

# Механические свойства и способы определения их количественных характеристик

Твердость, вязкость,  
усталостная прочность

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

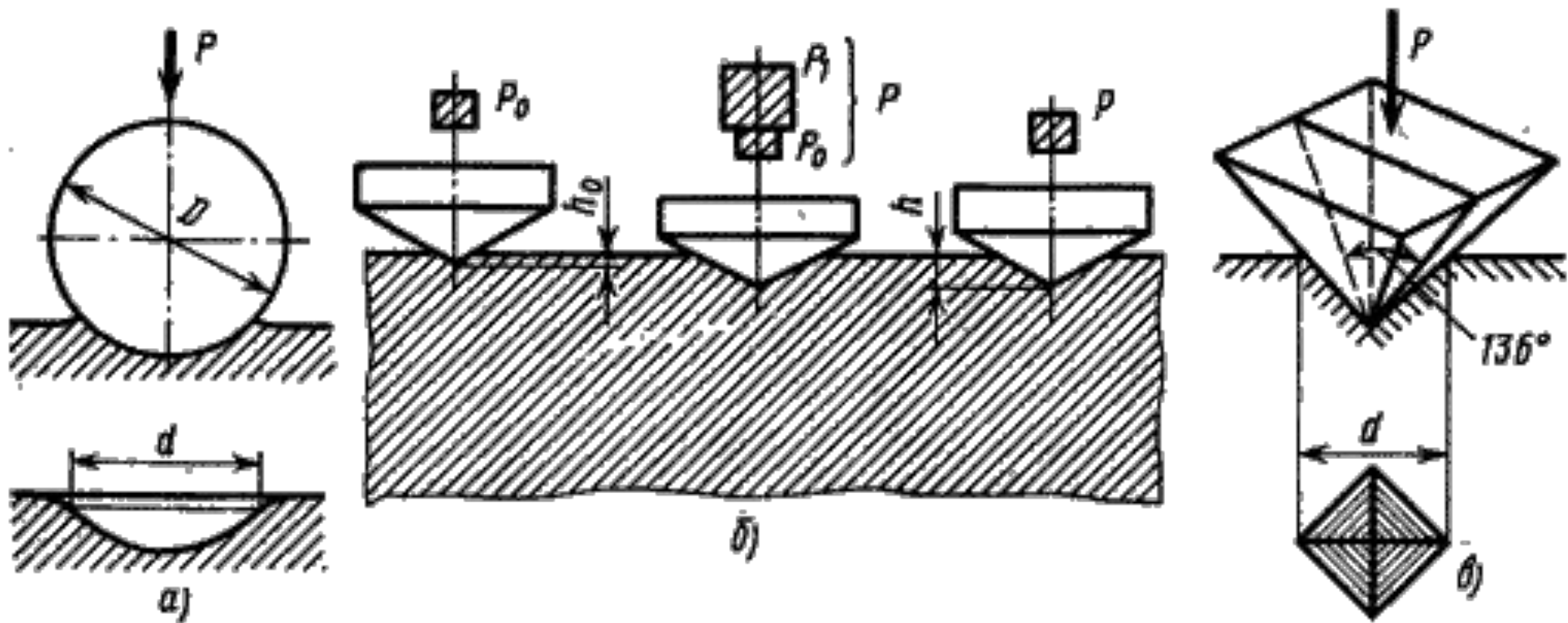
К ним можно отнести: прочность, твёрдость, пластичность, упругость, вязкость, хрупкость, усталость, ползучесть и износостойкость.

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.

# 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

## 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.

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

## **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)**

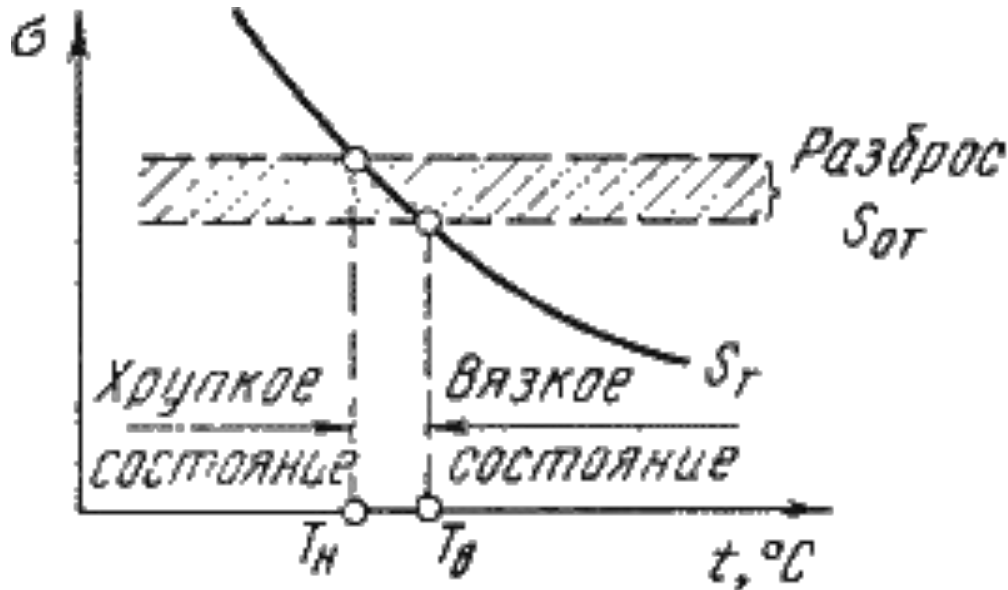
Шарик бросают на поверхность с заданной высоты, он отскакивает на определенную величину. Чем больше величина отскока, тем тверже материал.

## 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).



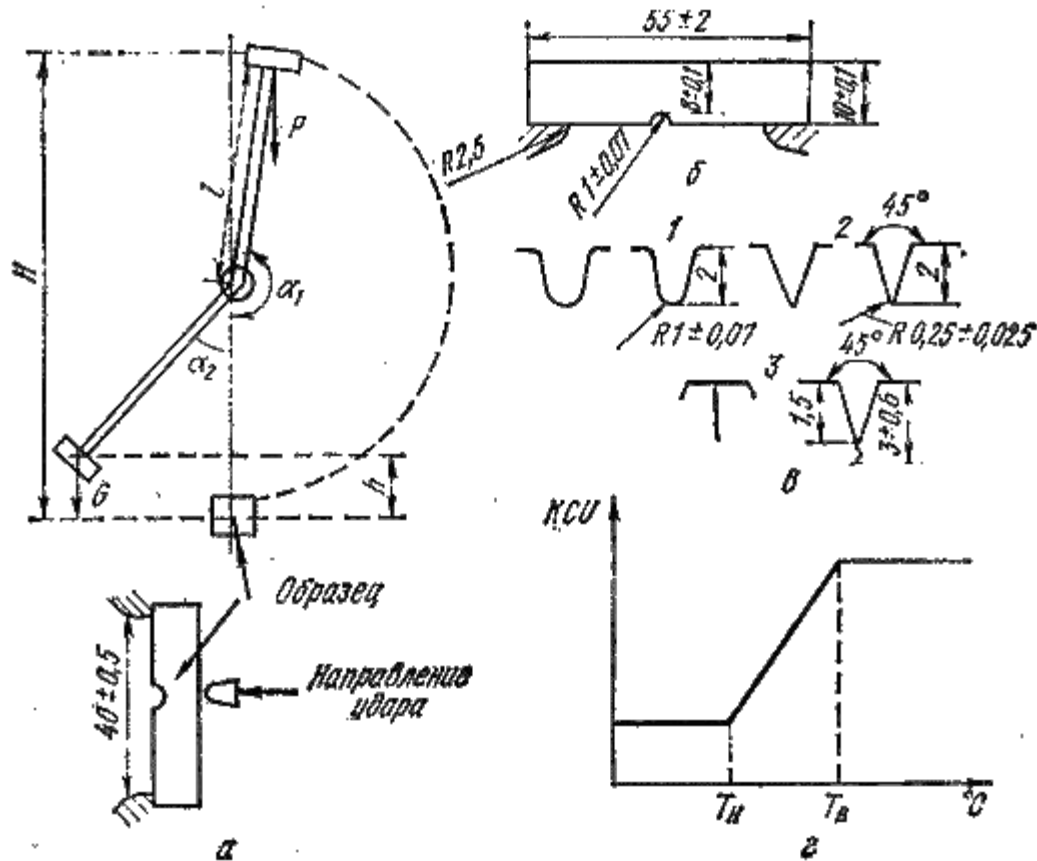
Влияние температуры на пластичное и хрупкое состояние



**Хладоломкость** 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 удара.

Характеристикой вязкости является *ударная вязкость* ( $a_H$ ), - удельная работа разрушения.

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

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 ( $a_H - T$ ), 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.

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.

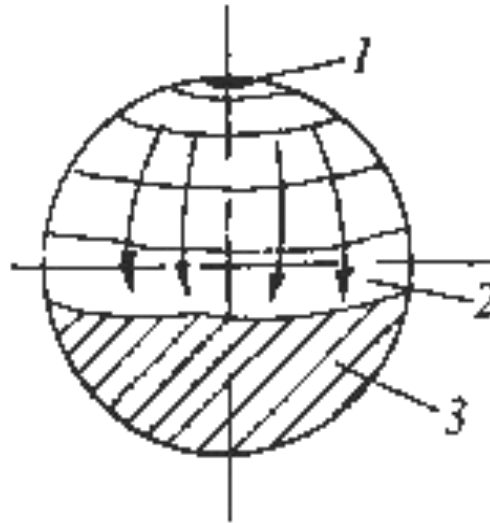
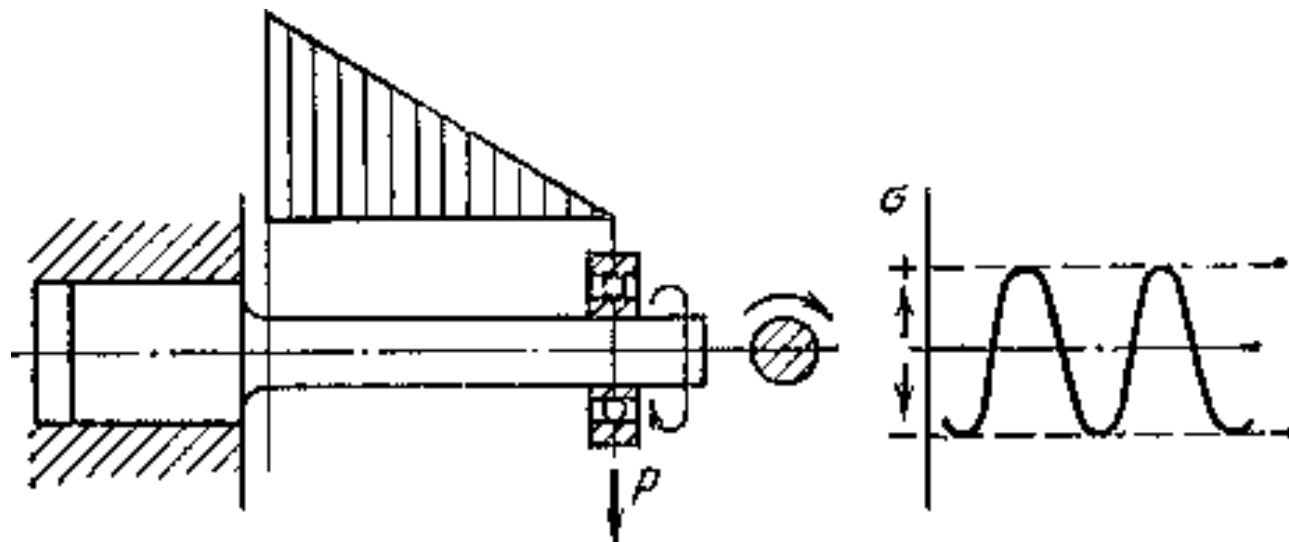
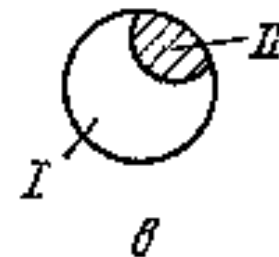
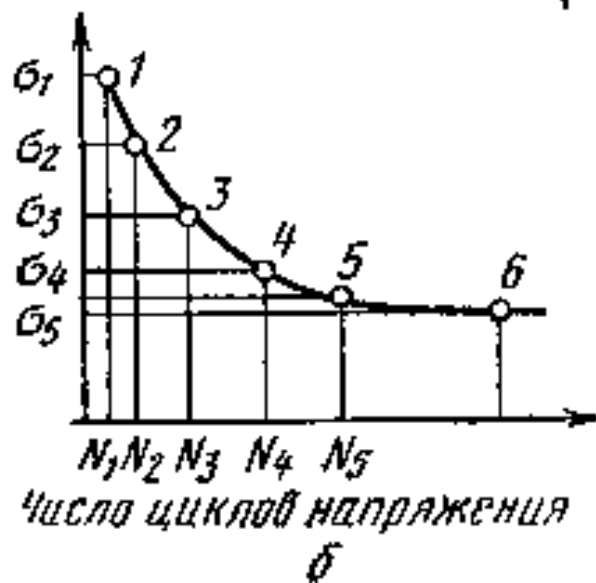


Схема зарождения и развития трещины при переменном изгибе круглого образца

- 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



а



б

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.

# Изнашивание металлов

- Износ – процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличения его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении размеров или формы материала.
- Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию называется износостойкостью (величина обратная скорости изнашивания).

## Виды изнашивания

1. Коррозионно-механическое (окислительное) изнашивание.
2. Механическое изнашивание (абразивное, гидроабразивное, газоабразивное, эрозионное, кавитационное, усталостное, изнашивание при фреттинге и заедании).
3. Электроэрозионное изнашивание.

# Технологические и эксплуатационные свойства

## Технологические свойства

*Технологические свойства* характеризуют способность материала подвергаться различным способам холодной и горячей обработки.

### 1. Литейные свойства.

Характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

*Жидкотекучесть* – характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

*Усадка (линейная и объемная)* – характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения.

*Ликвация* – неоднородность химического состава по объему.

## **2. Способность материала к обработке давлением.**

Это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь.

Она контролируется в результате технологических испытаний, проводимых в условиях, максимально приближенных к производственным.

Листовой материал испытывают на перегиб и вытяжку сферической лунки.

Проволоку испытывают на перегиб, скручивание, на навивание. Трубы испытывают на раздачу, сплющивание до определенной высоты и изгиб.

Критерием годности материала является отсутствие дефектов после испытания.

## **3. Свариваемость.**

Это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества. Оценивается по качеству сварного шва.

## **4. Способность к обработке резанием.**

Характеризует способность материала поддаваться обработке различным режущим инструментом. Оценивается по стойкости инструмента и по качеству поверхностного слоя.



## Эксплуатационные свойства

Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

**Износостойкость** – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.

**Коррозионная стойкость** – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.

**Жаростойкость** – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.

**Жаропрочность** – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.

**Хладостойкость** – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.

**Антифрикционность** – способность материала прирабатываться к другому материалу.

При выборе материала для создания конструкции необходимо полностью учитывать механические, технологические и эксплуатационные свойства.