

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И
РЕЧНОГО ФЛОТА ИМ. С.О. МАКАРОВА**

**КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ И
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ»**

**АТОМНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ.
СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Составители: к.т.н., профессор кафедры Кузьмин А.А.,
к.т.н., доцент кафедры Богданова Н.В.**

Материаловедение и технология конструкционных материалов

Материаловедение это наука, изучающая

- строение и свойства конструктивных материалов

- связь между их составом, строением и свойствами

Конструкционные материалы – это материалы:

используемые для изготовления конструкций и деталей машин

удовлетворяющие
•механическим,
•физико-химическим,
•эксплуатационным и
•технологическим свойствам

технология конструкционных материалов это наука, изучающая

- способы получения машиностроительных материалов

- способы переработки получаемых материалов в заготовки и детали, необходимые в современном машиностроительном производстве

Производство чугуна

Производство стали, разливка

Прокатное производство

Сортовой, листовой прокат

Сортовой, листовой прокат

Литье

Сварка

Ковка, штамповка

Обработка резанием

Предварительная ТО

Заготовки

Обработка резанием

Обработка резанием

Окончательная ТО

ДЕТАЛИ

Классификация материалов

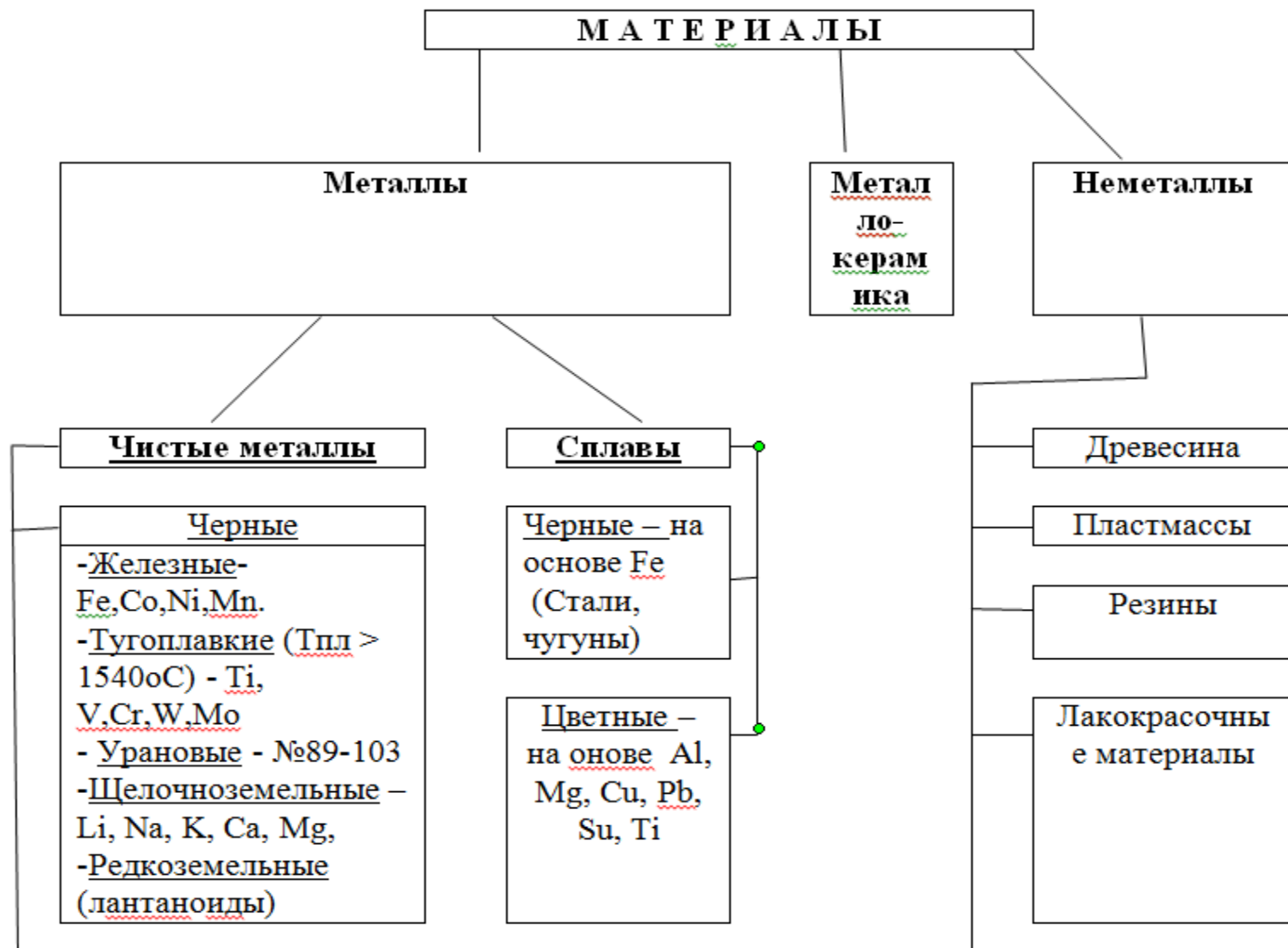


ВВЕДЕНИЕ. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, КАК НАУКА

- **Материаловедение** – основа для технологических дисциплин многих специальностей.
- **Материаловедение**, как наука, изучает взаимосвязь между строением и свойствами материалов (металлических, неметаллических, композиционных)
- **Металловедение** - наука, изучающая строение и свойства металлов и устанавливающая связь между их составом, строением и свойствами.

- **Литература.**
- Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для студ. высш. учеб. заведений; под ред. В.Б. Арзамасова: – М.: Изд. центр «Академия», 2011. – 448с.
- Солнцев Ю.П. Материаловедение специальных отраслей машиностроения – СПб.: Химиздат, 2007. – 784 с.
- Материаловедение и технология металлов. Учебник для студентов машиностроительных вузов / Г.П. Фетисов, М.Г.Кариман, В.М. Матюнин и др. Под редакцией Фетисова Г.П., высшая школа, 2000 г
- Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений – 3-е изд., перераб. и доп. – М., Машиностроение, 1990 – 528 с.
- Гуляев А.П. Металловедение. М., металлургия, 1986 г
- Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка. М., Металлургия, 1983 г
- Кузьмин А.А., Лопарев Ю.К. Железоуглеродистые сплавы: учебное пособие – 2-е изд., доп. – СПб.: СПГУВК, 2007. – 97 с.
- Технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов / Под ред. М.А. Шатерина.– СПб.: Политехника, 2005.– 597 с.: ил.
- Материаловедение: Учеб. для высш. техн. уч. зав./ Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М., Машиностроение, 1986, 384 с.
- Конструкционные материалы. Справочник / Под ред. Арзамасова Б.Н. – М., Машиностроение, 1990, 688 с.
- Силенко В.Н. Электротехнические материалы и их применение на водном транспорте: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 1995.– 335 с.

Классификация материалов



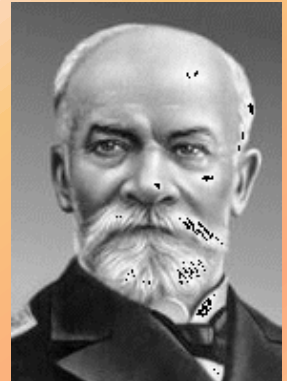
Исторический обзор

У истоков металловедения стояли два крупных российских ученых: Павел Петрович Амосов и Дмитрий Константинович Чернов.

Павел Петрович Амосов стал основоположником методов макроскопического и микроскопического исследований структуры. В 1840г. им был создан специальный металлографический микроскоп для исследований микроструктуры металлов. Этот микроскоп, в отличие от биологического, работает с отраженными от поверхности лучами света. Занимался созданием высококачественной **легированной стали**, также ему принадлежит разработка процесса **газовой цементации**.

Дмитрий Константинович Чернов (1839-1921) установил, что при изменении температуры сталь меняет свои свойства и проходит **полиморфические превращения**. Заложил научные **основы термообработки**, установил оптимальные температурные интервалы проведения процессов **ковки**. Д.К.Чернов провел огромную работу по **изучению строения стальных слитков**, ему принадлежат основополагающие идеи изучения процессов **кристаллизации сплавов**.

Работы Амосова П. П., Чернова Д. К. легли в основу производства стальной **брони**



Александр Павлович Гуляев (1908 - 1998), более 40 лет являлся главным редактором журнала «МиТОМ», автор создания «Ассоциации металловедов России», автор 15 книг и 400 статей. Известен всему шахматному миру под именем «Александр Грин» - победитель многих всемирных шахматных олимпиад, шахматный композитор. Автор ряда монографий. Известны его работы о хрупком разрушении стали



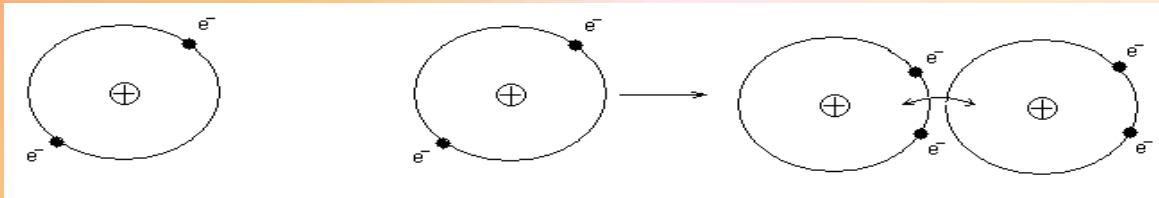
Александр Павлович Гуляев, 90-е годы

Силы взаимодействия атомов и молекул

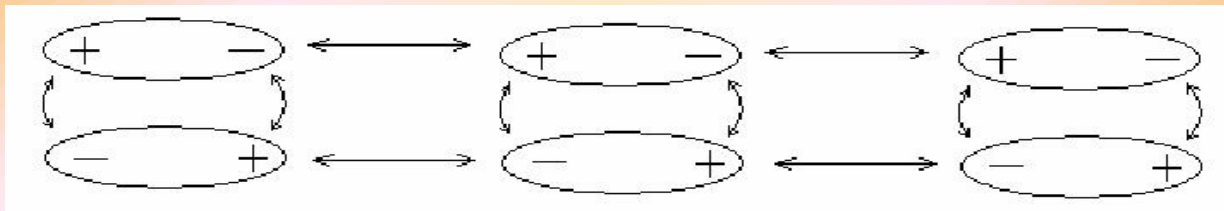
1. Молекулярные силы (Ван-дер-Ваальса) — силы межмолекулярного взаимодействия. Термин обычно применяется к силам, возникающим при поляризации молекул и образовании диполей. Связи Ван-дер-Ваальса слабые, направленные. Представители: вода, окись углерода (жидкости, газы).

Ван-дер-ваальсовое взаимодействие состоит из трех типов слабых взаимодействий:

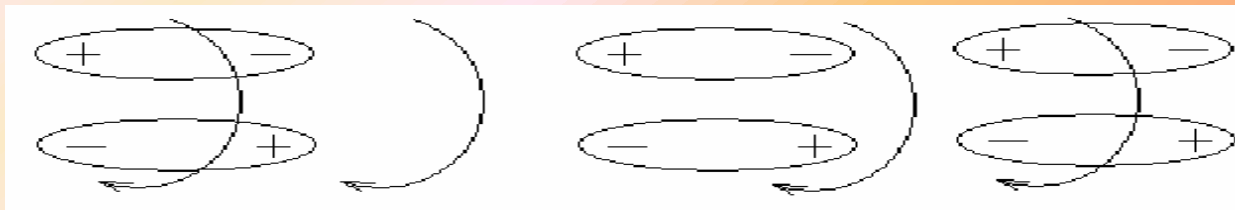
а) **дисперсионное притяжение**: электронное облако 1-го атома смещается в направлении ядра 2-го атома, в результате положительно заряженные ядра оказываются связанными расположенными между ними электроотрицательными электронными облаками;



б) **ориентационное притяжение**: полярные молекулы (имеющие отрицательный и положительный полюса) располагаются как показано на рисунке. Между ними возникают связи, обусловленные электростатическим взаимодействием;



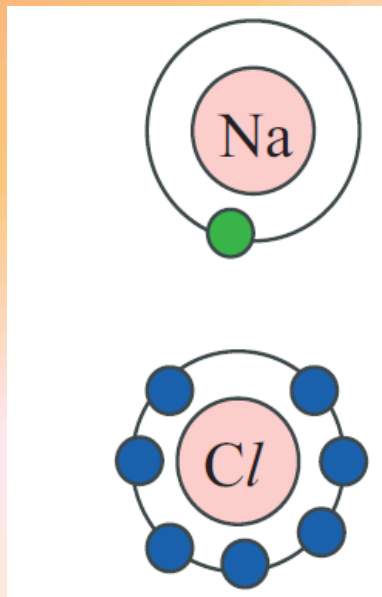
в) **Индукционное притяжение**: электростатическое взаимодействие полярных молекул обуславливает возникновение магнитного поля, которое обеспечивает дополнительный фактор связи.



Силы взаимодействия атомов и молекул

2. Химические силы имеют электрическую природу и возникают в результате коллективизации внешних электронов, соединяющих атомы. Существует три вида химических связей: ионная, ковалентная и металлическая.

2.1. Ионная связь – это один из видов химической связи, в основе которой лежит электростатическое взаимодействие между противоположно заряженными ионами. Возникает между ярко выраженными металлами (щелочными: Na, K) с одной стороны и галогенидами (Cl, I) с другой.



Образование ионной связи удобно рассмотреть на примере соединения NaCl. Атом Na имеет один «лишний» валентный электрон. В то же время, атому Cl, имеющему семь валентных электронов, для образования устойчивой оболочки, «не хватает» одного электрона.

Атом Na передает свой валентный электрон атому Cl, в результате образуется положительный ион Na^+ и отрицательный ион Cl^- , которые притягиваясь, создают ионную связь.

Ионная связь- связь сильная, направленная.
Представители: NaCl, KI.

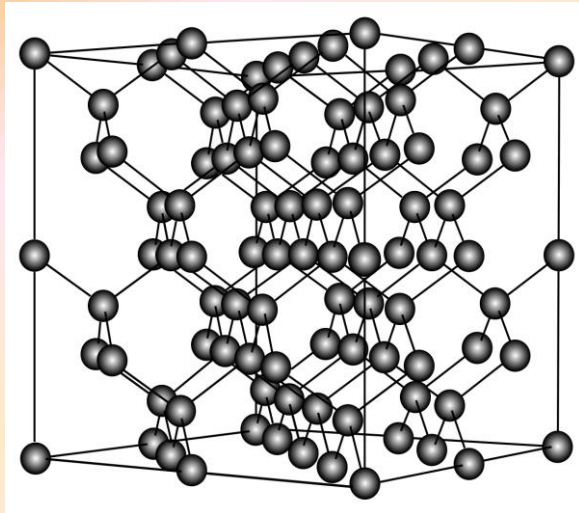
Силы взаимодействия атомов и молекул

2.2.Ковалентная связь - вид химической связи осуществляется парой электронов (по одному электрону от каждого атома), находящихся в общем владении двух атомов, реализующих связь.

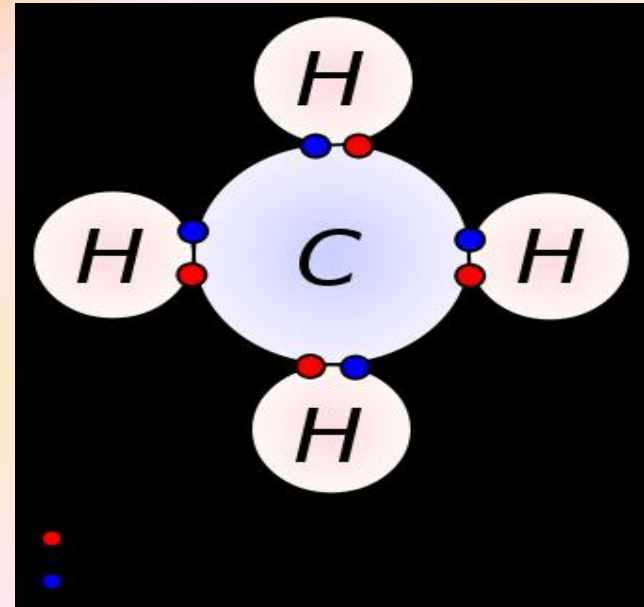
Простой ковалентной связью соединены атомы в молекулах:

- А) простых газов (H_2 , Cl_2 и др.) и
- Б) соединений (H_2O , NH_3 , CH_4 , CO_2 , HCl и др.)

Кристаллы с ковалентной связью являются диэлектриками или полупроводниками



Алмаз

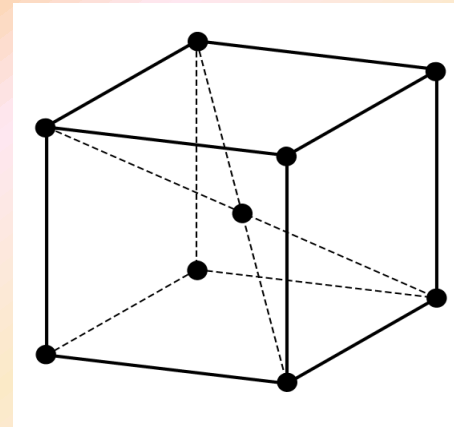


Ковалентная связь на примере молекулы метана: законченные внешние энергетические уровни у водорода (2 электрона) и у углерода (8 электронов).

Типичными примерами кристаллов, атомы в которых соединены между собой ковалентными связями могут служить алмаз, германий и кремний.

Силы взаимодействия атомов и молекул

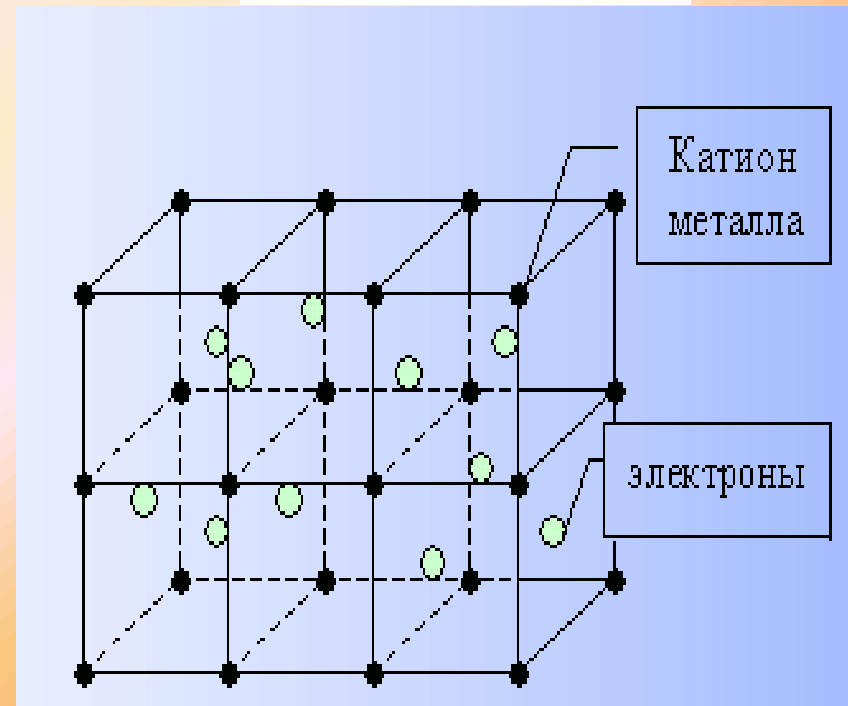
2.3. Металлическая связь, это связь, обусловленная взаимодействием электронного газа (валентные электроны) в металлах с каркасом положительно заряженных ионов кристаллической решетки.



Атомы металла обобществляют свои **внешние валентные электроны**, образуется общее электронное облако, объединяющие каркас из положительно заряженных ионов.

В обобществлении, **в отличие от ковалентной связи**, участвует неограниченное число атомов.

Эта связь сильная, ненаправленная.



Свойства металлов, обусловленные особенностями металлической связи:

- Металлы - кристаллические вещества, обладающие специфическими блеском и пластичностью. Еще М.В. Ломоносов определял металлы, как «светлые тела, которые ковать можно».
- Современное определение: «Металлы - вещества, обладающие высокой тепло- и электропроводностью, ковкостью (пластичностью), блеском и другими свойствами, обусловленными наличием в них большого числа свободно перемещающихся электронов».
- Металлы имеют атомы с незначительно застроенными последними электронными оболочками. Валентные электроны легко переходят на более высокий энергетический уровень, отрываются от атома и образуют электронный газ.
- Эти электроны принадлежат не одному атому, а всей совокупности атомов и представляют из себя электронный газ, который непрерывно перемещается внутри металла и обуславливает наличие у металлов характерных свойств - электропроводности, теплопроводности и т.д.

Общими для металлов являются следующие свойства:

1. Высокие электро- и теплопроводность (за счет наличия свободных электронов – «электронного газа»)
2. Положительный коэффициент электросопротивления (с повышением температуры, коэффициент электросопротивления растет).
3. Способность испускать электроны при нагреве (термоэлектронная эмиссия).
4. Высокая отражательная способность (металлический блеск)
5. Повышенная способность к пластической деформации

Свойства конструкционных материалов

- **Конструкционные материалы (КМ)** – это материалы, используемые для изготовления конструкций и деталей машин и удовлетворяющие механическим, физико-химическим, эксплуатационным и технологическим свойствам.
- Основные свойства конструкционных материалов подразделяют на физические, химические, механические, технологические и специальные.
- **Физические свойства КМ** - цвет, плотность, Тпл, тепло-электропроводность, тепловое расширение, магнитные свойства
- **Химические свойства** – способность вещества взаимодействовать с другими веществами, в результате чего одни молекулы превращаются в другие.
- **Эксплуатационные свойства** - способность работать в конкретных условиях эксплуатации детали, агрегата, конструкции (например, порог хладноломкости важен для деталей, используемый в условиях Севера, жаропрочность – для турбин, клапанов г/р механизма и т.д.)
- К **специальным свойствам** относятся жаропрочность, жаростойкость, сопротивление коррозии, износостойкость и др.
- **Технологические свойства** – определяют способность металла подвергаться различным видам обработки (литье, давление, резка, гибка, сварка и др). Определяются при помощи различных технологических проб:
- **Механические свойства** - характеристики, определяющие поведение материала под действием внешних нагрузок

Определение технологических свойств

Литейные свойства, жидкотекучесть определяют экспериментально по специальным технологическим пробам, таким как, например, «спиральная проба», «прутковая проба» и др

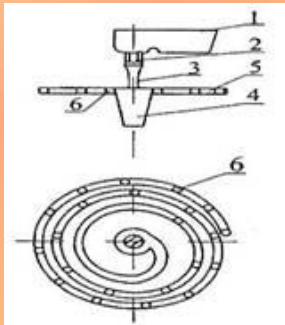


Рис. 5.2. Прутковая проба



Рис. 29. Технологическая проба на загиб

Проба на загиб в холодном и нагретом состоянии (ОСТ 1683) дает возможность установить, может ли металл принимать заданный по размерам и форме загиб

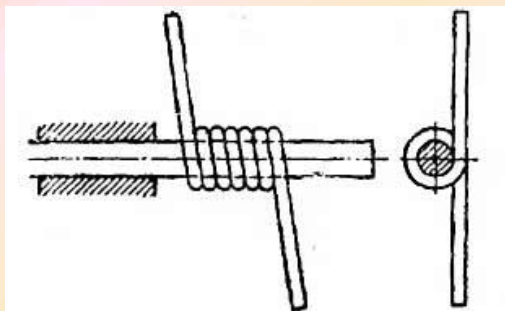


Рис. 34. Проба на навивание проволоки

Проба на навивание проволоки (ОСТ 1695) позволяет определить способность проволоки принимать заданную форму. Кусок проволоки навивают на круглый стержень (оправку) 5-10 витками. Проба на обрабатываемость металла резанием - использование разных режимов резания с последующим сравнением полученной шероховатости с эталонами

Механические свойства конструкционных материалов

Механические свойства – это характеристики, определяющие поведение материала под действием внешних нагрузок

Деформация - изменение размеров и формы тела под действием ' приложенной нагрузки. В общем случае деформация складывается из двух частей: упругой и пластической. Упругая деформация исчезает после снятия вызвавшей ее нагрузки, а пластическая остается.

Механические свойства подразделяются на две группы:

- **прочностные свойства** – характеризуют способность металла сопротивляться деформации и разрушению под действием нагрузки.
- **пластические свойства** – характеризуют способность металла под действием нагрузки изменять форму без разрушений и образования трещин.

Механические свойства определяют с помощью испытаний:

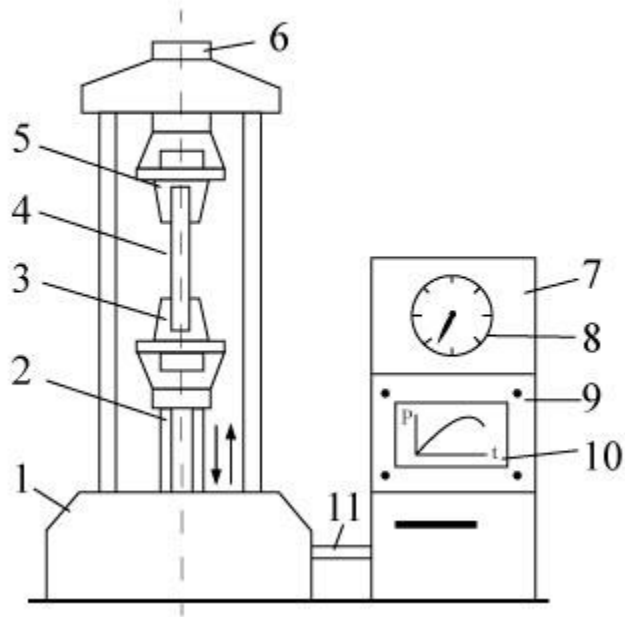
- **статических**, когда нагрузка возрастает медленно – это испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, определение твердости;
- **динамических** (ударных) - испытания на ударную вязкости;
- **при переменных** (циклических) **нагрузках** – испытания на усталостную прочность.

Виды механических характеристик (свойств) конструкционных материалов

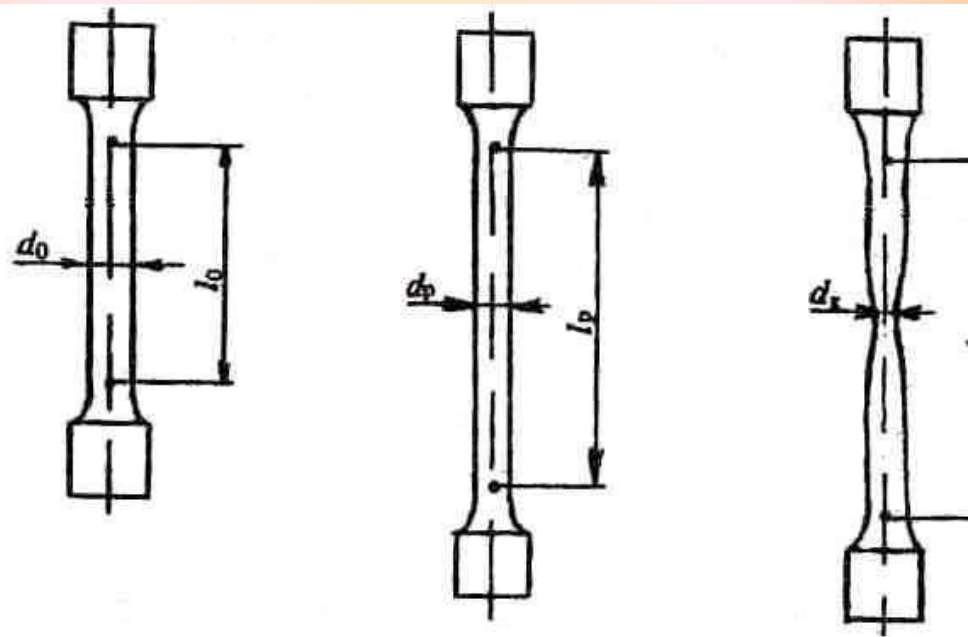
- **Твердость** – сопротивление материала проникновению в него другого более твердого тела.
- **Прочность** – сопротивление материала разрушению при воздействии внешних напряжений.
- **Упругость** – способность материала восстанавливать свои размеры и форму при снятии внешних напряжений. Часто упругость считают элементом прочностной характеристики материала.
- **Пластичность** - способность материала приобретать остаточную (пластическую) деформацию при нагружении, менять размер и форму, не разрушаясь.
- **Вязкость** - это сопротивление материала динамическому, ударному воздействию нагрузки. Динамические испытания на ударный изгиб позволяют выявить склонность стали к хрупкому разрушению.
- **Выносливость** или сопротивление усталости - это способность металла сопротивляться процессу постепенного возникновения и развития трещин под влиянием многократных повторных силовых воздействий, величина которых намного меньше предельной прочностной нагрузки, за счет чего при таком разрушении не возникает видимой пластической деформации.

Определение прочности и пластичности

Прочность, пластичность и упругость определяются при испытании металлов на растяжение согласно ГОСТ 1497-84. Испытания выполняют на разрывных машинах различных конструкций, соответствующих требованиям ГОСТ 7855-84, на образцах плоской или круглой формы



1-фундамент машины; 2 - винт грузовой; 3 - нижний захват (активный); 4 - образец; 5 - верхний захват (пассивный); 6 - силоизмерительный датчик; 7 - пульт управления с электроприводной аппаратурой; 8 - индикатор нагрузок; 9 - рукоятки управления; 10 - диаграммный механизм; 11- кабель.



l_0 и d_0 – начальные длина и диаметр;

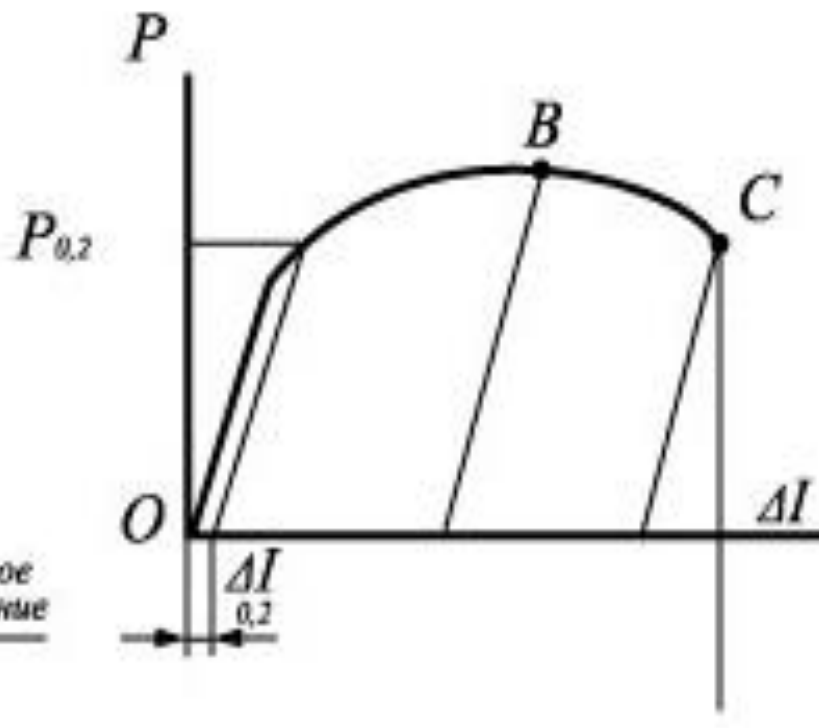
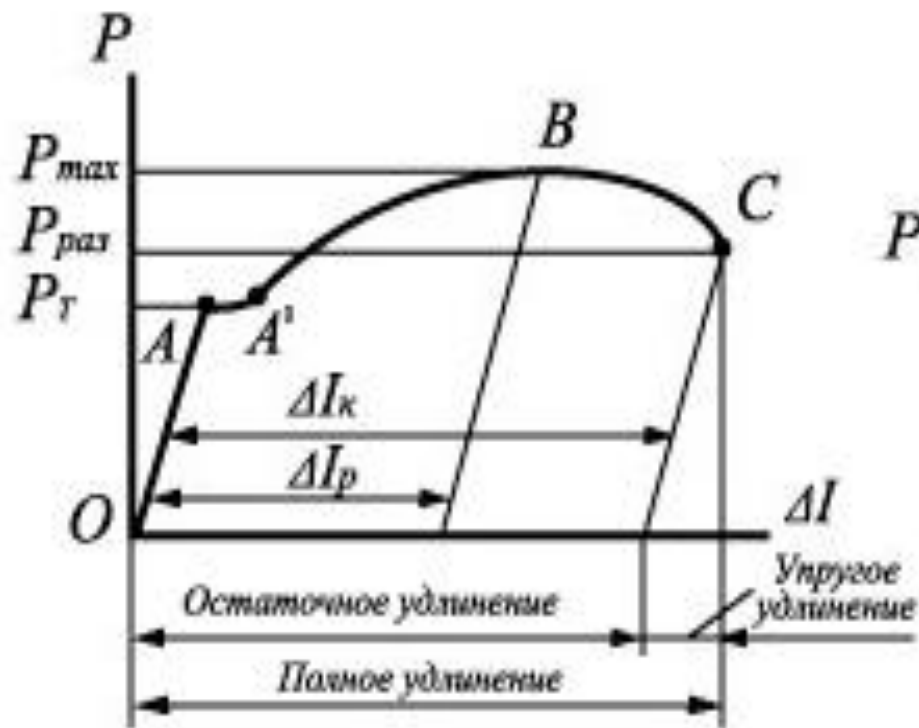
l_p и d_p – длина и диаметр образца в области равномерной деформации;

l_k и d_k – конечная длина и минимальный диаметр образца в месте разрыва.

Определение прочности и пластичности. Первичная (машинная) диаграмма растяжения

По результатам испытаний машина записывает диаграмму растяжения.

По оси абсцисс откладывается абсолютное удлинение образца ($l_0 - l_k$) в мм, по оси ординат - приложенная к нему нагрузка (P) в Н

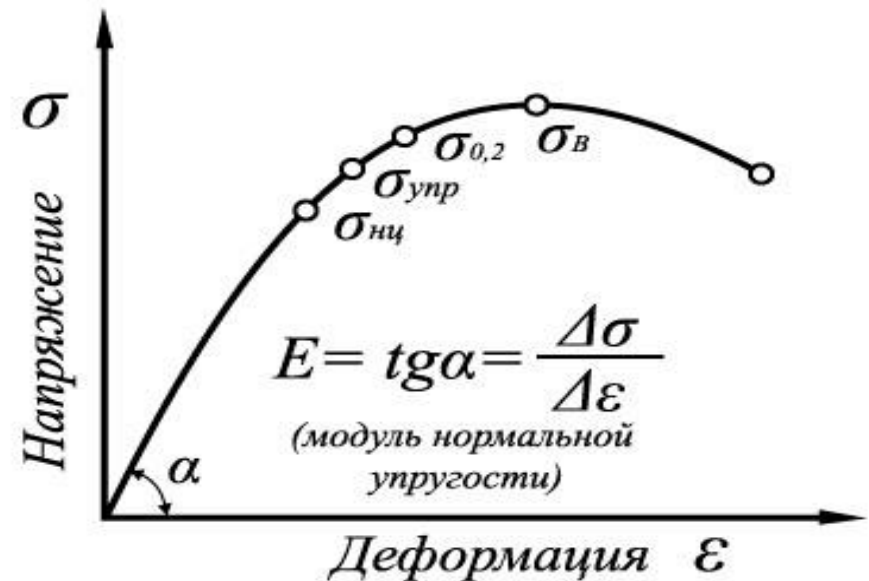
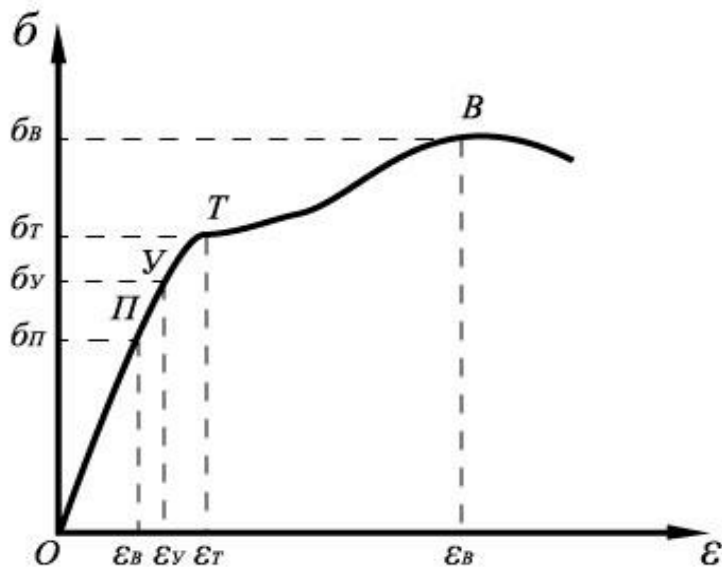


Определение прочности и пластичности. Условная диаграмма растяжения

Чтобы исключить влияние размеров образцов, от «первичной машинной» диаграммы переходят к «условной» в координатах «напряжение σ - относительная деформация или относительное удлинение ε », которые определяют по формулам:

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \text{ МПА}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Где: F_0 исходное первоначальное сечение образца, мм²; l_0 исходная первоначальная длина образца, мм; P – нагрузка, Н; Δl - абсолютное удлинение, мм ($l_k - l_0$)



Прочностные свойства

- По условной диаграмме растяжения « $\sigma - \varepsilon$ » определяются следующие прочностные характеристики:
- **1. Предел пропорциональности σ_p** - величина напряжения, соответствующая началу отклонения кривой от линейного хода (от закона Гука: $\sigma = E\varepsilon$) (или максимальное напряжение, до которого деформация пропорциональна напряжению);
- **2. Предел упругости** – напряжение, соответствующее появлению остаточных деформаций определенной заданной величины (0,01%; 0,03%; 0,05%), причем допуск на остаточную деформацию указывается в индексе ($\sigma_{0,05}$).
- **3. Предел текучести σ_t** (физический) – наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки (соответствует наименьшему напряжению площадки текучести)
- Если площадка текучести отсутствует на диаграмме, то определяется **предел текучести условный**, соответствующий остаточной деформации, составляющей 0,2% первоначальной длины образца - $\sigma_{0,2}$.
- **4. Предел прочности или временное сопротивление разрыву σ_B** – напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.
- **5. Истинное сопротивление разрушению $\sigma_{и}$** - напряжение, соответствующее нагрузке $P_{раз}$ (рис.3а), в момент разрыва образца.

Пластические свойства

Относительное удлинение после разрыва представляет собой отношение приращения расчетной длины образца к его первоначальной длине, выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100$$

где l_0 и l_k - первоначальная и конечная (после разрушения) длина образца.

Относительное сужение после разрыва Ψ представляет собой отношение уменьшения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к начальной площади сечения образца:

$$\psi = \frac{(F_0 - F_k)}{F_0} \cdot 100$$

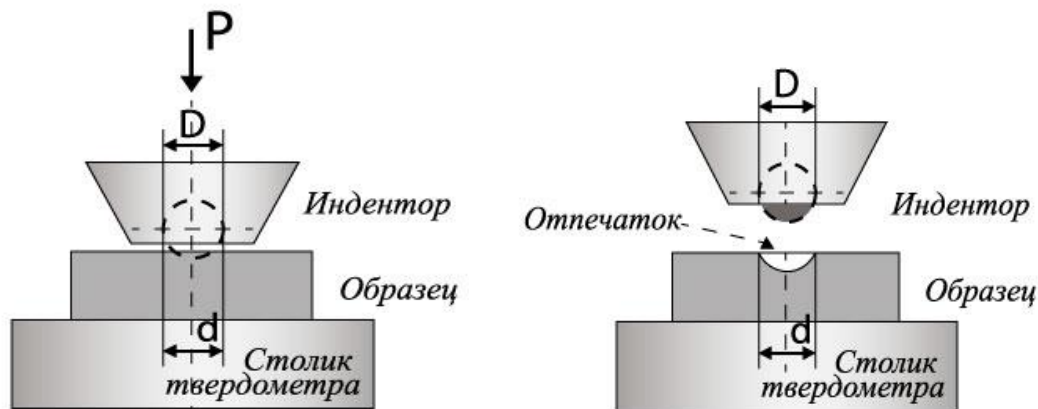
где F_0 - первоначальная площадь поперечного сечения образца; F_k - конечная (после разрушения) площадь поперечного сечения образца в месте разрушения.

Определение твердости. Твердость по Бринеллю

- **Твердость** - свойство материала оказывать сопротивление пластической деформации при контактном воздействии нагрузки (способность металла сопротивляться проникновению в него посторонних тел).

Испытание твердости по Бринеллю

- Метод заключается во вдавливании стального шарика диаметром D в поверхность образца под действием нагрузки P , приложенной в течение определенного времени. После снятия нагрузки измеряют диаметр отпечатка d , остающийся на поверхности образца
- Индентор – стальной закаленный шарик диаметром D (2,5; 5 или 10 мм), нагрузка P - от 49,03 до 29420,0 Н (5 кг...3 тн), время выдержки под нагрузкой 10, 30, 60 или 180 сек, глубину отпечатка обозначают h , мм, а диаметр - d , мм.

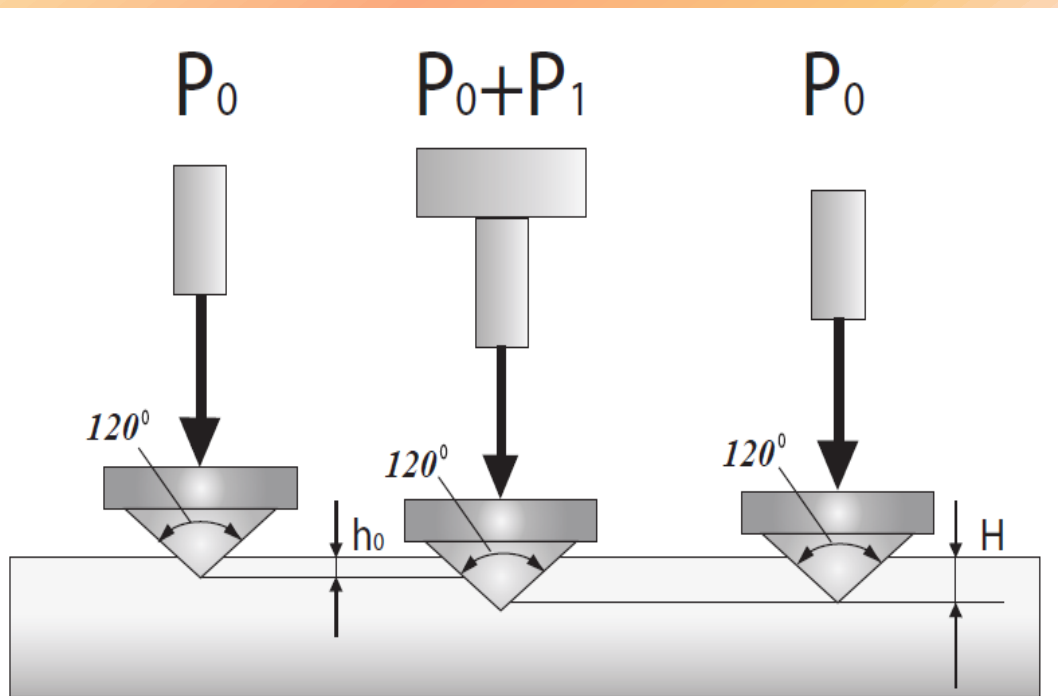


$$HB = \frac{P}{F_{отп}} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

150HB 5/2452/10

150 HB

Испытание твердости по Роквеллу



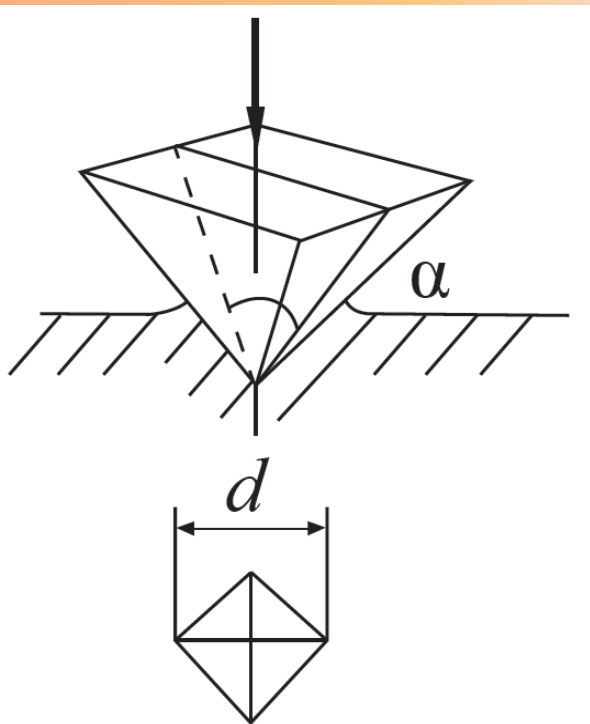
Испытание твердости по Роквеллу согласно ГОСТ 9013-59 производят вдавливанием в испытуемый образец (изделие) алмазного конуса с углом при вершине $\alpha = 120^\circ$ или стального закаленного шарика диаметром 1,5875 мм

Разность $(H - h_0)$ представляет разность глубин погружения индентора (в миллиметрах) после снятия основной нагрузки и до её приложения (при предварительном нагружении).

Обозначения		Тип индентора	Нагрузка, кг		Рекомендуемые пределы измерений по Роквеллу	Расчетная формула
Шкалы	чисел твердости		Предварительная	Окончательная		
A	HRA	Алмазный конус	10	60	70-85	$100 - (H - h_0) / 0,002$
C	HRC		10	150	20-67	
B	HRB	Стальной шарик	10	100	25-100	$130 - (H - h_0) / 0,002$

Испытание твердости по Виккерсу

Измерение твердости по Виккерсу производится алмазной пирамидой с углом при вершине $\alpha = 136^\circ$ в соответствии с ГОСТ 2999-75 (рис. 7). Для испытания применяют нагрузку P (от 9,807 до 980,7), Н.



Твердость по методу Виккерса определяют делением нагрузки на общую площадь боковой поверхности пирамидального отпечатка.

Практически твердость по Виккерсу HV определяют по диагоналям (d_1) отпечатка с помощью специальных таблиц.

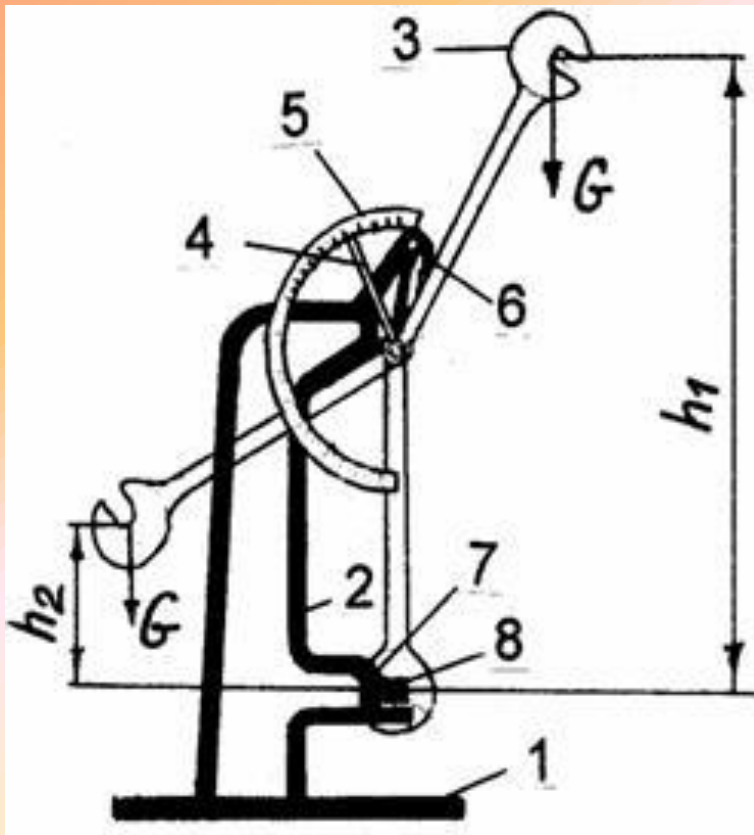
Метод Бринелля, а также метод Роквелла (шкала В) применяют для оценки твердости мягких материалов,

Метод Роквелла (шкалы А и С) для определения твердости сверхтвердых и твердых материалов.

Метод Виккерса - для оценки твердости любых материалов, а также поверхностно упрочненных изделий.

Определение ударной вязкости

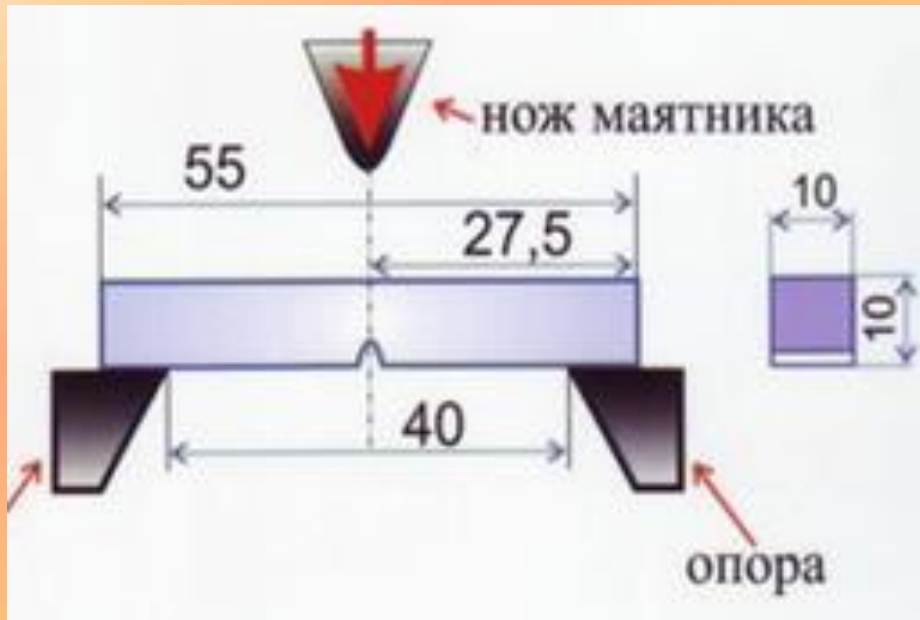
- **Ударная вязкость** – способность материала поглощать энергию при ударе за счет пластического деформирования
- Испытание стандартных образцов ГОСТ 9454-78 с надрезом различной формы (U, V, Y) осуществляется на специальных приборах - маятниковых копрах ГОСТ 10708-82. Разрушение образца осуществляется маятником, свободно качающимся на опорах и имеющим нож определенной формы и соответствующих размеров.



Копер состоит из массивного основания 1 с двумя вертикальными стойками 2. К верхней части этих стоек на горизонтальной оси подвешен маятник 3, представляющий собой плоский стальной диск с вырезом.

Кроме того, на оси маятника установлена стрелка 4, напротив которой к стойке 2 прикреплена шкала 5 для отсчета затрат энергии на разрушение образца. Для фиксации маятника в исходном верхнем положении предусмотрена защелка 6.

Определение ударной вязкости



Ударную вязкость обозначают символом КС, МДж/м², и рассчитывают как отношение работы разрушения образца (К) к площади его поперечного сечения в месте надреза до испытания (F):

$$КС = K/F \text{ (МДжм}^2\text{)}$$

Работу разрушения (К) определяют по формуле:

$$K=G(h_1-h_2),$$

где G - масса маятника; h₁ - высота подъема маятника до испытаний; h₂ - высота подъема маятника после испытаний

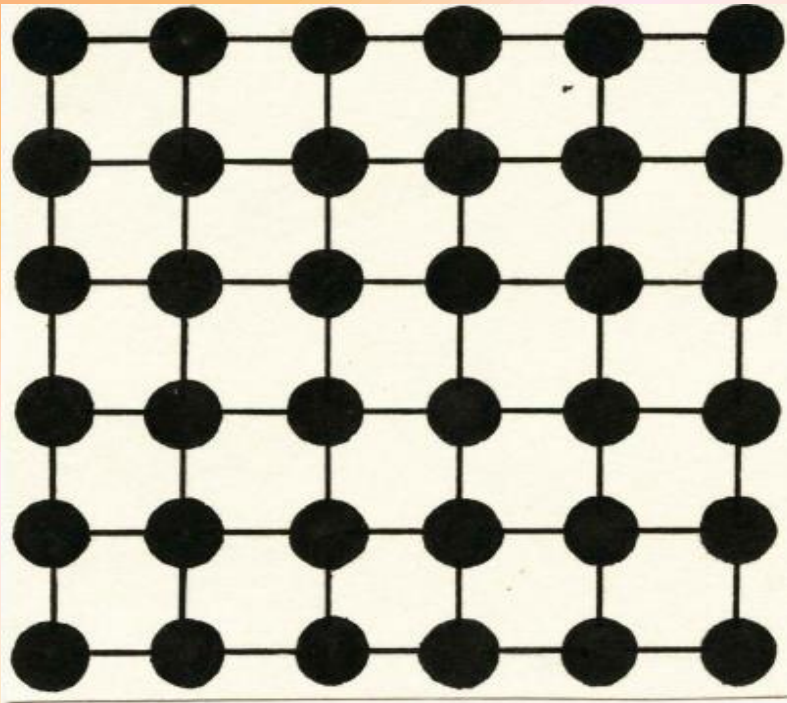
В зависимости от вида концентратора ударную вязкость обозначают КС_U, КС_V, КС_T, а работу удара - К_U, К_V, К_T.

Атомно-кристаллическое строение металлов.

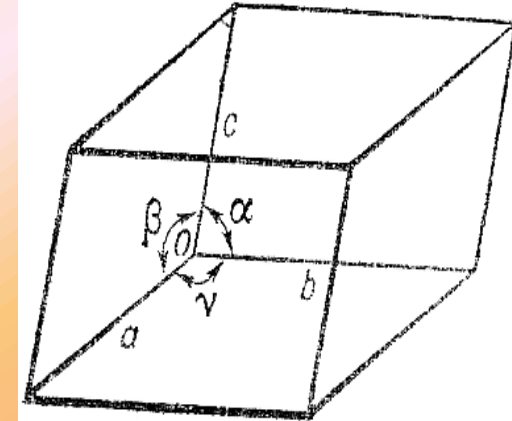
Кристаллическая решетка

Атомно-кристаллическая структура – это взаимное расположение атомов, существующее в кристалле. Атомы в кристалле расположены в определенном порядке, который периодически повторяется в трех измерениях. Для описания атомно-кристаллической структуры пользуются понятием пространственной или кристаллической решетки.

Кристаллическая решетка – это воображаемая правильная пространственная сетка, в узлах которой находятся атомы (ионы), образующие кристалл. Решетку можно представить как бесконечное повторение во все стороны одинаковых элементарных ячеек.

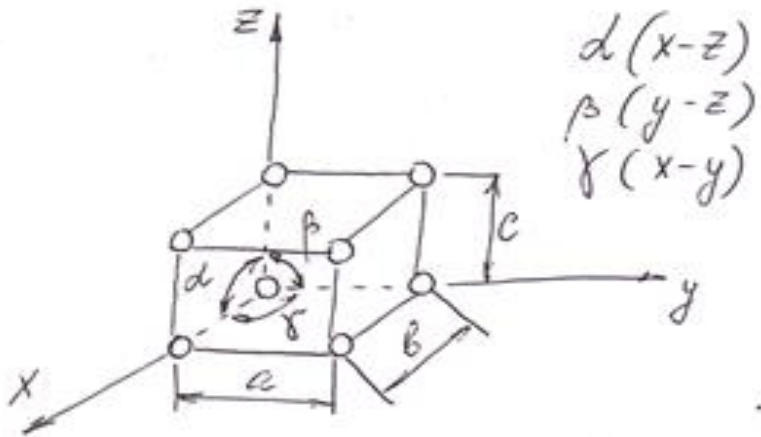


Элементарная ячейка (ЭЯ) кристаллической решетки – кристаллической решетки – минимальный геометрический объем кристаллической решетки, дающий представление об атомной структуре кристалла в любом объеме

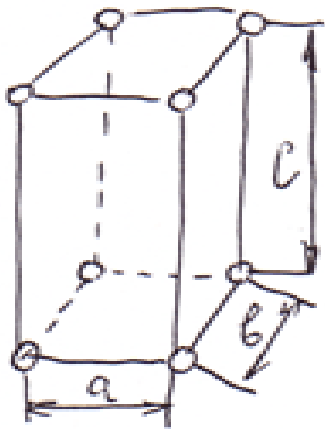
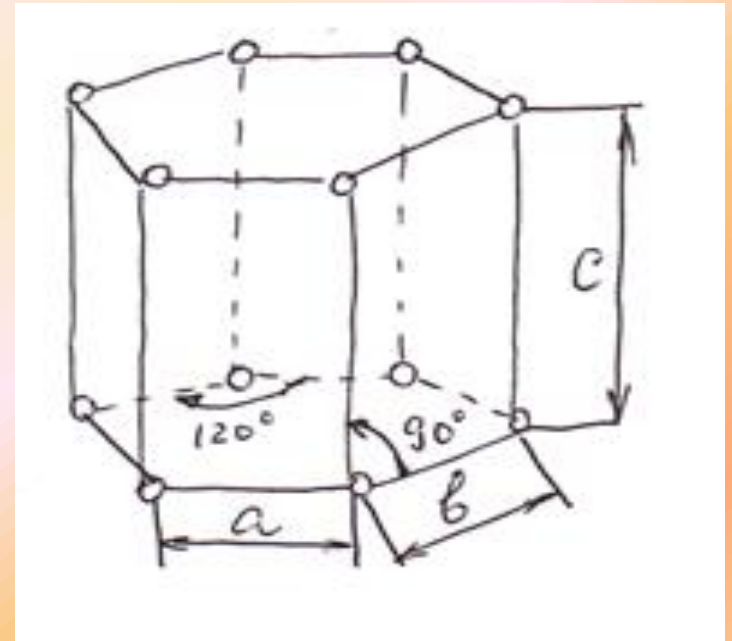


Элементарные ячейки подразделяются на **простые и сложные**. В **простых ячейках** атомы расположены только в вершинах ЭЯ
Каждая ЭЯ характеризуется шестью параметрами (или периодами): **a, b, c** – длины ребер ЭЯ, **альфа, бета, гамма** - углы между ребрами

Параметры простых элементарных ячеек



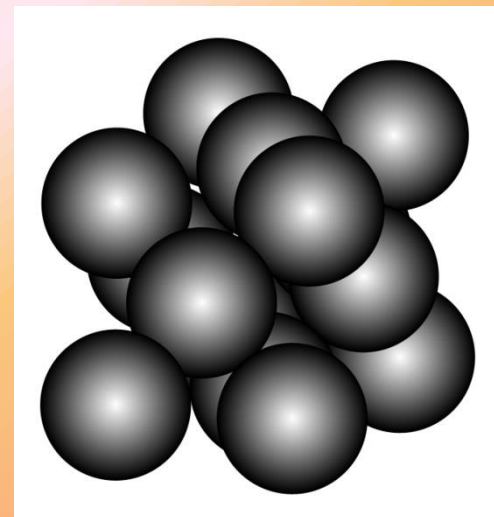
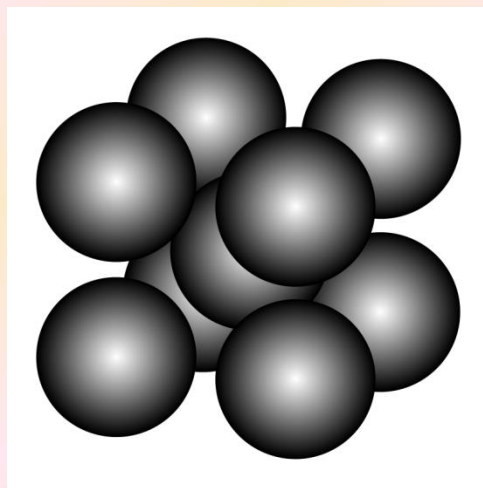
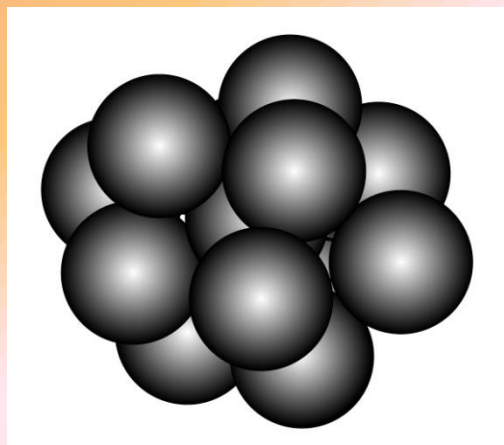
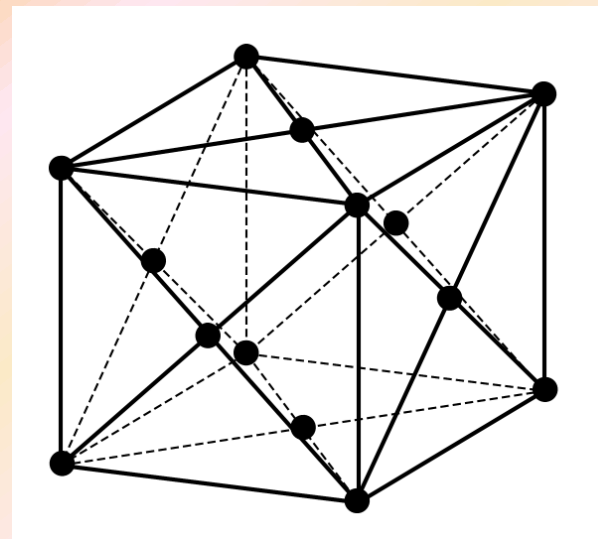
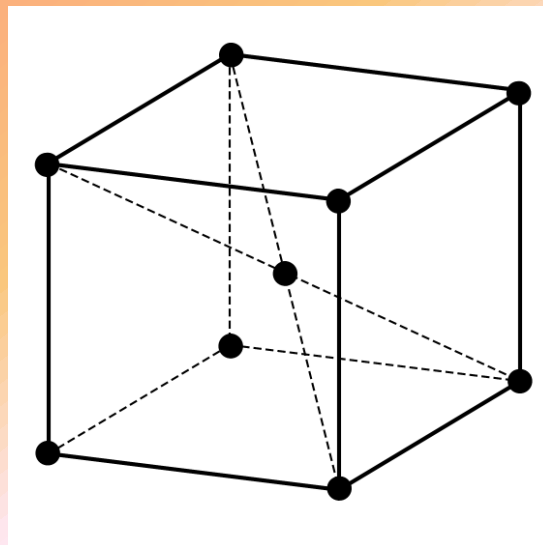
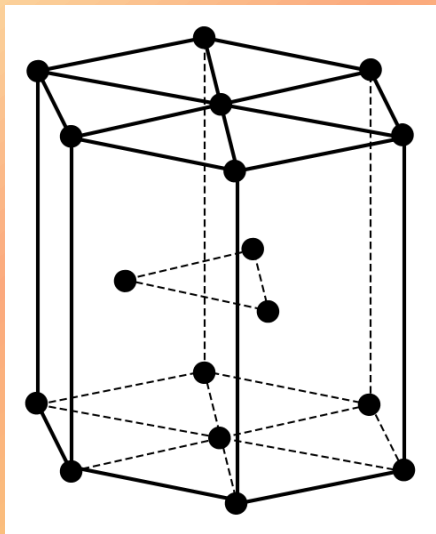
Кубическая
 $a=d=c$
 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$



Тетрагональная
 $a=d \neq c$
 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$

Гексагональная
 $a=d \neq c$
 $\alpha=\beta=90^\circ \gamma=120^\circ$

Типы кристаллических решеток



Гексагональная
Плотнупакованная
(ГПУ)

Объемноцентрированная
Кубическая (ОЦК)

Гранецентрированная
Кубическая (ГЦК)

Параметры кристаллических решеток

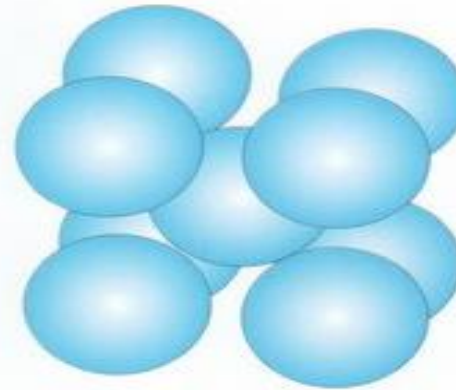
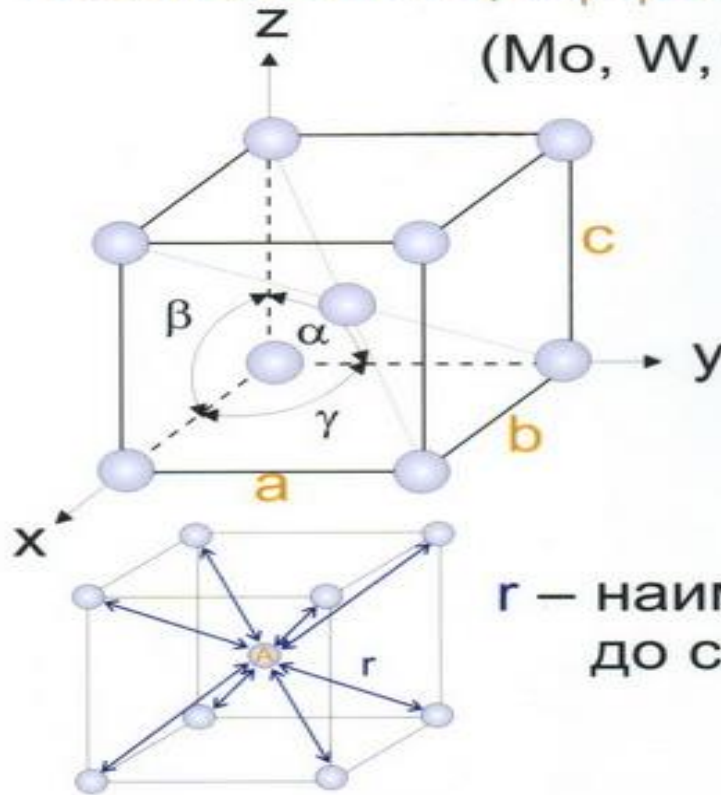
- **Период решетки** – расстояние между параллельными атомными плоскостями, образующими элементарную ячейку.
- **Базис (N)** - количество атомов, принадлежащих одной ЭЯ
- **Координационное число (K)** – число ближайших равноудаленных атомов атомов (число ближайших соседей)
- **Коэффициент компактности (K1)** – отношение объема, занятого атомами к общему объему ячейки $K1 = V_{ат} / V_{яч}$

Тип решетки	Координационное число	Базис N	Коэффициент компактности	Типичные металлы
ОЦК	K8	$1/8 \cdot 8 + 1 = 2$	0,68	K, Na, Cr, W, V, Fe _α , Mo
ГЦК	K12	$1/8 \cdot 8 + 1/2 \cdot 6 = 4$	0,74	Pb, Cu, Pt, Ni, Ag, Au, Fe _γ
ГПУ	Г12	$1/6 \cdot 12 + 1/2 \cdot 2 + 3 = 6$	0,74	Mg, Cd, Zn, Be, Ti _α и др

Параметры ОЦК

Решетка объемноцентрированная кубическая (ОЦК)

(Mo, W, V, Fe_α)



r – наименьшее расстояние до соседних атомов.

Характеристики решетки:

Углы между осями

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Период решетки

$$a = b = c$$

Число атомов на ячейку

$$n = 2$$

Координационное число

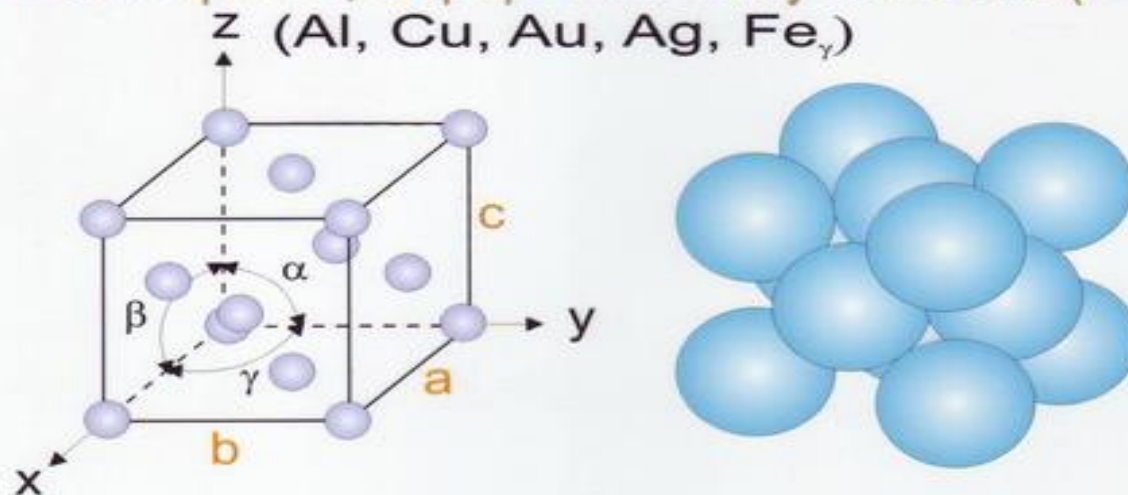
$$Z = 8$$

Коэффициент компактности

$$K = 0,68$$

•Параметры ГЦК

Решетка гранецентрированная кубическая (ГЦК)



r – наименьшее расстояние до соседних атомов.



Характеристики решетки:

Углы между осями

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Период решетки

$$a = b = c$$

Число атомов на ячейку

$$n = 4$$

Координационное число

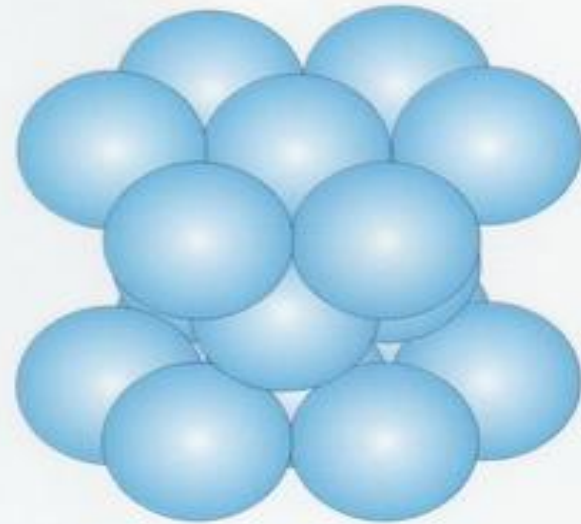
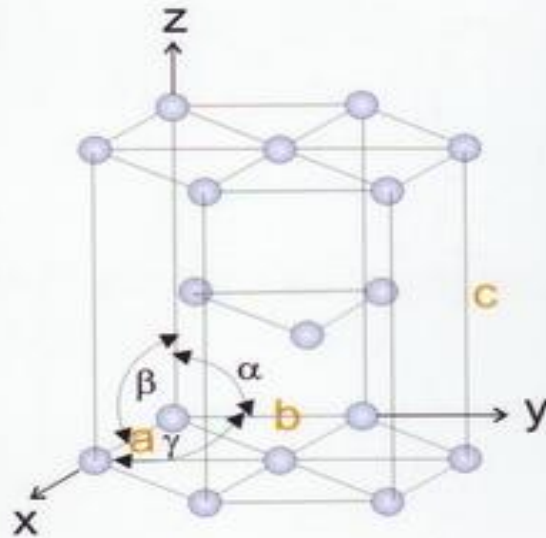
$$Z = 12$$

Коэффициент компактности

$$K = 0,74$$

Параметры ГПУ

Решетка гексагональная плотноупакованная (ГПУ)
(Mg, Co_α , Zn, Ti_α , Cd)



Характеристики решетки:

Углы между осями

Период решетки

Число атомов на ячейку

Координационное число

Коэффициент компактности

$$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$$

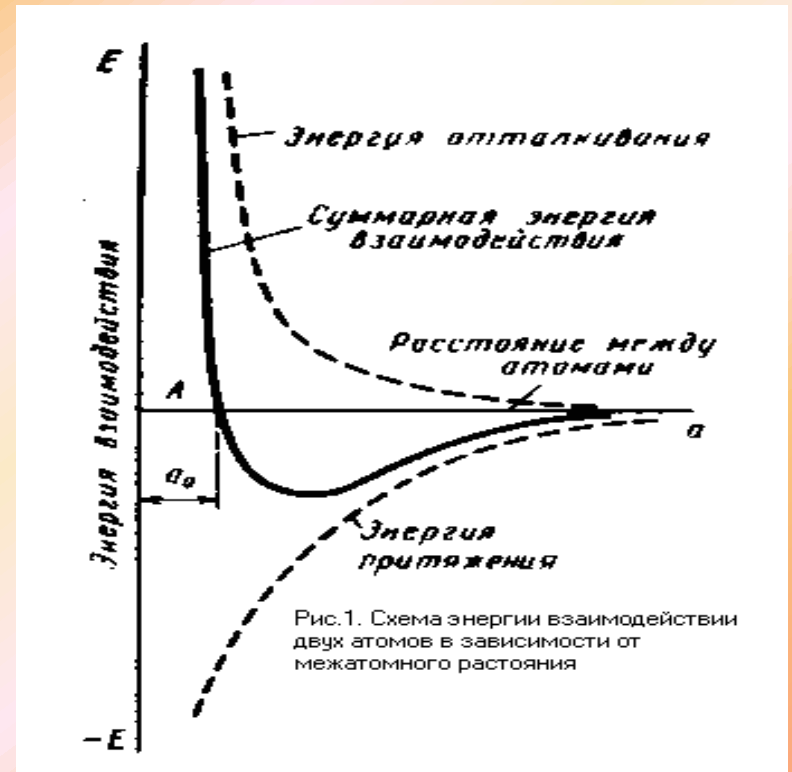
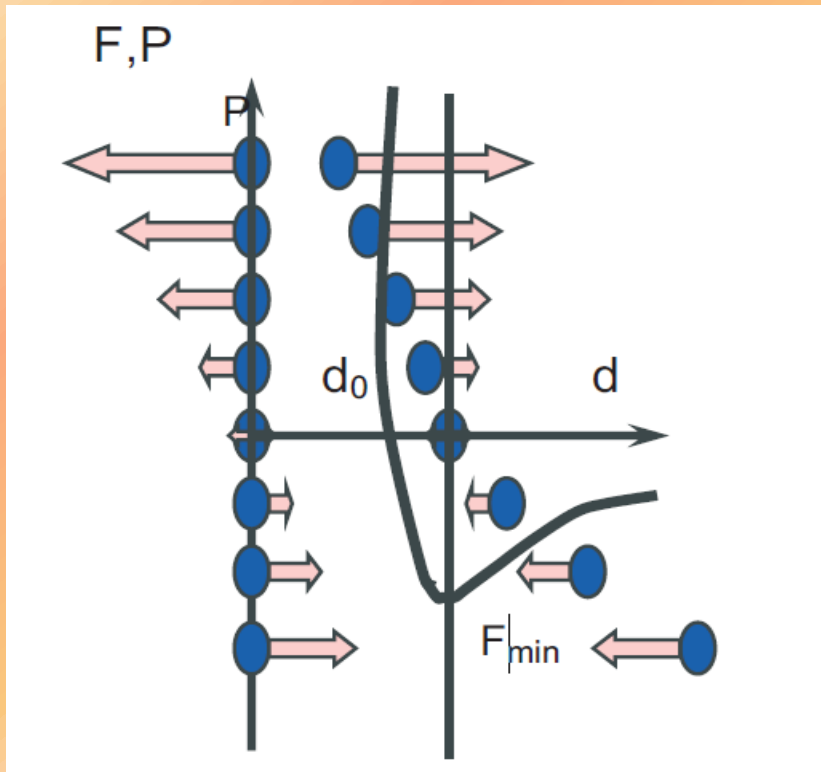
$$a = b \quad c/a = 1,633$$

$$n = 6$$

$$Z = 12$$

$$K = 0,74$$

Взаимодействие межатомных сил.



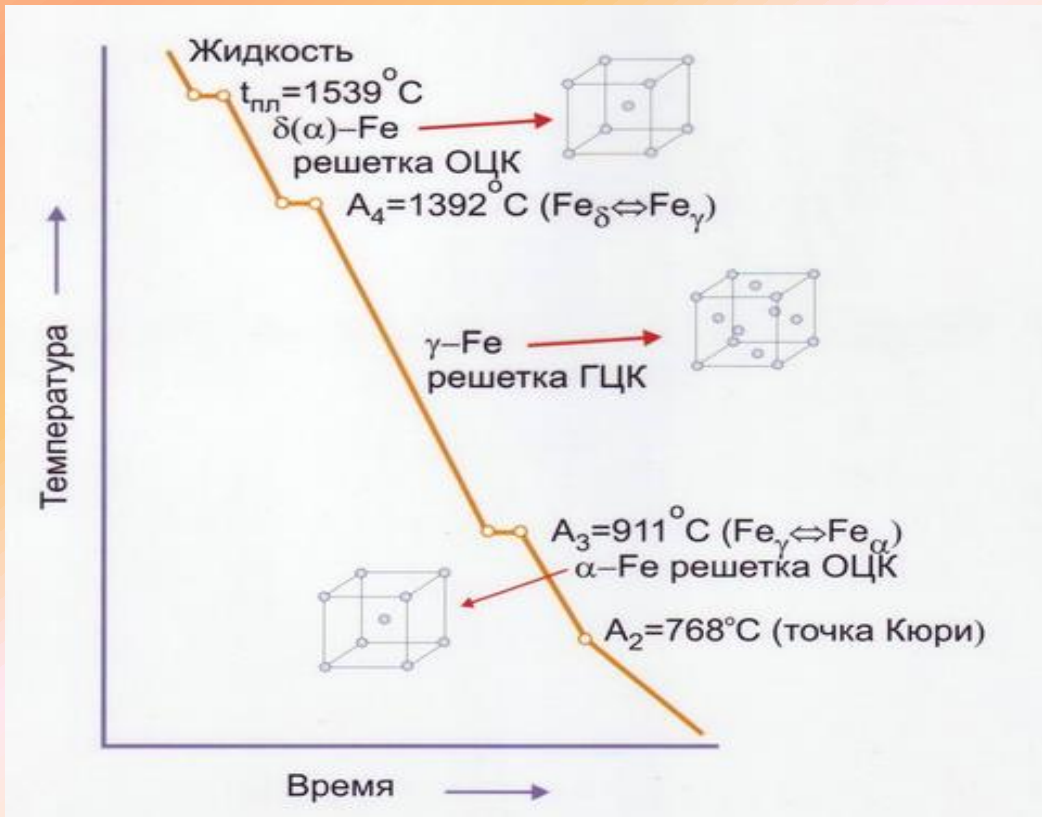
- Атомы в решетке располагаются таким образом, чтобы энергия их взаимодействия была минимальной
- Когда расстояние между частицами уменьшается (рис.6), то интенсивно растут силы отталкивания, при сближении частиц на расстояние равное d_0 , силы отталкивания и притяжения уравниваются, их результирующая равна нулю; при увеличении расстояния между частицами начинают возрастать силы притяжения.
- Расстояние между частицами, равное d_0 , - положение устойчивого равновесия, которому соответствует минимум свободной энергии F

Основные характеристики кристаллов (аллотропия, анизотропия)

Аллотропия (полиморфизм) – свойство кристаллов изменять тип кристаллической решетки при изменении внешних условий (температуры, давления).

Полиморфную модификацию, устойчивую при более низкой температуре, для большинства металлов принято обозначать буквой α , при более высокой температуре β , затем γ и т.д.

Аллотропия (полиморфизм)



Температурный полиморфизм железа. Кривая охлаждения железа

Анизотропия

Анизотропия – зависимость величины свойств от направления в кристаллической решетке. Анизотропия обусловлена различной плотностью упаковки атомов по различным направлениям и плоскостям кристаллической решетки.

Изотропия – независимость свойств от направления в твердом теле

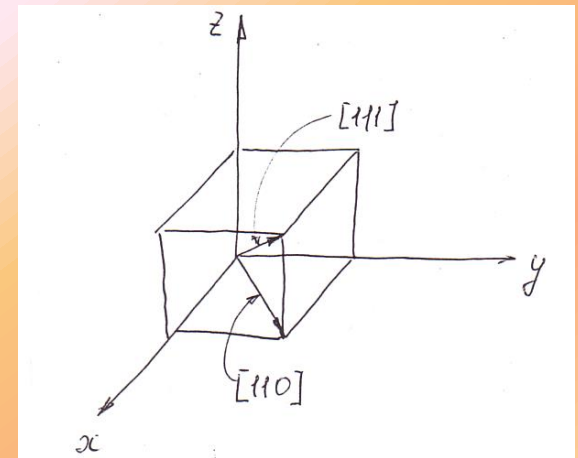
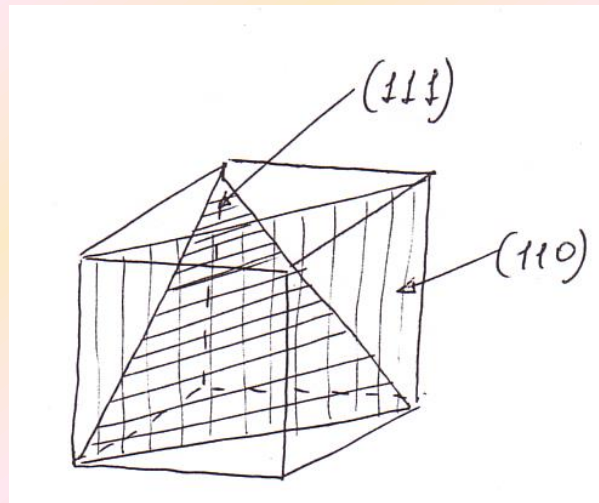
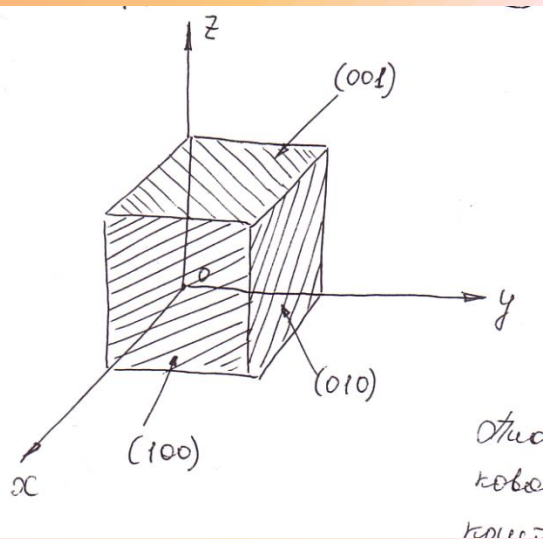
Кристаллографическое обозначение атомных плоскостей и направлений

Для обозначения атомных плоскостей и направлений в качестве единицы измерения используют период решетки.

Индексы Миллера – это величины, обратные длине отрезков, отсекаемых плоскостями на координатных осях. Если отрезок отрицателен, то над цифрой ставят знак «-».

Атомные плоскости обозначают цифрами в круглых скобках.

Индекс направления в решетке – это координаты узла, в который попадает луч, проведенный из начала координат. Его обозначают цифрами в квадратных скобках.

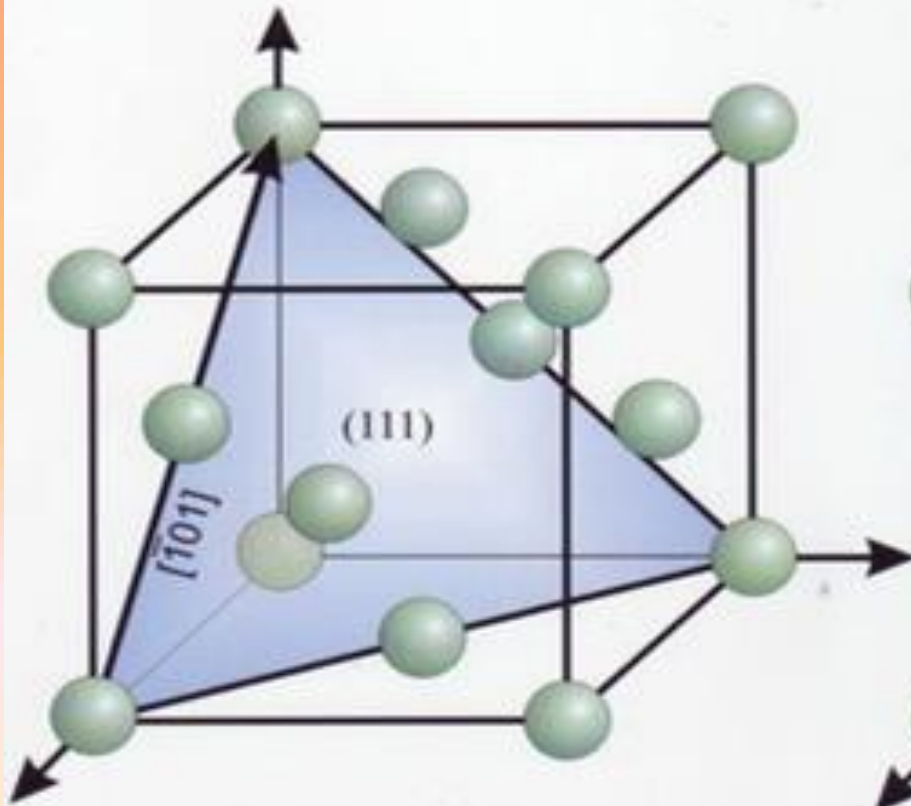


Пример. Плоскости и направления скольжения в решетках ГЦК и ОЦК

Решетка ГЦК (Cu, Al)

Плоскости скольжения - $\{111\}$

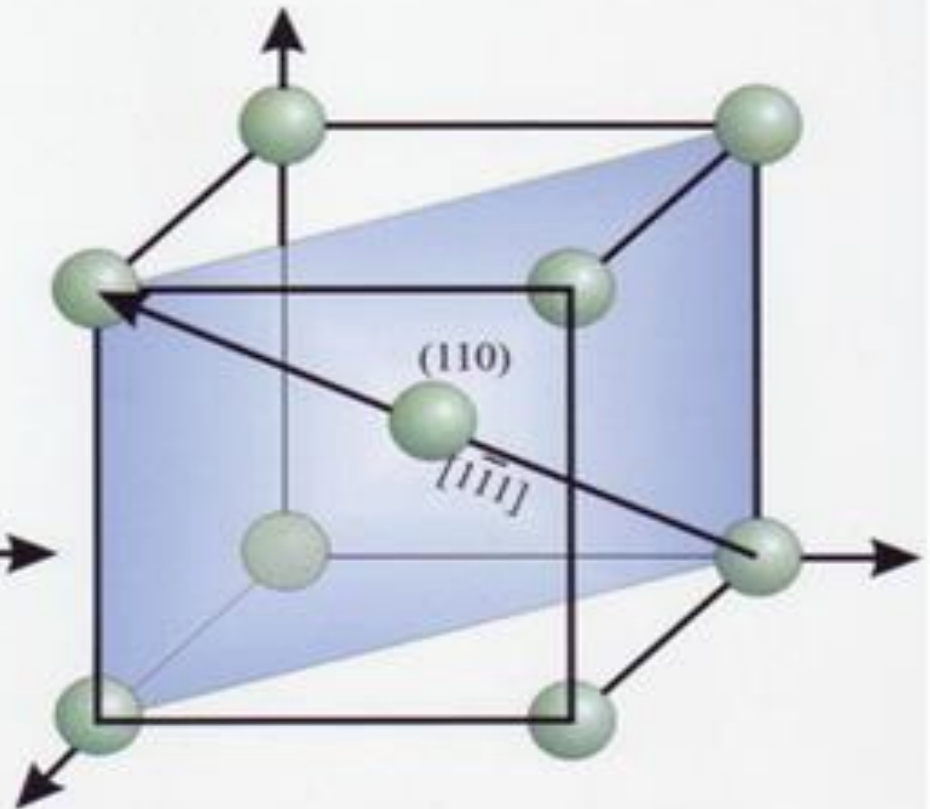
Направления скольжения - $\langle 110 \rangle$



Решетка ОЦК (Cr, W)

Плоскости скольжения - $\{110\}, \{112\}$

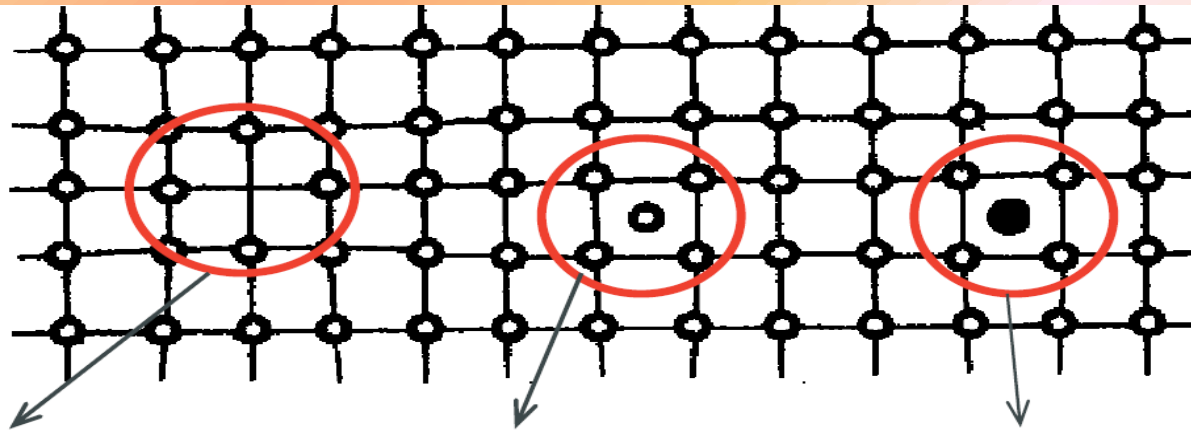
Направления скольжения - $\langle 111 \rangle$



Дефекты кристаллической решетки

- В реальных кристаллах всегда имеются отклонения в расположении атомов от идеальной кристаллической решетки. Эти отклонения являются дефектами кристаллической решетки. Дефекты классифицируются на:
- **Точечные или нульмерные дефекты** – это дефекты, у которых все три размера соизмеримы с параметрами решетки (2-3 параметра). К ним относятся а) вакансии, б) дислоцированные (межузельные) атомы, в) инородные атомы (атомы примеси) и др
- **Линейные (одномерные) дефекты.** Их размер в двух направлениях сравним с параметрами решетки, а в третьем направлении много больше параметра решетки. К ним относятся дислокации, цепочки межузельных атомов, цепочки вакансий и др.
- **Поверхностные или двумерные дефекты.** Их размер в одном направлении сравним с параметром решетки, а в двух других много больше параметра решетки. К ним относятся границы зерен, блока, границы фаз, поверхности двойников и др.
- **Трехмерные (объемные) дефекты.** Размеры трехмерных дефектов во всех трех направлениях много больше параметров решетки. К ним относятся поры, раковины и др.

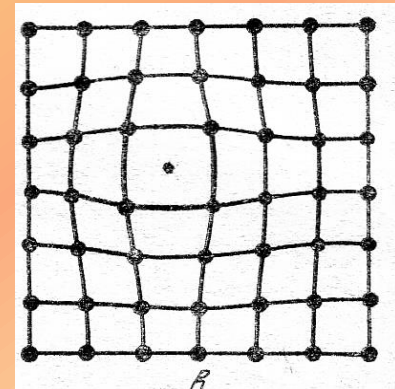
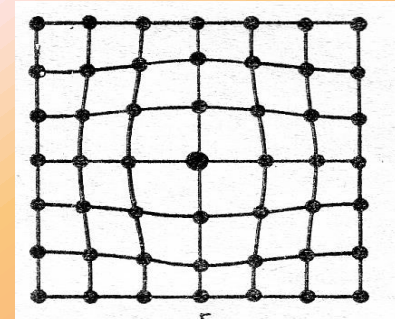
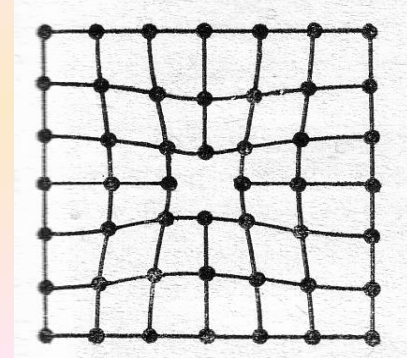
Точечные дефекты (нульмерные)



вакансия

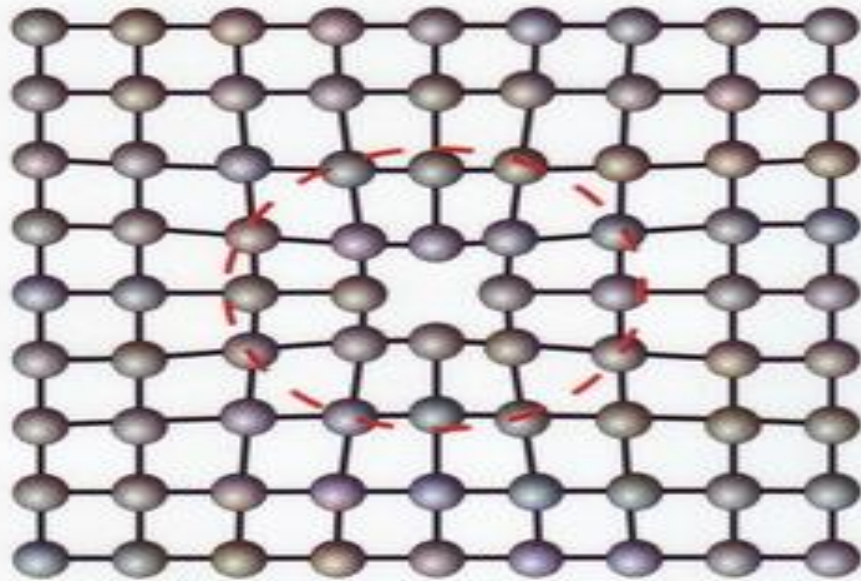
межузельный атом

атом внедрения



- Вакансия –дефект, состоящий из свободного, незанятого узла решетки и искажений вокруг него (на 5-7 периодов)
- Межузельный атом (дислоцированный атом) образуется в результате перехода атома из узла в межузелье, на месте которого образуется вакансия.
- Инородный атом (атом примеси) могут быть примесями внедрения или замещения.

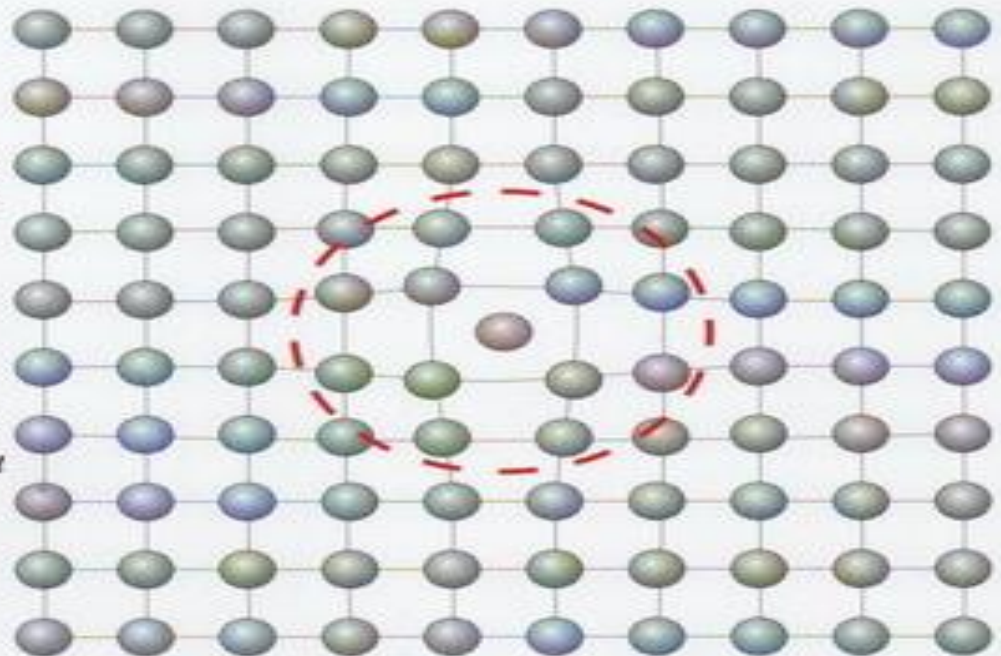
Точечные дефекты



Вакансия - это узел кристаллической решетки незанятый атомом или ионом.

Межузельный атом - атом, расположенный в межатомном пространстве кристаллической решетки.

Образование вакансии или межузельного атома приводит к локальному искажению решетки кристалла.



Линейные дефекты (дислокации).

Дислокация – линия, ограничивающая область незавершенного сдвига внутри кристалла

Дислокации бывают краевые, винтовые, смешанные, полные, многократные, частичные.

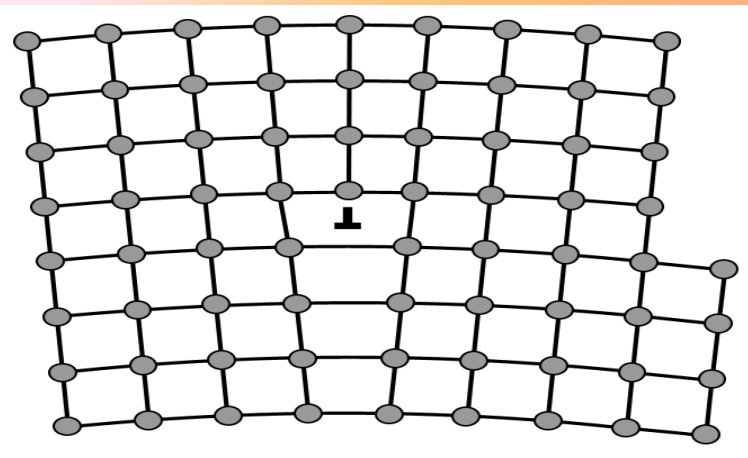
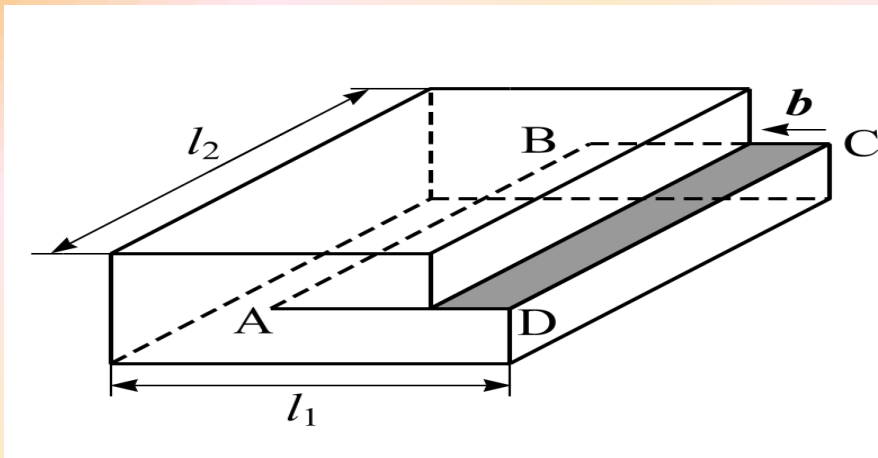
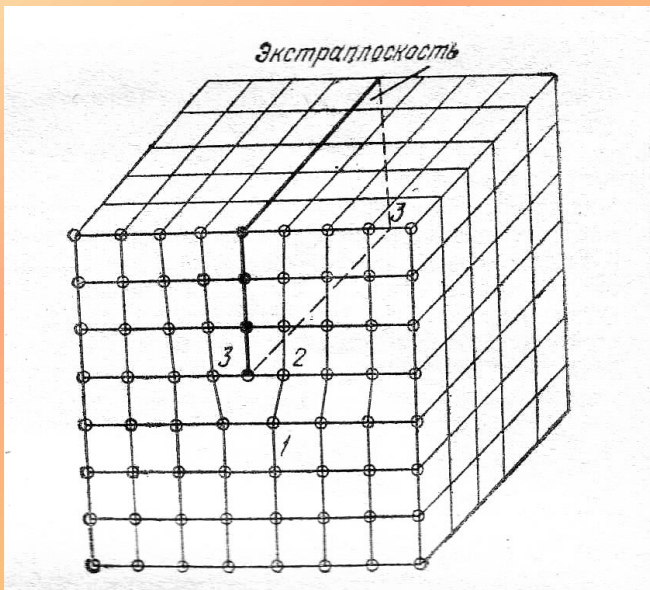
Экстраплоскость – неполная атомная плоскость (полуплоскость), обрывающаяся внутри кристалла.

Край 3-3 экстраплоскости образует линейный дефект решетки, который называется **краевой дислокацией**.

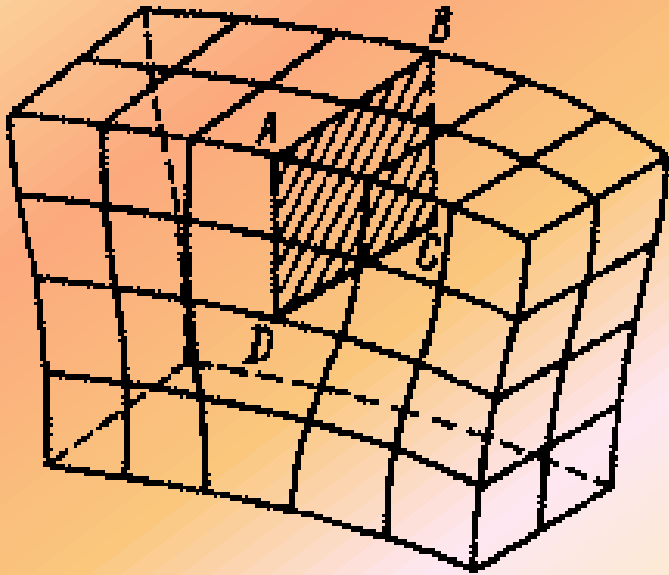
Краевые дислокации представляют собой область искажений кристаллической решетки вокруг края экстраплоскости

Если экстраплоскость образуется в верхней части кристалла то дислокацию называют положительной и обозначают \oplus , а если в нижней – то отрицательной и обозначают \ominus .

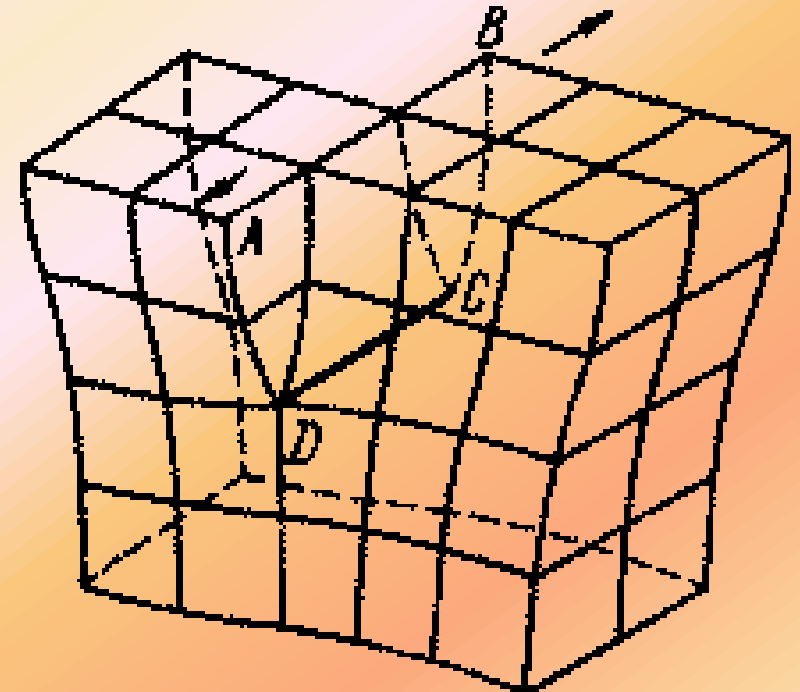
Дислокации одного знака отталкиваются, а противоположного притягиваются, что приводит их к взаимному уничтожению.



Виды дислокаций



Модель положительной краевой дислокации

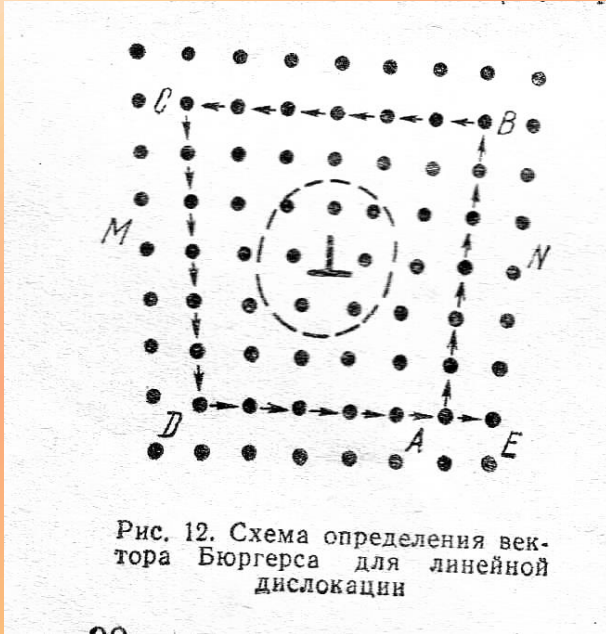


Модель винтовой дислокации

Винтовая дислокация как и краевая, образована неполным сдвигом кристалла по плоскости Q .

В отличие от краевой дислокации винтовая дислокация параллельна вектору сдвига. Если винтовая дислокация образована движение по часовой стрелке, ее называют правой, а против часовой стрелки – левой.

Вектор Бюргерса



Вокруг дислокаций создается поле искаженной кристаллической решетки.

Мерой искаженности решетки является **вектор Бюргерса**, характеризующий энергию дислокации и силы, действующие на нее

Если вокруг дислокации обвести контур ABCD, то участок BC будет состоять из 6 отрезков, а участок AD – из 5. Разница BC – AD = b , где b означает величину вектора Бюргерса.

Если контуром обвести несколько дислокаций, то величина его будет равна сумме векторов Бюргерса каждой дислокации

Способность к перемещению дислокаций связана с величиной вектора Бюргерса.

Вектор Бюргерса представляет собой разность параметров контуров вокруг центра дислокаций в реальной решетке, показывающую величину и направления сдвига в процессе скольжения.

Вектор Бюргерса – вектор, замыкающий контур (Бюргерса), проведенный вокруг дефектного участка в кристалле, характеризует геометрию и энергию дислокаций

Краевая дислокация –

дислокация, к линии которой ее вектор Бюргерса перпендикулярен.

Винтовая дислокация –

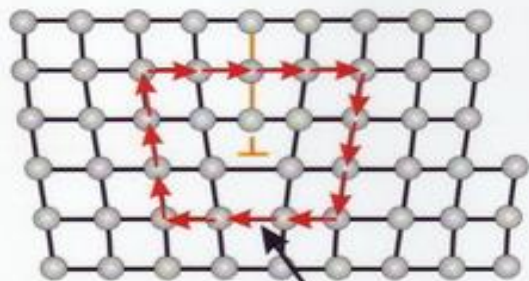
дислокация, к линии которой ее вектор Бюргерса параллелен.

– дислокация, к **Смешанная**

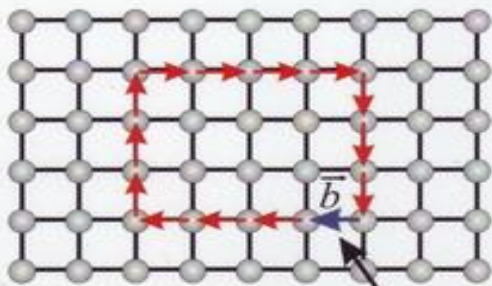
дислокация – линии которой ее вектор Бюргерса расположен под углом $0 < \alpha < 90^\circ$.

Контуры и векторы Бюргерса краевой и винтовой дислокаций (модели)

Контур и вектор Бюргерса краевой дислокации

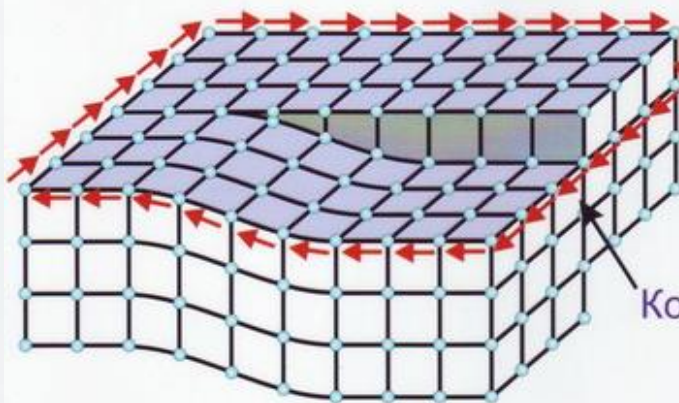


Контур Бюргерса

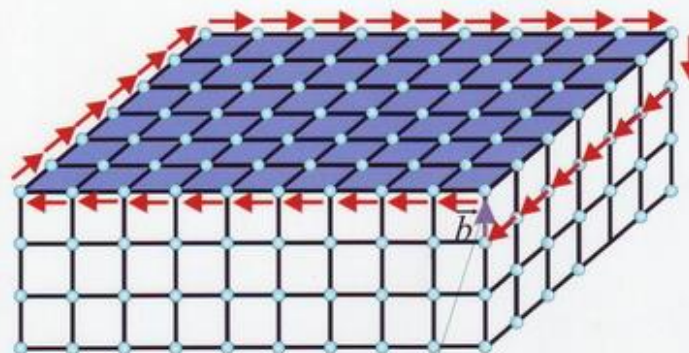


Вектор Бюргерса

Контур и вектор Бюргерса винтовой дислокации



Контур Бюргерса



Вектор Бюргерса

Плотность дислокаций (кривая Одингга)

Под **плотностью дислокаций** понимают суммарную длину дислокаций в см, приходящих на единицу объема V кристалла, см^3 . Согласно современным представлениям плотность дислокаций превышает миллион, они обладают легкой подвижностью, способностью к размножению.

- $\rho = \sum L / V = N/S [\text{см}^{-2}]$,
- где: $\sum L$ – суммарная длина дислокаций в каком-то объеме кристалла; V – объем кристалла; N - число выходов дислокаций на поверхность площади S ; S - площадь
- Дислокации увеличивают энергию решетки. Плотность дислокаций:
- Для полупроводникового монокристалла $\rho = 10^3 \dots 10^4$ ($10\text{м}/\text{см}^3$)
- Для отожженного металла $\rho = 10^6$ ($10\text{км}/\text{см}^3$)
- Для мартенсита $\rho = 10^{12}$ (10 млн км/ см^3)



Процесс пластической деформации происходит путем образования и скольжения краевой дислокации по плоскости сдвига, при этом в каждый момент межатомные связи разрываются лишь по одной линии, что резко снижает необходимое усилие.

Поэтому дислокации снижают прочность и повышают пластичность M_e .

Одингг предложил кривую зависимости прочности от плотности дислокаций

Схемы скольжения дислокаций

Схема движения краевой дислокации

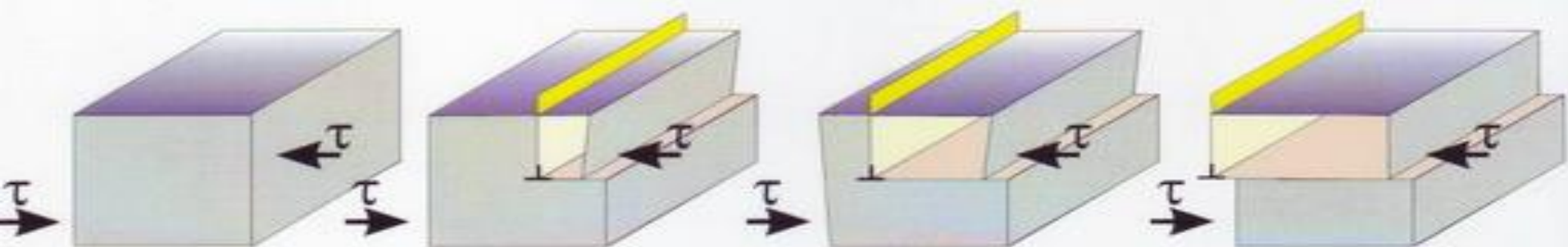
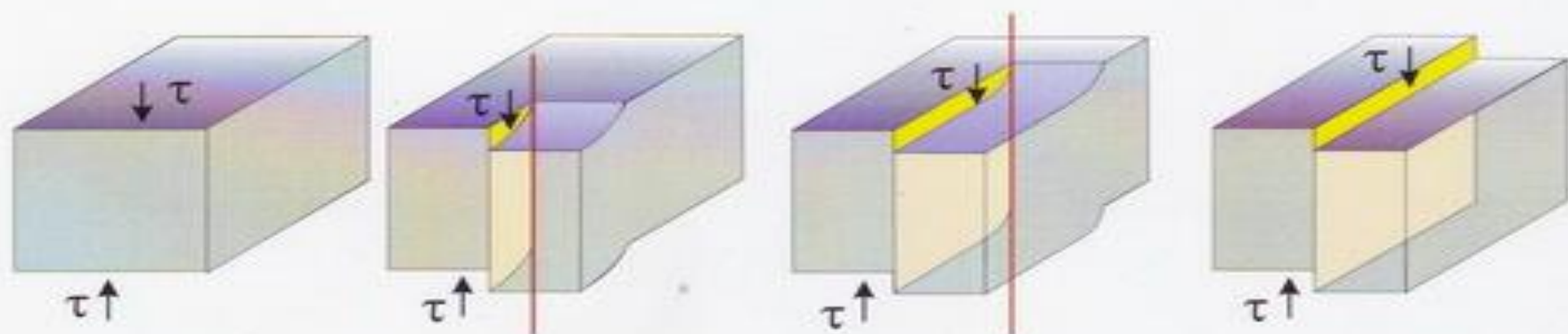
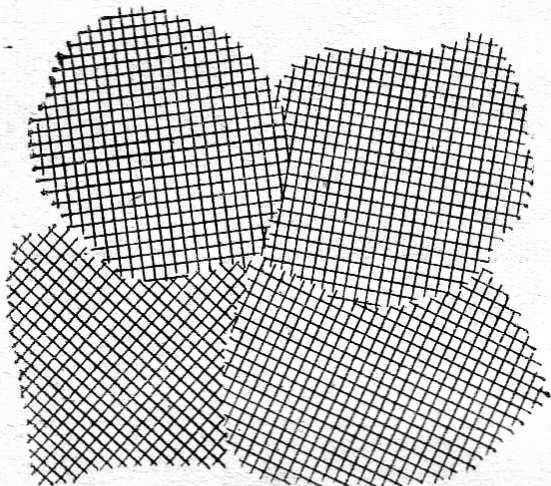


Схема движения винтовой дислокации



Поверхностные дефекты



Реальное строение металлического тела является **поликристаллическим**.

Кристаллы неправильной формы в поликристаллическом теле называются **зернами**.

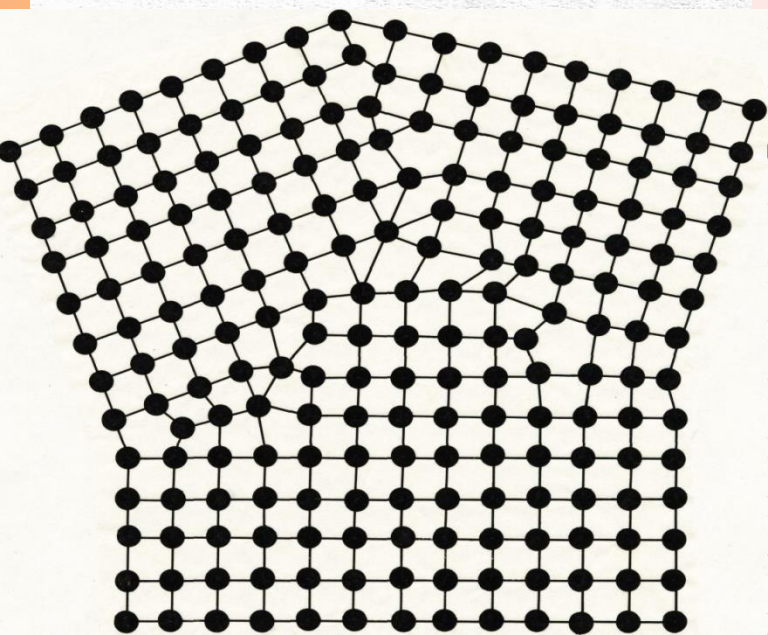
Различие отдельных зерен состоит в различной пространственной ориентации кристаллической решетки.

Между зернами имеется пограничный слой с сильно искаженной структурой и высокой концентрацией атомно кристаллических дефектов.

Такой пограничный слой между зернами называется **границей**, которая является поверхностным двумерным дефектом (несовершенством) кристаллического строения

Энергия активации вдоль границ составляет 0,5...0,7 от энергии активации в объеме зерна.

Кроме того, по границам зерен в технических металлах концентрируются **примеси**, что еще больше нарушает правильный порядок расположения атомов.



Микроструктура железа как пример поликристаллического строения.

