

По функциональным признакам группы:

- **основные** (проводники, полупроводники, диэлектрики, магнитные материалы);
- **технологические** (используемые в технологических процессах): реактивы, подложки, защитные покрытия (SiO_2 , SiN , Al_2O_3), металлы, сплавы, припой;
- **конструкционные** (входящие в полупроводниковые изделия): металлы, сплавы, стекла, керамика, клеи, пластмассы для корпусов, токопроводящие материалы, защитные (лаки, эмали);
- **вспомогательные** (газы для создания защитной атмосферы, чистая вода, материалы для приспособлений).

Большинство материалов РЭС и ЭТ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ - материалы,
характеризуемые определенными свойствами по
отношению к электромагнитному полю и
применяемые в технике с учетом этих свойств

- По поведению в электрическом поле:
 - ✓ ПРОВОДНИКОВЫЕ
 - ✓ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ
 - ✓ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

- По поведению в магнитном поле:
 - ✓ ДИАМАГНЕТИКИ,
 - ✓ ПАРАМАГНЕТИКИ,
 - ✓ ФЕРРОМАГНЕТИКИ,
 - ✓ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКИ,
 - ✓ ФЕРРИМАГНЕТИКИ.

по поведению в электрическом поле

Проводниковые материалы - основным электрическим свойством является сильно выраженная электропроводность.

Диэлектрические материалы - низкая электропроводность, способность к поляризации и возможность существования в них электрического поля.

Полупроводниковые материалы - промежуточные значения электропроводности по отношению к проводникам и диэлектрикам.

Основные характеристики (параметры) материалов в электрическом поле

Удельная электропроводность σ (Ом/м) – коэффициент

пропорциональности между плотностью тока j (А/м²) и напряженностью электрического поля E (В/м) в законе Ома

$$j = \sigma \cdot E$$

- Удельная электропроводность зависит только от свойств материала.
- Для оценки электропроводности материала широко используется удельное электрическое сопротивление $\rho = 1/\sigma$ (Ом · м).

Проводниковые материалы

имеют свободные носители электрического заряда и, как следствие, обладают высокой электропроводностью удельное электрическое сопротивление

$$\rho < 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

Проводники первого рода

электронный характер электропроводности. :

- Металлы
- Сплавы
- Углерод
- Композиции на их основе

Проводники второго рода

- ионный характер электропроводности, используются в некоторых компонентах:

- Гальванические элементы
- Аккумуляторы
- Электролитические конденсаторы
- Ионисторы
- Применяются в электрохимических технологических процессах.

Различают также материалы высокой проводимости, служащие для соединения между собой элементов электрических цепей, и материалы высокого удельного сопротивления, предназначенные для создания резистивных элементов электрических цепей.

Проводниковые материалы

Металлы

- с высокой удельной проводимостью: Cu, Al
- благородные: Au, Ag, Pt
- тугоплавкие: W, Mo, Cr, Re
- со средним значением температуры плавления: Fe, Ni, Co и др.

Сплавы металлов

- сплавы высокого сопротивления: манганин 86%Cu, 12% Mn, 2% Ni; константан 60% Cr, 40% Ni и др.
- сверхпроводящие сплавы Nb₃Sn, Nb₃Ga
- припои мягкие (ПОС-10, ПОС-90 олово, свинец) и твердые (ПМЦ медно-цинковые, ПСр - серебряные)

Неметаллические материалы

- углеродистые материалы. Графит.
- Композиционные проводящие материалы. Контактные материалы и керметы.
- Проводящие материалы на основе оксидов. Тонкие пленки оксидов олова и индия

Проводниковые материалы

В электронной технике в основном используют проводниковые свойства металлов, металлических сплавов, графита (модификация углерода).

- Основным материалом высокой проводимости является медь (Cu, $\rho = 0,017 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$).
- Второй по значимости материал высокой проводимости – алюминий (Al, $\rho = 0,028 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$).
- Серебро (Ag) – металл с наиболее высокой электропроводностью из всех проводниковых материалов ($\rho = 0,015 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$).
- Наибольшее удельное сопротивление имеют сплавы Fe–Cr–Co–Al: $\rho \approx 10 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$.
- Графит - кристаллическая форма $\rho = 0,42 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$, угольный сварочный электрод - $\rho = 50-90 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$

Общие свойства проводниковых материалов

Основное свойство - электропроводность, оцениваемая параметром:

УДЕЛЬНОЕ (ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ) СОПРОТИВЛЕНИЕ ρ , Ом·м : $\rho = RS/l$.

УДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ: $\sigma = 1/\rho$

Величина удельного сопротивления зависит от внутренних и внешних факторов:

- **температура проводника** - с повышением температуры удельное сопротивление растет, при $T \approx 0$ К металлы проявляют сверхпроводящие свойства;
- **состав проводника** – наличие примесей, легирующих добавок - например, 0,1 % Р или 0,2 % Fe снижают электропроводность меди в 2 раза;
- **предшествовавшая обработка** – отжиг, закалка, растяжение, сжатие - при растягивающих нагрузках удельное сопротивление возрастает, при сжимающих – уменьшается;
- **градиент (перепад) температуры по длине проводника** – образование термо-ЭДС из-за переноса электрического заряда «тепловыми» электронами;
- **типа контакта в цепи** – возникновение контактной разности потенциала при контакте разнородных проводников;
- **толщины проводника** – наличие поверхностного эффекта в проводниках на переменном токе – в проводнике плотность тока уменьшается от поверхности к центру, а значит возрастают потери энергии.

Общие свойства проводниковых материалов: влияние температуры проводника

Зависимость – функция нелинейная, но в сравнительно узком температурном диапазоне, в большинстве практических случаев ее можно линеаризовать:

$$\rho(T) = \rho(T_0) [1 + \alpha_{\rho} (T - T_0)],$$

где $\rho(T_0)$, $\rho(T)$ – удельные сопротивления при температурах T_0 и T соответственно, α_{ρ} – температурный коэффициент (удельного) сопротивления, ТКС, K^{-1} или $^{\circ}C^{-1}$.

Величина ТКС у разных проводников различна:

- у большинства чистых металлов $\alpha_{\rho} \sim 4 \cdot 10^{-3} K^{-1}$;
- у сплавов изменяется в широких пределах: от $1 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ (сплав ЗлМ) до $1,8 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ (ПлН4,5).
- у меди $\alpha_{\rho} = 4,3 \cdot 10^{-3} K^{-1}$,
- у алюминия $\alpha_{\rho} = 4,1 \cdot 10^{-3} K^{-1}$.

Это означает, что сопротивление медного проводника возрастает на 10 % с ростом его температуры на $23^{\circ}C$ и удваивается при повышении температуры на $230^{\circ}C$.

Диаграммы состояния сплавов

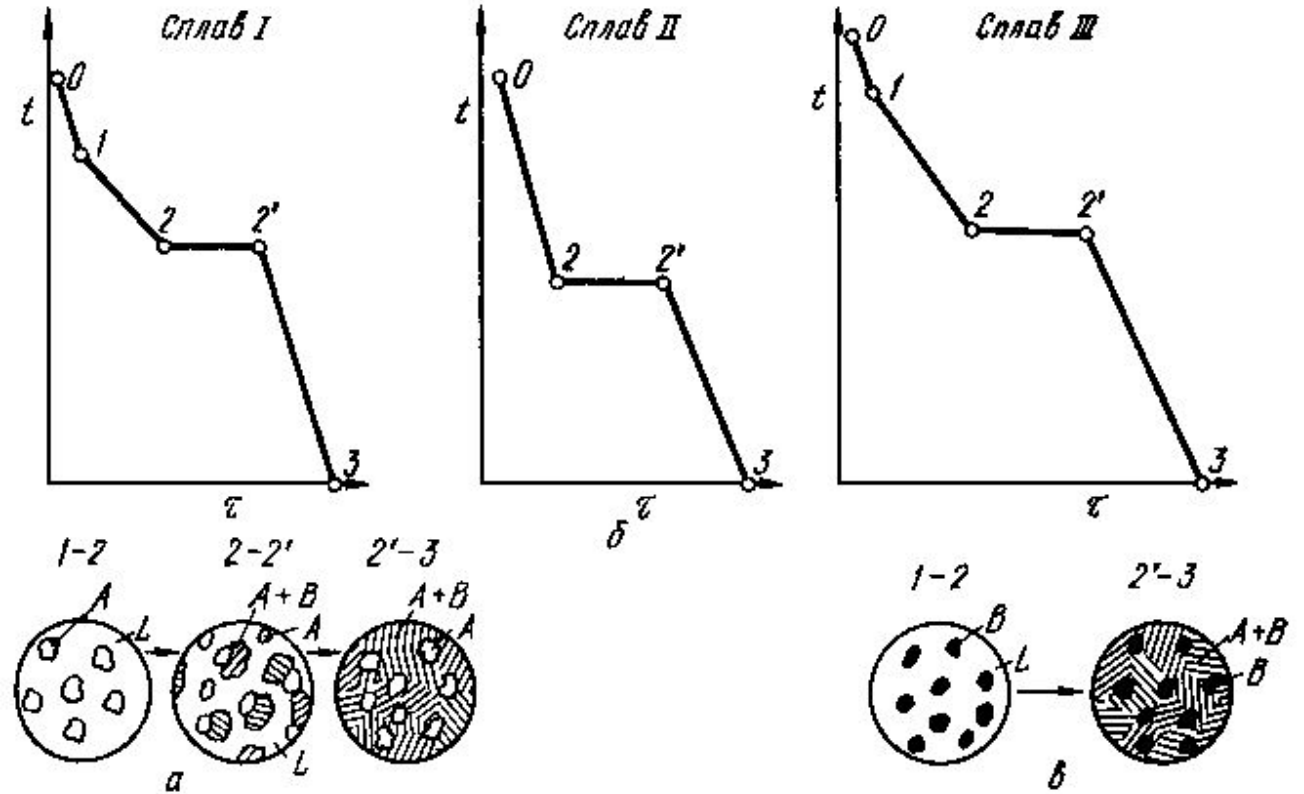
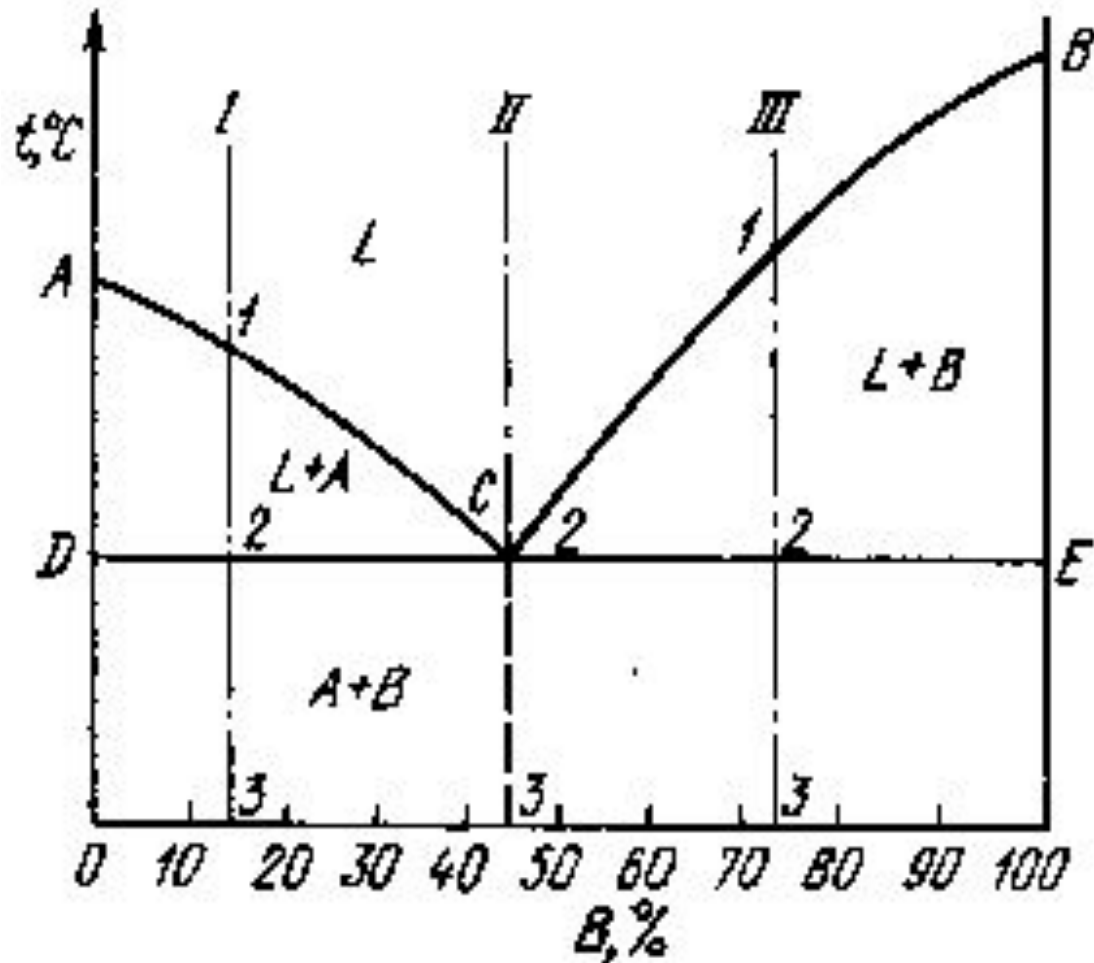
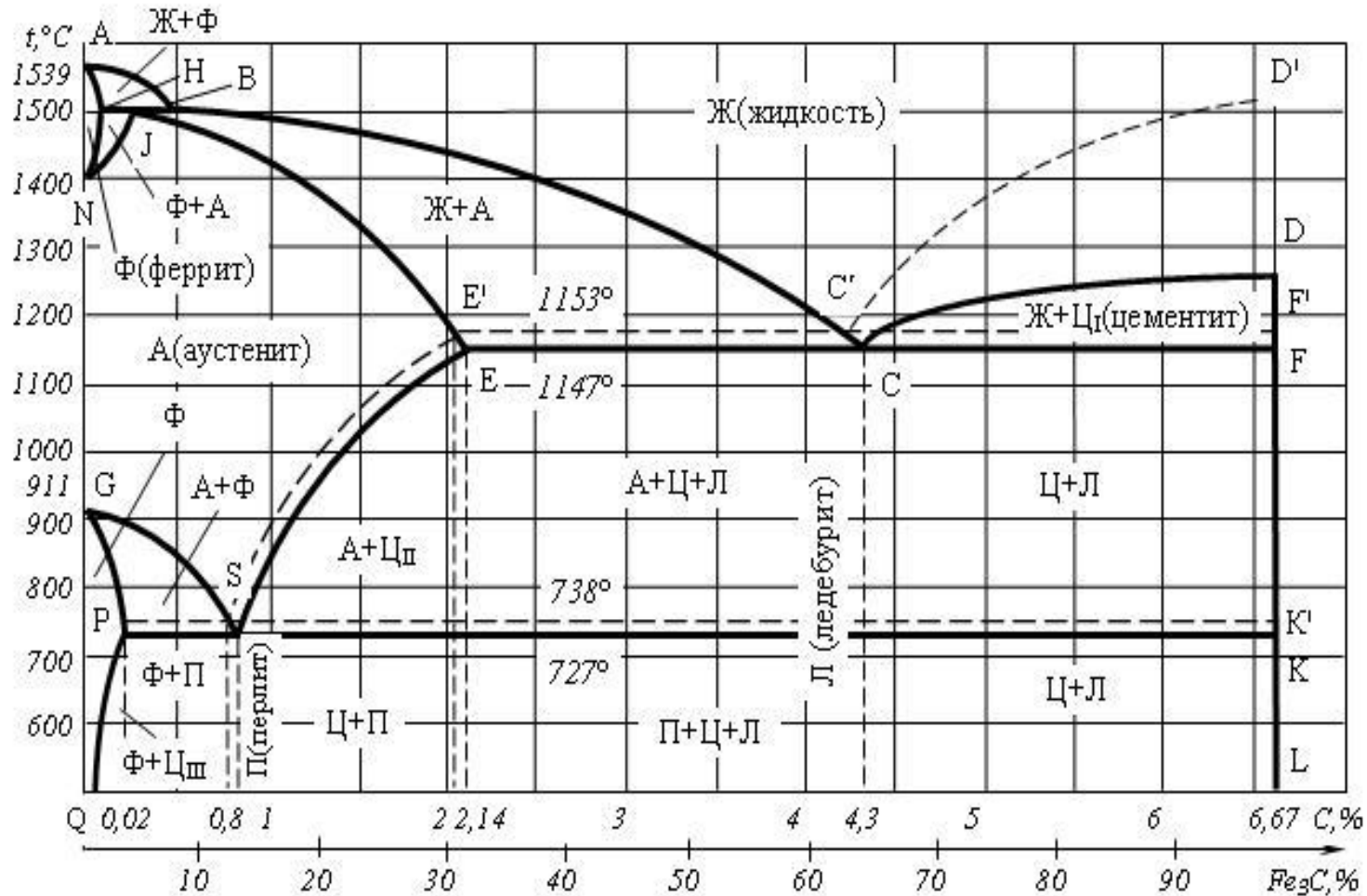


Диаграмма состояния железо – углерод



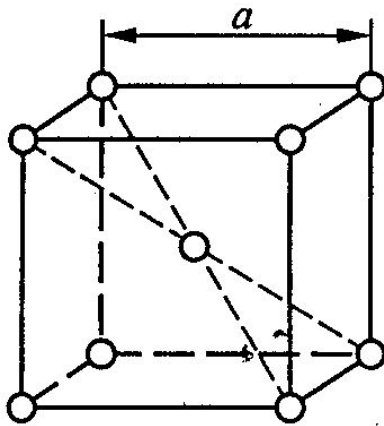
- Ф - феррит - свойства близки к свойствам чистого Fe – о.ц.к., растворяет углерод в небольших количествах, магнитен, при 768°C теряет магнетизм, выше 768°C – точка Кюри - парамагнетик.
- А – аустенит - немагнитен, твёрже феррита, достаточно пластичен.
- Ц – цементит - при низких температурах магнитен, обладает высокой твердостью, метастабилен.
- П – перлит – продукт распада аустенита, смесь феррита и цементита, магнитен.
- Ледебурит – эвтектическая смесь аустенита и цементита – твердый и хрупкий, немагнитен.

Стали и сплавы

Металлическим сплавом называются однофазные или многофазные микроскопически однородные смеси различных металлов.

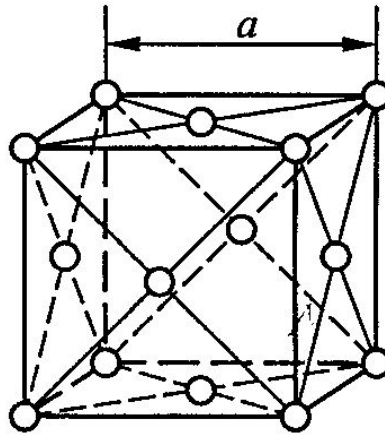
- Фазы, образующиеся при сплавлении двух или нескольких металлов, представляют собой либо **твердые растворы**, либо **интерметаллические соединения** (интерметаллиды).
- При образовании твердого раствора сохраняется кристаллическая решетка металла растворителя.
- Многие металлы, имеющие одинаковые типы кристаллической решетки, смешиваются друг с другом в любых пропорциях, образуя непрерывный ряд твердых растворов. Однако есть металлы, которые ограниченно растворяются друг в друге или вообще не растворяются в твердой фазе.

Основные типы кристаллических решеток металлов



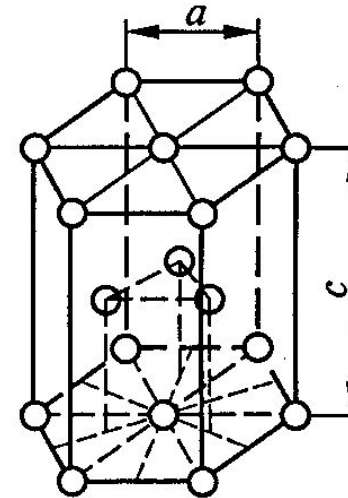
а)

K, Na, Li, Ta, W, Mo, Fe_α,
Cr, Nb и др.



б)

Ca, Pb, Ni, Ag, Au,
Pt, Fe_γ и др.



в)

Ru, Cd, Mg, Zn и др.

Параметр (a) кубических решеток колеблется в пределах 0,286-0,607 нм.

Параметры гексагональной решетки находятся в пределах: a = 0,228-0,398 нм и c = 0,357-0,652 нм.

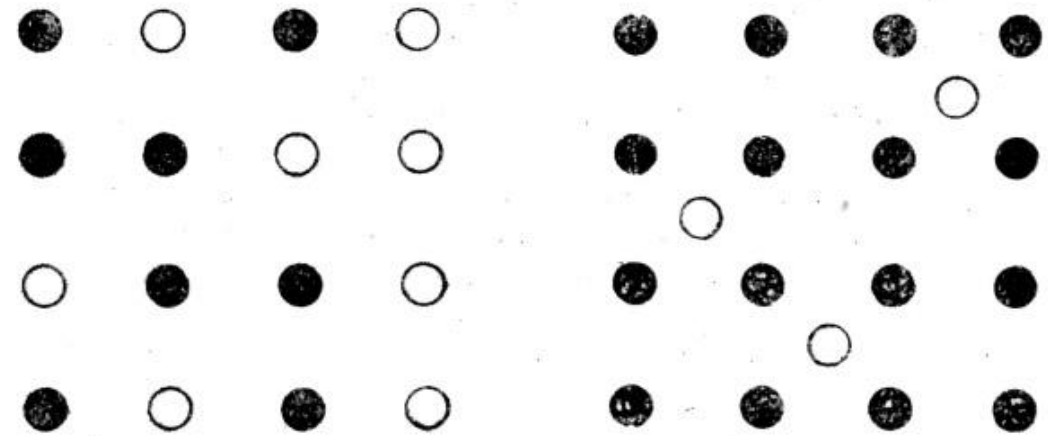
В каждом кубическом сантиметре объема кристаллического тела содержится примерно 10^{22} атомов.

Существуют три типа структурных твердых растворов:

• **растворы замещения**, когда атомы растворенного металла замещают в узлах кристаллической решетки атомы металла-растворителя, распределяясь среди них по определенному закону;

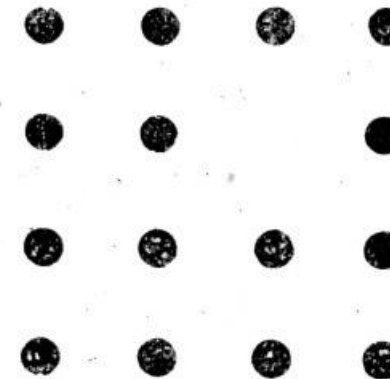
• **растворы внедрения**, когда атомы растворенного металла не замещают атомы металла растворителя, а располагаются в межатомных промежутках его кристаллической решетки;

• **твердые растворы вычитания**, которые образуются при недостатке одного из компонентов сплава.

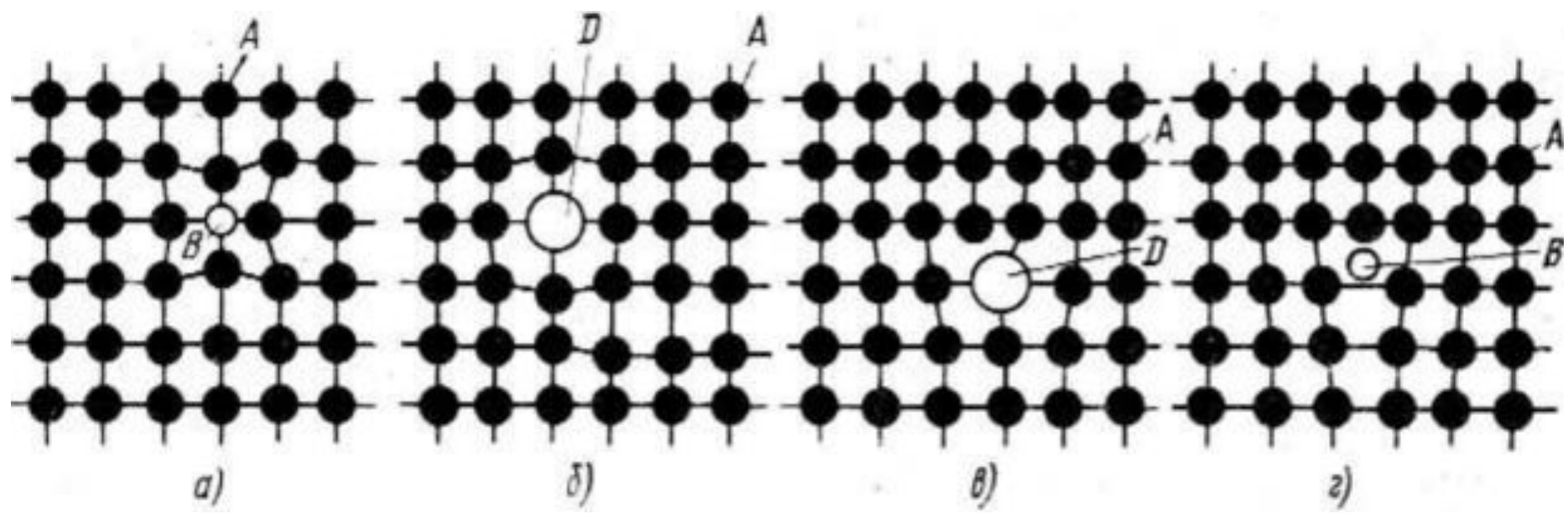


Растворы замещения

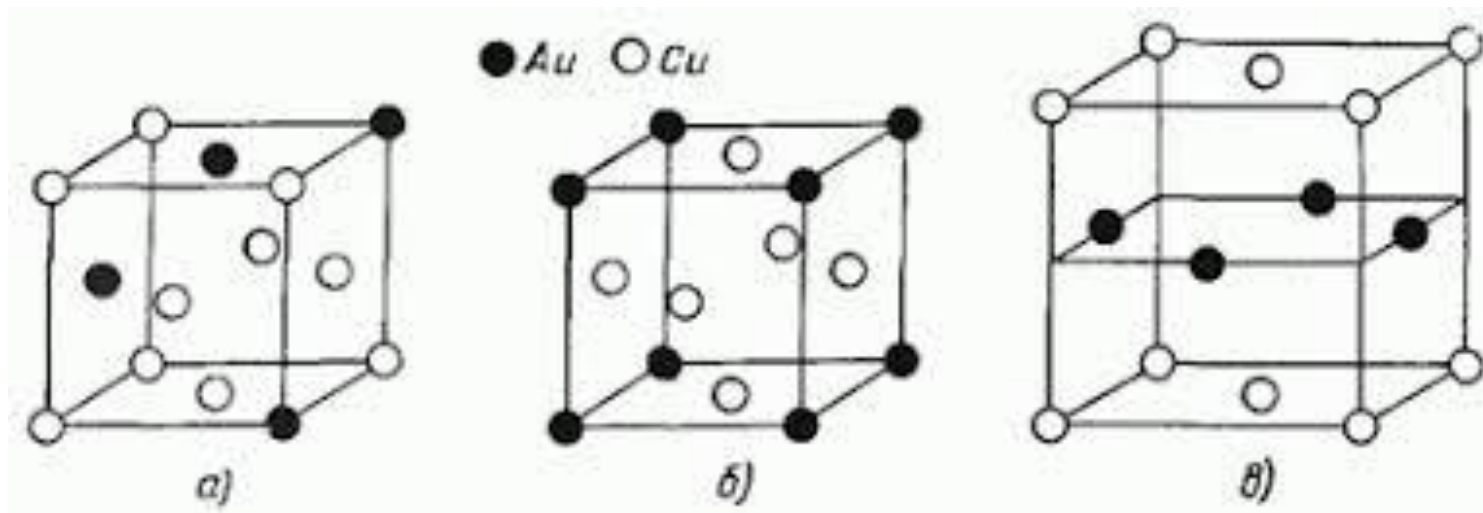
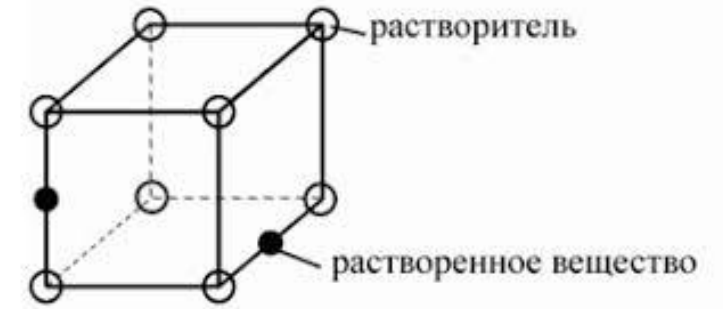
Растворы внедрения



Растворы вычитания



Твердые растворы - однофазная структура с кристаллической решеткой, образованной атомами компонентов, входящих в состав сплава. Компонент, кристаллическая решетка которого сохраняется, называется **растворителем**; компонент, который не сохраняет свою кристаллическую решетку, а отдает свои атомы в решетку растворителя, - **растворимым**.



Кристаллическая решетка сплава меди с золотом

а- не регулярное строение

б – регулярное строение, состав AuCu_3

в – регулярное строение, состав AuCu

Интерметаллиды

- В противоположность твердым растворам интерметаллиды имеют кристаллическую структуру, отличную от структур исходных металлов. Состав интерметаллических соединений не всегда подчиняется правилам валентности, но эти соединения имеют ярко выраженную индивидуальность свойств.
- Два металла могут образовывать между собой не одно, а несколько соединений, например, NaSn_3 , NaSn_2 , NaSn , Na_4Sn_3 , Na_2Sn , Na_4Sn и др., существующие лишь в определенных пределах состава и температуры.
- Электронное строение интерметаллических соединений имеет характерные свойства металлического состояния.

СТАЛИ

- **Сталь** – сплав железа ($\text{Fe} > 90\%$) с углеродом (С до 2,14%). Стали широко применяются в машиностроении, строительстве.
- Помимо железа и углерода в сталях и чугунах всегда присутствует кремний (Si), марганец (Mn), сера (S), фосфор (P) и газы – кислород, азот, водород (O, N, H). Эти **примеси** называют постоянными.
- Кроме постоянных примесей в сталях и чугунах случайным образом могут содержаться и другие элементы, которые называют **случайными примесями** (из руды, лома).
- Иногда в железоуглеродистые сплавы для изменения их структуры и свойств специально вводят химические элементы – хром (Cr), никель (Ni), молибден (Mo), вольфрам (W), титан (Ti). Такие примеси называют **легирующими**, а соответствующие сплавы – легированными.

Классификация сталей



Под **качеством** здесь понимается совокупность свойств стали, определяемых металлургическим процессом ее производства.

Раскисление – процесс удаления кислорода из жидкой стали. Нераскисленная сталь обладает недостаточной пластичностью и подвержена разрушению при горячей обработке давлением.

Стали по структуре классифицируют в состоянии после отжига и нормализации. В отожженном (равновесном) состоянии стали:

Эвтектоидные (перлитные), структура состоит из перлита

Карбидные: *завтектоидные*, в структуре имеются вторичные карбиды, выделяющиеся из аустенита и *ледебуритные*, в структуре содержатся первичные (эвтектические) карбиды

Аустенитные

Ферритные

Иногда выделяют еще и **доэвтектоидные**, которые имеют в структуре избыточный цементит

По химическому составу

- **Углеродистая** – сталь, у которой свойства зависят, в основном, от содержания углерода.

Такие стали в свою очередь подразделяют на:

Низкоуглеродистые – $C < 0,25\%$

Среднеуглеродистые – $0,25\% < C < 0,6\%$

Высокоуглеродистые – $C > 0,6\%$

- **Легированная** – сталь, в состав которой входят специально введенные элементы для придания ей требуемых свойств. (хром, никель, кобальт, молибден, титан, вольфрам и др.).

По общему процентному содержанию легирующих элементов легированные стали разделяют на:

низколегированные – 5-10%

среднелегированные – 10%

высоколегированные – более 10%

По назначению

- **Конструкционные** стали предназначены для изготовления деталей машин, приборов и элементов строительных конструкций.
- **Инструментальные** стали используют для изготовления режущего, измерительного инструмента, штампов для холодного и горячего деформирования.
- **Стали специального назначения** – нержавеющие (коррозионно-стойкие), жаростойкие, жаропрочные, износостойкие и др.

Маркировка сталей

- Легирующие элементы обозначаются буквами: Н (никель), К (кобальт), Г (марганец), Х (хром), В (вольфрам), М (молибден), Ю (алюминий), С (кремний), Ф (ванадий), Р (бор). Буквы пишутся после цифры, указывающей содержание углерода. Если после буквы нет цифры, то содержание легирующего элемента в стали 1-1,5%. Исключение сделано для молибдена и ванадия, содержание которых в большинстве сталей 0,2-0,3%. Если легирующего элемента в стали больше 1,5%, то цифра после буквы указывает его содержание в процентах. Например, марка 15Х обозначает сталь, имеющую в среднем 0,15%С и 1-1,5%Cr, сталь 35Г2 - 0,35%С и 2% Mn.
- Отличие в обозначении качественных сталей от высококачественных заключается в том, что в конце марки высококачественной стали приписывается буква А.

К примеру, сталь 40ХНМ - качественная, а сталь 40ХНМА - высококачественная. Если сталь особо высококачественная, то в конце марки пишется буква Ш.

- У сталей, применяемых в виде литья (в отливке), в конце марки ставится буква Л.
- Шарикоподшипниковые хромистые стали обозначаются в начале буквами ШХ, содержание хрома в этих сталях указывается в десятых долях процента, а содержание углерода, одинаковое при различном содержании хрома, не указывается. Например, сталь ШХ15 содержит в среднем 1% С и 1,5% Cr.
- Быстрорежущие стали обозначают буквой Р (режущие). Следующая за буквой цифра указывает содержание главного для этих сталей легирующего элемента - вольфрама. Пример: Р6М5К4 - быстрорежущая сталь с содержанием вольфрама 6%, молибдена 5%, кобальта 4%.
- Электротехнические стали (трансформаторные) обозначаются буквой Э. Следующая за буквой цифра указывает содержание легирующего элемента - кремния - в процентах.

содержание углерода
в сотых долях процента:
0,33–0,40% C

содержание никеля больше одного процента –
указывается в целых процентах:
3,0–3,5% Ni

сталь 38XH3MF

содержание хрома
около одного процента
или меньше –
цифра не ставится:
1,2–1,5% Cr

содержание молибдена
меньше одного процента –
цифра не ставится:
0,35–0,45% Mo

содержание ванадия
меньше одного процента –
цифра не ставится:
0,1–0,18% V