

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.

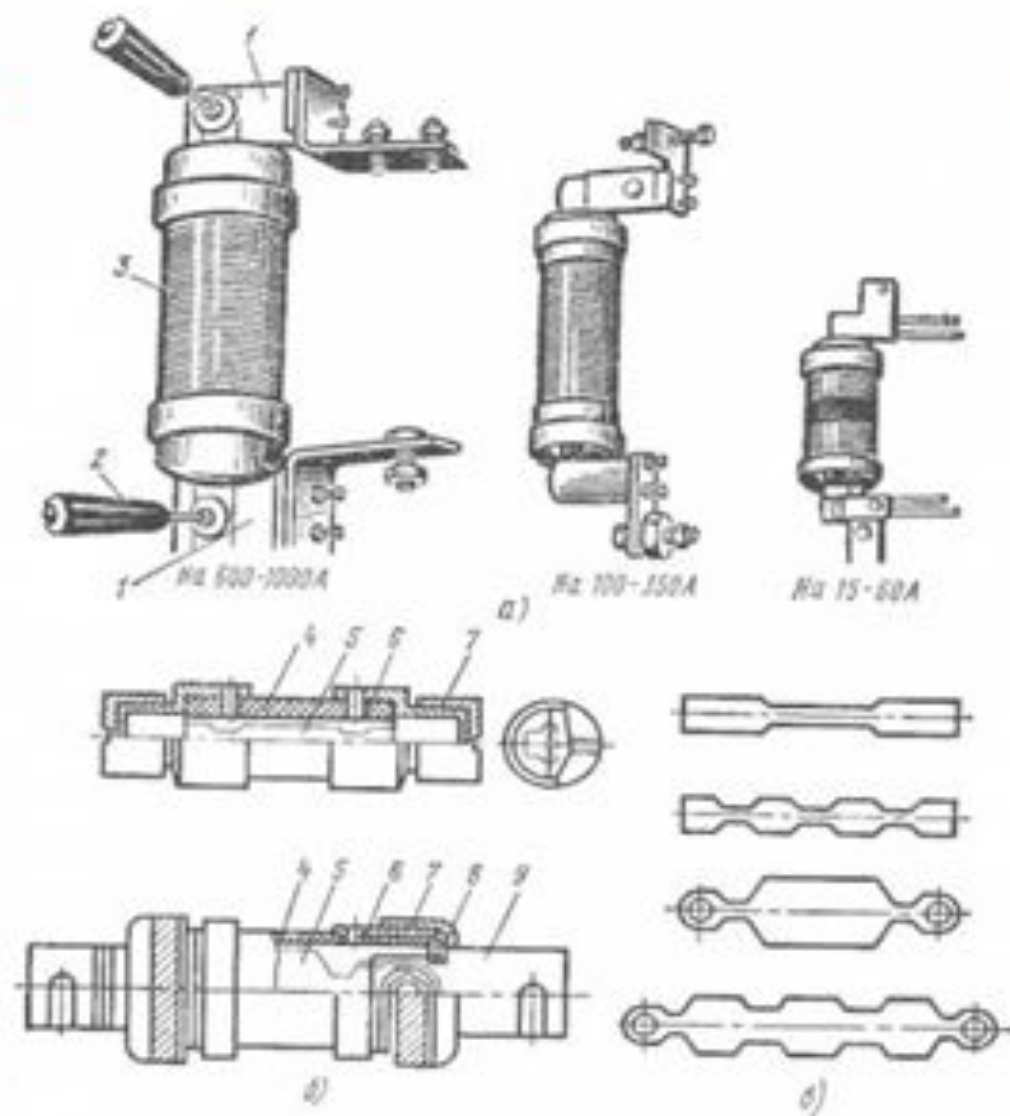
Тугоплавкие металлы применяют как самостоятельно, так и в виде добавок в сталь для повышения ее температуры плавления (**жаропрочные стали**).

■ **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 Δl 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**.

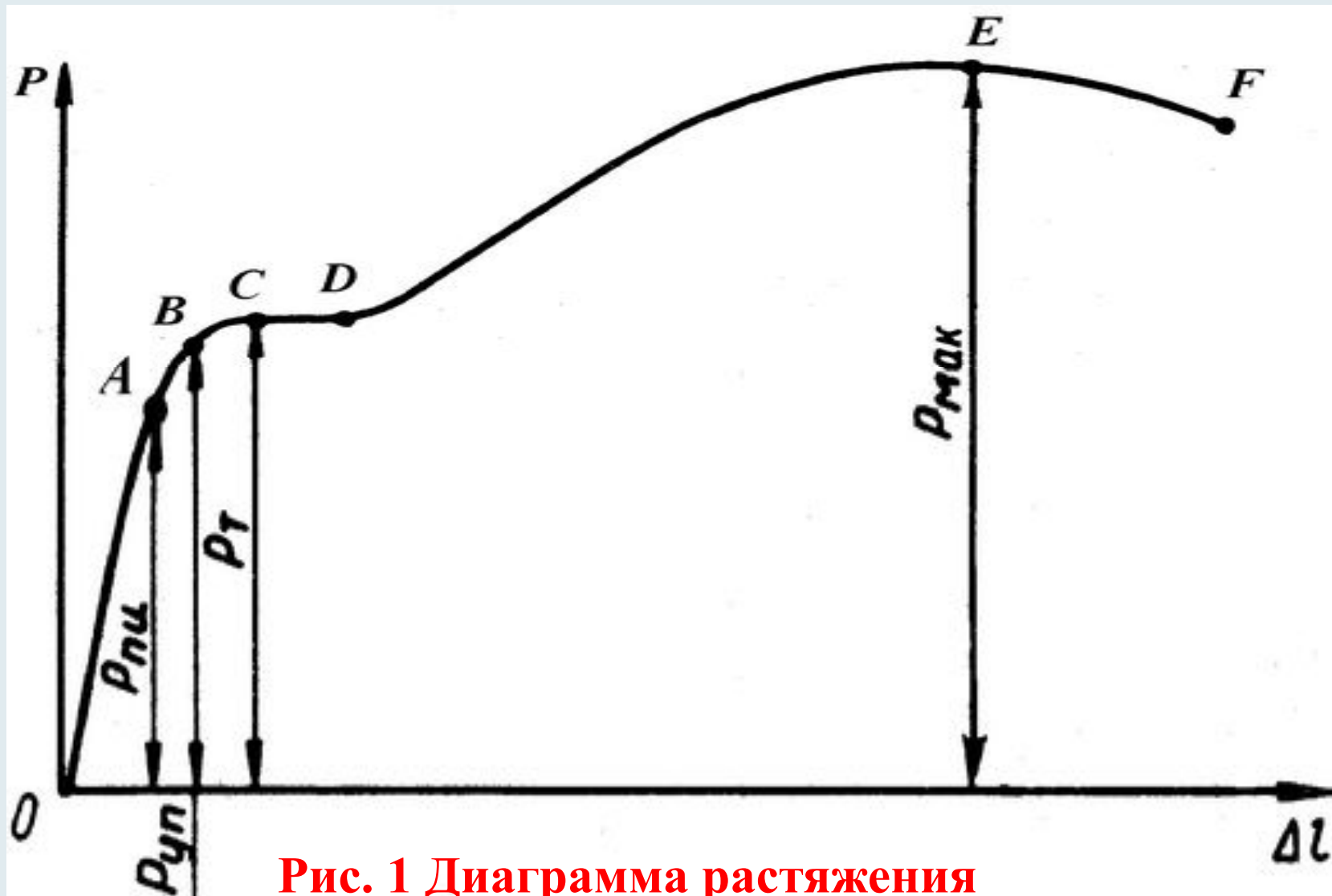


Рис. 1 Диаграмма растяжения

- **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, m^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 выходу их из строя.*
- Величина предела упругости у металлов весьма различна: **свинец - 0,25 кгс/мм², медь - 2,5 кгс/мм², некоторые марки сталей - 30 кгс/мм² 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**:

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

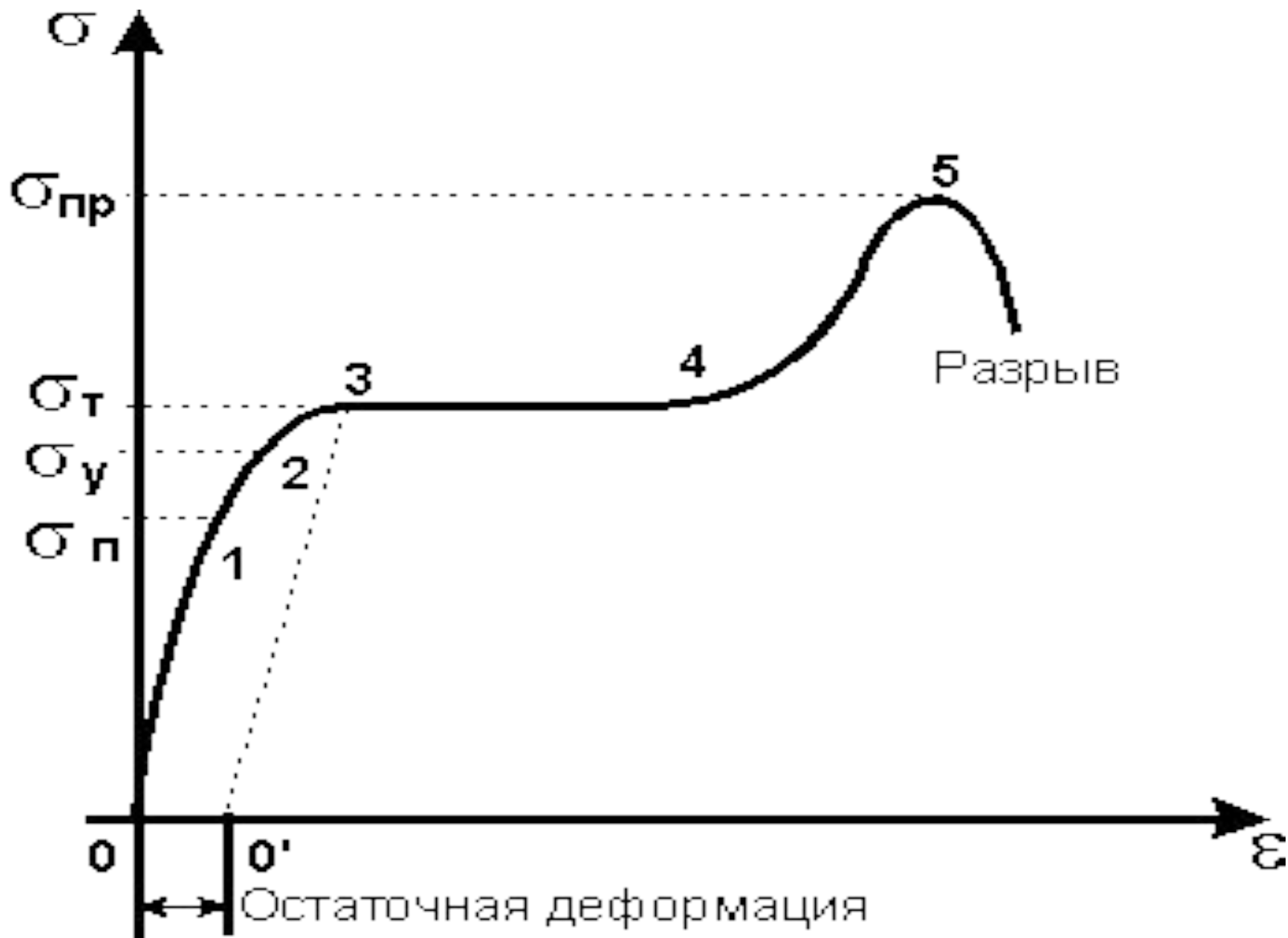
где P_m – нагрузка, соответствующая площадке текучести.

- **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 – Δl** ;
 - **Относительное сужение перед разрывом – ψ** .
- Эти характеристики определяют при испытании металлов на растяжение, а их численные значения определяют по формулам:

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

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

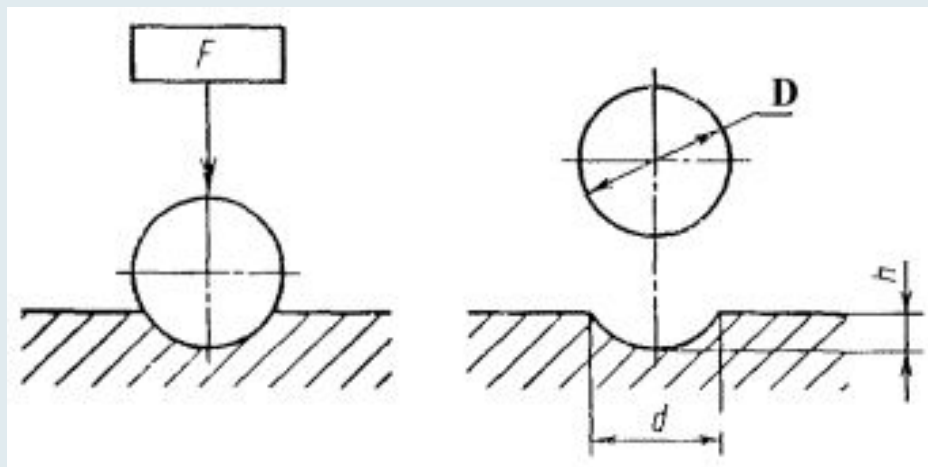
где l_0 и l_k – длина образца до и после разрушения соответственно;
 F_0 и F_k - площадь поперечного сечения образца до и после разрушения.

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, мм²; 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 $K = 30$**

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

Достоинства и недостатки метода Бриннеля

Достоинства метода

- Высокая точность результатов измерения.
- Существование зависимости между числом твердости по Бринеллю и временным сопротивлением при растяжении σ_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

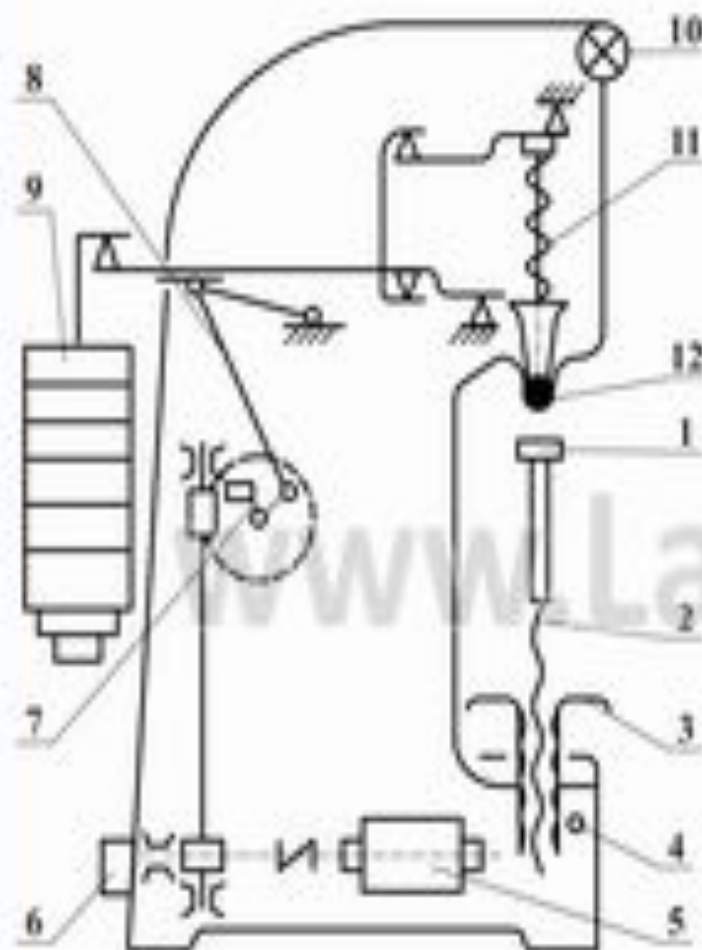


Схема прибора:

1 – столик; 2 – подъемный винт; 3 – механизм;
4 – пусковая кнопка; 5 – электродвигатель;
6 – магнитный пускатель; 7 – подвижный утяг;
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 ₀	P ₁	P		
B	HRB	Стальной шарик	98 (10)	883 (90)	981 (100)	25–100	Цветные сплавы, нетермообработанные стали
C	HRC	Алмазный конус	98 (10)	1373 (140)	1471 (150)	22–68	Твердые термообработанные стали
A	HRA	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, мм²; α – 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.

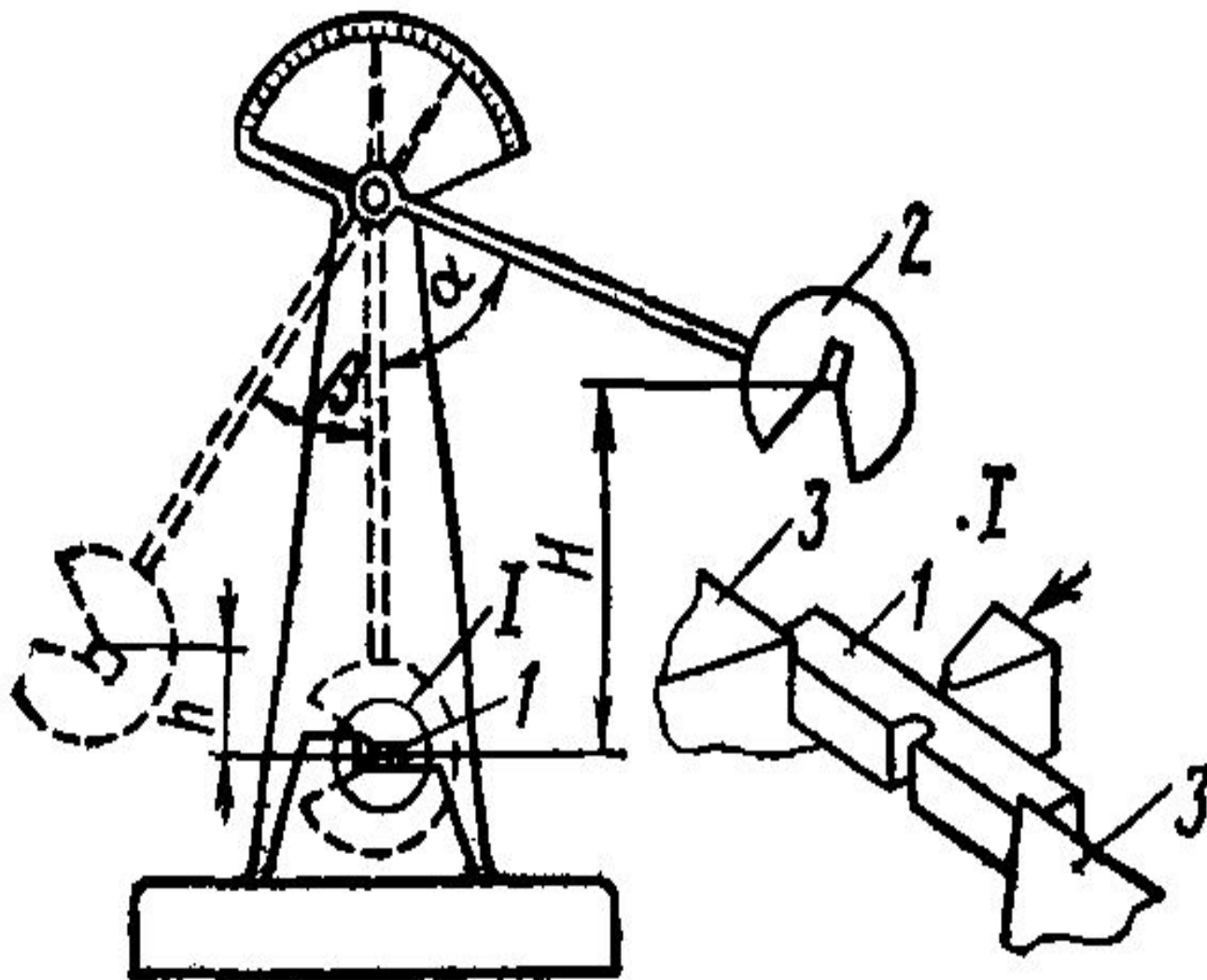
Испытания на ударный изгиб

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

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

где A_n – работа удара, кгс*м и Дж; G – вес маятникового 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** σ_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.

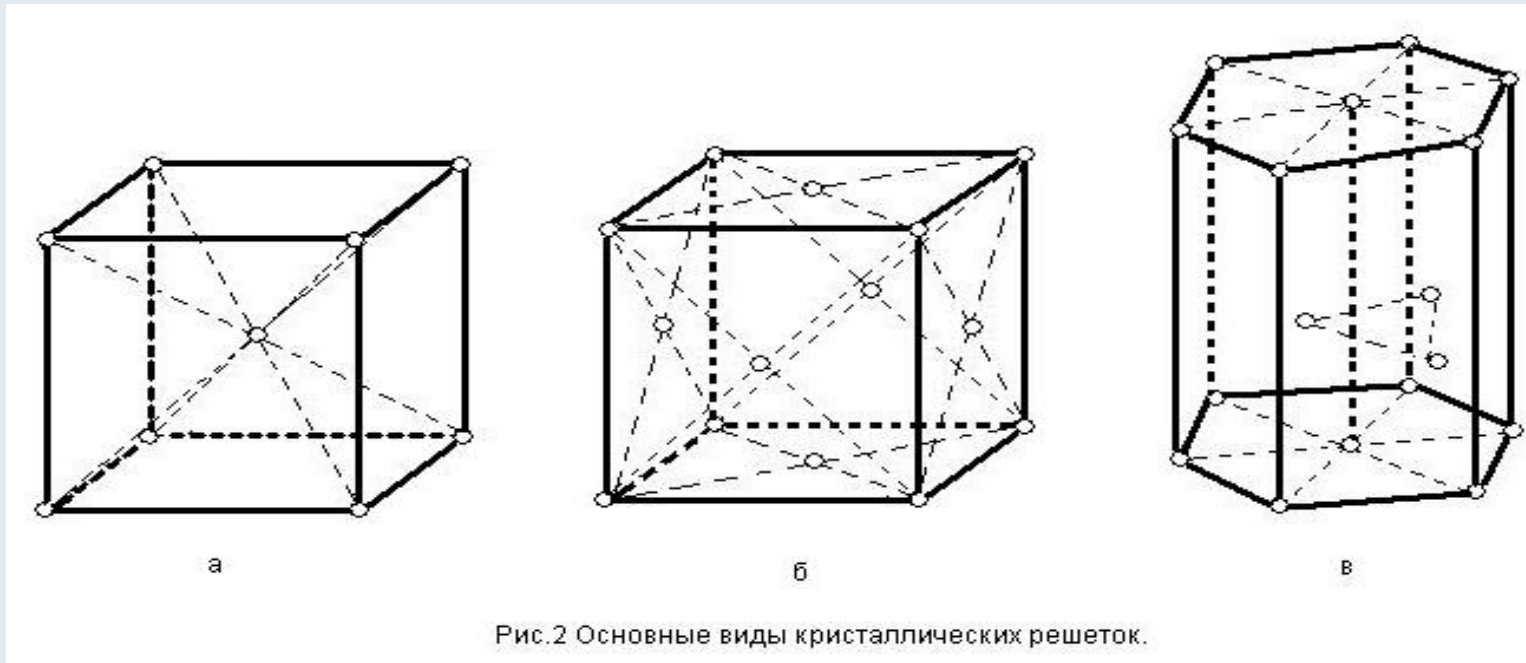
Все металлы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение.

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

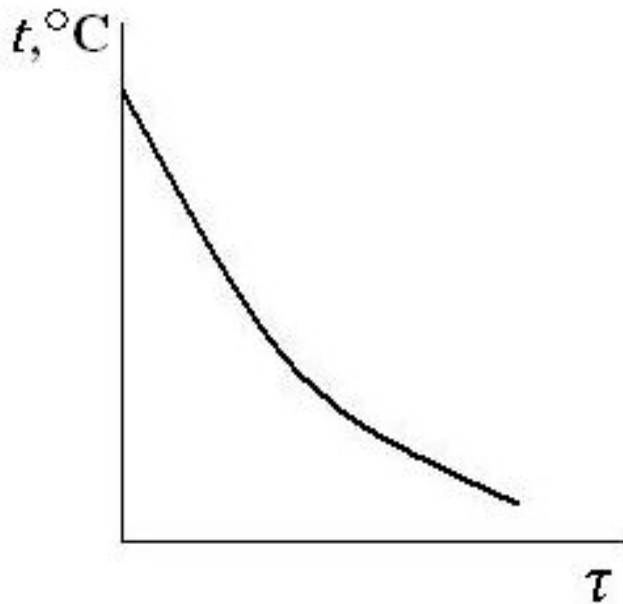


На рис. 2 изображены элементарные ячейки для наиболее распространенных кристаллических решеток:

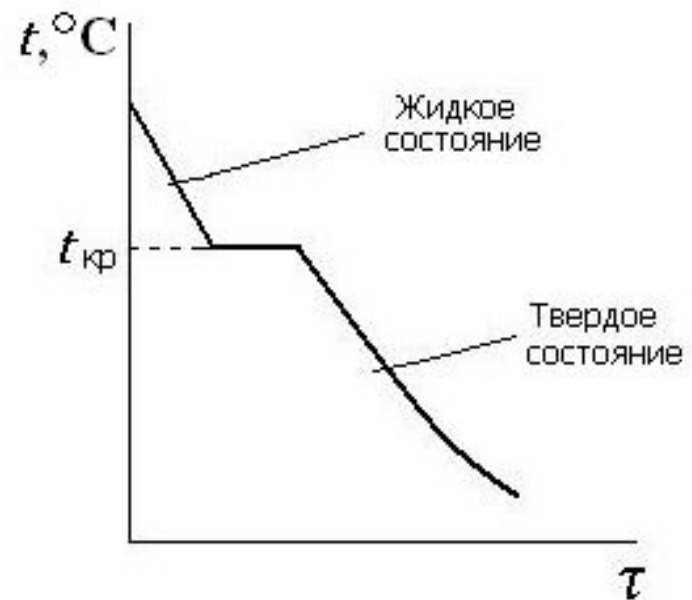
- в **кубической объемноцентрированной решетке – о.ц.к.** (рис. 2, а) атомы расположены в углах ячейки и один атом в центре куба (хром, вольфрам, молибден тантал, литий и др.);
- в **кубической гранецентрированной решетке – г.ц.к** (рис. 2, б) атомы расположены в вершинах куба и в центре каждой грани (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 (τ).



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)**

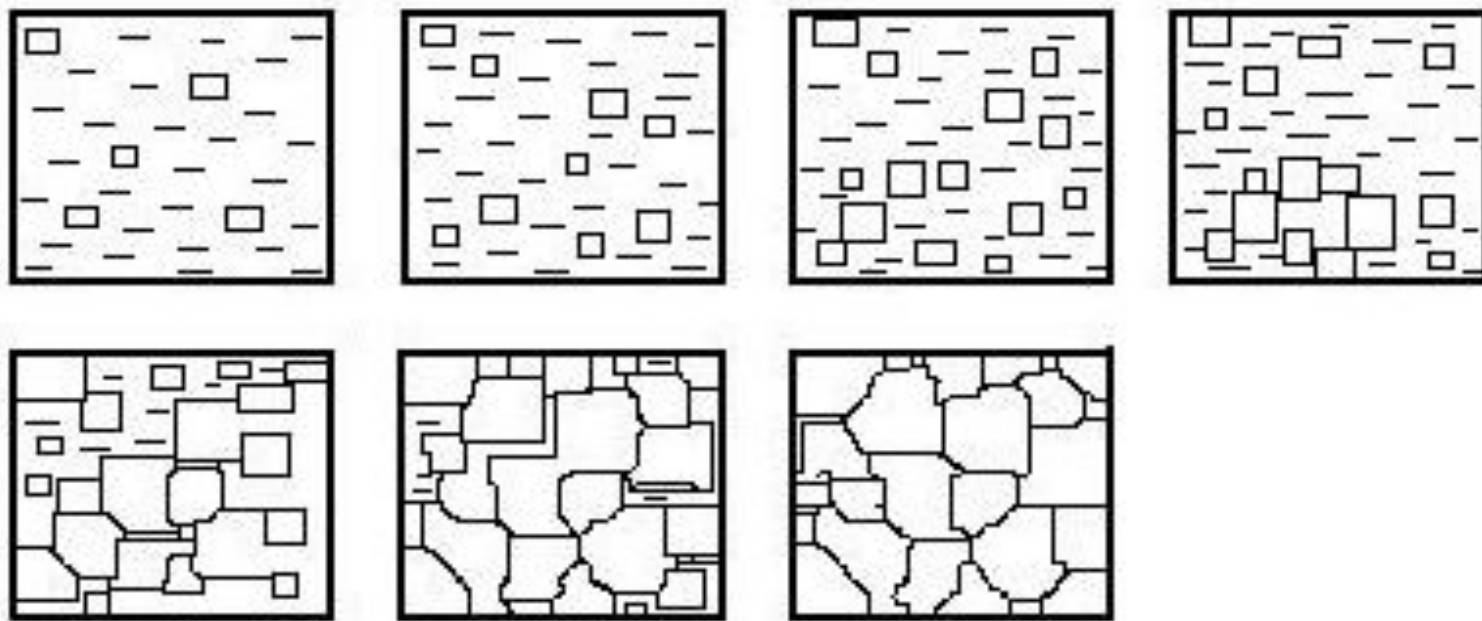


Рис. 4. Схема процесса кристаллизации металла.

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 **α , β , γ , δ** и т. д., причем **α** соответствует модификации, существующей **при наиболее низкой температуре.**
- Полиморфизм характерен для **железа, олова, кобальта, марганца, титана** и некоторых других металлов.

Полиморфизм железа

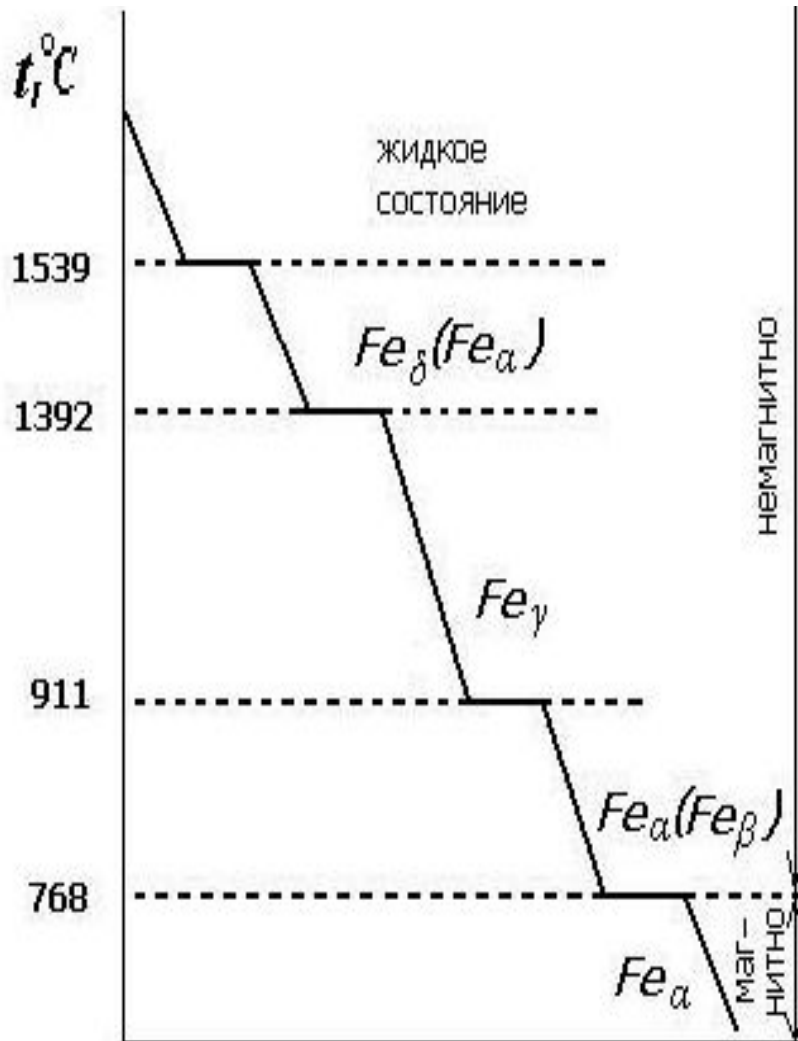


Рис.5 Кривая охлаждения железа.

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

До 911°C устойчиво Fe_α , имеющее кубическую объемноцентрированную решетку.

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

При $1392\dots1539^\circ\text{C}$ вновь устойчиво Fe_α . Часто высокотемпературную модификацию Fe_α обозначают Fe_δ .

До 768°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

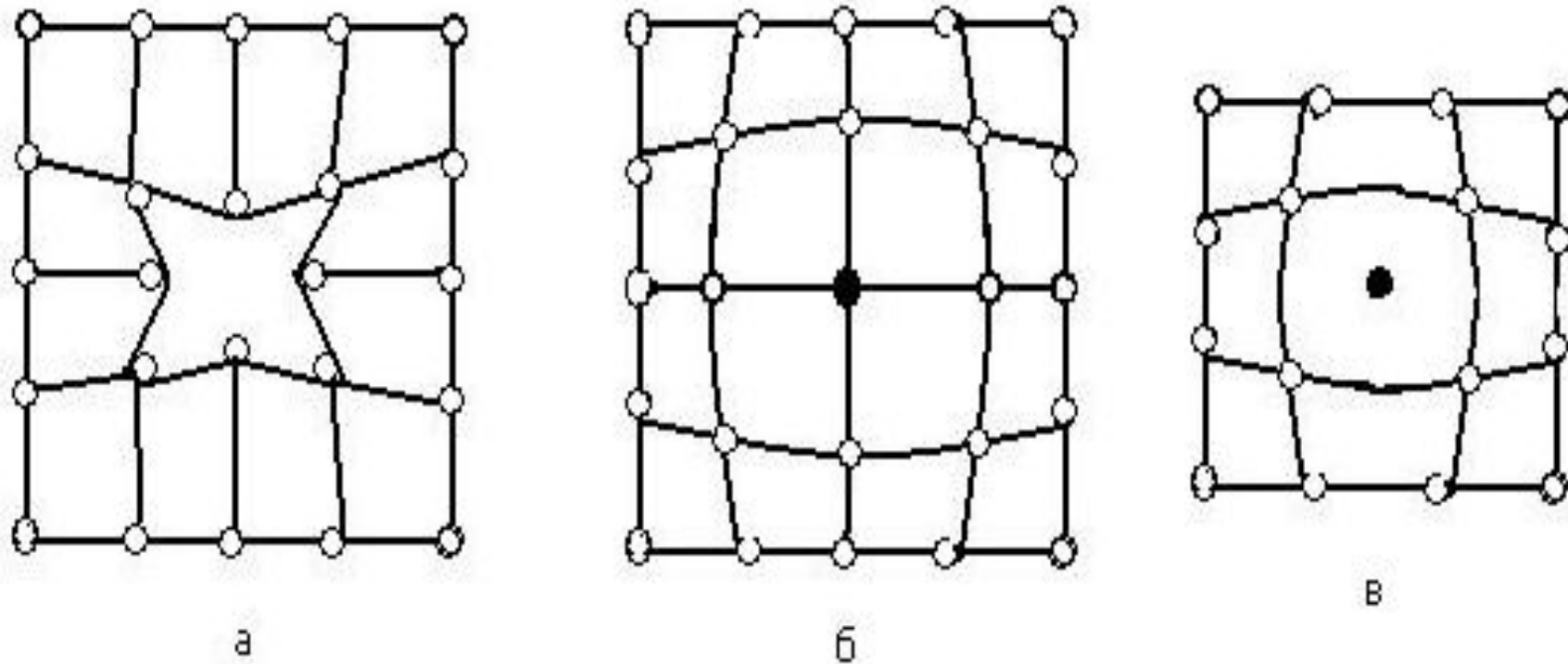


Рис. 6 Схемы точечных дефектов в кристаллах.

Линейные и поверхностные дефекты

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

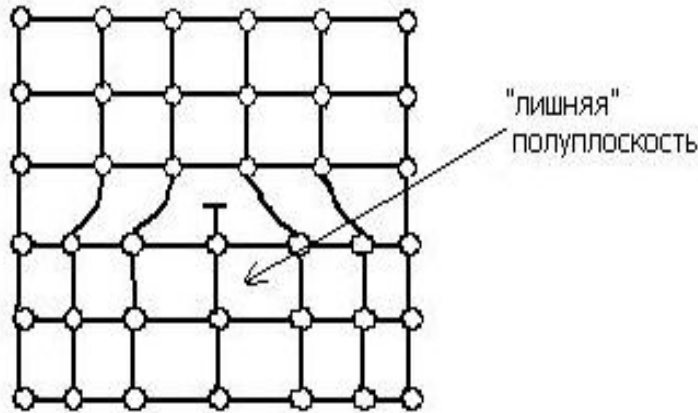


Рис.7 Схема краевой дислокации.

- 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.