

Направление подготовки бакалавров  
«Строительство»

## Строительные материалы



Лихачев Владислав Александрович, к.х.н.,  
доцент

# **Механические характеристики металлов**

## **План раздела**

- 1.1. Контроль за качеством металла.**
- 1.2. Твёрдость металлов.**
- 1.3. Методы определения твёрдости.**
- 1.4. Прочность металлов. Диаграммы растяжения.**
- 1.5. Динамические испытания на ударную вязкость.**
- 1.6. Усталостные испытания.**

# Контроль качества металла

*На предприятиях качество металла контролируется несколько раз, можно выделить три основных метода контроля:*

- **Входной**
- **Междооперационный;**
- **Выходной**

*(заключительный).  
Во всех видах контроля качество металла может определяться за счет определения его механических характеристик или с помощью металлографического анализа.*

*Металлографический анализ – исследование макро- и микроструктуры металла.*

## Виды контроля металла

- **Контроль по механическим характеристикам** более быстрый, но позволяет определить качественный металл или нет, но не дает представления о том, почему металл плохой.
- **Металлографический анализ** более сложный и трудоемкий позволяет ответить на вопрос, почему металл плохой.

# Механические свойства металлов

• *Всего чаще определяется **твёрдость** металла.*

*Характеристика очень легко и быстро определяемая гостимируемые методами. Характеристика достаточно интегральная, т.к. позволяет предсказывать прочность, пластичность и износостойкость металла.*

***Прочность** металла. Зависит от условий эксплуатации и определяется целым рядом механических характеристик: **предел текучести, предел прочности, ударная вязкость, трещиностойкость, предел усталости и т.д.***

***Пластичность.***

*Это способность металла принимать под действием нагрузки новую форму, не разрушаясь. Описывается относительным удлинением и относительным сужением при разрыве.*

***Износостойкость.***

*Износостойкостью называется способность металла оказывать сопротивление изнашиванию. Описывается величиной, обратной скорости изнашивания.*

# Испытания на твердость металла

*Твёрдость – свойство металла оказывать сопротивление пластической деформации при контактном взаимодействии.*

*Определяется вдавливанием твёрдого наконечника определенной нагрузкой. Твёрдость фиксируется по площади или глубине отпечатка.*

Виды испытания на твёрдость отличаются: материалом размерами и формой наконечника и прикладываемой нагрузкой.

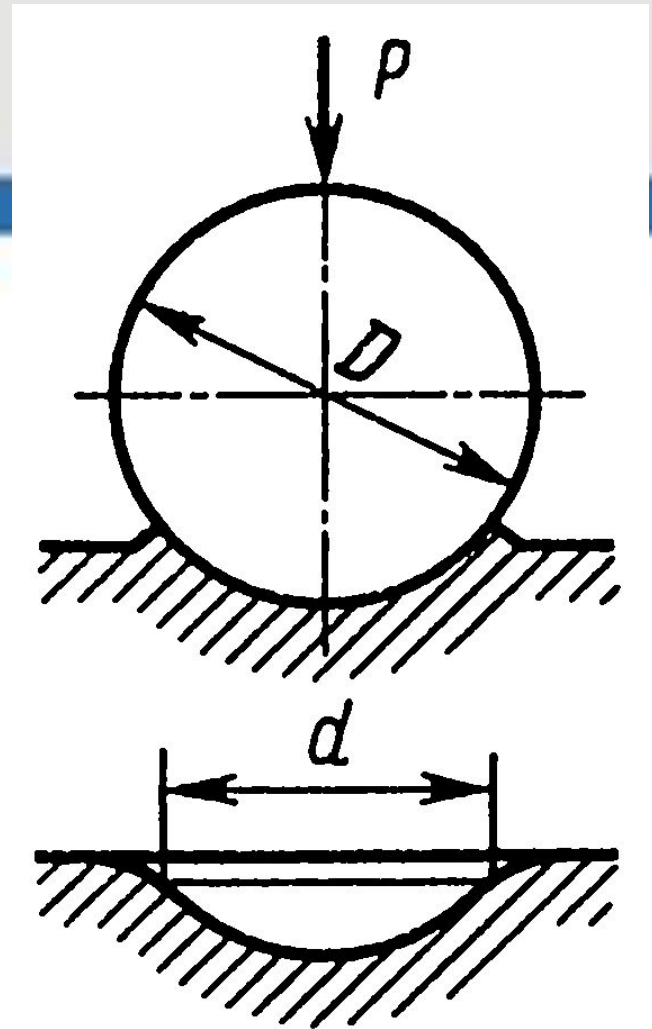
- Метод по Бринеллю (НВ);
- Метод по Роквеллу (HR);
- Метод по Виккерсу (HV);
- Испытания на микротвёрдость.

## Испытания по Бринеллю.

Используется для оценки твёрдости цветных металлов и незакалённых сталей в цехе.

Наконечник – стальной закалённый шарик диаметром 10; 5; 2,5 мм.

Нагрузка задается в кг (187,5 – 3000) кгс или в Н, с помощью машины ТШ-2 (Бринелль)



Если  $F$  ( $P$ ) в Н, то

$$HB = \frac{0,102 \cdot 2F (P)}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

# Определение твердости по Бринеллю

1. Диаметр шарика выбирается исходя из толщины детали.
2. Величина нагрузки исходя из диаметра шарика и предполагаемой твердости материала.
3. **Стандартные испытания** твердости отожженных сталей проводятся шариком 10 мм, при нагрузке  $P=3000$  кг, и времени наложения нагрузки 15 сек
4. Диаметр полученного отпечатка определяется с помощью небольшого микроскопа МПБ, прикладываемого к прибору Бринелля.



## Достоинства и недостатки испытаний по Бринеллю

**Достоинства:** заводской метод испытания непосредственно на деталях; точность измерения не зависит от посторонних веществ на поверхности (например, масла) и шероховатости.

**Недостатки:** ограниченность применения (до 420НВ), велик отпечаток (портится деталь), нельзя измерять твердость тонких листовых материалов.

## Испытания по Роквеллу

Наконечник – алмазный конус с углом при вершине  $120^\circ$ , или стальной закаленный шарик диаметром 1,58 мм;

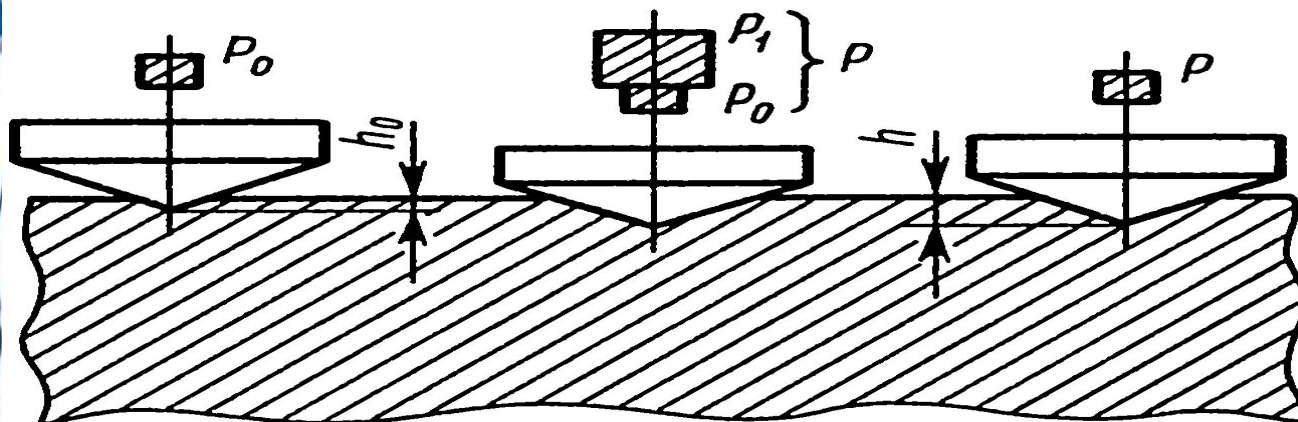
Испытания по трем шкалам:

**HRC** – алмазный конус, нагрузка 150 кгс;

**HRA** – алмазный конус, нагрузка 60 кгс;

**HRB** – стальной закаленный шарик, нагрузка 100 кгс;

Нагрузка задаётся с помощью прибора ТК-2. И накладывается в два приема: вначале предварительная 10 кг, затем окончательная.



## Испытания по Роквеллу

- Глубина отпечатка контролируется с помощью стрелочного механизма часового типа. Твердость по шкале С определяется по формуле:
- **HRC = 100-L**, где  $L = (h-h_0)/0,002\text{мм}$   
и выражается в условных единицах (55HRC – закаленная сталь, 32HRC – отожженная сталь)
- **HRC** – наиболее употребляемая шкала используется для всех материалов, наконечник алмазный конус.
- **HRA** - шкала для твердых и хрупких материалов, наконечник алмазный конус;
- **HRB** – шкала для мягких материалов, наконечник стальной закаленный шарик.

## Достоинства и недостатки испытаний по Роквеллу

- *Достоинства: самый быстрый и цеховой метод испытаний; не зависит от шероховатости; отпечаток небольшой меньше портится деталь, пригоден для испытаний любых по твердости материалов.*
- *Недостатки: Нельзя проводить испытания тонких материалов, твердость определяется в условных единицах.*

## Испытания по Виккерсу

Наконечник — алмазная пирамидка с квадратным основанием и углом при вершине  $136^\circ$

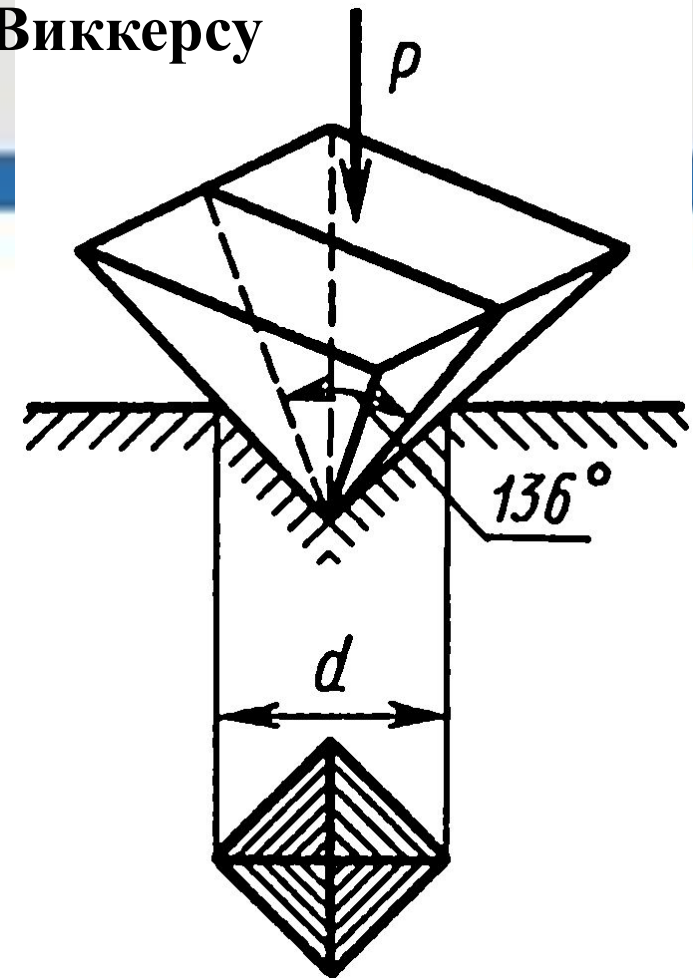
Нагрузка  $1 - 120$  кгс. Нагрузка задается с помощью рычажного механизма ТП-2.

Диаметр диагоналей отпечатка измеряется с помощью встроенного в прибор микроскопа.

Стандартные испытания  $P = 30$  кгс,

$\tau = 15$  сек.

$$HV = 1,854P/d^2 \text{ кгс/мм}^2$$



$$HV = 0,189 \frac{F}{d^2}$$

Н/мм<sup>2</sup>

## Достоинства и недостатки испытаний по Виккерсу

- **Достоинства метода:**
- используется для оценки любых по твердости материалов;
- может быть использован для оценки твердости листовых материалов.
- **Недостатки:** лабораторный метод, испытания проводятся на образцах с специально подготовленной поверхностью.

## Испытания на микротвердость

В основе испытаний на микротвердость лежит метод Виккерса, отличие заключается в величине прикладываемой нагрузки  $P$ , которая составляет от 5 г до 200 г, соответственно отпечаток после вдавливания пирамидки получается очень маленький и для определения диагоналей отпечатка используется металлографический микроскоп с увеличением  $\times 300$ .

Испытания проводятся на приборе ПМТ-3  
по ГОСТ 9450-73

## Испытания на микротвердость

- Метод может быть использован для определения твердости самых тонких покрытий, толщиной в несколько микрон (гальванических, химических, диффузионных)
- А также для определения твердости отдельных фаз и структурных составляющих сплавов.

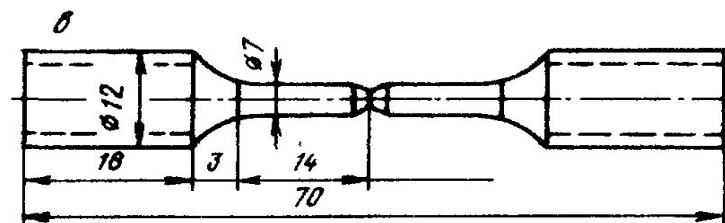
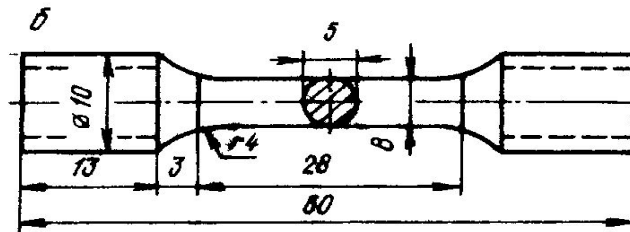
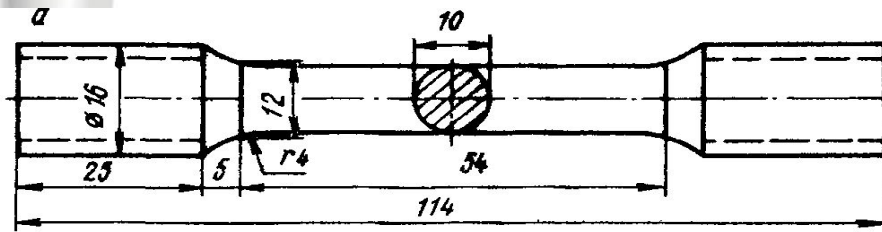


# Испытания на статическую прочность

- Прочность металла в условиях статических нагрузок оценивается с помощью следующих механических характеристик:
- $\sigma_T$  – предела текучести;
- $\sigma_{0,2}$  – условного предела текучести;
- $\sigma_B$  - предела прочности.

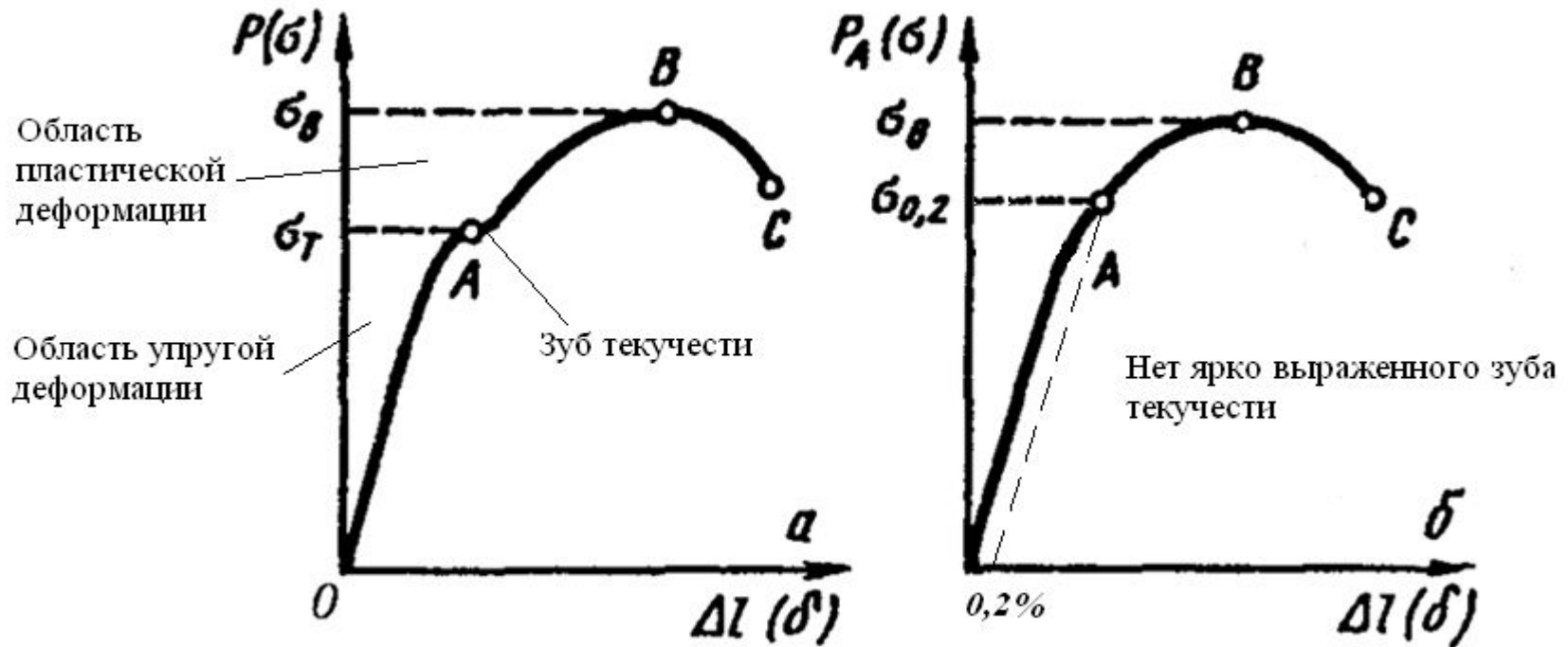
# Образцы для испытаний на разрыв

Образцы изготавливаются в соответствии с ГОСТ и различаются по длине и сечению.



## Испытания на прочность при статических нагрузках

Прочность в условиях статических нагрузок определяется с помощью снятия кривых растяжения металла, Кривые снимаются на разрывной машине.



## Испытания на статическую прочность

Диаграмма растяжения состоит из трех участков: упругой деформации OA, равномерной пластической деформации AB и сосредоточенной деформации шейки BC.

Наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки, называется *пределом текучести*  $\sigma_T$

$\sigma_{0,2}$  – *условный предел текучести* – нагрузка, которая оставляет остаточное удлинение 0,2% от первоначальной длины образца.

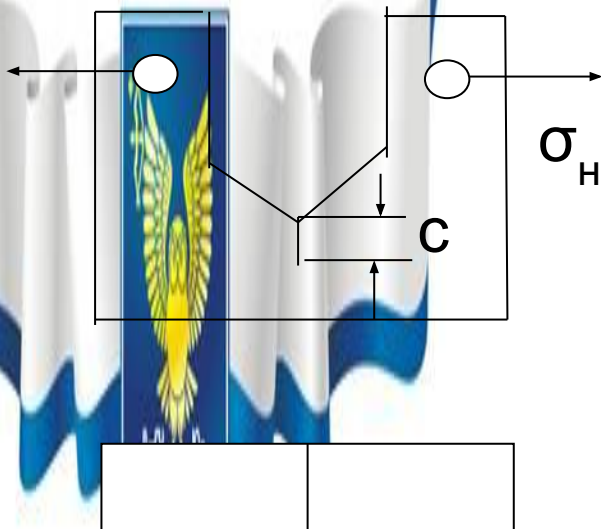
Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению, называется *пределом прочности*  $\sigma_B$  или *временным сопротивлением разрыву*

# Пластичность металлов

- С помощью кривых растяжения определяются также характеристики пластичности металлов:
- **Относительное удлинение-  $\delta$**
- $\delta = \frac{L_{\text{кон}} - L_{\text{нач}}}{L_{\text{нач}}} 100\%$ ;
- **Относительное сужение -  $\Psi$**
- $\Psi = \frac{F_{\text{нач}} - F_{\text{кон}}}{F_{\text{нач}}} 100\%$ ;

# Трещиностойкость

## Коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины.



Испытания проводятся на образцах с трещиной

$$K_{1c} = Y \sigma_H \sqrt{\pi C} \text{ кг/мм}^2 \text{ м}^{1/2}$$

$Y$  – коэффициент, учитывающий форму и размеры образца для испытаний

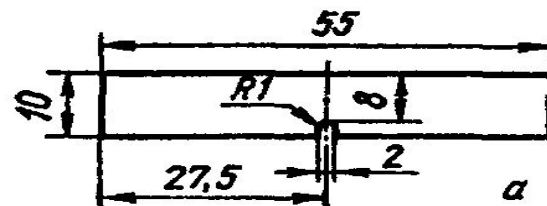
$\sigma_H$  – нагрузка

$C$  – длина дефекта (трещины)

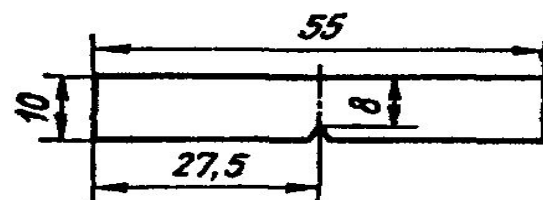
## Прочность металла в условиях ударных нагрузок

- Прочность металлов в условиях ударных нагрузок характеризуется **ударной вязкостью**, которая определяется работой (Дж/м<sup>2</sup>), затраченной на разрушение образца при ударе.
- Ударная вязкость обозначается тремя буквами КСУ, КСV, КСТ, где буквы U, V, T указывают на вид образца использованного при испытаниях.

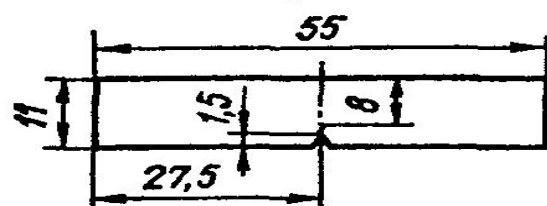
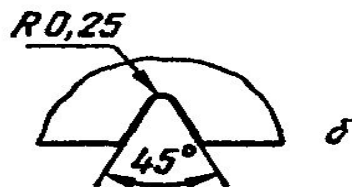
# Виды образцов при испытаниях на ударную вязкость



KCU



KCV



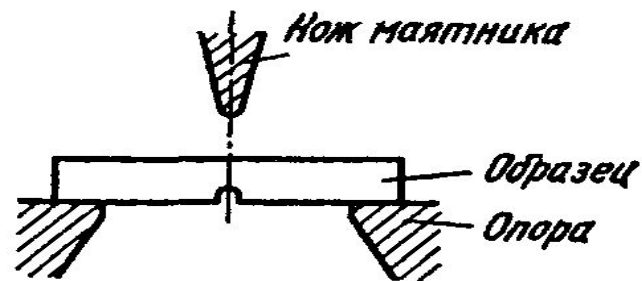
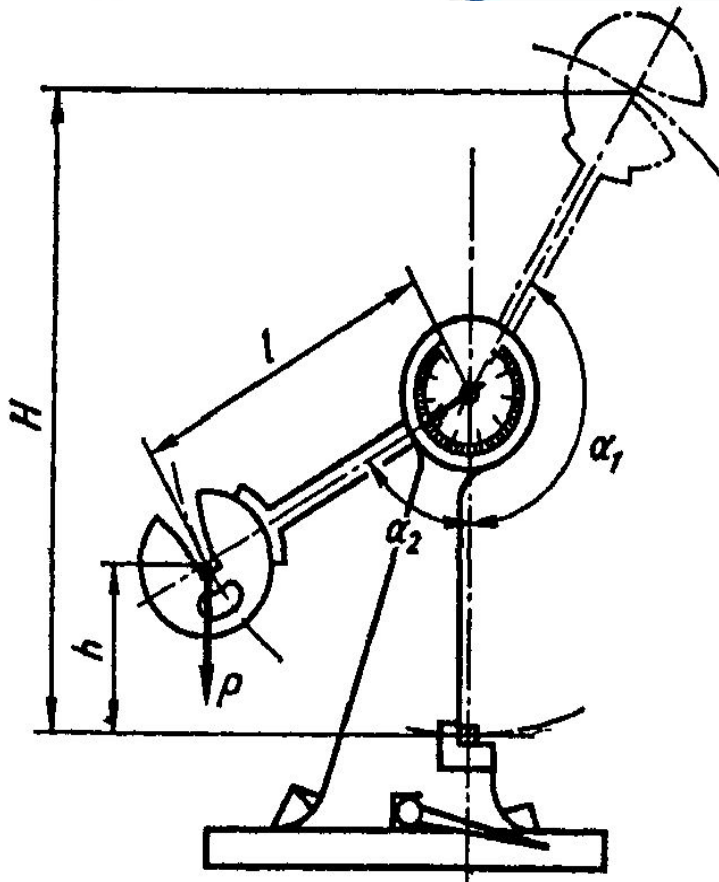
KCT



## Динамические испытания на ударную вязкость

Метод основан на разрушении образца с надрезом одним ударом маятникового копра.

Испытания проводятся по ГОСТ 9454-78 на маятниковом копре.



## Прочность металла при наложении динамических переменных нагрузок

- Оценивается с помощью **предела усталости** или **предела выносливости**:

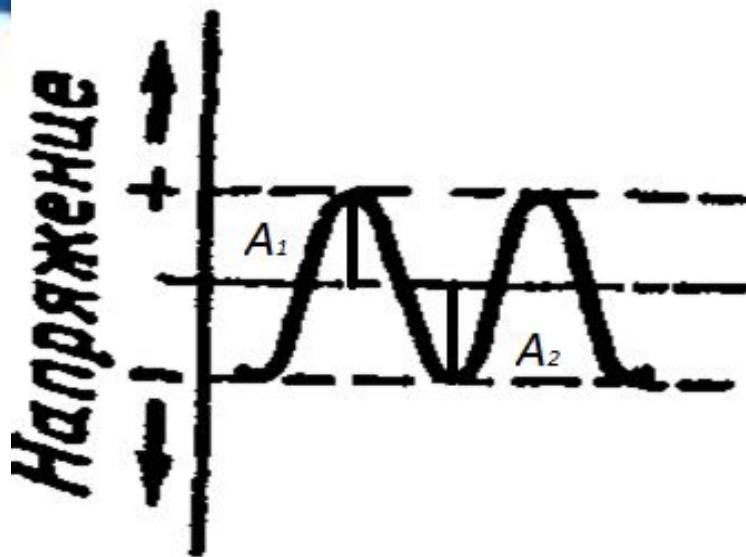
- $\sigma_R$  - при асимметричной нагрузке;

- $\sigma_{-1}$  - при симметричной нагрузке;

Предел выносливости определяется из кривой усталости металла, для снятия которой необходимо иметь не менее 10 образцов.

## Усталость металлов

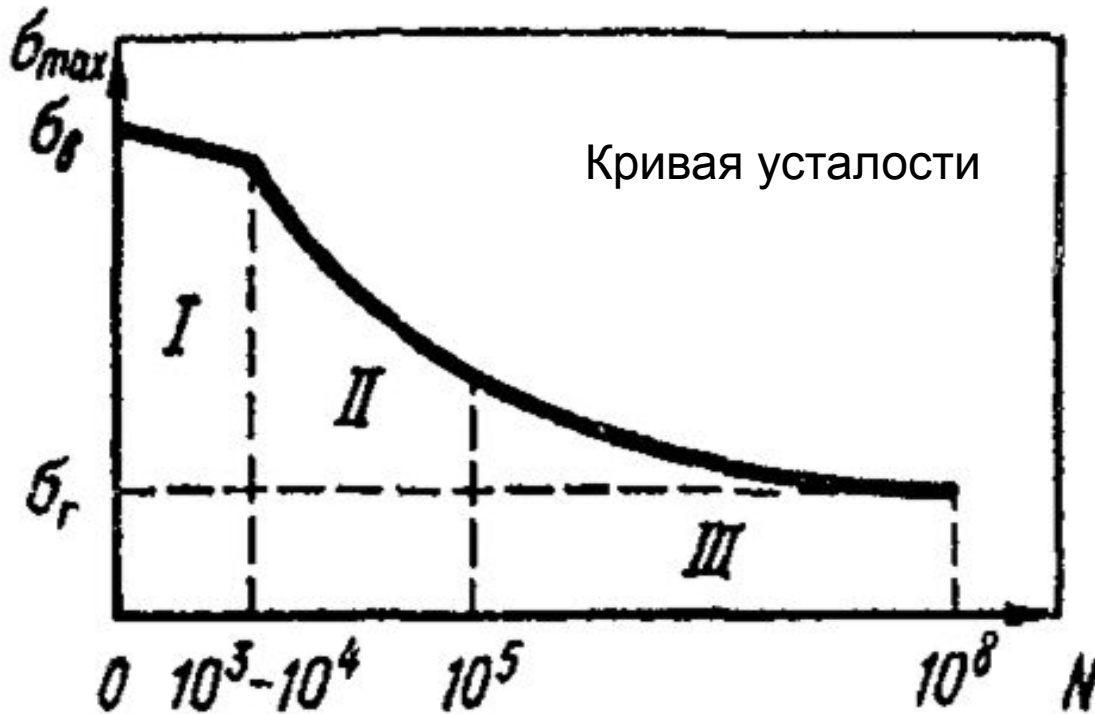
*Усталость представляет собой процесс постепенного накопления повреждений в металле под действием переменных напряжений, приводящих к образованию и развитию усталостных трещин.*



$A_1 = A_2$  — симметричная нагрузка;

$A_1 \neq A_2$  — несимметричная нагрузка

## Усталостные испытания



*I – квазистатическое  
разрушение;*

*II – малоцикловое  
разрушение;*

*III – многоцикловое  
разрушение.*

$\sigma_B$  – предел прочности металла.

Предел выносливости обозначают  $\sigma_{-1}$  при симметричной нагрузке и  $\sigma_R$  при асимметричной нагрузке

Кривая 1 – усталостная кривая имеет предел.

Кривая 2 – усталостная кривая не имеет предела. В таких случаях принято говорить об условном пределе выносливости, соответствующий нагрузке не вызывающей разрушение образца до  $10^7$  или  $10^8$  циклов.

