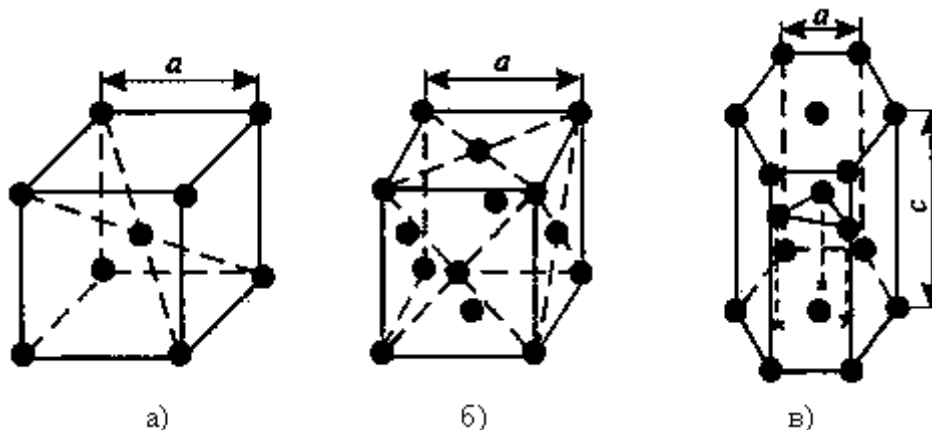


Тема 1.1 «Основные сведения о металлах и сплавах»

Металлы и их сплавы по своему строению являются кристаллическими веществами: их атомы расположены в пространстве упорядоченно. Каждый атом имеет одно и то же число ближайших атомов-соседей. Если соединить их воображаемыми линиями в трех взаимно перпендикулярных направлениях, то получится пространственная кристаллическая решетка (рисунок 1).



а – объемно-центрированная кубическая (ОЦК); б – гранецентрированная кубическая (ГЦК); в – гексагональная плотноупакованная (ГПУ)

Рисунок 1 – Основные типы кристаллических решеток металлов

Находясь в узлах кристаллической решетки, атомы колеблются относительно среднего положения (положительно заряженные ионы). Со своими ближайшими соседями атомы связаны с помощью *валентных* (внешних) электронов (их еще называют *коллективизированными*). Атомы металлов легко отдают валентные электроны, превращаясь в положительные ионы, и присоединяют их, превращаясь снова в нейтральные атомы. Свободные электроны образуют так называемый *электронный газ*. Между положительно заряженными ионами и окружающими их валентными электронами, образующими электронный газ, возникают силы электростатического притяжения, что характеризует *металлический тип связи*, с помощью которой отдельные атомы удерживаются в металле.

В ОЦК решетке 8 атомов располагаются в вершинах куба и 1 атом – в его центре (рисунок 1, а). Расстояние между двумя атомами, расположенными вдоль одного ребра, называется *параметром a* решетки. Значение a для различных металлов находится в промежутке от 0,2 до 0,7 нм. ОЦК решетку имеют железо, хром, вольфрам и др.

В ГЦК решетке атомы расположены в вершинах куба и в центре всех 6 граней (рисунок 1, б). Такой тип кристаллической решетки имеют алюминий, медь, никель, серебро и др.

ГПУ решетка – это шестигранная призма, основанием которой является правильный шестиугольник. Атомы находятся в вершинах и центрах шестиугольников; ещё 3 атома расположены в вершинах правильного

треугольника, находящегося посередине между основаниями (рисунок 1, в). ГПУ решетку имеют цинк, тантал и др.

В некоторых металлах (железо, олово, титан и др.) кристаллическая решетка может перестраиваться в зависимости от температуры. Например, железо до 911 °С имеет ОЦК решетку, после 911 °С – ГЦК решетку, которая сохраняется до 1392 °С, а дальше до температуры плавления – 1539 °С – снова ОЦК решетку. Способность металла изменять тип своей кристаллической решетки в зависимости от температуры называется аллотропией или полиморфизмом. Основной причиной полиморфизма является стремление вещества обладать минимальным запасом энергии. Если при достижении определенной температуры изменение вида кристаллической решетки обеспечивает уменьшение запаса свободной энергии, то металл претерпевает полиморфизм.

Все кристаллические вещества при нагревании сохраняют твердое состояние до определенной температуры, при которой амплитуда колебаний атомов настолько увеличивается, что кристаллическая решетка разрушается. Атомы начинают двигаться хаотично, а вещество переходит из твердого состояния в жидкое. Температура, при которой происходит фазовое превращение твердого вещества в жидкое, называется *температурой плавления* $T_{пл}$. Обратный переход называется кристаллизацией, а температура, при которой он происходит, - *температурой кристаллизации* $T_{кр}$.

В кристаллической решетке по различным направлениям и плоскостям находится разное число атомов, т.е. плотность расположения атомов в различных плоскостях неодинакова, что обуславливает некоторые свойства кристалла. Зависимость свойств от направления в кристалле называется *анизотропией*. Если свойства тела не зависят от направления, то такие тела называются изотропными (например стекло).

Однако анизотропия может проявляться в пределах одного кристалла (или монокристаллов). Реальные металлы являются поликристаллическими веществами – кристаллы в них ориентированы произвольно друг к другу своими кристаллографическими направлениями и плоскостями, т.е. имеют примерно одинаковые свойства по всем направлениям.

Геометрически правильная кристаллическая структура металла может быть только в идеальном случае. В реальных условиях кристаллы имеют большое число дефектов (атомы могут выходить из узлов решетки, изменять значение параметров в разных направлениях и др.), которые оказывают существенное влияние на свойства металлов и их сплавов.

Структура сплавов. Диаграммы состояния

Сплавы – сложные вещества, получаемые сплавлением или спеканием двух или нескольких простых веществ, называемых **компонентами**. При сплавлении компоненты доводят до плавления, а при спекании их порошки смешивают и подвергают давлению при высокой температуре.

Компонентами сплава могут быть металлы и неметаллы. Кроме основных элементов в сплаве могут содержаться и примеси, которые бывают вредными или полезными, а также случайными или введенными специально для придания необходимых свойств.

Сплав считается **металлическим**, если его основу (свыше 50 % по массе) составляют металлические компоненты. Металлические сплавы обладают более высокими прочностными и другими механическими свойствами по сравнению с чистыми металлами. По этой причине они получили широкое применение в качестве конструкционных материалов.

Сплавы можно классифицировать как **двухкомпонентные (двойные)** и **многокомпонентные**. Основу большинства многокомпонентных сплавов. Как правило, составляет какой-нибудь двухкомпонентный сплав. Например, основу легированных сталей составляет сплав железа с углеродом. Основа всех многокомпонентных цветных сплавов (латуней, бронз, титановых и др.) также состоит из двух главных компонентов.

Компоненты в твердом сплаве могут образовывать твердый раствор, химическое соединение и механическую смесь.

Твердый раствор образуется, когда компоненты сплава растворяются один в другом. При этом один из компонентов сплава сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а второй в виде отдельных атомов распределяется внутри кристаллической решетки, не меняя ее формы. Если атомы растворимого компонента замещают в узлах решетки атомы компонента-растворителя, то образующийся раствор называется *твердым раствором замещения*. Такие растворы образуют компоненты с аналогичными типами кристаллических решеток при небольшой разнице их параметров. Если растворимый компонент имеет очень малый атомный диаметр, то образуется *твердый раствор внедрения* (например, углерода в железе). В этом случае атомы растворимого компонента (углерода) размещаются в междоузлии ячейки кристаллической решетки растворителя (железа), не вытесняя атомы растворителя из узлов решетки.

Химическое соединение образуется, если компоненты сплава вступают в химическое взаимодействие, при этом получается новая кристаллическая решетка, отличная от решеток составляющих компонентов. Как правило, химические соединения образуют компоненты, имеющие значительные различия в типах кристаллических решеток и электронном строении атомов.

Если компоненты сплава обладают полной взаимной нерастворимостью, то образуется **механическая смесь**. Сплав при этом будет состоять из смеси кристаллов составляющих его компонентов.

Основой изучения свойств сплавов в области жидкого и твердого состояния является диаграмма состояния, которая показывает зависимость между строением сплава, его составом и температурой. По оси абсцисс откладывается процентная доля компонента В в сплаве (процентная доля компонента А вдоль оси абсцисс не показана, она равна (100 % - В), т.е. уменьшается с ростом В), а по оси ординат – температура.

Диаграммы состояния двойных сплавов бывают:

I рода – образующие смеси при незначительной взаимной растворимости;

II рода – с неограниченной растворимостью компонентов друг в друге и имеющих одинаковые типы кристаллических решеток;

III рода – с ограниченной растворимостью компонентов друг в друге;

IV рода – образующие устойчивое химическое соединение.

Диаграмма состояния II рода (рисунок 2) содержит область жидкой фазы Ж (выше линии ACB), область твердой фазы Т (ниже линии ADB) и двухфазную область Ж+Т, расположенную между линиями ACB и ADB. Фаза Т представляет собой твердый раствор компонентов А и В

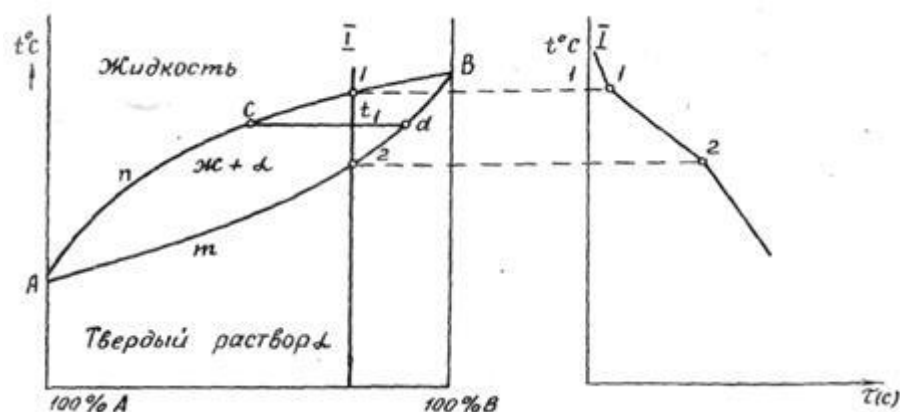


Рисунок 2 – Диаграмма состояния II рода

Тип диаграммы состояния предопределяет характер изменения свойств сплава. Впервые закономерности изменения физико-химических свойств сплавов в зависимости от типа диаграммы состояния установил академик Н.С. Курнаков.

Таким образом, если известны характер взаимодействия компонентов и тип диаграммы состояния, то можно выбрать состав сплава с конкретными заданными физико-химическими свойствами.

Свойства металлов и сплавов

При выборе материала для создания технологической конструкции необходимо учитывать следующие свойства металлов и сплавов:

- 1) *механические* (прочность, пластичность, твердость);
- 2) *физические* (температура плавления, плотность, температурные коэффициенты расширения, электрическое сопротивление и проводимость);
- 3) *химические* (способность к химическому взаимодействию с агрессивными средами);
- 4) *технологические* (литейные свойства, деформируемость, свариваемость, обрабатываемость);

- 5) эксплуатационные (износостойкость, коррозионная стойкость, хладостойкость, жаропрочность, способность прирабатываться к другому сплаву – антифрикционность).

Механическими свойствами называется совокупность свойств, характеризующих способность материалов сопротивляться воздействию внешних усилий (нагрузок). К ним относят упругость, твердость, прочность, вязкость, пластичность, выносливость, хрупкость, линейное расширение.

При механических испытаниях стремятся воспроизвести те условия воздействия на металл, которые имеют место в процессе эксплуатации. Многообразие условий использования металлов и видов их обработки вызывает необходимость проведения различных видов механических испытаний. Наиболее распространенными являются *испытания на растяжение*. Для этого используют стандартные образцы с рабочей частью в виде цилиндра или стержня прямоугольного сечения. Перед испытанием образец закрепляют в вертикальном положении в захватах *испытательной машины*. В процессе испытания специальное устройство машины непрерывно регистрирует так называемую первичную (машинную) диаграмму растяжения.

Наличие в металлах большого количества свободных электронов обуславливает их высокую электро- и теплопроводность. **Электропроводность** характеризуется *удельным электрическим сопротивлением* для образцов правильной формы:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}, \quad (1)$$

где R- сопротивление образца, Ом;

S – площадь поперечного сечения образца, м²;

l – длина образца, м.

Единица измерения удельного сопротивления - Ом·м. В технике часто применяется производная единица - мкОм·м.

Наименьшим удельным электрическим сопротивлением обладают серебро, медь (0,018 мкОм·м) и алюминий (0,029 мкОм·м). Поэтому для изготовления электрических проводов используют медь и алюминий (серебро из-за его высокой стоимости применяется только для тонкослойного покрытия проводов в высокочастотной электронике). Для изготовления нагревательных приборов используют сплавы с высоким удельным сопротивлением, например нихром.

Сопротивление проводников R на высоких частотах существенно больше, чем при постоянном токе. Из-за того что высокочастотное поле проникает в проводник на небольшую глубину (чем выше частота, тем меньше глубина). Это явление носит название *поверхностного эффекта*.

Величину, обратную ρ , называют *удельной электрической проводимостью* и измеряют в сименсах на метр (См/м):

$$\gamma = \frac{1}{\rho}. \quad (2)$$

Удельное электрическое сопротивление металлов зависит от температуры. Эта зависимость достаточно точно описывается формулой:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \text{ или } R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \quad (3)$$

где R_0, ρ_0 – сопротивление и удельное сопротивление при 0 °С;
 α – температурный коэффициент сопротивления в 1 Ом при изменении температуры на 1 °С. Например, для меди $\alpha = 0,0041$ 1/град, для алюминия $\alpha = 0,0040$ 1/град.