

Направление подготовки бакалавров
«Химическая технология»

Материаловедение и технология конструкционных материалов



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



Тема 5. Механические характеристики металлов

- 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.**



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Механические свойства металлов

- *Всего чаще определяется **твёрдость** металла.*

*Характеристика очень **легко и быстро** определяемая гостуруемыми 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.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Твёрдость металлов.

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

Существует несколько способов определения твердости металлов. Суть всех методов одна: **твёрдый наконечник** **вдавливается** в испытуемый материал **определённой нагрузкой**, а **твёрдость** определяется по **площади** или **глубине отпечатка**.

Таким образом характеризуя любой метод испытаний необходимо описать **форму, размеры и материал наконечника**, **величину** прикладываемой нагрузки, **способ** определения твердости по глубине или площади отпечатка, **ее обозначение и размерность**.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Твёрдость металлов.

Виды испытания на твёрдость металлов:

- Метод по Бринеллю (НВ);
- Метод по Роквеллу (НR);
- Метод по Виккерсу (НV);
- Испытания на микротвёрдость.



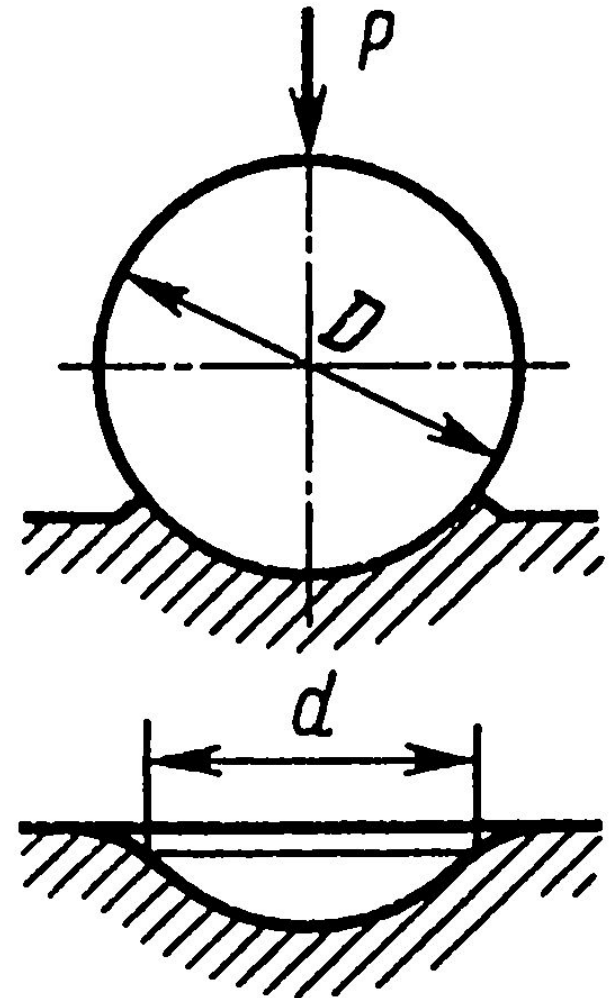
ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Испытания по Бринеллю.

Для оценки твёрдости цветных металлов и незакаленных сталей.

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

Нагрузка 187,5 – 3000 кгс.
Нагрузка задаётся с помощью прибора ТШ-2 (Бринелль)



Если F (P) в Н, то

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



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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-2, прикладываемого к прибору Бринелля.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Испытания по Роквеллу

Наконечник – алмазный конус с углом при вершине 120° , или стальной закаленный шарик диаметром 1,58 мм;

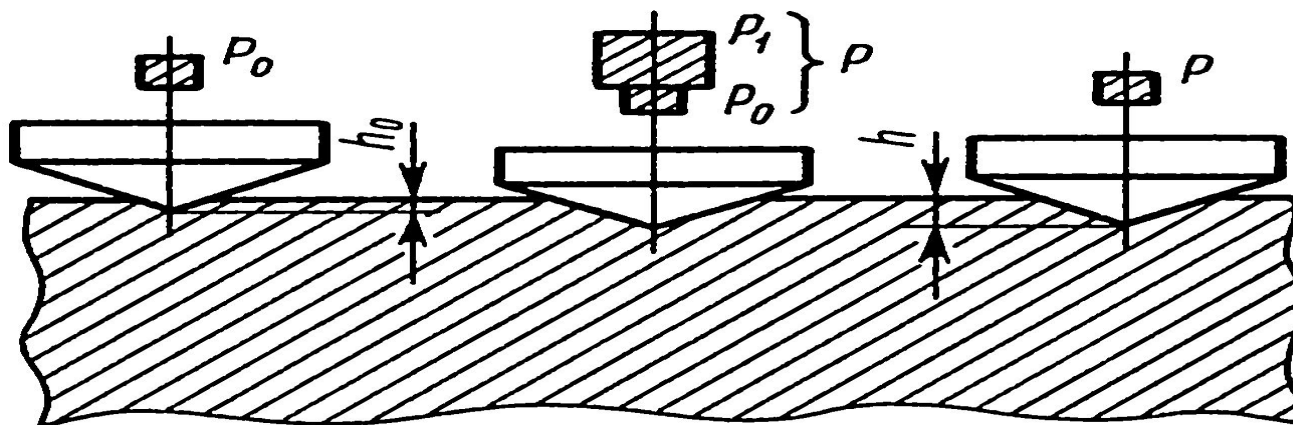
Испытания по трем шкалам:

***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.





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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.*



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Испытания по Виккерсу

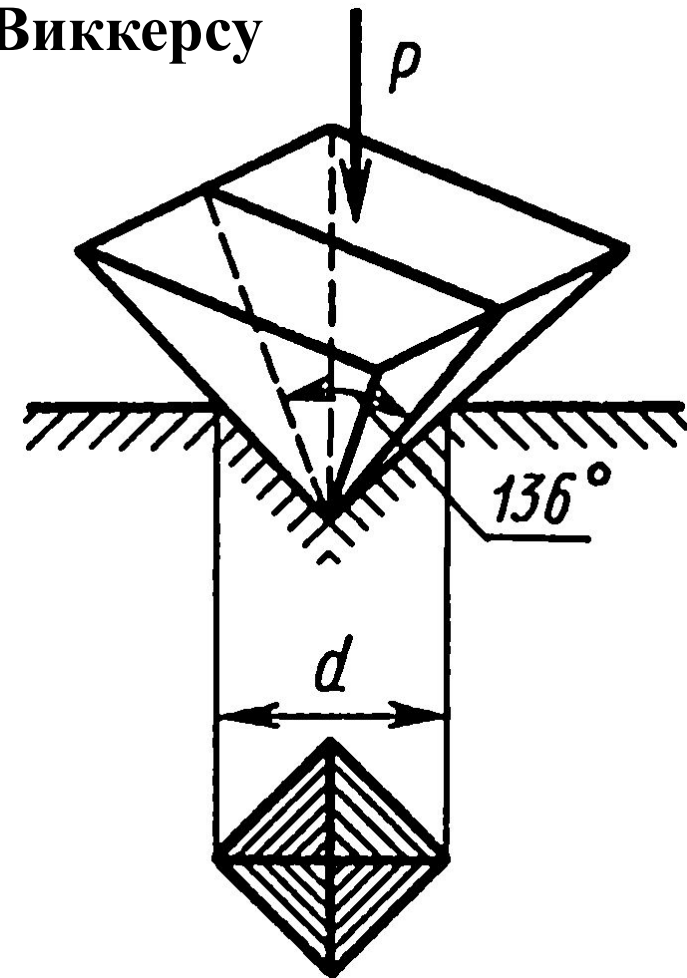
Наконечник – алмазная пирамидка с квадратным основанием и углом при вершине 136°

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/ мм²



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Прочность металлов

- Прочность одна из **главных** характеристик металла, которая часто определяется при контроле качества металла.
- Понятие прочности очень **широкое** понятие, прочность зависит от условий нагружения металла (статическая нагрузка, ударная, переменная) поэтому прочность характеризуется не одной, а целым рядом механических характеристик.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

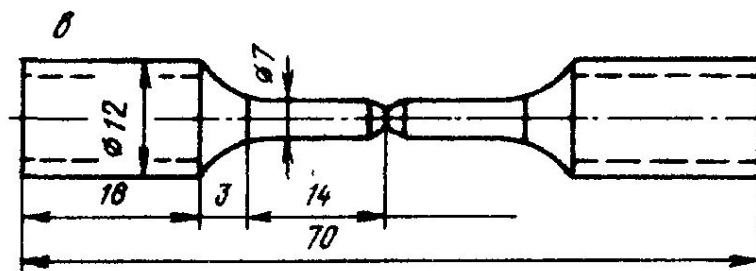
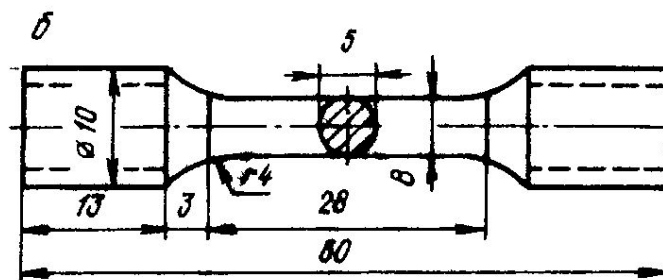
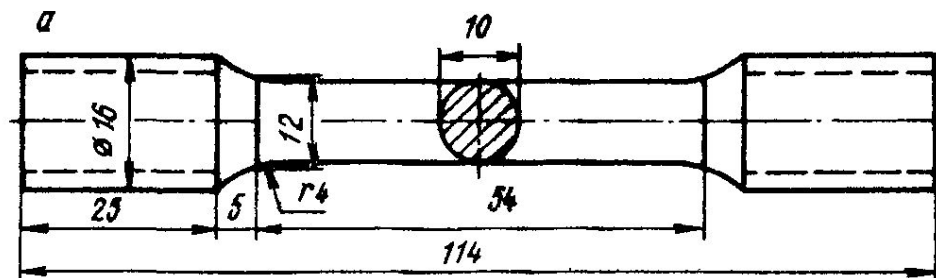
Статическая прочность металла

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



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Образцы для испытаний на разрыв

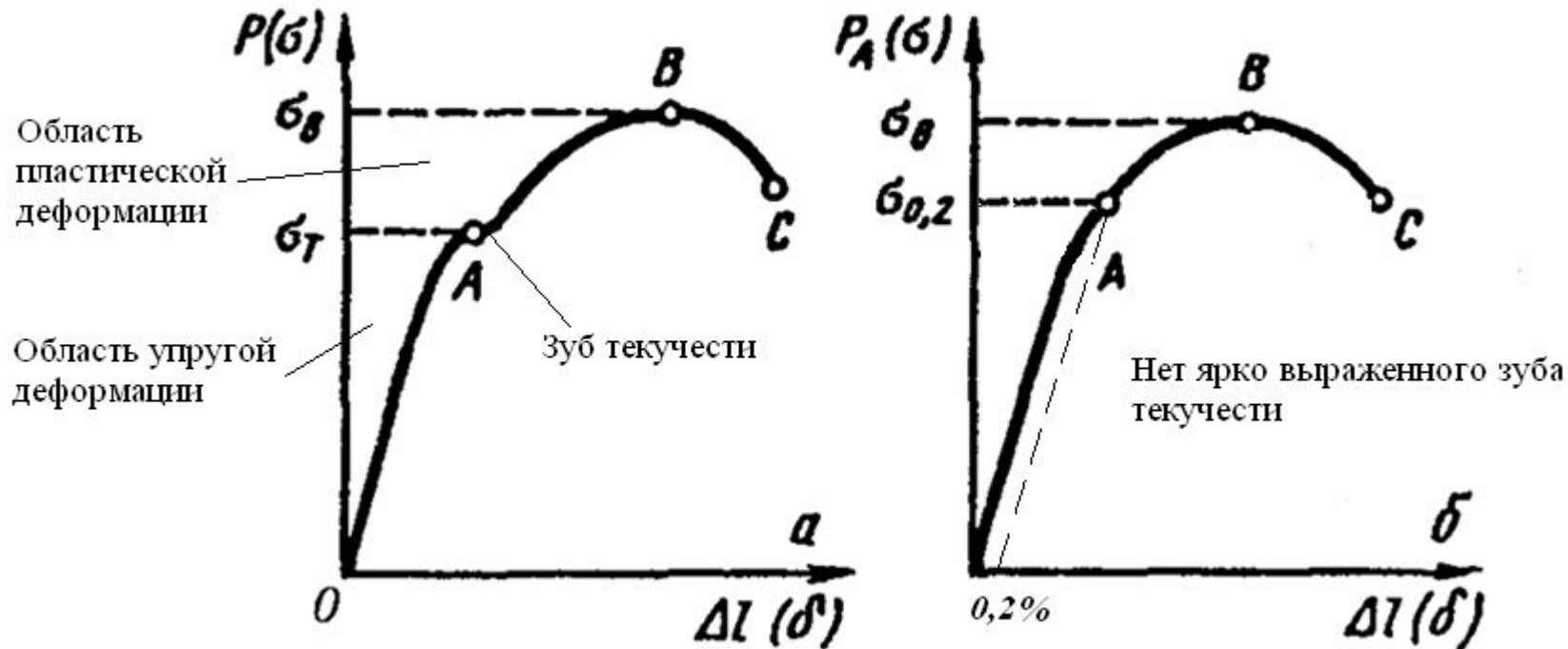




ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Испытания на прочность при статических нагрузках

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





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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* σ_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* σ_B или *временным сопротивлением разрыву*



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

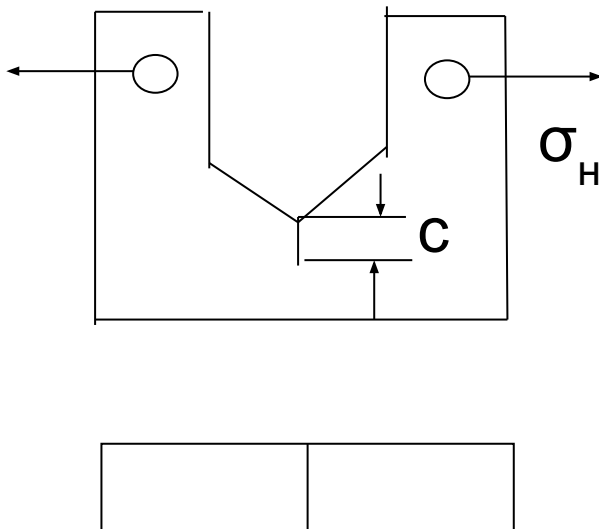
Пластичность металлов

- С помощью кривых растяжения определяются также характеристики **пластичности металлов**
- **Пластичность металла** – это способность его к деформации:
- Пластичность характеризуется:
- Относительным удлинением - δ
- $\delta = \frac{L_{\text{кон}} - L_{\text{нач}}}{L_{\text{нач}}} 100\%$;
- Относительное сужение - Ψ
- $\Psi = \frac{F_{\text{нач}} - F_{\text{кон}}}{F_{\text{нач}}} 100\%$;



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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

σ_H – нагрузка

c – длина дефекта (трещины)



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

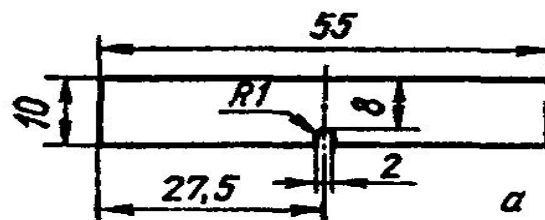
Прочность металла в условиях динамической (ударной) нагрузки

- Прочность металлов в условиях динамических нагрузок характеризуется ударной вязкостью, которая определяется работой (Дж/м²), 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.

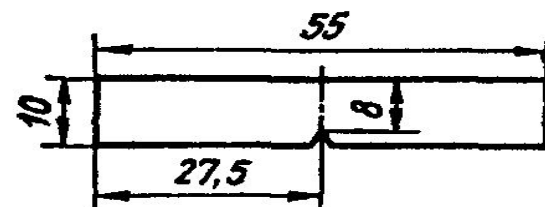


ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

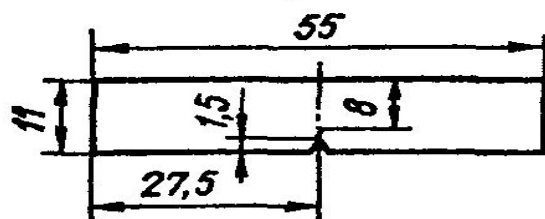
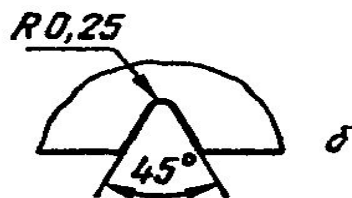
Виды образцов при испытаниях на ударную вязкость



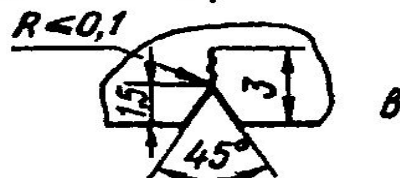
KCU



KCV



KCT





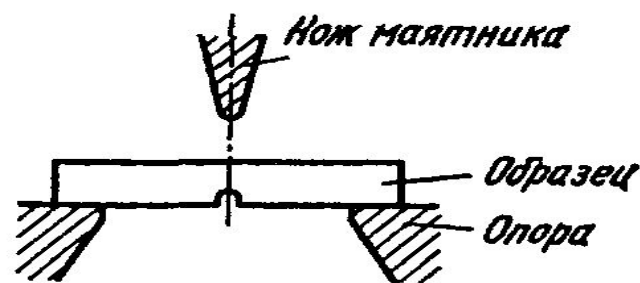
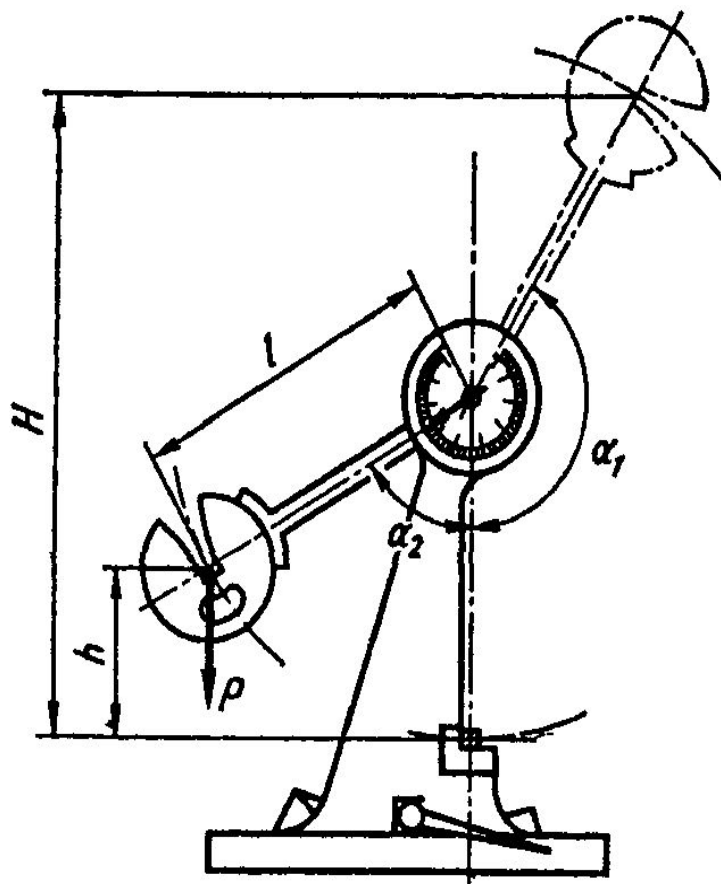
ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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.





ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Прочность металла при наложении переменных нагрузок

- Оценивается с помощью предела усталости или предела выносливости:
- σ_R - при асимметричной нагрузке;
- σ_{-1} - при симметричной нагрузке;

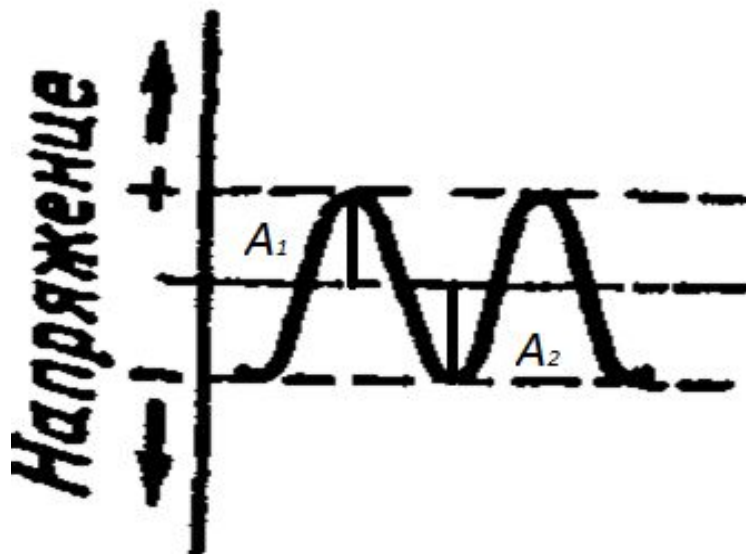
Предел выносливости определяется из кривой усталости металла, для снятия которой необходимо иметь не менее 10 образцов.



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Усталость металлов

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



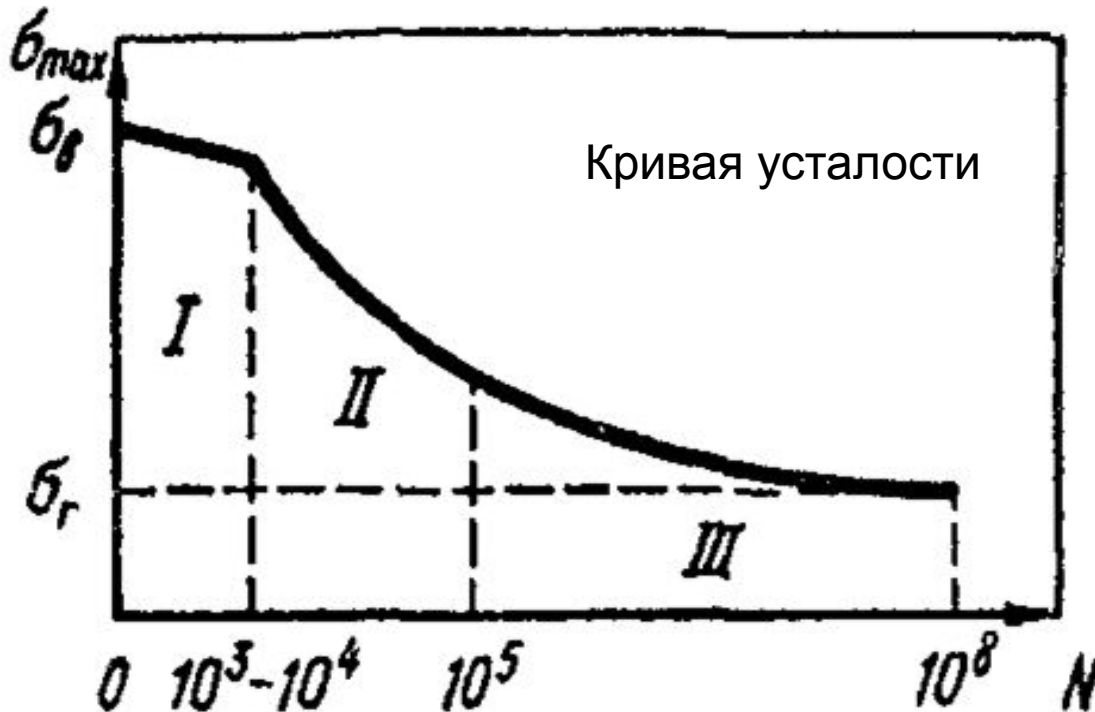
$A_1 = A_2$ – симметричная нагрузка;

$A_1 \neq A_2$ – несимметричная нагрузка

Усталостные испытания



ВЯТСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ



*I – квазистатическое
разрушение;*

*II – малоцикловое
разрушение;*

*III – многоцикловое
разрушение.*

σ_B – предел прочности металла.

Предел выносливости обозначают σ_{-1} при симметричной нагрузке и σ_R при асимметричной нагрузке



Кривая 1 – для железных и титановых сплавов.

Кривая 2 - медь или алюминий, усталостная кривая не имеет предела. В таких случаях принято говорить об условном пределе выносливости, соответствующей нагрузке не вызывающей разрушение образца до 10^8 циклов.

