

# **Конструкционные материалы**

## **Классификация и свойства**

# Классификация металлов

- По объему и частоте использования:
  - технические металлы ( наиболее часто применяемые): железо, медь, алюминий, магний, никель, титан, свинец, цинк, олово;
  - редкие металлы (все остальные): ртуть, натрий, серебро, золото, платина, кобальт, хром, молибден, тантал, вольфрам и др.
- Черные металлы: железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – 85 % всех производимых металлов;
- Цветные металлы - все остальные.

## ■ По физико-химическим свойствам:

### □ Магнитные – Fe, Co, Ni:

✓ сплавы на основе Fe – стали и чугуны являются главными **конструкционными** материалами;

✓ сплавы на основе Fe, Co, Ni являются основными магнитными материалами (**ферромагнетиками**);

### □ Тугоплавкие - металлы, у которых температура плавления выше, чем у Fe (1539°C):

✓ *Вольфрам W - 3380°C ;*

✓ *Тантал Ta - 2970°C ;*

✓ *Молибден Mo - 2620°C ;*

✓ *Хром Cr - 1900°C ;*

✓ *Платина Pt - 1770°C ;*

✓ *Титан Ti - 1670°C и др.*

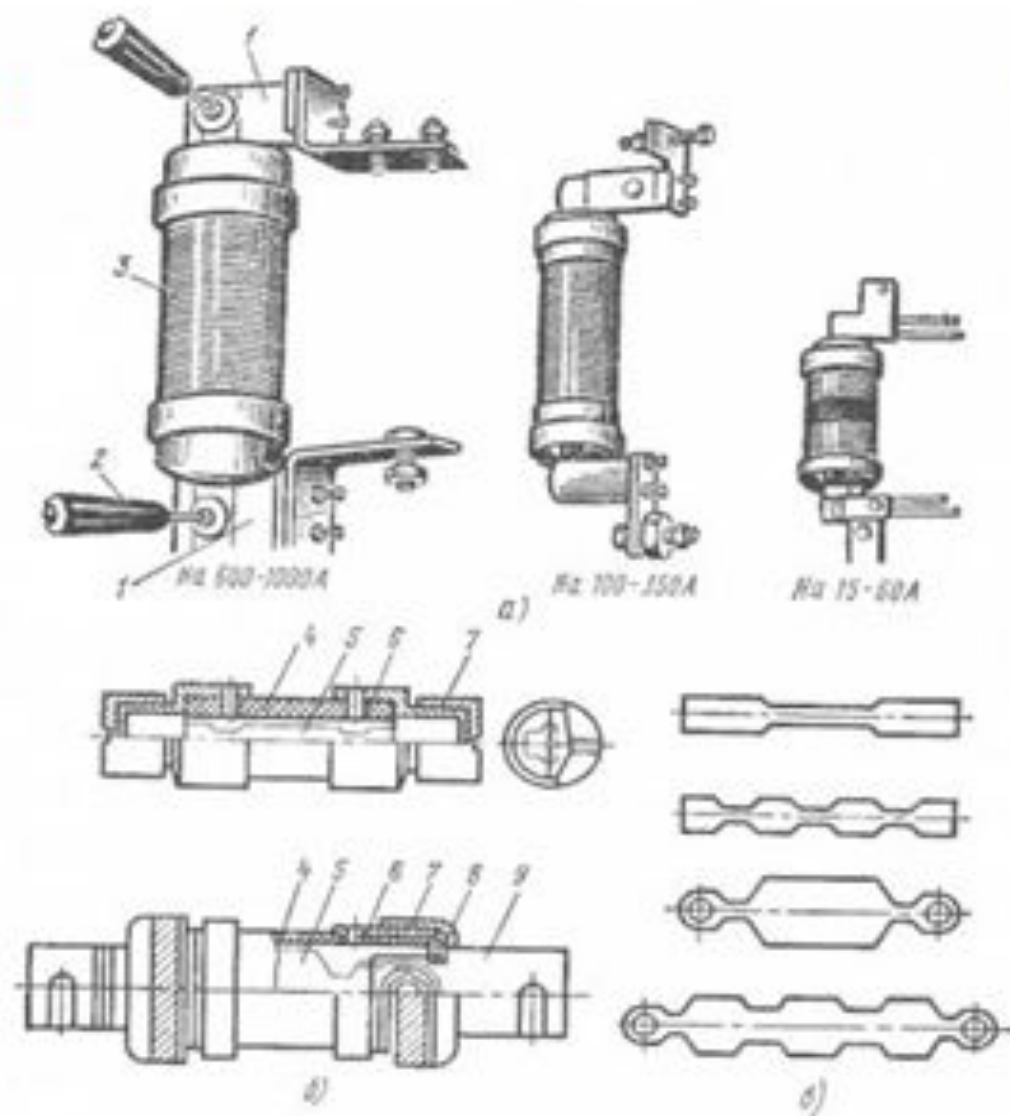
Тугоплавкие металлы применяют как самостоятельно, так и в виде добавок в сталь для повышения ее температуры плавления (**жаропрочные стали**).

■ **Легкоплавкие** - имеют температуру плавления ниже **500°C**:

- ✓ **Цинк Zn - 419°C ;**
- ✓ **Свинец Pb - 327°C ;**
- ✓ **Кадмий Cd - 321°C;**
- ✓ **Таллий Tl - 303°C ;**
- ✓ **Олово Sn - 232°C ;**
- ✓ **Натрий Na - 98°C ;**
- ✓ **Ртуть Hg - (-39°C) и др.**

Легкоплавкие металлы в качестве антикоррозионных покрытий, в припоях, в предохранителях и т.д.

## Конструкции плавких вставок ПР-2 (в)



Плавкие вставки представляют собой пластинки с одним или несколькими участками сужения для увеличения быстродействия предохранителя.

- **Легкие металлы** имеют плотность не более  $2,75 \text{ г/см}^3$
- ✓ *Алюминий Al - 2,7;*
- ✓ *Цезий Cs - 1,9;*
- ✓ *Бериллий Be - 1,84;*
- ✓ *Магний Mg - 1,74;*
- ✓ *Натрий Na - 0,97;*
- ✓ *Литий Li - 0,53 и др.*
- **Благородные металлы:**
- ✓ *Золото Au;*
- ✓ *Серебро Ag;*
- ✓ *Платина Pt (иридий, родий, осмий, рутений);*
- ✓ *Палладий Pd.*

Используются в производстве ответственных контактов, микросхем, термопар и т.п.

- **Редкоземельные - лантаноиды.**

Применяются как присадки в различных сплавах.

**Сплавы железа с редкоземельными** элементами являются перспективными **магнитотвердыми материалами.**

# Механические свойства металлов и сплавов

- Под механическими свойствами понимают характеристики, определяющие **поведение металла** (сплава) под **действием внешних сил**.
- К механическим свойствам относят **сопротивление металла деформации (прочность, твердость)** и **сопротивление разрушению (пластичность, вязкость)**.
- В результате механических испытаний **получают количественные значения механических свойств**, т. е. **значения напряжений или деформаций**, при которых происходят изменения механического состояния материала.
- Механические свойства металлов определяют при испытаниях:
  - **статических**: нагрузка на образец возрастает медленно и плавно.
  - **динамических**: нагрузка возрастает с большой скоростью, имеет ударный характер.
  - **усталостных**: длительное воздействие повторно-переменных нагрузок.



- Под действием внешней нагрузки в твердом теле возникают **напряжение** и **деформация**.
- **Напряжение** определяется по формуле:

- $$\sigma = \frac{P}{F_0} \text{ , Па}$$

где  $P$  - это нагрузка (сила), Н

$F_0$  - первоначальная площадь поперечного сечения образца,

$$1 \text{ кгс/мм}^2 = 9,80665 \text{ МПа} \approx 10 \text{ МПа}$$

- **Деформация** - это изменение формы и размеров твердого тела под действием внешних сил.
- Различают деформацию:
  - **упругую (обратимую);**
  - **пластическую (необратимую) .**

- **Упругой деформацией** называют такую, которая исчезает после снятия нагрузок, т.е. **тело восстанавливает** свою первоначальную форму.
- **Пластическая деформация** остается после снятия внешней нагрузки (тело не восстанавливает первоначальную форму и размеры).
- Пластическая деформация сопровождается **смещением одной части кристалла относительно другой** на расстояние, значительно превышающие расстояния между атомами в кристаллической решетке металлов и сплавов.
- **Способность** металлов и сплавов **к пластической деформации имеет важное практическое значение**, т.к. все процессы обработки металлов давлением основаны на пластическом деформировании заготовок.
- **Величина пластической деформации не безгранична**, при определенных ее значениях может начинаться **разрушение металла**.

## *Механические свойства, определяемые при статических испытаниях*

- *Прочность* - способность металлов оказывать сопротивление деформации или разрушению статическим, динамическим и резко переменным нагрузкам.
- *Прочность* металлов при статических нагрузках испытывают на:
  - растяжение;
  - сжатие;
  - изгиб;
  - кручение;
  - твердость.
- *Твердостью* называют свойство материала оказывать сопротивление *пластической деформации при внедрении в его поверхность более твердого тела.*

# Испытания на растяжение

- Для испытания на растяжение применяют стандартные образцы круглого или прямоугольного сечения.
- Машины для испытания снабжены прибором, записывающим **диаграмму растяжения**, которая показывает зависимость деформации образца  $\Delta l$  от растягивающей нагрузки  $P$ .
- На рис. 1 приведена **диаграмма растяжения для низкоуглеродистой стали**.
- Используя диаграмму растяжения, определяют **характеристики прочности**.
- От начала деформации – **от точки О до точки А** – образец деформируется **пропорционально** приложенной нагрузке. Если нагрузку снять, то полученная образцом **деформация исчезнет**, и он примет **первоначальные размеры**.



Рис. 1 Диаграмма растяжения

- **Точка А соответствует пределу пропорциональности:**

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0},$$

где  $P_{пц}$  – предельная нагрузка, до которой сохраняется пропорциональность между нагрузкой и деформацией, Н;  
 $F_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца,  $м^2$ .

- При дальнейшем увеличении нагрузки зависимость **относительного удлинения от нагрузки становится нелинейной** (участок **А - В**), хотя упругие свойства тела еще сохраняются.
- **Максимальное значение нормального напряжения**, при котором еще **не возникает остаточная деформация**, называют **пределом упругости**:

$$\sigma_{уп} = \frac{P_{уп}}{F_0}$$

- **Предел упругости** лишь **на сотые доли процента превышает предел пропорциональности.**
- При определении нагрузок, допускаемых для различных деталей машин, необходимо **знать предел упругости** материала, из которого изготовлены эти детали, так как *нагрузка, превышающая предел упругости, приводит к изменению формы деталей и выводу их из строя.*
- Величина предела упругости у металлов весьма различна: **свинец - 0,25 кгс/мм<sup>2</sup>, медь - 2,5 кгс/мм<sup>2</sup>, некоторые марки сталей - 30 кгс/мм<sup>2</sup> и более.**
- **Увеличение нагрузки** выше предела упругости (**участок В - С**) приводит к тому, что **деформация становится остаточной.**

При дальнейшем увеличении нагрузки на диаграмме появляется **горизонтальный участок CD** (площадка текучести), на котором *даже незначительное увеличение нагрузки вызывает деформацию, текучесть образца.*

**Напряжение**, при котором образец *деформируется без заметного увеличения нагрузки*, называют физическим **пределом текучести**:

$$\sigma_m = \frac{P_m}{F_0}$$

где  $P_m$  – нагрузка, соответствующая площадке текучести.

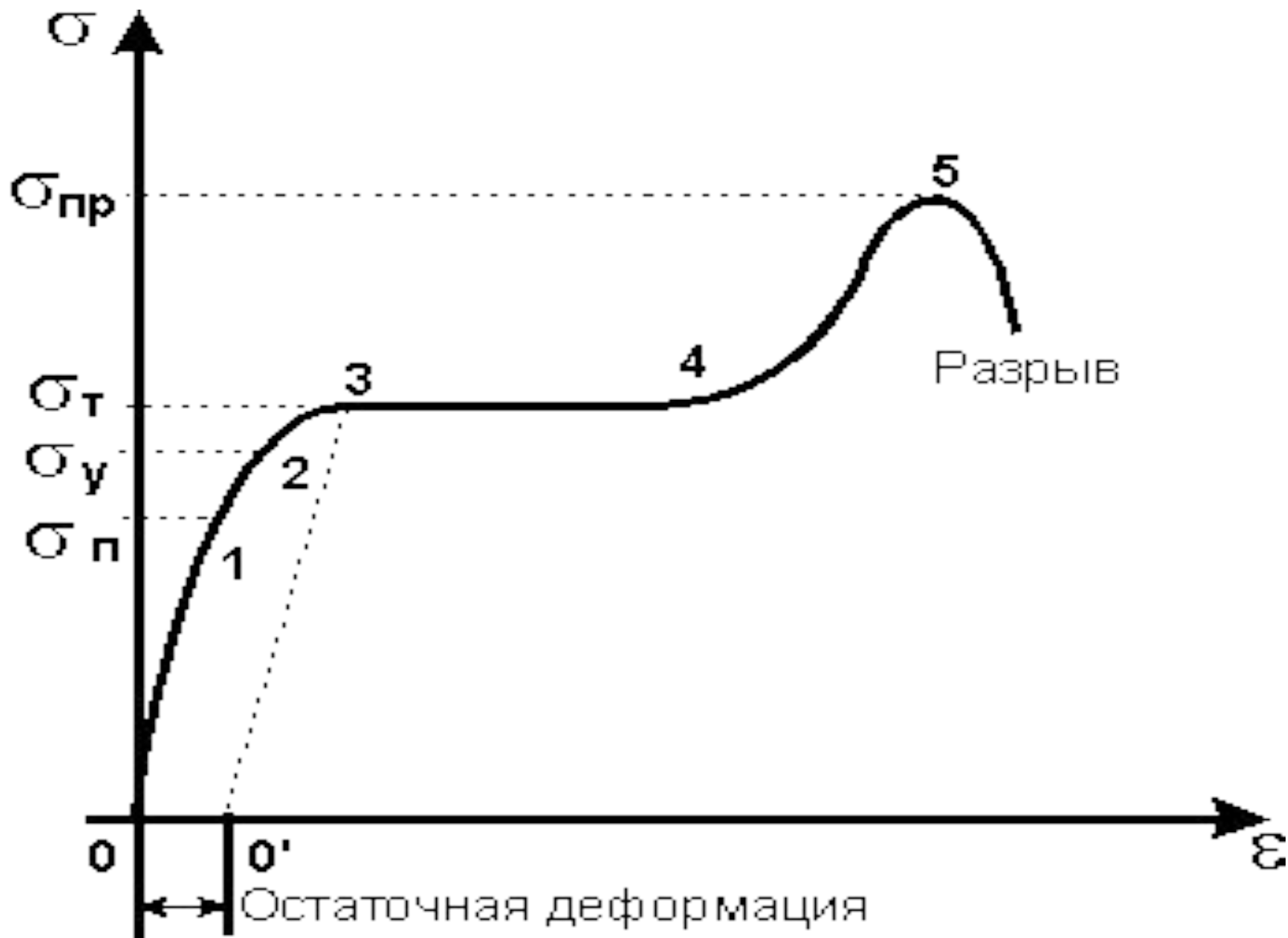
- **Напряжение**, соответствующее **наибольшей нагрузке**, предшествующей разрушению образца (*точка E*) называется **пределом прочности на разрыв**:

$$\sigma_v = \frac{P_{max}}{F_0}$$

**В точке F происходит разрушение образца.**



## Зависимость деформации от напряжения металла



# Пластичность

- **Пластичность** – свойство металлов **деформироваться без разрушения** под действием внешних сил и **сохранять измененную форму** после снятия этих сил.
- Характеристиками пластичности являются:
  - **относительное удлинение перед разрывом –  $\Delta l$** ;
  - **Относительное сужение перед разрывом –  $\psi$** .
- Эти характеристики определяют при испытании металлов на растяжение, а их численные значения определяют по формулам:

$$\Delta l = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100, \%$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100, \%$$

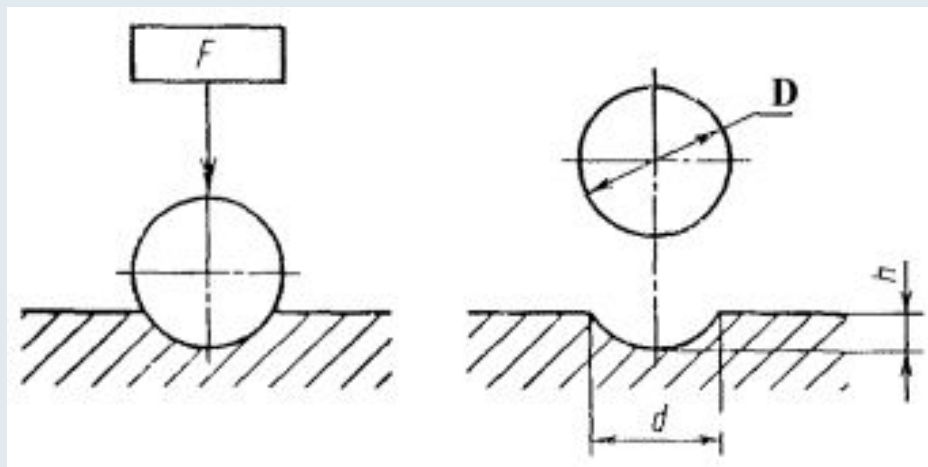
где  $l_0$  и  $l_k$  – длина образца до и после разрушения соответственно;  
 $F_0$  и  $F_k$  - площадь поперечного сечения образца до и после разрушения.

## *Испытания на твердость*

- *Твердостью* называют свойство материала оказывать **сопротивление пластической деформации** при внедрении в его поверхность более твердого тела.
- Для испытаний на твердость не требуются специальные образцы.
- **Измерение твердости проводится** быстро и просто и может осуществляться непосредственно **на готовой детали** без ее разрушения.
- Испытания на твердость производят:
  - *по Бринеллю;*
  - *по Роквеллу;*
  - *по Виккерсу;*
  - *по Полюди;*
  - *на микротвердость.*

## *Измерение твердости по Бринеллю*

- При измерении твердости этим методом **шарик из закаленной стали или твердого сплава** **вдавливается в испытуемый образец** (изделие) под действием нагрузки, приложенной в течение определенного времени:
  - **от 10 до 15 с для черных металлов;**
  - **от 10 до 180 с для цветных металлов.**
- Диаметры применяемых шариков **1,0; 2,0; 2,5; 5 и 10 мм.**
- **Нагрузка** выбирается в пределах **от 9,8 Н (1 кгс) до 29420 Н (3000 кгс)** в зависимости от вида металла или сплава.



Число твердости по Бринеллю определяется путем деления нагрузки, при которой происходило вдавливание, на площадь поверхности отпечатка, оставшегося после снятия нагрузки, по формуле:

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

где  $P$  – нагрузка, кгс;  $F$  – площадь поверхности отпечатка, мм<sup>2</sup>;  $D$  – диаметр шарика, мм;  $d$  – диаметр отпечатка, мм.

- Поверхность образца для испытания должна быть свободна от окалины и других посторонних веществ.
- **Толщина образца – не менее десятикратной глубины отпечатка.**
- Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть **не менее  $2,5d$** , а между центрами двух соседних отпечатков – **не менее  $4d$**  ( **$d$  – диаметр отпечатка**, мм).
- Для мягких материалов ( **$НВ < 35$** ) соответственно  $3d$  и  $6d$ .
- **Диаметр отпечатка** измеряют с помощью **отсчетного микроскопа**, входящего в состав приборов, в двух взаимно перпендикулярных направлениях и **вычисляют как среднее арифметическое двух измерений.**

- При измерении твердости **шариком диаметром 10,0 мм под нагрузкой 29430 Н (3000 кгс) с выдержкой 10–15 с** число твердости по Бринеллю обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами **НВ** при применении стального шарика.
- Например, **400 НВ**, или **НВW** при применении шарика из **твердого сплава**.
- **При других условиях измерения** обозначение **НВ (НВW)** дополняется индексом, указывающим условия измерения в следующем порядке: **диаметр шарика, нагрузка и продолжительность выдержки**.
- **Например: 200 НВ5/250/30:**
- **число твердости по Бринеллю 200;**
- **испытание проводилось шариком диаметром 5,0 мм;**
- **нагрузка 2453 Н (250 кгс);**
- **время приложения - 30 с.**

- Диаметр шарика **D** и нагрузку **P** **выбирают** в зависимости от материала и толщины образца согласно **СТ СЭВ 468-88**.
- Далее по таблицам **СТ СЭВ 468-88** определяют твердость.
- Метод Бринелля используется для испытания материалов низкой и средней твердости – цветных металлов и их сплавов, незакаленных сталей, отливок и деталей, изготовленных из стального проката твердостью до **НВ 450 (4500 МПа)**.
- **При большей твердости шарик деформируется.**
- Метод применим для определения твердости неоднородных по структуре сплавов (чугуны, подшипниковые сплавы).
- **K** - соотношение между нагрузкой и квадратом диаметра шарика:

$$K = \frac{0,102 \cdot F}{D^2} \left( \frac{F}{D^2} \right)$$



**Таблицы величин твердости по Бринеллю  
при диаметре шарика  $D = 10$  мм, испытательной нагрузке  
 $F = 29430$  Н (3000 кгс) и  $K = 30$**

<b><math>d</math>, мм</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>
<b>2,40</b>	<b>653</b>	<b>648</b>	<b>643</b>	<b>637</b>	<b>632</b>	<b>627</b>	<b>621</b>	<b>616</b>	<b>611</b>	<b>606</b>
<b>2,50</b>	<b>601</b>	<b>597</b>	<b>592</b>	<b>587</b>	<b>582</b>	<b>578</b>	<b>573</b>	<b>569</b>	<b>564</b>	<b>560</b>
<b>2,60</b>	<b>555</b>	<b>551</b>	<b>547</b>	<b>543</b>	<b>538</b>	<b>534</b>	<b>530</b>	<b>526</b>	<b>522</b>	<b>518</b>
<b>2,70</b>	<b>514</b>	<b>510</b>	<b>507</b>	<b>503</b>	<b>499</b>	<b>495</b>	<b>492</b>	<b>488</b>	<b>485</b>	<b>481</b>
<b>2,80</b>	<b>477</b>	<b>474</b>	<b>471</b>	<b>467</b>	<b>464</b>	<b>461</b>	<b>457</b>	<b>454</b>	<b>451</b>	<b>448</b>
<b>2,90</b>	<b>444</b>	<b>441</b>	<b>438</b>	<b>435</b>	<b>432</b>	<b>429</b>	<b>426</b>	<b>423</b>	<b>420</b>	<b>417</b>
<b>3,00</b>	<b>415</b>	<b>412</b>	<b>409</b>	<b>406</b>	<b>404</b>	<b>401</b>	<b>398</b>	<b>395</b>	<b>393</b>	<b>390</b>
<b>3,10</b>	<b>388</b>	<b>385</b>	<b>383</b>	<b>380</b>	<b>378</b>	<b>375</b>	<b>373</b>	<b>370</b>	<b>368</b>	<b>366</b>
<b>3,20</b>	<b>363</b>	<b>361</b>	<b>359</b>	<b>356</b>	<b>354</b>	<b>352</b>	<b>350</b>	<b>347</b>	<b>345</b>	<b>343</b>
<b>3,30</b>	<b>341</b>	<b>339</b>	<b>337</b>	<b>335</b>	<b>333</b>	<b>331</b>	<b>329</b>	<b>326</b>	<b>325</b>	<b>323</b>
<b>3,40</b>	<b>321</b>	<b>319</b>	<b>317</b>	<b>315</b>	<b>313</b>	<b>311</b>	<b>309</b>	<b>307</b>	<b>306</b>	<b>304</b>

# Достоинства и недостатки метода Бриннеля

## Достоинства метода

- Высокая точность результатов измерения.
- Существование зависимости между числом твердости по Бринеллю и временным сопротивлением при растяжении  $\sigma_B$ , МПа (для углеродистых сталей  $\sigma_B = 3,4 \text{ НВ}$ , для медных сплавов  $\sigma_B = 4,5 \text{ НВ}$ , для алюминиевых сплавов  $\sigma_B = 3,5 \text{ НВ}$ ).
- **К поверхности** испытываемых **изделий не предъявляется высоких требований**, метод Бринелля широко используется в цеховых условиях.

## Недостатки метода

- При использовании стального шарика **невозможно испытать материалы твердостью более 450 НВ** (закаленные стали, белые чугуны).
- **Невозможность испытания твердости тонкого поверхностного слоя (менее 1 мм)**, а также изделий малых размеров.
- После испытания остаются большие и глубокие отпечатки.

## Измерения твердости по Бринеллю

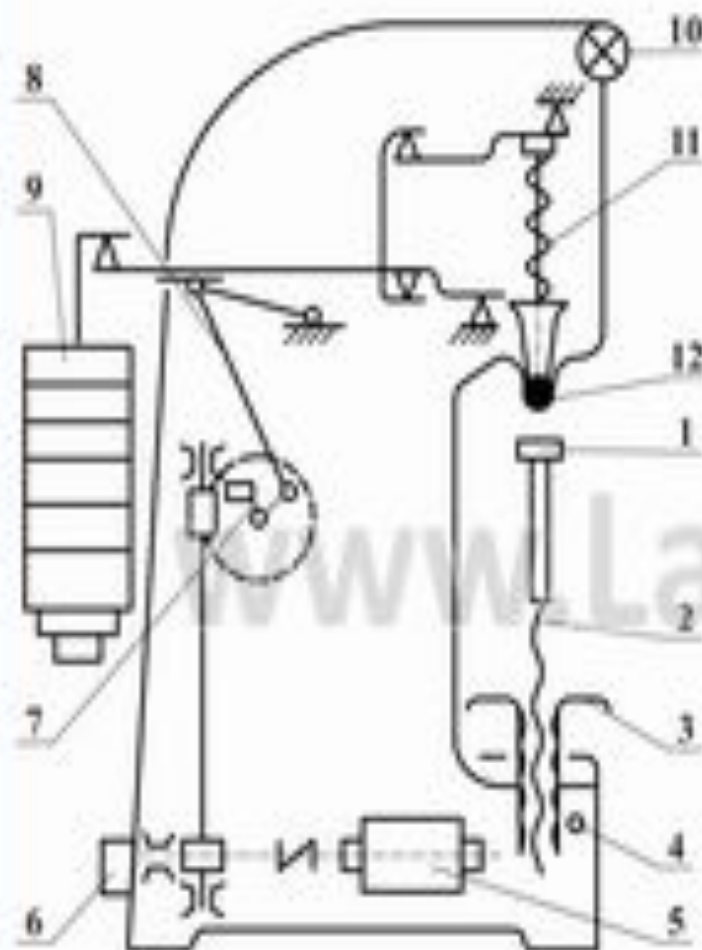


Схема прибора:

1 – столик; 2 – подъемный винт; 3 – механизм;  
4 – пусковая кнопка; 5 – электродвигатель;  
6 – магнитный пускатель; 7 – подвижный упор;  
8 – штанга; 9 – груз; 10 – силовая лампа;  
11 – пружина; 12 – оправка с шариком  
(индентор)



*Индентор* – стальной закаленный шарик диаметром  $D$ , равным 10, 5 или 2,5 мм;

*Нагрузка* – от  $2,5 D^2$  до  $30 D^2$  (кгс);

*Время выдержки под нагрузкой* – 10, 30 или 60 секунд

*Число твердости по Бринеллю (НВ)* – отношение нагрузки к площади поверхности сферического отпечатка

# Внешний вид прибора для измерения твердости по Бриннелю



## *Измерение твердости по Роквеллу*

- При измерении твердости методом Роквелла в испытуемый образец или изделие вдавливаются:
  - алмазный конус с углом при вершине 120 градусов;
  - или стальной закаленный шарик диаметром 1,5875 мм под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок:
    - ✓ предварительной  $P_0$  (10 кгс) и основной  $P_1$  (50 кгс) для алмазного конуса (шкала А);
    - ✓ предварительной  $P_0$  (10 кгс) и основной  $P_1$  (90 кгс) для стального шарика (шкала В);
    - ✓ предварительной  $P_0$  (10 кгс) и основной  $P_1$  (140 кгс) для алмазного конуса (шкала С) при испытании очень твердых и тонких образцов.
  - Твердость определяют по глубине внедрения наконечника в испытуемый образец, измеренной после снятия основной нагрузки при сохранении предварительной.
  - За единицу твердости по Роквеллу принята условная величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм.
- Результаты испытания читаются прямо по шкале прибора, без дополнительных измерений.

## Параметры испытания при измерении твердости по Роквеллу

Обозначение		Наконечник	Нагрузка, Н (кгс)			Пределы измерения в единицах твердости по Роквеллу	Область применения
Шкала	Твердость		P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P		
<b>B</b>	<b>HRB</b>	Стальной шарик	98 (10)	883 (90)	981 (100)	25–100	Цветные сплавы, нетермообработанные стали
<b>C</b>	<b>HRC</b>	Алмазный конус	98 (10)	1373 (140)	1471 (150)	22–68	Твердые термообработанные стали
<b>A</b>	<b>HRA</b>	Алмазный конус	98 (10)	490 (50)	588 (60)	70–85	Сверхтвердые сплавы, тонкие поверхностные слои, тонколистовой материал

- Поверхность образца для испытания может быть как плоской, так и **криволинейной с радиусом кривизны не менее 15 мм.**
- **Поверхность должна быть чистой и гладкой** (свободна от окалины и других посторонних веществ, на ней не должно быть трещин, выбоин и т.п).
- **Минимальная толщина образца** должна быть не меньше **восьмикратной глубины** внедрения наконечника после снятия основной нагрузки.
- **Расстояние** от центра отпечатков **до края образца** или между центрами двух соседних отпечатков – **не менее 3 мм.**
- Твердость измеряют на приборах с ручным или электрическим приводом.
- **Результаты испытания читаются прямо по шкале прибора, без дополнительных измерений.**
- На каждом образце должно быть произведено **не менее трех испытаний.**

**Твердость по Роквеллу** обозначают цифрами, характеризующими *величину твердости*, и буквами **HR** с указанием *шкалы твердости*.

- *Например: 50HRC – твердость по Роквеллу 50, определенная по шкале С.*

### **Достоинства метода Роквелла**

- Возможность испытания как **мягких**, так и **твердых материалов**.
- Быстрота измерения.
- **Сохранение качественной поверхности** после испытания, так как отпечаток имеет небольшие размеры.



## Недостатки метода

- **Безразмерность и условность чисел твердости**, что затрудняет их перевод в другие величины твердости или прочности при растяжении.
- **Менее удовлетворительная**, чем у метода Бринелля, **повторяемость результатов измерений**.
- **Невозможность измерения твердости очень тонких слоев металла (менее 0,3 мм)**.
- Метод **не рекомендуют применять** для определения **твердости неоднородных по структуре сплавов** (например чугуна).

Несмотря на указанные недостатки, метод Роквелла, благодаря своей скорости и простоте, нашел самое широкое применение в промышленности для контроля твердости готовых штучных деталей.

# Стационарный твердомер по Роквеллу NOVOTEST TC-P



# Образец и индентор (алмазный конус)



- **Стационарный твердомер по Роквеллу ТС-Р** предназначен для измерения твердости изделий из металлов и сплавов в лабораторных условиях.
- Стационарный твердомер используется для **изготовления рабочих мер твердости для переносных твердомеров.**
- Наличие стационарного твердомера позволяет произвести измерение твердости любого металла в лабораторных условиях, а потом с использованием этого образца с **известной твердостью произвести калибровку переносного твердомера.**
- Стационарный твердомер по Роквеллу реализует классический метод измерения твердости металлов на основании **анализа сопротивления металла вдавливанию испытательного индентора.**
- Твердомер по Роквеллу ТС-Р позволяет проводить испытания с использованием **трех стандартных испытательных нагрузок (60, 100 и 150 кг).**
- Твердомер ТС-Р может быть использован для измерения твердости различных сталей и сплавов, твердых сталей, чугуна.
- Твердомер можно использовать для измерения твердости как закаленных, так и незакаленных сталей.

# Измерение твердости по Виккерсу

- Измерение твердости **методом Виккерса** основано на вдавлении **алмазной четырехгранной пирамиды с углом при вершине 136 градусов** в образец (изделие) под действием нагрузки, приложенной в течение определенного времени (**обычно 10–15 с**).
- Нагрузка выбирается в пределах от 9,8 Н (**1 кгс**) до 980,7 (**100 кгс**) в зависимости от толщины образца и его примерной твердости.
- Твердость по Виккерсу вычисляют путем деления нагрузки на площадь поверхности отпечатка, оставшегося на образце, по формуле:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \cdot \sin \frac{d}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

- где  $P$  – нагрузка, кгс;  $F$  – площадь поверхности отпечатка, мм<sup>2</sup>;  $\alpha$  – угол между противоположными гранями пирамиды при вершине, равный 136 градусов;  $d$  – *среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей* отпечатка после снятия нагрузки, мм.
- Поверхность используемого образца должна быть **тщательно отшлифована** (шероховатость  $Ra < 0,16$  мкм), на ней не должно быть окисных пленок и других посторонних веществ.
- Радиус кривизны поверхности не менее 5 мм.
- **Минимальная толщина стальных образцов** должна быть больше **диагонали отпечатка в 1,2 раза**, а образцов из **цветных металлов – в 1,5 раза**.
- Расстояние между центром отпечатка и краем образца или краем соседнего отпечатка – не менее 2,5 длины диагонали отпечатка.
- **Метод используют для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость.**

- Приборы для измерения твердости по Виккерсу имеют **встроенный микроскоп или проекционную оптическую систему**, с помощью которых измеряют длины диагоналей отпечатка.
- **Твердость по Виккерсу** при испытании под нагрузкой **294,2 Н (30 кгс)** и временем выдержки под нагрузкой **10-15 с** обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами **HV**.
- **Например: 500HV.**
- При других условиях испытания после букв HV указывается нагрузка и время выдержки.
- **Например: 220HV10/30 – число твердости 220,** полученное при нагрузке 98,1 Н (**10 кгс**) и времени выдержки **30 с.**

# Достоинства и недостатки метода Виккерса

## Достоинства метода

- Возможность измерения твердости как мягких, так и сверхтвердых материалов с высокой точностью.
- Возможность определения твердости **тонких (до 0,3 мм)** деталей и **очень тонких (до 0,03 мм)** поверхностных слоев металла.
- Очень малые размеры отпечатка.

## Недостатки метода

- Большая длительность и трудоемкость процесса измерения твердости.
- **Очень высокие требования к качеству поверхности образца.**
- **Сравнительная сложность и дороговизна приборов** для определения твердости.

Указанные недостатки препятствуют широкому использованию метода Виккерса в цеховых условиях.

В основном он применяется **для тонкого контроля металлов и сплавов в лабораториях.**



# Переносные приборы для измерения твердости

## Твердомер динамический NOVOTEST T-D1



Предназначен для измерения твердости металлов и сплавов по следующим шкалам:

- Роквеллу в диапазоне 20-70 HRC;
- Бринеллю в диапазоне 90-450 НВ;
- Виккерсу в диапазоне 230-940 НV;
- предела прочности на растяжение изделий из углеродистых сталей.

Прибор использует **динамический метод контроля**, за счет чего обеспечивается контроль крупногабаритных изделий, изделий из материалов с крупнозернистой структурой (чугун, нержавеющая сталь, цветные металлы и сплавы).

Динамический твердомер предъявляет **менее жесткие требования к чистоте поверхности**, чем ультразвуковой твердомер.

# Твердомер ультразвуковой NOVOTEST T-U1



Предназначен для измерения твердости металлов и сплавов по следующим шкалам:

- Роквеллу в диапазоне 20-70 HRC;
- Бринеллю в диапазоне 90-450 НВ;
- Виккерсу в диапазоне 230-940 НV;
- предела прочности на растяжение изделий из углеродистых сталей.

## **Преимущества твердомера**

- измерение твердости малоразмерных, миниатюрных изделий;
- возможность измерения твердости в труднодоступных местах - зубья, впадины, проточки;
- отсутствие ограничений по массе изделия;
- оценка качества и степени поверхностной термической обработки.

# Твердомер комбинированный NOVOTEST T-УД1



Твердомер комбинированный **NOVOTEST T-УД1** предназначен для измерения твердости металлов и сплавов по следующим шкалам:

**Роквеллу в диапазоне 20-70 HRC**

**Бринеллю в диапазоне 90-450 НВ**

**Виккерсу в диапазоне 230-940 НV**

## Преимущества **NOVOTEST T-УД1**:

- наличие двух датчиков в комплекте (**динамический и ультразвуковой**) позволяет решать любые задачи измерения твердости;
- отсутствие ограничений по массе изделия (**ультразвуковой датчик твердомера**) возможность измерения твердости изделий с крупнозернистой структурой - чугун, нержавеющая сталь и др. (**динамический датчик твердомера**)

## Твердомер комбинированный NOVOTEST T-УД2



Принципиальные отличия от  
твердомера комбинированного  
**NOVOTEST T-УД1:**

- Благодаря морозостойкому (до -20 градусов Цельсия) дисплею работа с прибором возможна даже в суровые морозы;
- Твердомер имеет встроенную память для сохранения результатов замеров;
- Наличие канала связи с ПК и специализированного ПО позволяет передавать сохраненные результаты на компьютер для печати отчета либо последующей обработки ;
- Новый, гораздо более удобный и интуитивно понятный, тип организации работы с меню прибора .

## **Механические свойства, определяемые при динамических испытаниях**

- Механические свойства металлов (сплавов), определенные **при статических испытаниях**, часто не соответствуют действительным условиям нагружения деталей при их эксплуатации, когда нагрузки возрастают очень быстро.
- В таких случаях металлы подвергают **динамическим испытаниям**, при которых **нагрузка прикладывается мгновенно, резко.**
- По виду деформации эти испытания делятся **на ударный разрыв, ударное сжатие и ударный изгиб.**
- Вязкость – способность металлов оказывать сопротивление ударным нагрузкам.
- Вязкость – свойство обратное хрупкости.

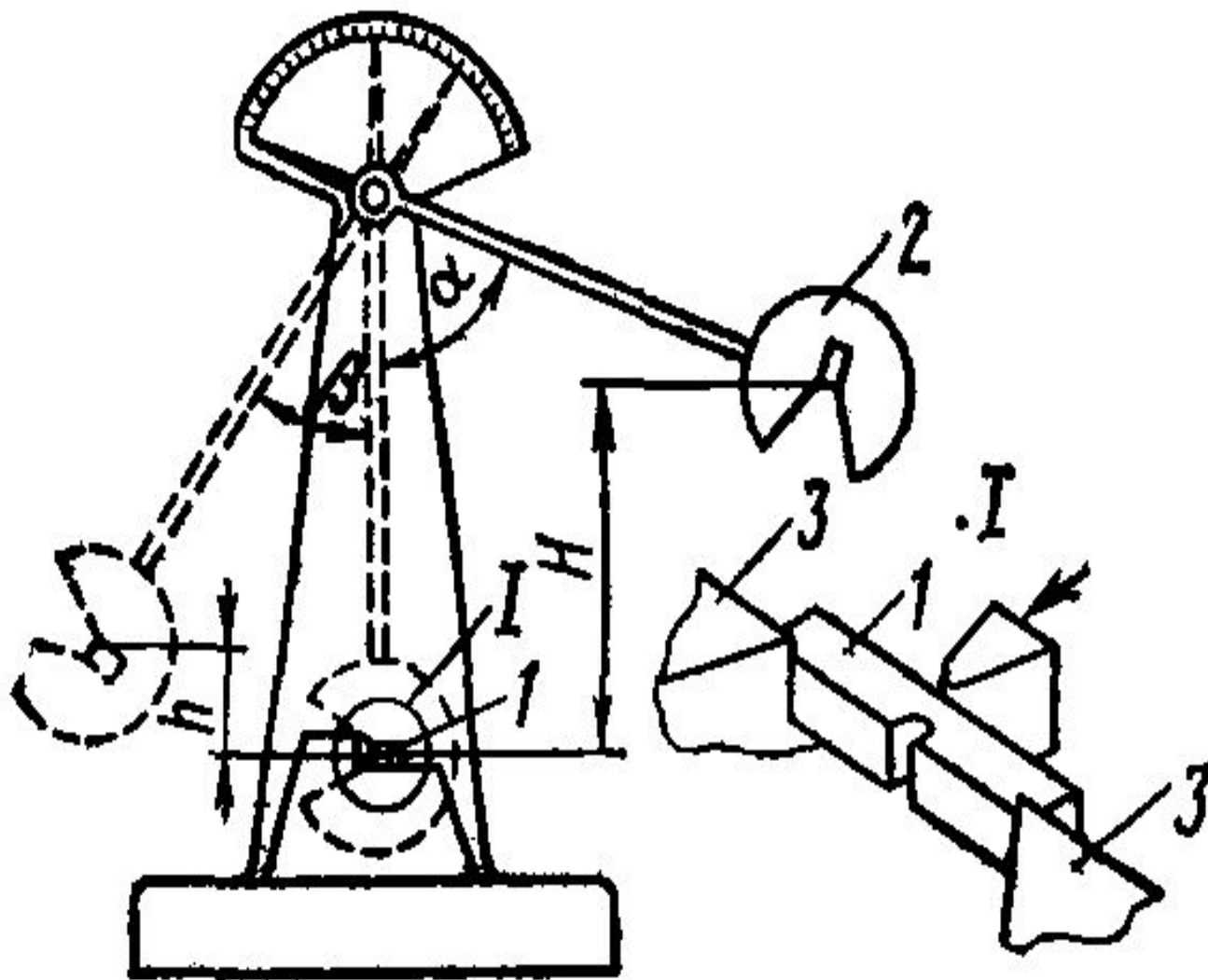
## Испытания на ударный изгиб

- Наиболее распространенным видом динамических испытаний является **испытание на ударный изгиб** с определением **ударной вязкости** -  $\alpha_n$  .
- Испытание заключается в разрушении образца с надрезом (концентратором) ударом маятничкового копра.

$$\alpha_n = \frac{A_n}{F} = \frac{G(H - h)}{F}$$

где  $A_n$  – работа удара, кгс\*м и Дж;  $G$  – вес маятничкового копра, кгс;  $H$  – высота подъема маятника перед ударом, м;  $h$  – высота, на которую поднимается маятник с другой стороны после удара, м;  $F$  – площадь поперечного сечения образца в месте надреза,  $см^2$  .

# Схема маятникового копра и положение испытуемого образца на опорах копра



## Механические свойства, определяемые при усталостных испытаниях

- Длительное воздействие на металл **повторно переменных нагрузок** (изменяющихся по величине или одновременно по величине и направлению) **может вызвать разрушение при напряжениях меньших его предела прочности.**
- Постепенное накопление повреждений в металле под действием **знакопеременных (вибрационных) нагрузок**, приводящих к образованию трещин и разрушению, **называют усталостью**, а свойство металлов сопротивляться усталости – **выносливостью.**
- Количественной оценкой выносливости является **предел выносливости**  $\sigma_R$  – наибольшее напряжение, которое не вызывает разрушения образца при произвольно большом **числе циклов нагружения N:**
  - **N= 5 и 10 млн. для деталей из стали;**
  - **N= 20 млн. циклов для деталей из цветных металлов.**



# Эксплуатационные свойства металлов

- **Изностойкость** – сопротивление металлов изнашиванию вследствие процессов трения.
- Это важная характеристика для контактных материалов, для подшипниковых узлов и т.п.
- **Износ** заключается в отрыве с трущейся поверхности отдельных ее частиц и **определяется по изменению геометрических размеров или массы детали.**
- **Жаростойкость** характеризует способность металлического материала сопротивляться **окислению в газовой среде** при высокой температуре.
- **Жаропрочность** характеризует способность материала **сохранять механические свойства** при высокой температуре.
- **Коррозионная стойкость** - способность металлов и сплавов сопротивляться действию различных агрессивных сред.

# Строение металлов

Все вещества в твердом состоянии могут иметь:

- **кристаллическое строение;**
- **аморфное строение.**

В аморфном веществе атомы расположены хаотично, а в кристаллическом — в строго определенном порядке.

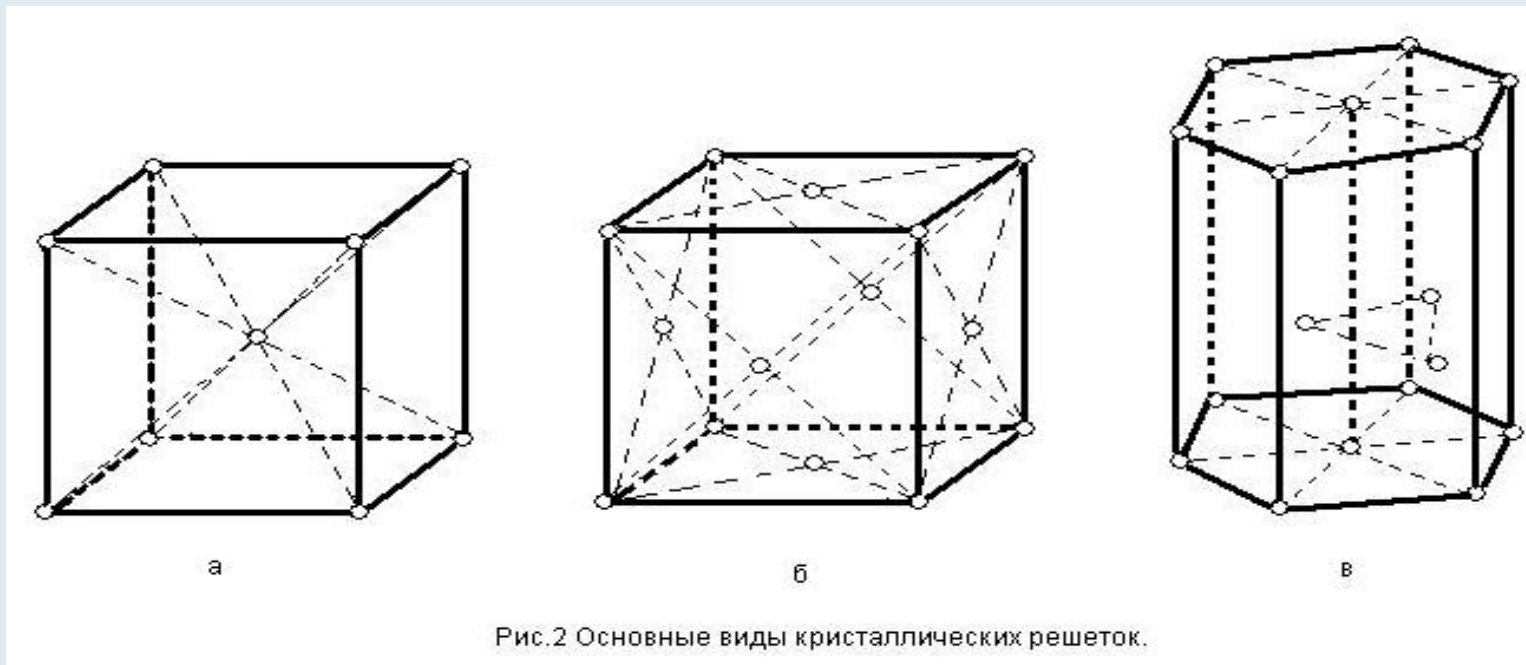
**Все металлы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение.**

Для описания **кристаллической структуры** металлов пользуются понятием **кристаллической решетки**.

**Кристаллическая решетка** — это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой расположены атомы.

**Наименьшая часть** кристаллической решетки, определяющая структуру металла, называется **элементарной кристаллической ячейкой**.

# Основные типы кристаллических решеток

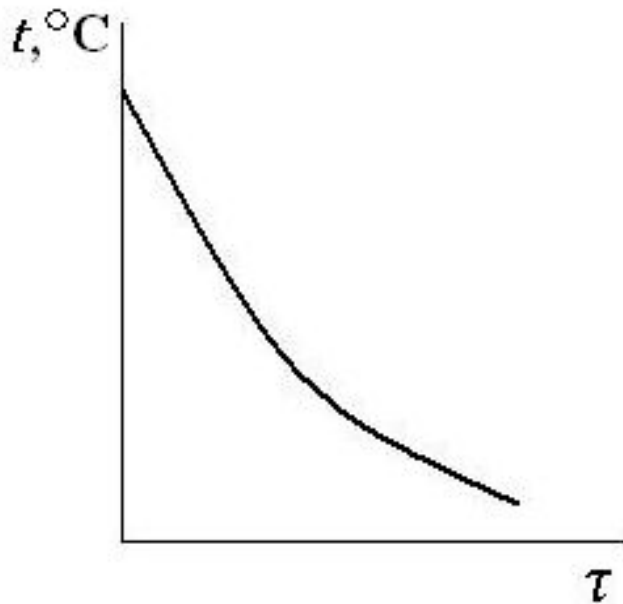


На рис. 2 изображены элементарные ячейки для наиболее распространенных кристаллических решеток:

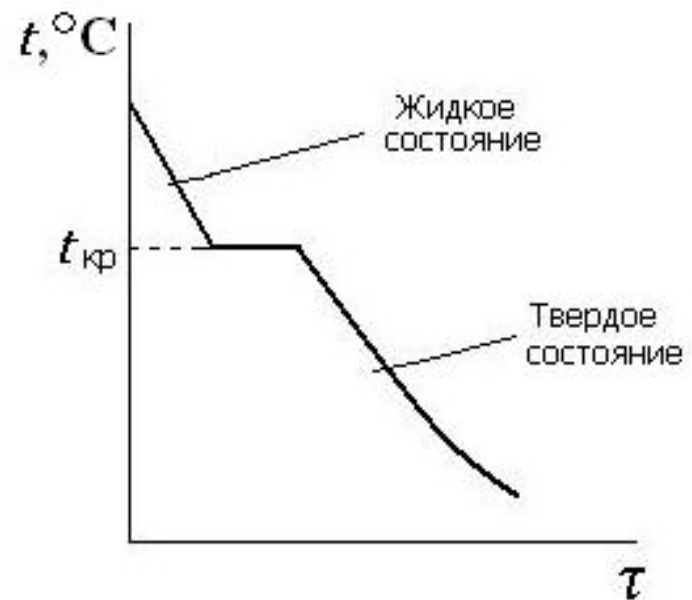
- в **кубической объемноцентрированной решетке – о.ц.к.** (рис. 2, а) атомы расположены в углах ячейки и один атом в центре куба (хром, вольфрам, молибден тантал, литий и др.);
- в **кубической гранецентрированной решетке – г.ц.к.** (рис. 2, б) атомы расположены в вершинах куба и в центре каждой грани (алюминий, медь, никель и др.);
- в **гексагональной плотноупакованной решетке – г.п.у.** (рис. 2, в) атомы расположены в вершинах и центрах оснований шестигранной призмы и три атома в середине призмы (магний, цинк, кадмий, бериллий и др.)

# Кристаллизация металлов

- Процесс образования в металлах кристаллической решетки называется кристаллизацией.
- Для изучения процесса кристаллизации строят **кривые охлаждения металлов**, которые показывают изменение температуры ( $t$ ) во времени ( $\tau$ ).



а



б

Рис. 3 Кривые охлаждения аморфного и кристаллического тел.

- **Затвердевание аморфного вещества** (рис. 3, а) происходит **постепенно**, без резко выраженной границы между жидким и твердым состоянием.
- На кривой охлаждения кристаллического вещества (рис. 3, б) имеется горизонтальный участок с температурой  $t_{кр}$ , **называемой температурой кристаллизации**.
- Наличие этого участка говорит о том, что процесс сопровождается **выделением скрытой теплоты кристаллизации**.
- **Длина горизонтального участка — это время кристаллизации.**

Кристаллизация металла происходит постепенно. Она объединяет два процесса, происходящих одновременно:

- **возникновение центров кристаллизации;**
- **рост кристаллов.**

**В процессе кристаллизации** когда растущий кристалл окружен жидкостью, он имеет **правильную геометрическую форму.**

- При столкновении растущих кристаллов их правильная форма нарушается.
- После окончания кристаллизации **образуются кристаллы неправильной формы**, которые называются **зернами или кристаллитами** (рис. 4)

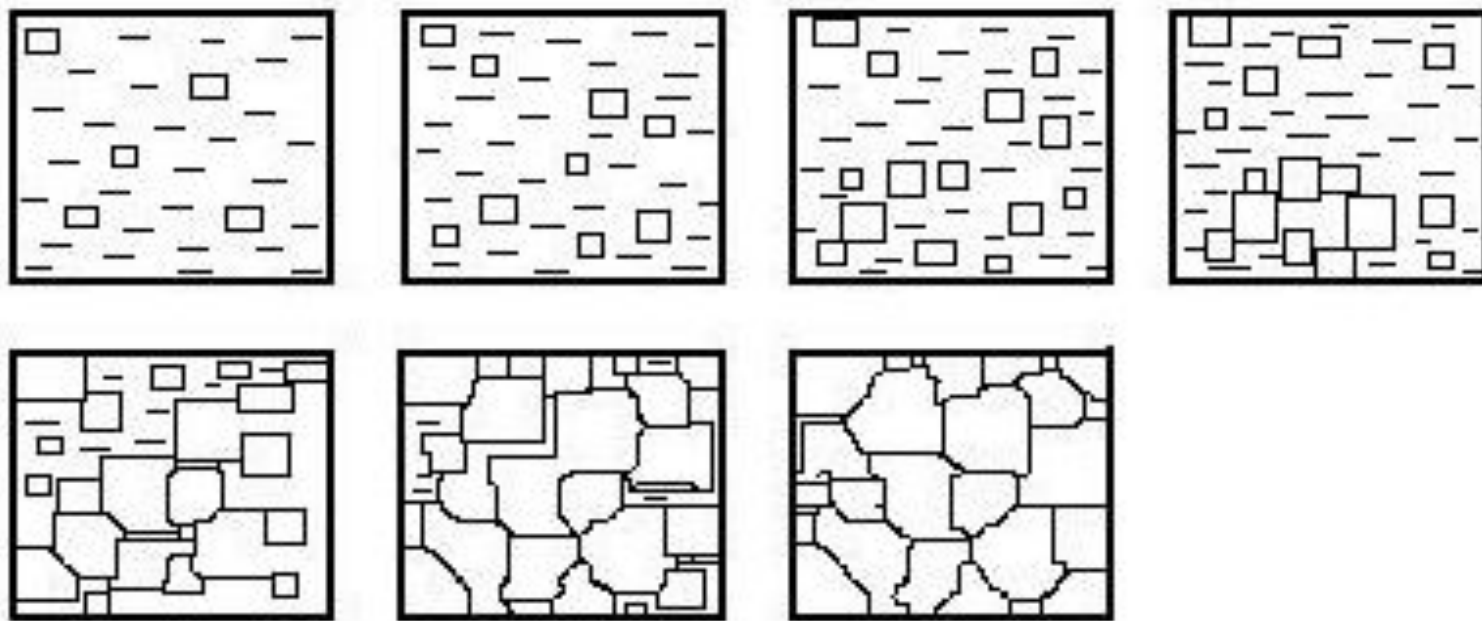


Рис. 4. Схема процесса кристаллизации металла.

Внутри каждого зерна имеется определенная ориентация кристаллической решетки, отличающаяся от ориентации решеток соседних зерен.

# Полиморфизм

- **Некоторые металлы** в зависимости от температуры **могут существовать в различных кристаллических формах.**
- Это явление называется **полиморфизм** или **аллотропия**, а различные кристаллические формы одного вещества называются **полиморфными модификациями.**
- **Процесс перехода** от одной кристаллической формы к другой **называется полиморфным превращением.**
- Полиморфные превращения протекают при определенной температуре.
- **Полиморфные модификации** обозначают строчными греческими буквами  **$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$**  и т. д., причем  **$\alpha$**  соответствует модификации, существующей **при наиболее низкой температуре.**
- Полиморфизм характерен для **железа, олова, кобальта, марганца, титана** и некоторых других металлов.

## Полиморфизм железа

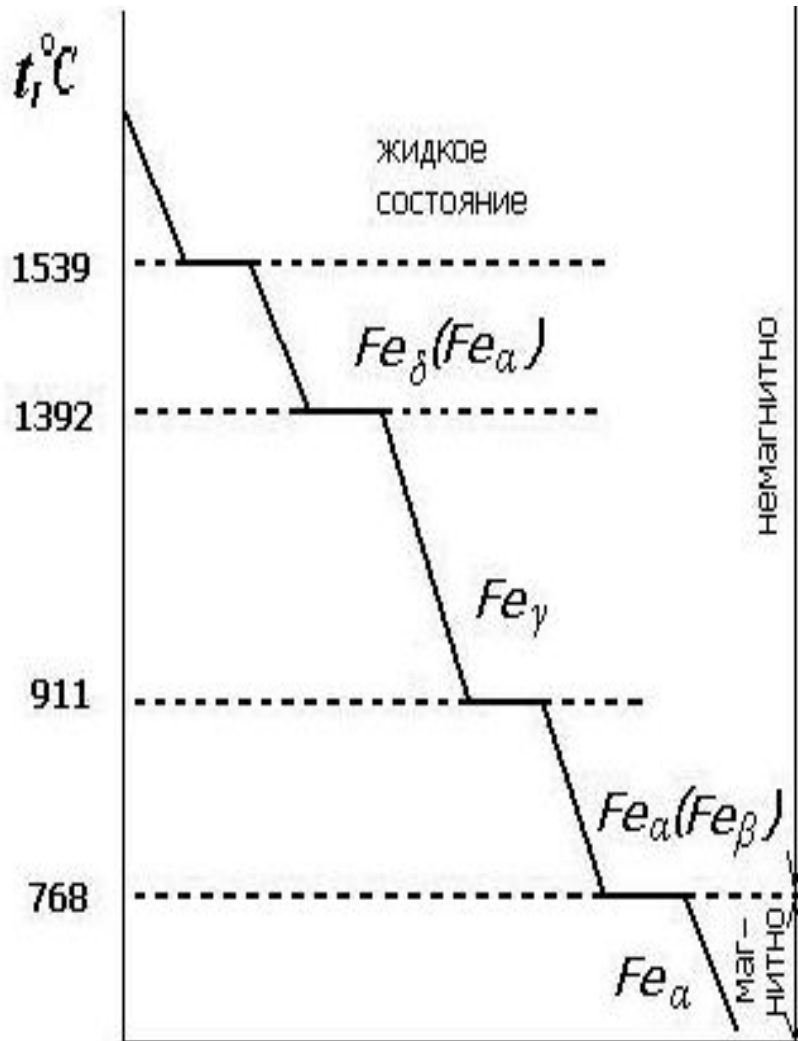


Рис.5 Кривая охлаждения железа.

Полиморфные превращения характеризуются горизонтальными участками на кривой охлаждения, так как при них происходит полная перекристаллизация металла.

До  $911^\circ\text{C}$  устойчиво  $Fe_\alpha$ , имеющее кубическую объемноцентрированную решетку.

В интервале  $911\dots1392^\circ\text{C}$  существует  $Fe_\gamma$  с кубической гранецентрированной кристаллической решеткой.

При  $1392\dots1539^\circ\text{C}$  вновь устойчиво  $Fe_\alpha$ . Часто высокотемпературную модификацию  $Fe_\alpha$  обозначают  $Fe_\delta$ .

До  $768^\circ\text{C}$  железо магнитно, а выше — немагнитно.



# Дефекты кристаллического строения

Реальный металлический кристалл всегда имеет дефекты кристаллического строения, которые подразделяются на:

- **точечные;**
- **линейные;**
- **поверхностные.**

Точечные дефекты малы во всех трех измерениях.

К точечным дефектам относятся:

- **вакансии, представляющие собой узлы кристаллической решетки в которых отсутствуют атомы (рис. 6, а);**
- **замещенные атомы примеси (рис. 6, б);**
- **внедренные атомы (рис. 6, в), которые могут быть как примесными, так и атомами основного металла.**

Точечные дефекты вызывают **местные искажения** кристаллической решетки, которые затухают достаточно быстро по мере удаления от дефекта.

# Виды точечных дефектов

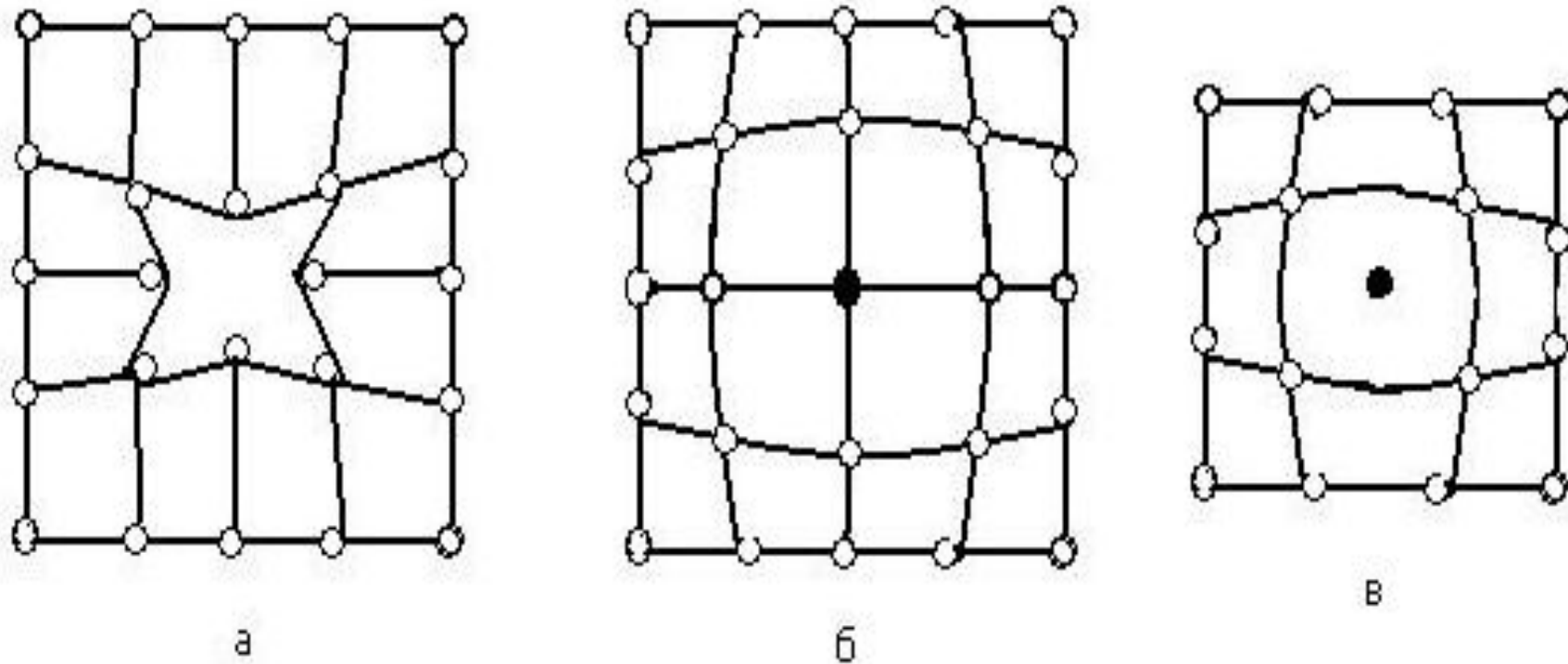


Рис. 6 Схемы точечных дефектов в кристаллах.

# Линейные и поверхностные дефекты

- Линейные дефекты имеют малые размеры в двух измерениях и большую протяженность в третьем. **Эти дефекты называют дислокациями.**

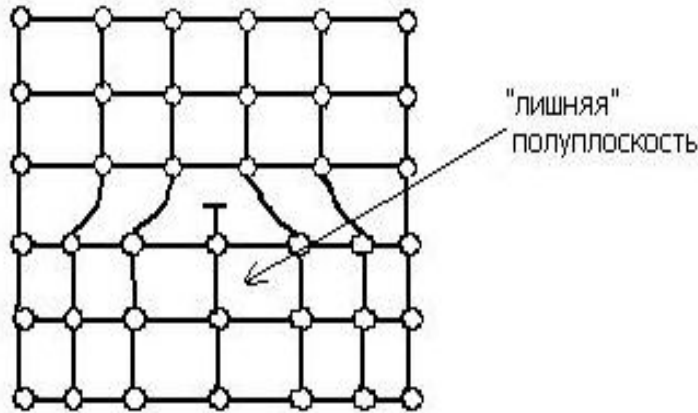


Рис.7 Схема краевой дислокации.

- Краевая дислокация (рис. 7) представляет собой искажение кристаллической решетки, вызванное наличием **«лишней» атомной полуплоскости.**
- **Поверхностные дефекты** малы только в одном измерении.
- К ним относятся, например, границы между отдельными зернами или группами зерен.