



# Матеріалознавство

## «Свойства металлов и сплавов»

Использованы материалы из монографии Мощенка В. И.

**Автор: доц. Глушкова Д.Б.**

**Lect1\_1M\_TKMIM\_GDB\_03.02.15**

# План лекции

1. Свойства металлов и сплавов

2. Прочность

3. Усталостная прочность

4. Пластичность

5. Ударная вязкость

6. Твердость

7. Конструкционная прочность

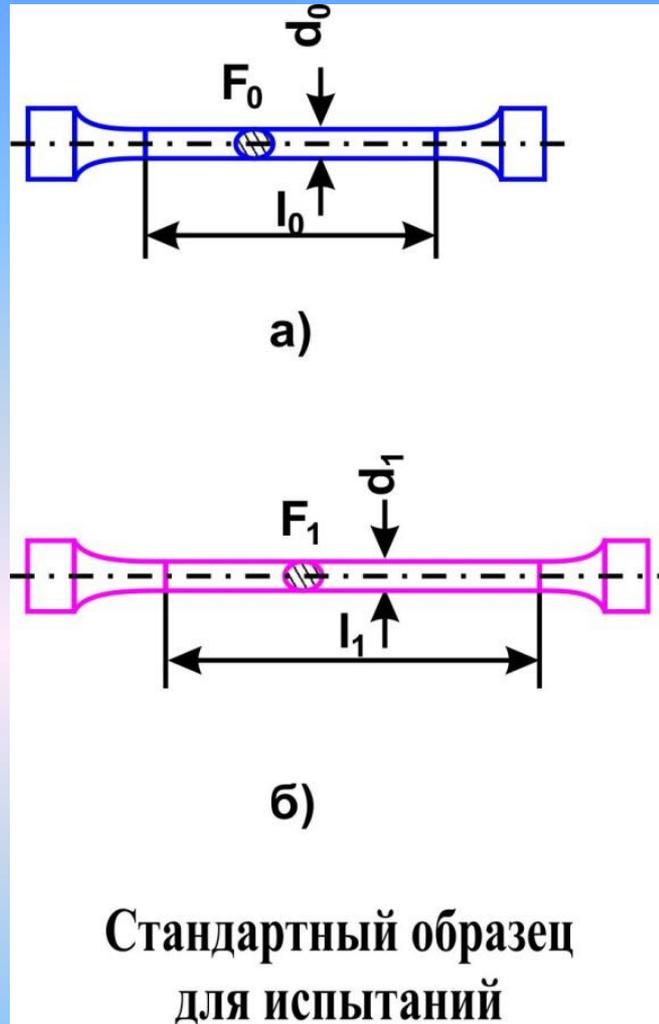
8. Критерии долговечности

# Свойства металлов и сплавов. Конструкционная прочность, надежность

**Материаловедение** – это наука, которая изучает строение и свойства материалов и устанавливает связь между их составом, строением и свойствами. Цель этой науки – разработка путей влияния на строение и свойства материалов.



По своей природе свойства делятся на механические, химические и физические. Механические свойства характеризуют поведение материала под действием разных механических нагрузок.



К общим относятся стандартные механические свойства, определяемые в соответствии с ГОСТами.

Усилие → напряжение →  
упругая деформация →  
пластическая деформация →  
образование и развитие трещин →  
разрушение.

Виды механических свойств:

1. Прочность;
2. Твердость;
3. Пластичность;
4. Ударная вязкость.

# Прочность

Прочность характеризует сопротивление материала деформации и разрушению.

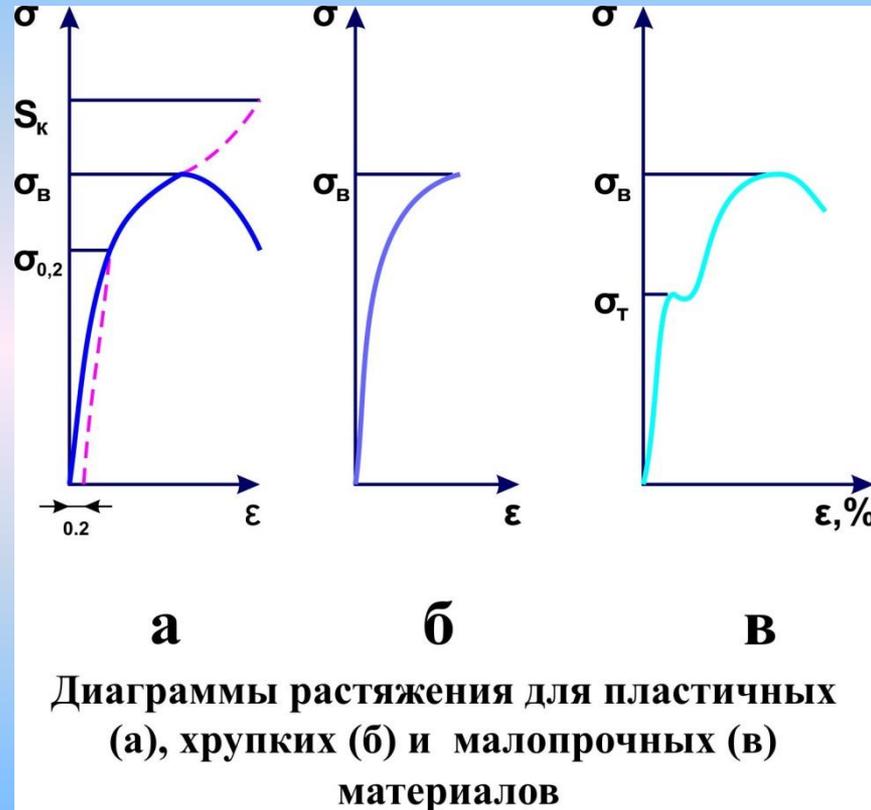
По кривым «напряжение – деформация» определяют такие показатели прочности:

$\sigma_B$  – временное сопротивление разрушению – максимальное напряжение, которое выдерживает металл при растяжении.

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{P_{\epsilon}}{F_0} \text{ [МПа]}$$

где  $P_{\epsilon}$  – усилие;  $F_0$  – площадь поперечного сечения до испытаний.

$\sigma_{0,05}$  – условная граница упругости – напряжение, которое вызывает остаточную деформацию 0,05 %.



$\sigma_{0,2}$  – условная граница текучести – напряжение, которое вызывает остаточную деформацию 0,2 %. Этот показатель характеризует сопротивление материала деформации.

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0} \text{ [МПа]}$$

Если на кривой растяжения есть площадка текучести, то используется показатель

$\sigma_T$  – физическая граница текучести – напряжение, при котором образец деформируется без повышения усилия

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} \text{ [МПа]}$$

Все показатели прочности измеряются в МПа или ГПа

# Усталостная прочность (выносливость)

Усталостная прочность характеризует сопротивление материала циклическим нагрузкам

Циклические нагрузки вызывают в металле процесс постепенного накопления повреждений, что приводит к образованию усталостных трещин. Это явление называется усталостью.

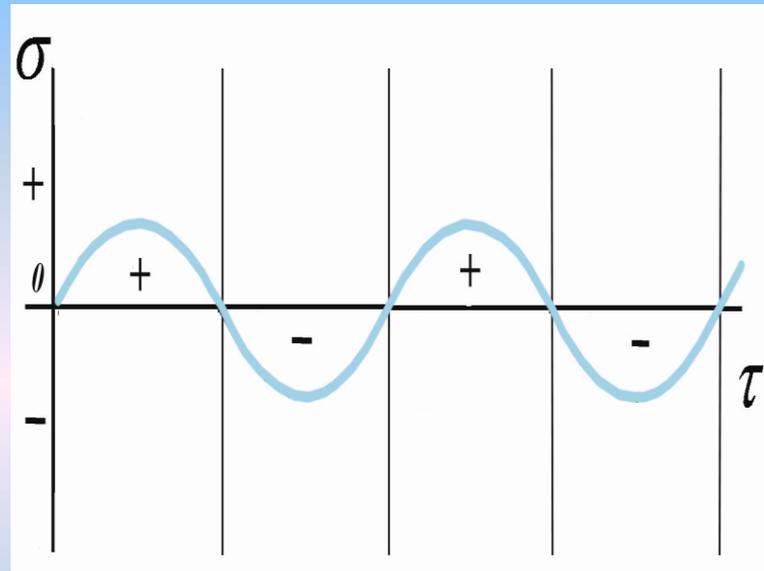


Схема циклических изменений напряжений при симметричном цикле

В этом случае преждевременное разрушение деталей происходит при напряжениях, значительно ниже  $\sigma_{\text{в}}$ . Способность материала оказывать сопротивление усталости называется выносливостью.

Циклическое напряжение изменяется по синусоидальному закону. При симметричном цикле, когда  $\sigma_{\text{max}} = -\sigma_{\text{min}}$  критерием выносливости называется условный предел выносливости, который обозначается  $\sigma_{-1}$

# Усталостная прочность

Критерий выносливости – это максимальное напряжение, которое может выдержать материал при циклическом нагружении без разрушения за определенное число циклов, которое называется *базой* ( $N_0$ ).

**Цикл** – это одно растяжение и сжатие

Количество циклов, которое выдерживает материал без разрушения называется – базой ( $N_0$ )

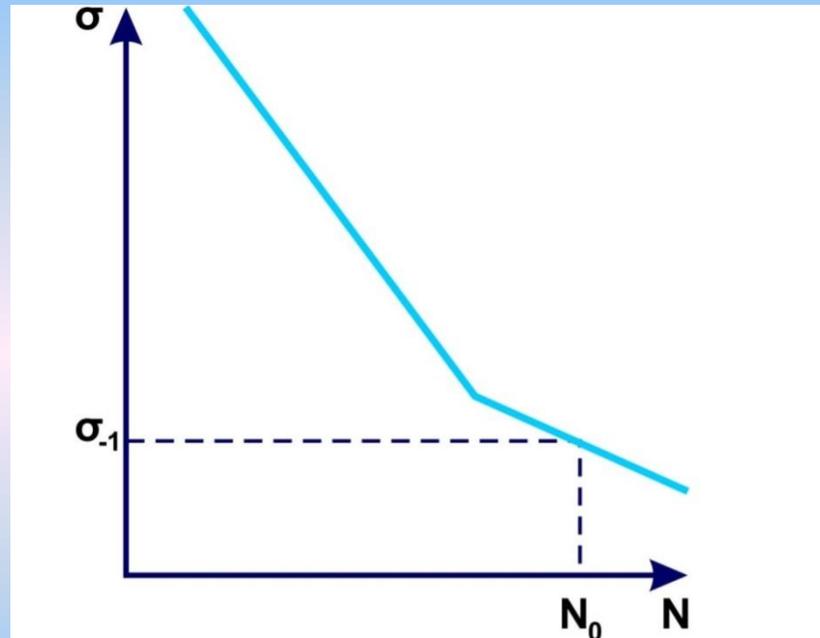


Диаграмма усталости:  $\sigma$  – напряжение,  $N$  – количество циклов нагрузки,  $N_0$  – база испытаний,  $\sigma_1$  – предел выносливости (симметричный цикл нагружения)

Для сталей база

$N_0 = (5 \div 50) \cdot 10^6$   
циклов, для цветных сплавов  $N_0 \sim 10^8$   
циклов

$\sigma$ -условный предел выносливости

# Показатели пластичности

Пластичность характеризует способность металла пластично деформироваться без разрушения.

Показатели пластичности определяются при испытании образцов на растяжение (вместе с показателями прочности).

Показатели пластичности – это относительное удлинение  $\delta$  и относительное сужение  $\Psi$ , которые находятся по таким формулам:

**Относительное удлинение :**

**Относительное сужение :**

$$\delta = (l_0 - l_1) \times 100\% / l_0$$

$$\psi = (F_0 - F_1) \times 100\% / F_0$$

где  $l_0$  и  $F_0$  – длина и площадь поперечного перереза исходного образца,

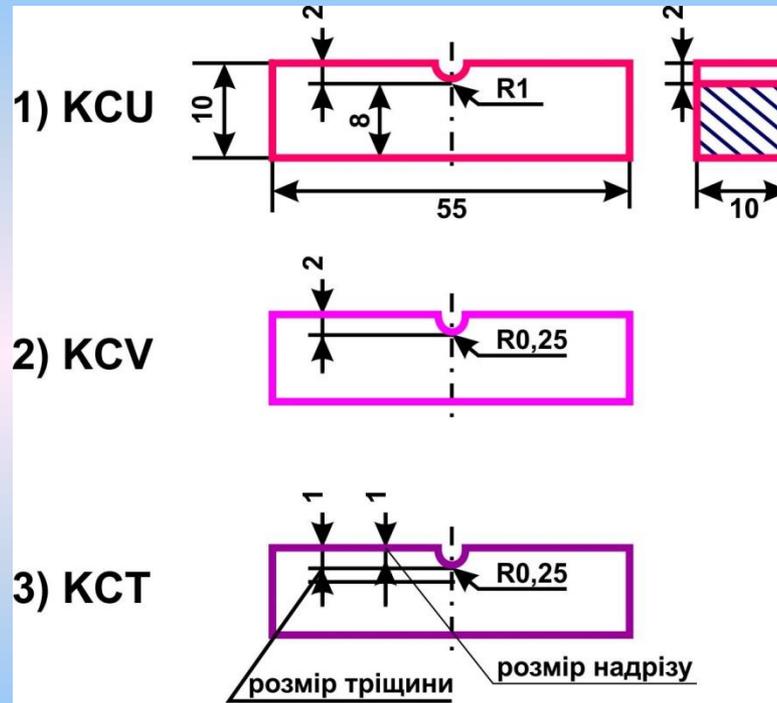
$l$  и  $F$  – длина и площадь после разрушения образца.

$\Psi$  характеризует способность материала к локальной пластической деформации

# Ударная вязкость

Ударная вязкость характеризует способность материала оказывать сопротивление ударным нагрузкам.

Ударная вязкость КС – это удельная работа разрушения при динамической нагрузке. Она определяет работу, которую нужно затратить для разрушения образца сечения 1 см<sup>2</sup> при ударе.



Стандартные образцы для определения ударной вязкости

Характеристика обозначается КС:

$$КС = A/F_0 \text{ [Дж/см}^2\text{]}$$

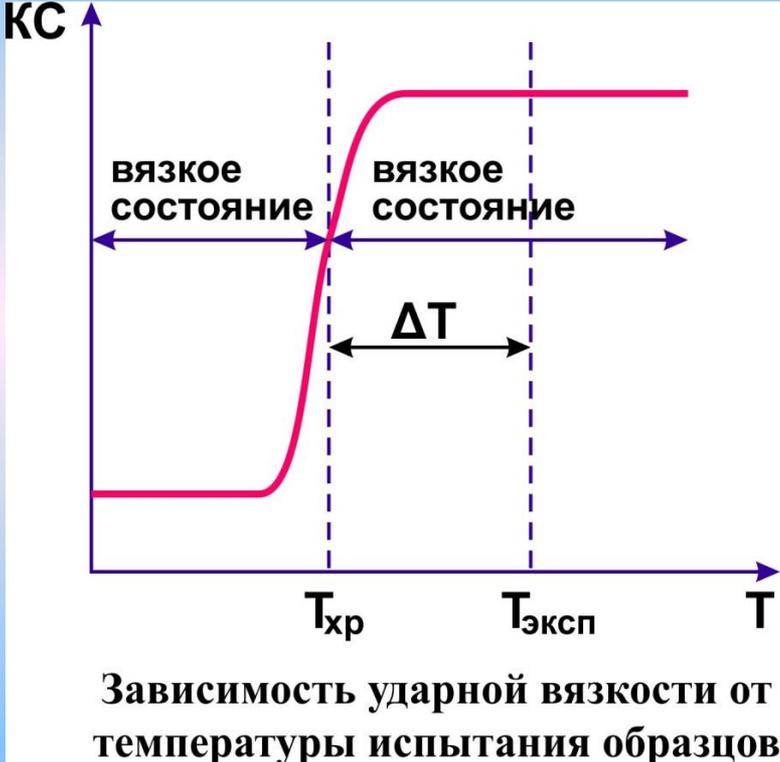
где  $A$  – работа разрушения,  
 $F_0$  – исходная площадь сечения образца.

Ударная вязкость КС- динамический показатель прочности

**Ударная вязкость** – это интегральная характеристика, которая включает в себя работу зарождения трещины  $K_{C3}$  и работу распространения трещины  $K_{Cp}$

$$K_C = K_{C3} + K_{Cp}$$

Ударная вязкость при определенной температуре резко снижается. Эта температура называется «порог хладноломкости» ( $T_{хр}$ ). Она определяет переход материала от вязкого разрушения к хрупкому (рис.)



Зависимость ударной вязкости от температуры испытания образцов

Разность между температурой эксплуатации ( $T_{эксп.}$ ) и порогом хладноломкости ( $T_{хр.}$ ) называется температурным запасом вязкости ( $\Delta T$ ).

Температура эксплуатации должна быть всегда выше порога хладноломкости  
Чем больше запас вязкости, тем меньше вероятность хрупкого разрушения

# Твердость

**Твердость** – это способность материала оказывать сопротивление проникновению в его поверхность другого более твердого тела (индентора). Наиболее известны такие методы измерения твердости: метод Бринелля, метод Роквелла и метод Виккерса.

## Метод Бринелля

Этот метод состоит во вдавливании в поверхность материала стального закаленного шарика диаметром

$D = 2,5; 5; 10$  мм при усилии от 15,6 до 3000 кГс.

Применяется этот метод для измерения твёрдости мягких объектов.

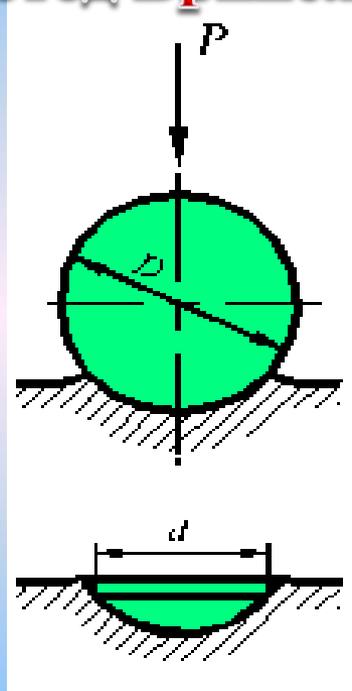


Схема испытания на твёрдость по Бринеллю

Величина твердости по Бринеллю определяется как отношение усилия вдавливания  $P$  к площади поверхности лунки  $F$ .

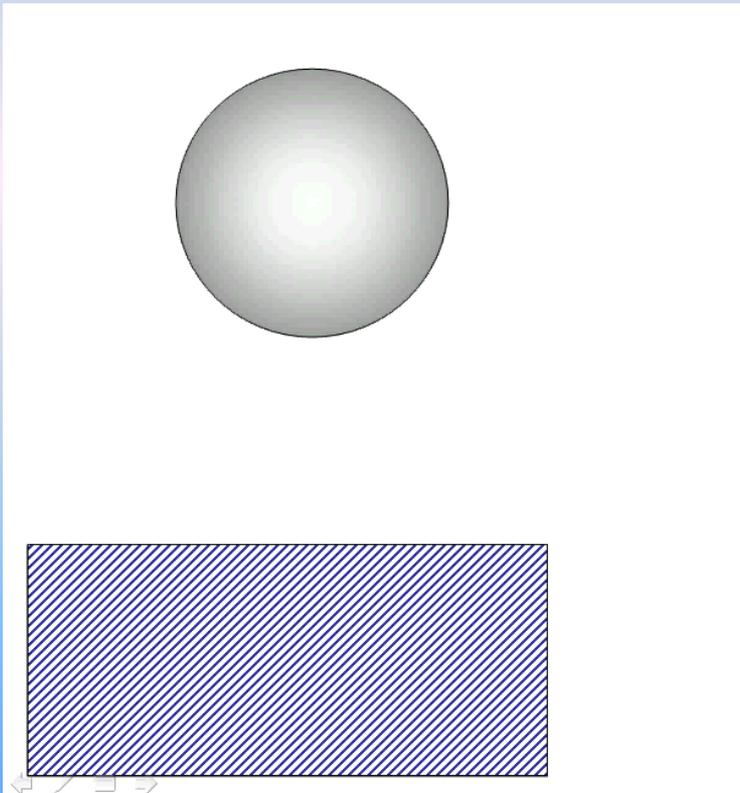
$$HBW = \frac{P}{F}$$

НВ выражается в МПа или ГПа

Для пластичных материалов существует связь. Для  $\sigma_b = (0,33-0,36)HB$ , для медных сплавов  $\sigma_b = 0,45HB$ , для алюминиевых сплавов  $\sigma_b = 0,35HB$

# Определение твердости (Индентор-шарик)

Схема испытаний:



# НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ УКРАИНЫ

**ДСТУ ISO 6506-1:  
2007**

## **Определение твердости по Бринеллю**

**Дата введения : 2009-01-01**

# Обозначение твердости по Бринеллю

425 HBW 10 / 3000 / 20



Время выдержки, с  
(если не равно 10-15 с)

Приложенное усилие, кгс

Диаметр твердосплавного шарика-индентора, мм

Символ твердости по Бринеллю

Число твердости по Бринеллю, кгс/мм<sup>2</sup>

# Метод Виккерса

Этот метод основан на вдавливании в поверхность металла четырехгранной алмазной пирамиды при нагрузке 5...100 кгс и измерении диагоналей отпечатка, имеющего форму ромба.

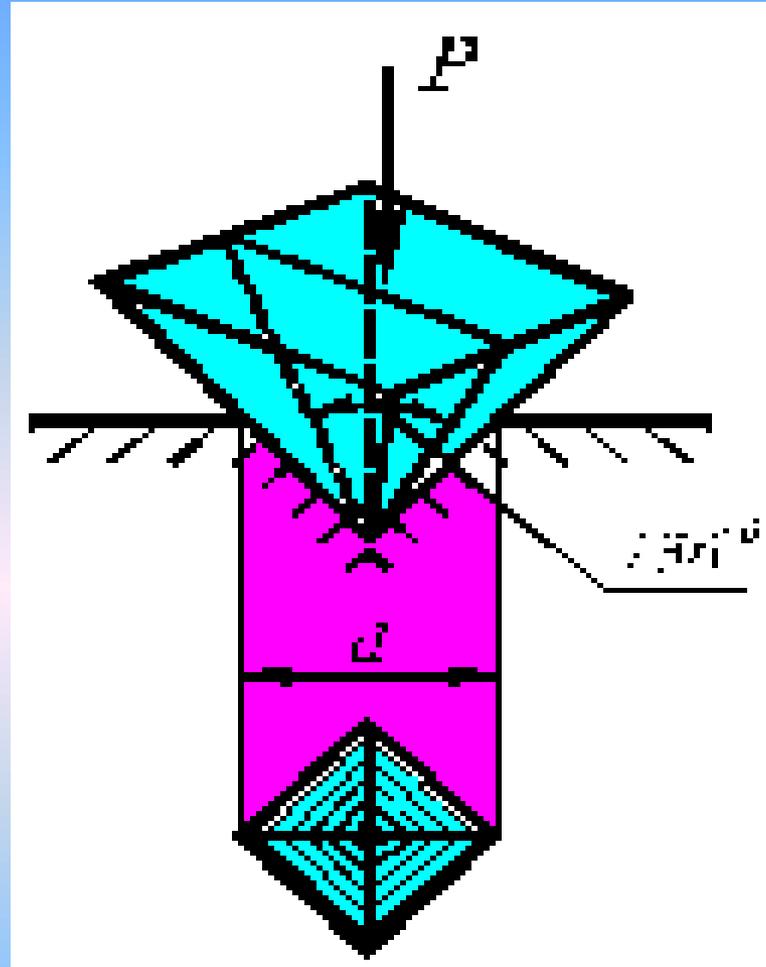


Схема испытаний на твёрдость по Виккерсу

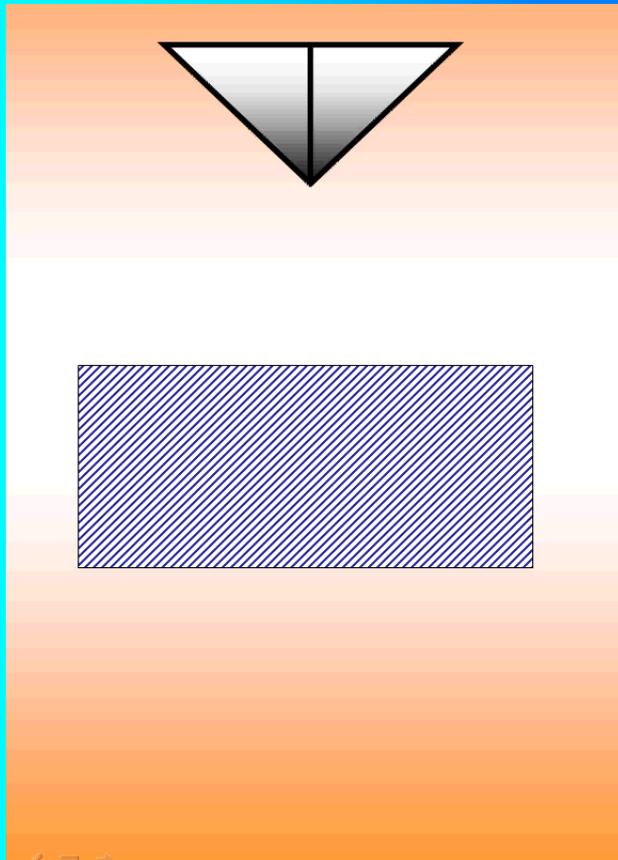
По среднему значению диагоналей с помощью переводных таблиц определяют твердость HV.

Размерность кгс/мм<sup>2</sup> или МПа.

Этот метод применяется для измерения твёрдости тонких поверхностных слоёв.

# Определение твердости (Индентор-ПИРАМИДА ВИККЕРСА)

Схема испытаний:



# НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ УКРАИНЫ

**ДСТУ ISO 6507-1:2007**

## **Определение твердости по Виккерсу**

**Дата введения : 2009-01-01**

# Обозначение твердости по Виккерсу

750 HV 30 / 20



Число твердости по Виккерсу, кгс/мм<sup>2</sup>

Символ твердости по Виккерсу

Приложенное усилие, кгс

Время выдержки, с  
(если не равно 10-15 с)

# Метод Роквелла

Этот метод универсальный. Существует 54 шкалы, чаще всего использую три шкалы А В С

Значения твердости определяют с помощью индентора по глубине его внедрения

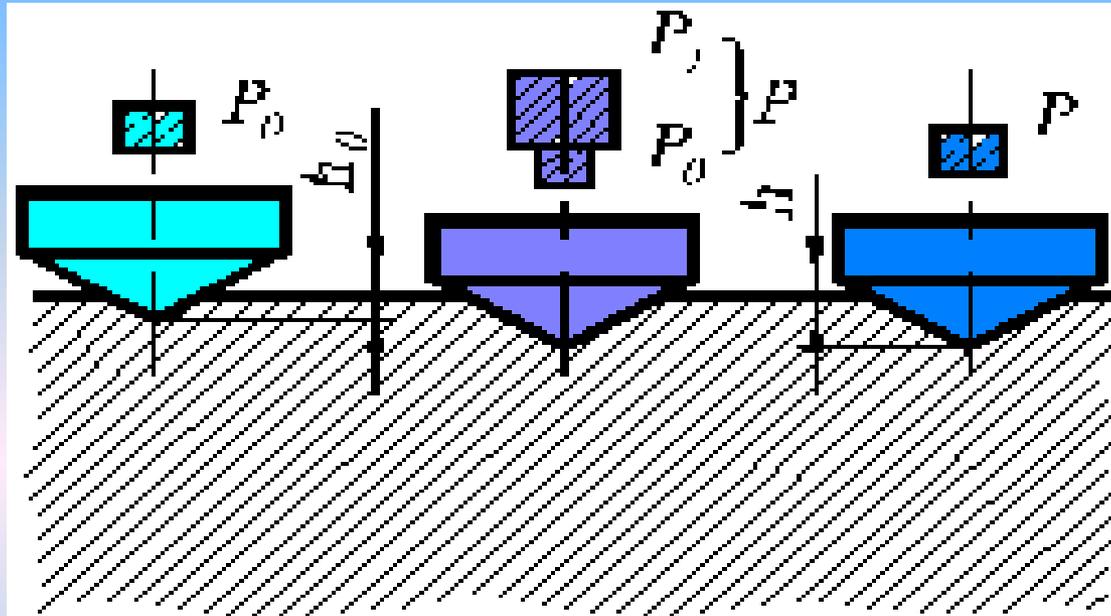


Схема испытания на твердость по Роквеллу

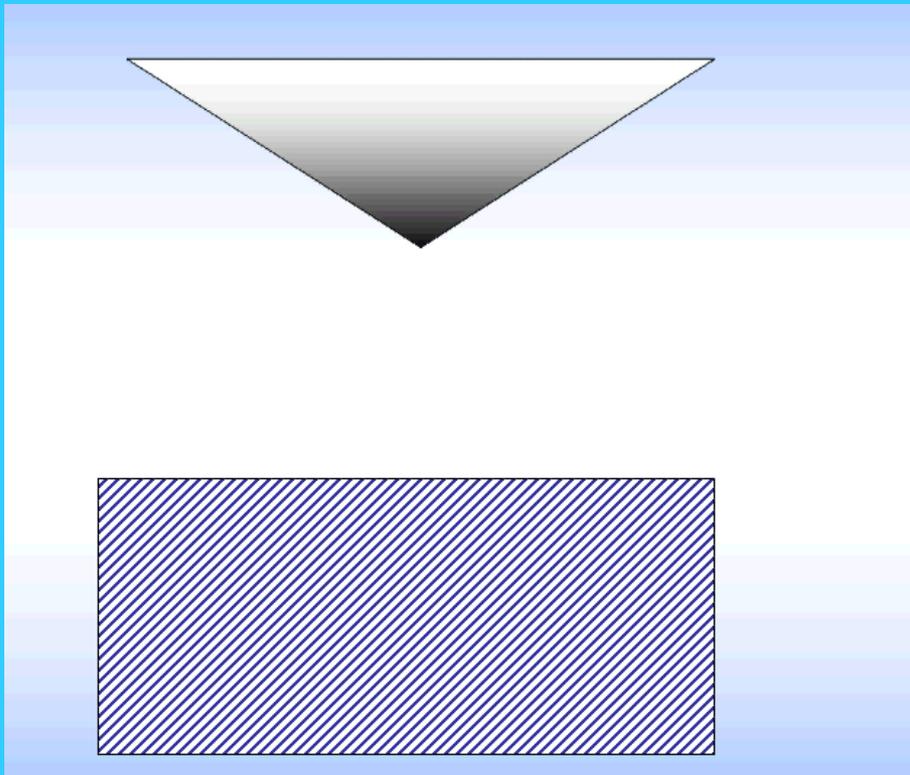
При использовании этого метода в поверхность металла вдавливают закаленный стальной шарик  $d = 1,58$  г или алмазный конус с углом при вершине  $120^\circ$ .

Шкала	Индентор	Усилия, кгс	Обозначения твердости	Использование
А	Алмазный конус	60	HRA	Для твердых тонких слоев
В	Стальной закаленный шарик	100	HRB	Для мягких материалов
С	Алмазный конус	150	HRC	Для твердых материалов

Твердость по Роквеллу – безразмерная величина

# Определение твердости (Индентор-КОНУС)

Схема испытаний:



# МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТАНДАРТ ISO



**ISO 6508-1:2005**

# **Rockwell hardness test**

**Дата введения : 2005**

# Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

30T

W



Материал индентора:

**W** – шарик из твердого сплава;

**S** – шарик из стали;

**пусто** – алмазный конус

Шкала твердости по Роквеллу

1,588

Символ твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу

# Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

30Y

W



Материал индентора:

**W** – шарик из твердого сплава;

**S** – шарик из стали;

**пусто** – алмазный конус

Шкала твердости по Роквеллу

12,7

Символ твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу

# Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

C



**Материал индентора:**  
**W** – шарик из твердого сплава;  
**S** – шарик из стали;  
**пусто** – алмазный конус

Шкала твердости по Роквеллу

Символ твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу

# Механические свойства

**Механические свойства** характеризуют поведение металлов под действием различных механических нагрузок. Показатели механических свойств определяются путем механических испытаний стандартных образцов на специальном оборудовании.



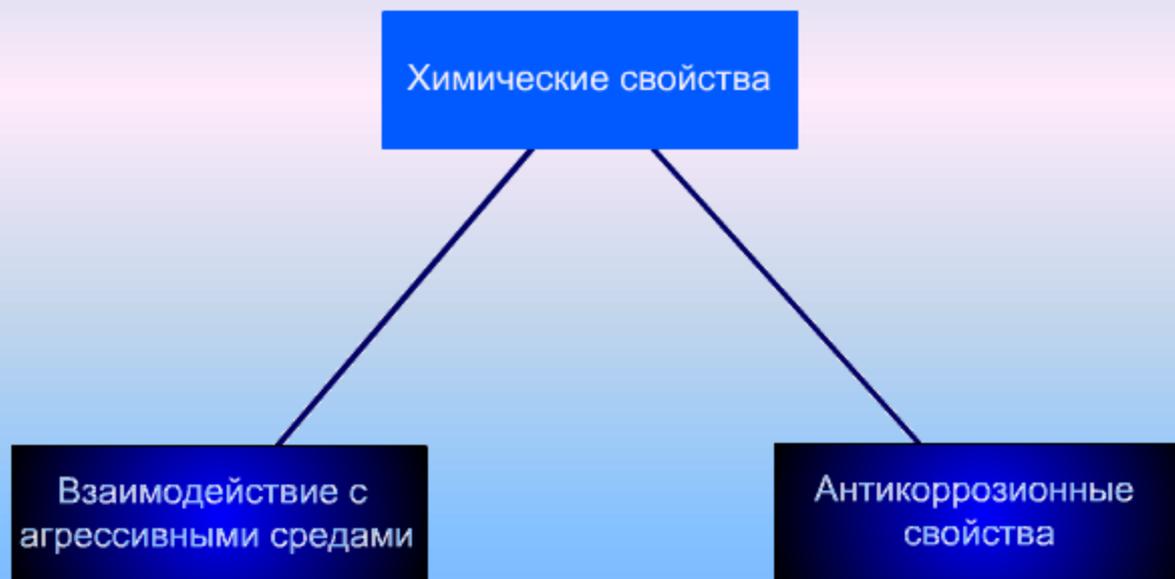
# Физические свойства

**Физические свойства** характеризуют поведение металлов в разных полях: гравитационном, тепловом, электромагнитных и др. Например, плотность, температура плавления, коэффициент электропроводимости, магнитные свойства и др.



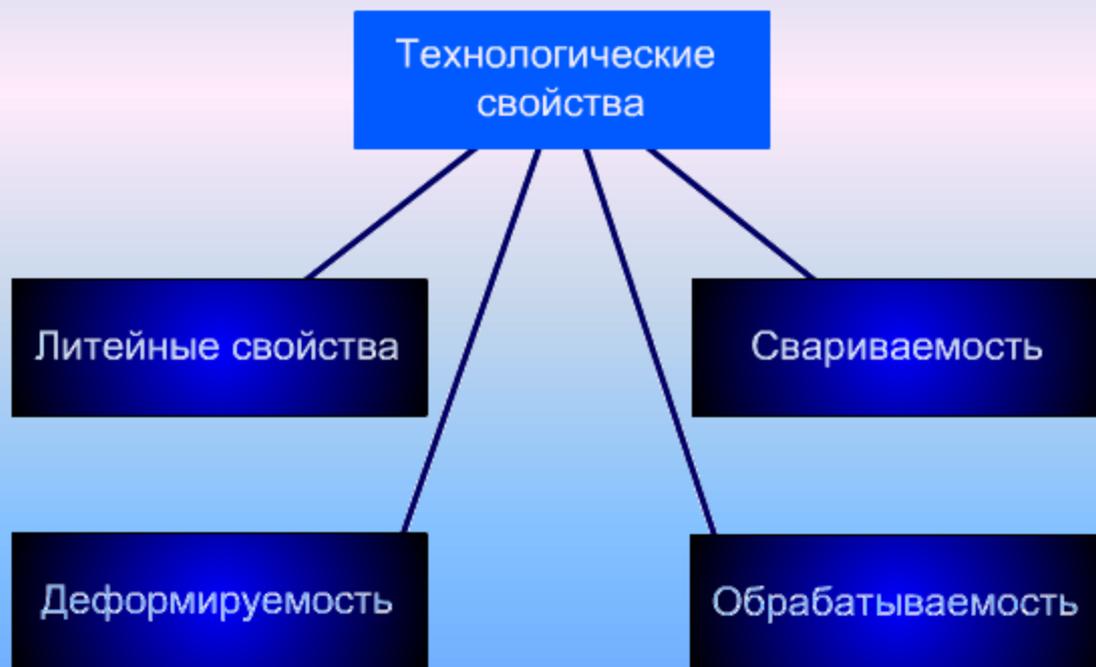
# Химические свойства

**Химические свойства** показывают возможность материала вступать в химическую реакцию с другими веществами. К ним относятся коррозионная стойкость, жаропрочность, кислотостойкость и др.



# Технологические свойства

**Технологические свойства** проявляются при изготовлении деталей. Это такие свойства, как литейные, деформационные и т.п. Технологические свойства вызваны определенными физическими, химическими или механическими свойствами.



# Конструкционная прочность и критерии надежности

**Конструкционная прочность** – это сложное понятие, которое включает в себя как характеристики самого материала (прочность, пластичность, ударная вязкость), так и надежность, и долговечность его работы в реальной конструкции.

**Надежность** конструкции определяется способностью материала противостоять возникновению внезапного отказа. Надежность определяется способностью материала работать, как правило, кратковременно вне расчетной ситуации без разрушения.

Критериями надежности являются: **трещиностойкость  $G_{IC}(K_{IC})$ , работа развития трещины  $K_{Cr}$  и температура перехода в хрупкое состояние  $T_{hr}$ .**

Долговечность материала определяется такими параметрами, как **усталостная прочность, коррозионная стойкость** и др.

Долговечность обусловлена **сопротивлением усталости ( $\sigma-1$ )**.

**Вязкость разрушения  $G_{1C}$**  – это усилие необходимое для перемещения трещины на единицу длины. Она показывает сопротивление материала при появлении трещины.

$$G_{1C} = \Pi L \sigma^2 / F \text{ н/м, де}$$

**L** – длина трещины,  **$\sigma$**  – приложенное напряжение, **E** – модуль напряженности<sup>1/2</sup>.

$$K_{1C} = \sigma (\Pi L)^{1/2} \text{ н/м, }^{3/2}$$

**K<sub>1C</sub>** и **G<sub>1C</sub>** находят при помощи специальных испытаний. Зная **G<sub>1C</sub>** и длину трещины в материале, можно найти разрушающее напряжение  **$\sigma_{кр}$**

$$\sigma_{кр} = (G_{1C} E / \Pi L)^{1/2}$$

и наоборот, зная напряжение, можна найти критическую длину трещины

$$L = G_{1C} E / \Pi \sigma^2$$

Если трещина стремиться к критической длине, ее развитие происходит катастрофически быстро. Нельзя допускать, чтобы длина трещины приближалась к критической. Контролировать длину трещины можно неразрушающими методами контроля (ультразвуковая дефектоскопия и др.).

$$K_{Cp} \uparrow, t_{кр} \downarrow, G_{1C} \uparrow (K_{1C}) \uparrow$$

# Критерии долговечности

**Долговечность** определяется способностью материала оказывать сопротивление постепенного отказа. Под постепенным отказом подразумевается такая потеря работоспособности материала, при которой детали меняют без угроз аварийных неполадок.

Разрушение от усталости происходит в следствии зарождения и роста усталости трещины. Поэтому общее число циклов до разрушения

$$N_{\text{заг}} = N_3 + N_p$$

$N_3$  – число циклов, необходимое для зарождения трещины,

$N_p$  – число циклов работы с трещиной до разрушения.

Долговечность  $N_p$  характеризуется числом циклов, которые выдерживает металл до разрушения после появления трещины.

Таким образом, для получения высокой конструкционной прочности нужно иметь хорошие показатели:

$$\sigma_B \uparrow, \sigma_{0,2} \uparrow, \sigma_{-1} \uparrow, \delta \uparrow, \Psi \uparrow, K_C \uparrow, K_{C3} \uparrow, K_{Cp} \uparrow, t_{кр} \downarrow, \Delta t \uparrow, G_{1C}(K_{1C}) \uparrow, N_p \uparrow$$

# Литература

Гладкий И.П. Технология конструкционных материалов и материаловедение /И.П. Гладкий, В.И.Мощенок, В.П.Тарабанова - Х.:ХНАДУ, 2014.-576с.

Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебн. для машиностроительных вузов/Ю.М.Лахтин, В.П.Леонтьева.-М.:Машиностроение, 1990.-528с.

## **На самостоятельную работу выносятся:**

**1. Специальные свойства конструкционных материалов**

**2. Физические свойства конструкционных материалов**

**3. Химические свойства конструкционных материалов**



# Кафедра технології металів і матеріалознавства

E-mail [diana.borisovna@gmail.com](mailto:diana.borisovna@gmail.com)

**Автор: доц. Глушкова Д.Б.  
Lect1\_1M\_TKMIM\_GDB\_03.02.15**