротвердости).



Схемы определения твердости: а – по Бринеллю; б – по Роквеллу;  
в – по Виккерсу

## Твердость по Бринеллю ( ГОСТ 9012)

**Индентор** - стальной закаленный шарик диаметром D 2,5; 5; 10 мм.

Нагрузка P, в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости: для термически обработанной стали и чугуна  $P = 30D^2$

литой бронзы и латуни –  $P = 10D^2$

алюминия и других очень мягких металлов  $P = 2,5D^2$

Продолжительность выдержки

для стали и чугуна – 10 с, для латуни и бронзы – 30 с.

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

Стандартными условиями являются D = 10 мм; P = 3000 кгс;

$\tau = 10$  с. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается HB 250, в других случаях указываются условия: HB D / P /  $\tau$

HB 5/ 250 /30 – 80.

# Определение твердости по Бринеллю



## Метод Роквелла ГОСТ 9013

**Индентор** для мягких материалов (до HB 230) – стальной шарик диаметром 1/16" (1,6 мм), для более твердых материалов – конус алмазный.

### Шкалы для определения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P0	P1	P2	
A	HRA	Алмазный конус < 1200	10	50	60	Для особо твердых материалов
B	HRB	Стальной закаленный шарик Ø1/16"	10	90	100	Для относительно мягких материалов
C	HRC	Алмазный конус < 1200	10	140	150	Для относительно твердых материалов

# Определение твердости по Роквеллу



## Метод Виккерса

В качестве *индентора* используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине  $136^\circ$ .

Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки  $P$  к площади поверхности отпечатка  $F$ :

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Нагрузка  $P$  составляет 5...100 кгС.

*Способ микротвердости* – для определения твердости отдельных структурных составляющих и фаз сплава, очень тонких поверхностных слоев (сотые доли миллиметра).

Индентор – пирамида меньших размеров, нагрузки при вдавливании  $P$  составляют 5...500 г.

$$H_{200} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

# ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО ВИККЕРСУ



### **Метод царапания.**

Алмазным конусом, пирамидой или шариком наносится царапина, которая является мерой. При нанесении царапин на другие материалы и сравнении их с мерой судят о твердости материала.

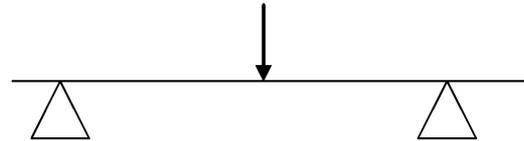
Можно нанести царапину шириной 10 мм под действием определенной нагрузки. Наблюдают за величиной нагрузки, которая дает эту ширину.

### **Динамический метод (по Шору)**

Шарик бросают на поверхность с заданной высоты, он отскакивает на определенную величину. Чем больше величина отскока, тем тверже материал.

# Испытание падающим грузом (ИПГ)

Схема испытания на изгиб



Испытание на изгиб проводится по ГОСТ 14019 и состоит из следующих этапов:

- 1) замер толщины образца;
- 2) подгиб его на угол не менее 150 град. с соблюдением основных условий, а именно: ширины оправки и расстояния между опорами в соответствии с требованиями ГОСТ 14019;
- 3) догиб до параллельности сторон на требуемую оправку;
- 4) визуальный осмотр места изгиба невооруженным глазом.

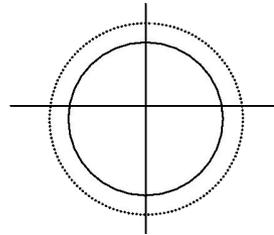
Критерием годности может быть:

- заданный угол изгиба,
- появление первой трещины,
- изгиб образца до параллельности, либо до соприкосновения сторон.

# Испытание на выдавливание сферической лунки по Эриксену

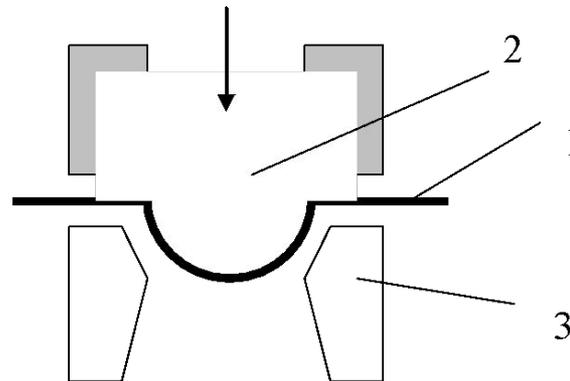
Испытание на выдавливание сферической лунки по Эриксену относится к технологическим испытаниям и качественно оценивает способность металла к штамповке по схеме всестороннего растяжения

Схема всестороннего растяжения



Испытание проводится по ГОСТ 10510

Схема испытания на выдавливание сферической лунки по Эриксену



- 1 – листовой образец;
- 2 – пуансон;
- 3 – матрица

Испытания на выносливость (ГОСТ 2860) дают характеристики усталостной прочности.

*Усталость* - разрушение материала при повторных знакопеременных напряжениях, величина которых не превышает предела текучести.

*Усталостная прочность* – способность материала сопротивляться усталости.

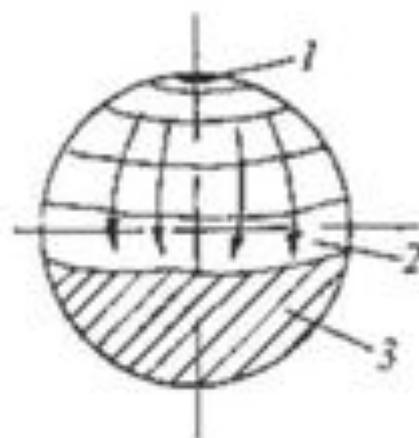
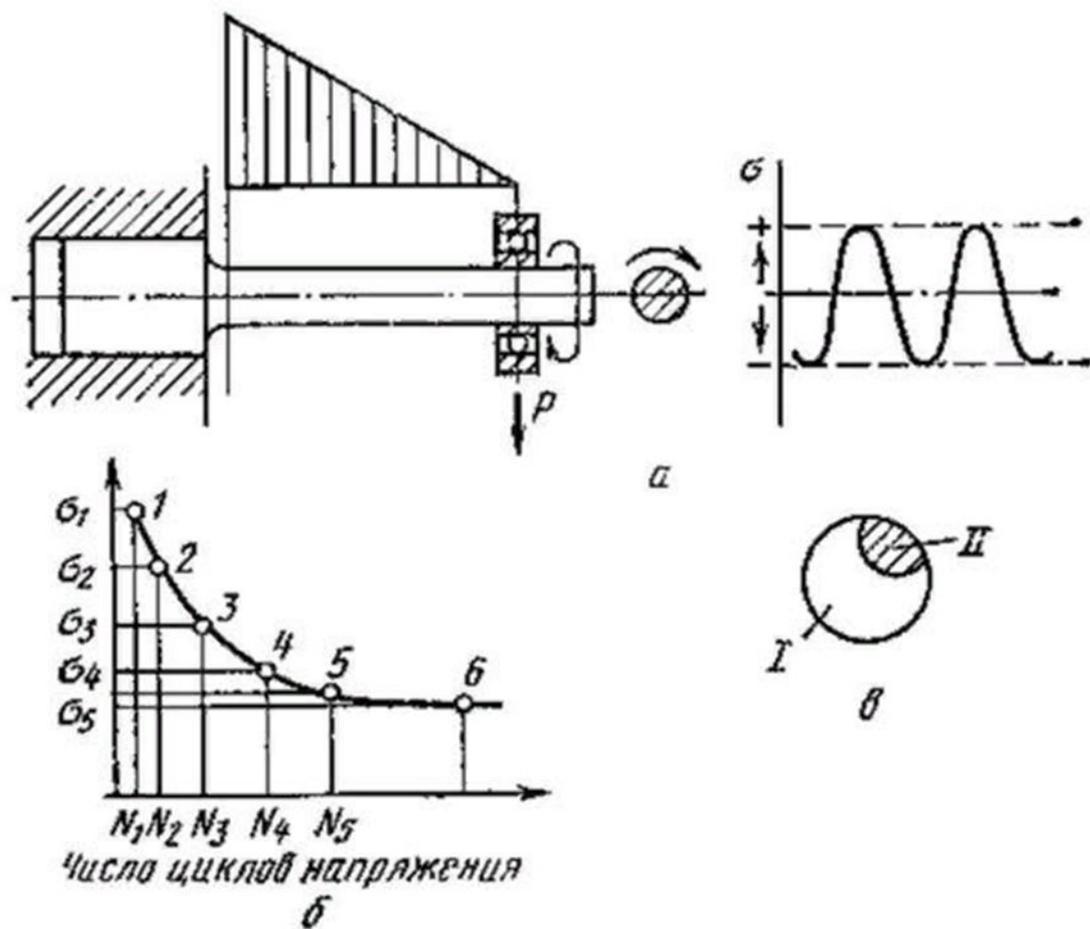


Схема зарождения и развития трещины при переменном изгибе круглого образца

1 – образование трещины в наиболее нагруженной части сечения, которая подвергалась микродеформациям и получила максимальное упрочнение

2 – постепенное распространение трещины, гладкая притертая поверхность

3 – окончательное разрушение, зона "долома", живое сечение уменьшается, а истинное напряжение увеличивается, пока не происходит разрушение хрупкое или вязкое



Испытания на усталость (а), кривая усталости (б)



## Основные характеристики:

*Предел выносливости*

– при симметричном изменении нагрузки  $\sigma_{-1}$

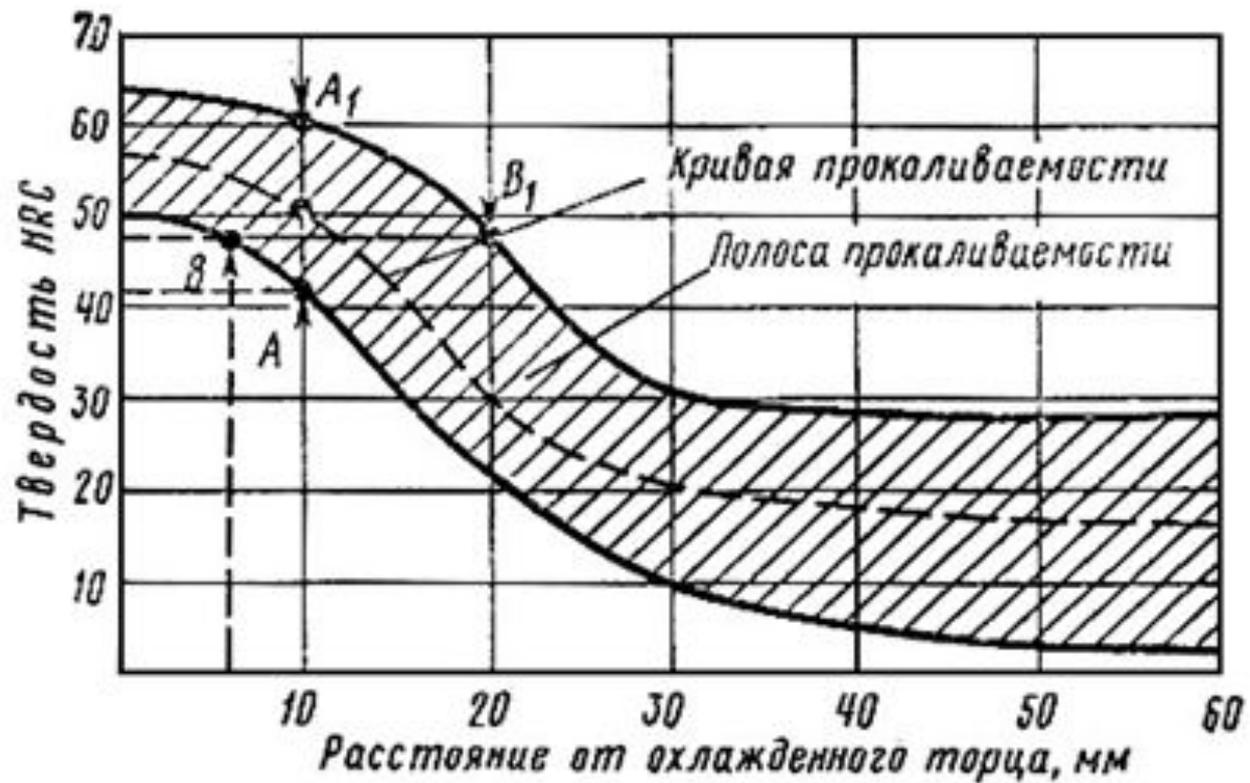
$\sigma_R$  – при несимметричном изменении нагрузки) – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за произвольно большое число циклов нагружения  $N$ .

*Ограниченный предел выносливости* – максимальное напряжение, выдерживаемое материалом за определенное число циклов нагружения или время.

*Живучесть* – разность между числом циклов до полного разрушения и числом циклов до появления усталостной трещины.



# Полоса прокаливаемости

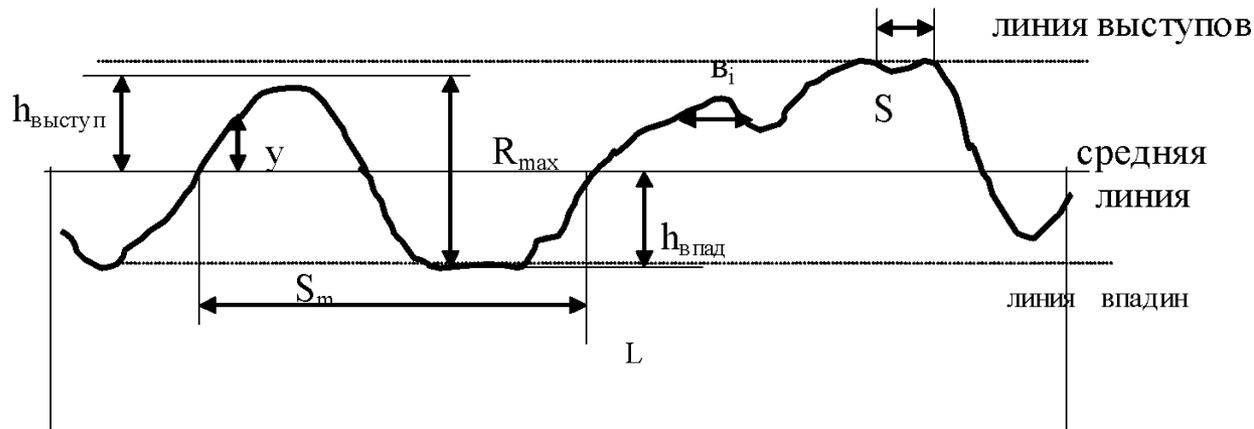


# Определение шероховатости металла

**Шероховатость поверхности** – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины.

Шероховатость поверхности определяется по ГОСТ 2789-73, ГОСТ 19300-86

Характеристики шероховатости



Шероховатость поверхности изделий определяется на специальном высокочувствительном приборе **профилографе - профилометре**.

Действие прибора основано на принципе ощупывания неровностей исследуемой поверхности алмазным щупом датчика и преобразования возникающих при этом колебаний щупа в изменения напряжения, пропорциональные этим колебаниям

# Технологические испытания

## Испытание на осадку



# Технологические испытания

## Испытание на осадку

