

# **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.**

## **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 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.

# **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 определенной 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**.

## ***Твёрдость металлов.***

Виды испытания на твёрдость металлов:

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

## *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  $F$  (Р) в Н, то



# 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.

## 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.*

$$HV = 1,854P/d^2 \text{ кгс/мм}^2$$

$$H/ \text{мм}^2$$

## 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.

# 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.

# Статическая прочность металла

- Прочность металла в условиях статических или медленно меняющихся 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

## **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.

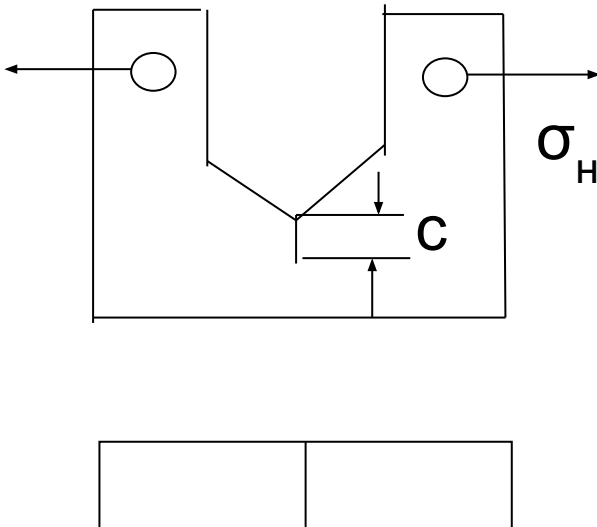
Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению, называется *пределом прочности*  $\sigma_B$  или *временным сопротивлением разрыву*

# Пластичность металлов

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

# 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 динамической (ударной) нагрузки

- Прочность металлов в условиях динамических нагрузок характеризуется ударной вязкостью, которая определяется работой (Дж/м<sup>2</sup>), затраченной на разрушение образца при ударе.
- Ударная вязкость обозначается тремя буквами КСU, 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 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

Кривая усталости

*I – квазистатическое  
разрушение;*

*II - малоцикловое  
разрушение;*

*III – многоцикловое  
разрушение.*

$G_B$  – предел прочности металла.

Предел выносливости обозначают  $G_{-1}$  при симметричной нагрузке и  $G_R$  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.*