

2. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1. Кристаллическое строение металлов

Из встречающихся на Земле 92 элементов около 80 являются металлами. Все металлы имеют общие характерные свойства: пластичность, высокие тепло- и электропроводность, металлический блеск и т.д. Подобными свойствами обладают и металлические сплавы – вещества, состоящие из двух или более элементов.

Свойства металлов, отличающие их от других веществ, обусловлены особенностями их внутреннего строения. Любой металл можно представить состоящим из большого числа атомов, в которых положительно заряженные ядра (ионы) окружены электронами. Эти электроны легко смещаются с орбиты одного из атомов на орбиту другого. Число таких коллективизированных электронов в металлах разное. Этим объясняет различие в электропроводности металлов.

Металлам характерен металлический тип связи, обусловленный электростатическим притяжением между ионами и свободными электронами. Металлы имеют кристаллическое строение. Оно характеризуется закономерным расположением атомов в пространстве и образованием кристаллической решетки.

Типы кристаллических решеток. Кристаллическое строение металлов условно можно представить как упорядоченное расположение атомов в пространстве. Каждый из атомов имеет определенное количество соседей, расположенных на одинаковых расстояниях от него. Представить объёмное строение металлов позволяет

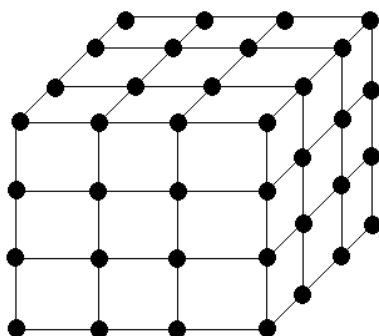


Рис. 2.1. Схема пространственной кристаллической решетки

пространственная кристаллическая решетка, формируемая многократным воспроизведением плоской кристаллической решетки параллельно самой себе (рис. 2.1).

Для удобства кристаллическое строение обычно изображают, показывая кружками только центры тяжести атомов и соединяя их

прямыми линиями, которые символизируют межатомные связи. Наименьшая часть объема кристаллической решетки, которая

определяет её систему, называется *элементарной кристаллической ячейкой*.

Для описания формы и размеров элементарной кристаллической ячейки используют следующие величины: три расстояния от атомов в узлах решетки до их ближайших соседей по осям координат – *параметры решетки* a , b , c и три угла между этими осями – α , β , γ . Кроме того, каждая элементарная кристаллическая ячейка имеет свои характеристики: *координационное число* – число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома и *плотность упаковки* – отношение объема, занятого атомами, к объему ячейки.

Большинству металлов свойственно образование высокосимметричных решеток с плотной упаковкой атомов.

Наиболее распространены следующие типы кристаллической решетки.

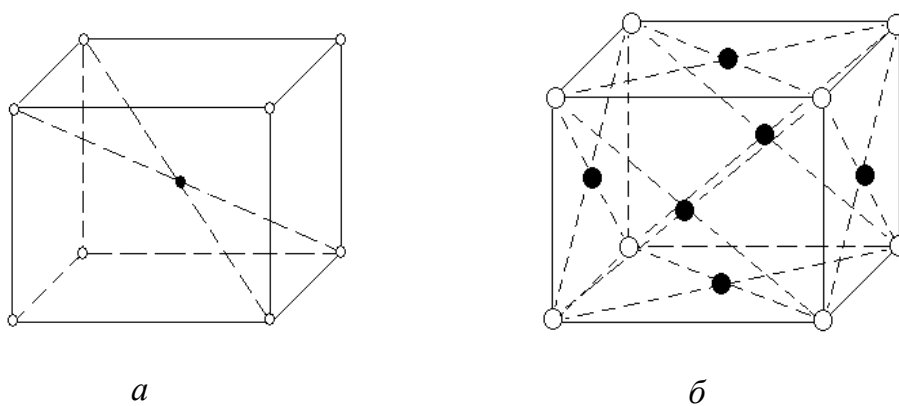


Рис. 2.2. Схема объемно-центрированной кубической (а) и гранецентрированной кубической (б) решетки

Объемно-центрированная кубическая решетка (ОЦК), представляющая собой куб с дополнительным атомом, расположенным в центре. У такой решетки параметр $a = b = c$, угол $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (рис. 2.2а).

Такую решетку имеют Fe, Cr, W, V, Mo и др.

Гранецентрированная кубическая решетка (ГЦК), также представляющая собой куб с дополнительными атомами, расположенными в центре каждой грани. У такой решетки также параметр $a = b = c$, угол $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (рис. 2.2б).

Такую решетку имеют Fe, Cu, Al, Ni, Au.

Гексагональная плотноупакованная решетка (ГПУ) с шестиугольниками в верхнем и нижнем основании, образуемыми расположенными там атомами и одним атомом в центре каждого шестиугольника. Внутри каждой фигуры расположены три атома (рис. 2.3а).

Такую решетку имеют Zn, Mg, Cd (кадмий) и др.

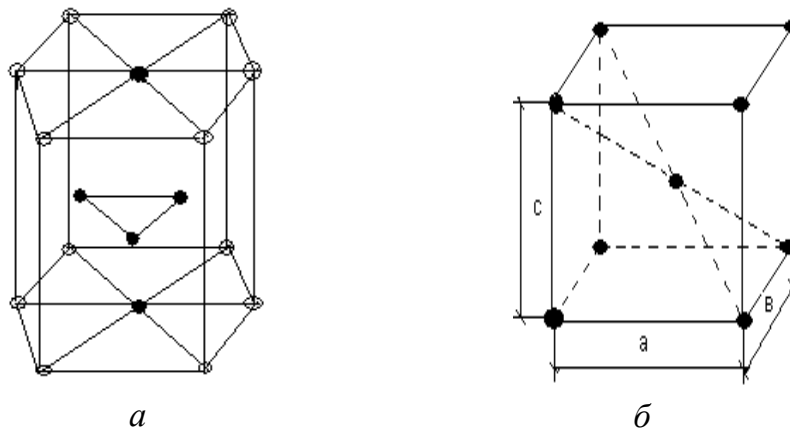


Рис. 2.3. Схема гексагональной плотноупакованной (а) и тетрагональной (б) решетки

Тетрагональная решетка получается при растягивании куба вдоль одной оси. У такой решетки параметр $c > a$, $c > b$, $a = b$. Такая решетка может быть объемноцентрированной (рис. 2.3б) и гранецентрированной. Подобную решетку имеют индий и радий.

У некоторых металлов кристаллическая решетка может изменяться при изменении температуры. Это явление называется *полиморфизмом* или *аллотропией*. Полиморфизм может вызывать изменение свойств. Он характерен для Fe, Ti, Sn, Zr, C.

Кристаллизация металлов. Процессы плавления и кристаллизации металлов и сплавов происходят в соответствии со II законом термодинамики. Согласно этому закону, все процессы в системе происходят в направлении уменьшения её *свободной энергии*.

Изменение величины свободной энергии в зависимости от температуры для твердого и жидкого состояний приведено на рис. 2.4.

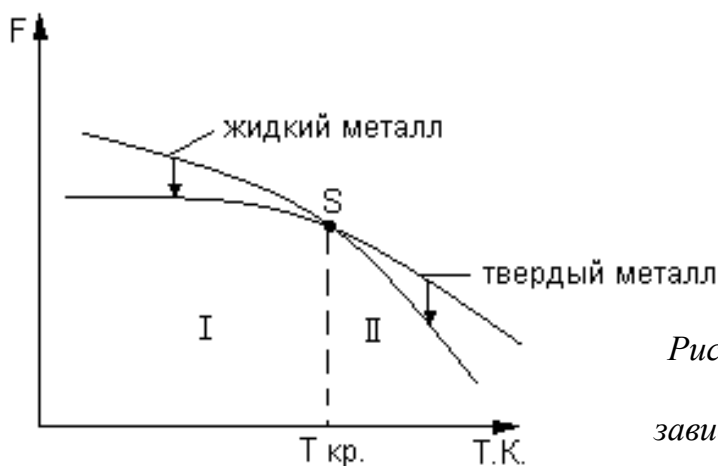


Рис. 2.4. Изменение величины свободной энергии в зависимости от температуры

При температурах ниже $T_{кр}$ (область I) свободная энергия твердого металла меньше свободной энергии жидкого, поэтому протекает процесс кристаллизации, и металл затвердевает. При температурах выше $T_{кр}$ (область II) жидкий металл обладает меньшей свободной энергией, поэтому в данной области протекает процесс плавления, и металл находится в жидком состоянии.

При нагреве кристаллического тела (металла) наблюдается граница перехода из твердого состояния в жидкое. То же самое наблюдается при охлаждении, то есть при переходе из жидкого состояния в твердое (рис. 2.5).

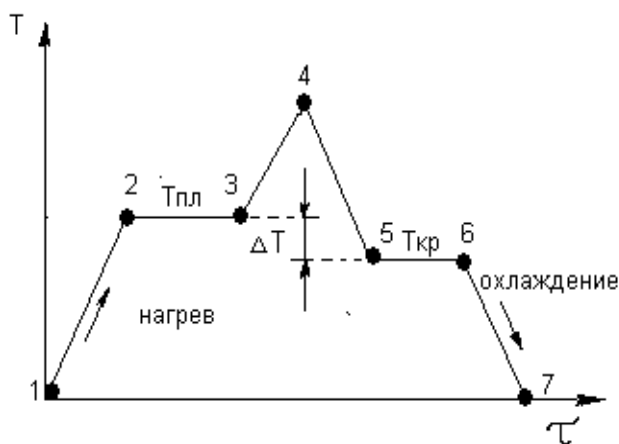


Рис. 2.5. График нагрева и охлаждения металла

На участке 1 – 2 подвод тепла к металлу сопровождается повышением его температуры. За счет поглощения тепловой энергии увеличивается амплитуда колебаний атомов кристаллической решетки.

На участке 2 – 3 подвод тепла не приводит к повышению температуры, а подводимая энергия расходуется на разрушение кристаллической решетки и перевод атомов в неупорядоченное состояние, то есть переход из твердого состояния в жидкое. На участке 3 – 4 подвод тепла вызывает повышение температуры уже жидкого металла. На участке 4 – 5 идет охлаждение жидкого металла. На участке 5 – 6 происходит кристаллизация металла. При этом выделяется тепло, которое называют *скрытой теплотой кристаллизации*. Кристаллизация металла происходит не при температуре плавления, а при переохлаждении на величину ΔT . Величина ΔT называется *степенью переохлаждения* и является разностью между теоретической температурой плавления (кристаллизации) и фактической температурой кристаллизации.

Механизм кристаллизации металла состоит в том, что при понижении температуры жидкого металла в нем начинают образовываться мелкие кристаллы, называемые центрами кристаллизации (или зародышами). Вокруг этих образовавшихся

центров начинают расти кристаллы (рис. 2.6). Процесс кристаллизации металла состоит из 2-х элементарных процессов: 1) зарождение центров кристаллизации; 2) рост кристаллов из этих центров.

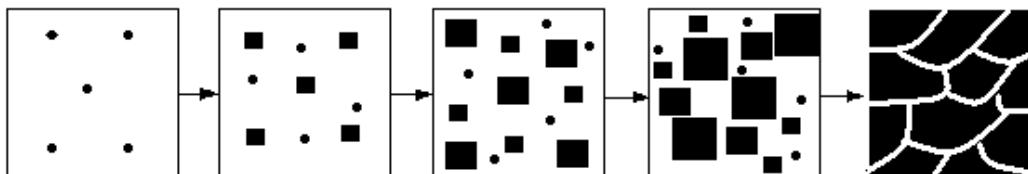


Рис. 2.6. Схема процесса кристаллизации металла

По мере роста кристаллов в жидком металле продолжают возникать новые центры кристаллизации. Растущие из них кристаллы ориентированы произвольно, и при столкновении с соседними правильная форма кристаллов нарушается, становится произвольной. Металл, состоящий из большого количества таких кристаллов, называется *поликристаллическим*.

Строение реальных металлов. Металлы и сплавы, полученные в обычных условиях, состоят из большого количества кристаллов, то есть имеют *поликристаллическое строение*. Эти кристаллы называют *зернами*. Они обычно имеют неправильную форму (рис. 2.7). Каждое из этих зерен имеет свою ориентировку кристаллической решетки, отличающуюся от соседних.

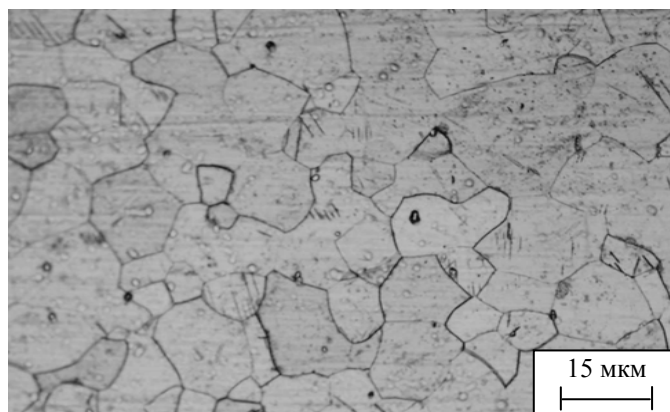


Рис. 2.7. Металлографическое изображение технически чистого титана марки ВТ1-0

Изучение строения металлов с помощью электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа показало, что внутреннее кристаллическое строение зерен не является правильным. В кристаллической решётке металла существуют различные дефекты

(несовершенства). Эти дефекты нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов.

Различают три вида структурных несовершенств: точечные, линейные и поверхностные. Все эти несовершенства характеризуются малыми – соизмеримыми с межатомным расстоянием – размерами. Точечные дефекты малы в трех измерениях; линейные дефекты малы в двух измерениях, а в одном велики – составляют десятки микрометров; поверхностные дефекты малы в одном измерении, а в двух – велики.

Точечные дефекты кристаллической решетки. Это вакансии, межузельные атомы, примесные атомы (рис. 2.8).

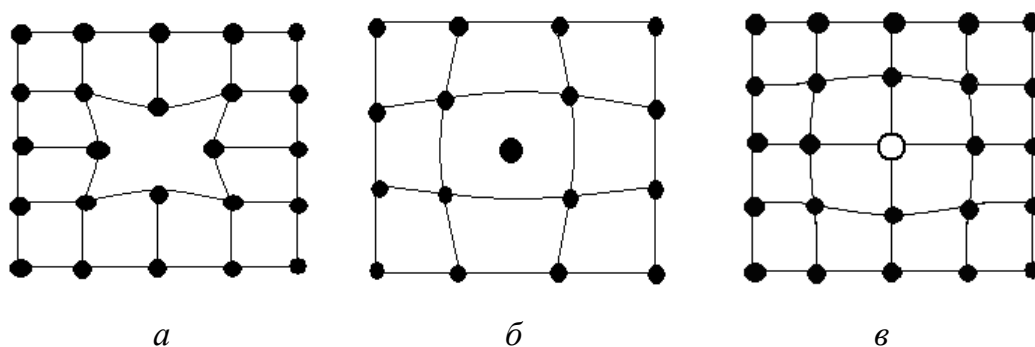


Рис. 2.8. Схемы точечных дефектов кристаллического строения:
а – вакансия; б – межузельный атом; в – примесный атом

Вакансия – это отсутствие атома в узле кристаллической решетки (рис. 2.8а). Вокруг вакансии возникает искажение кристаллической решетки и напряжения. Наличие вакансий в решетке сообщает атомам подвижность. При нагреве металла атомы перемещаются в процессе диффузии и самодиффузии (рис. 2.9). Число вакансий зависит от температуры металла. С повышением температуры число вакансий сильно увеличивается. Скопление вакансий может привести к образованию пустот и пор.

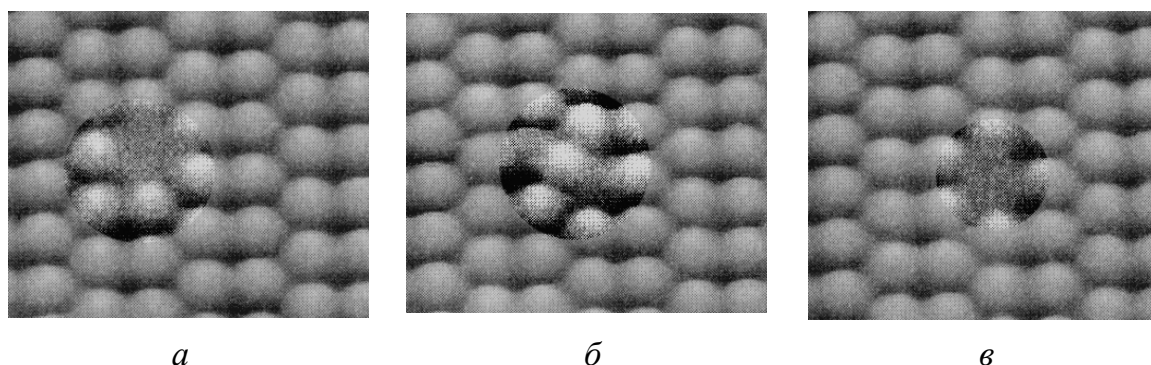


Рис. 2.9. Мигрирование вакансии в кристаллической решетке:
а – первоначальное местоположение вакансии; б – смещение атомов;
в – новое местоположение вакансии

Межузельный атом – это атом, вышедший из узла кристаллической решетки и занявший место в междоузлии (рис. 2.8б). Вокруг такого атома также возникает искажение кристаллической решетки. Величина искажений больше, чем при образовании вакансии. Межузельные атомы вызывают упрочнение металла. Вакансии и межузельные атомы могут аннигилировать.

Примесный атом – атом, занимающий в кристаллической решетке металла место основного атома (рис. 2.8в). Примесный атом всегда отличается по размеру от основных атомов.

Линейные дефекты кристаллической решетки. К линейным дефектам относятся дислокации (рис. 2.10).

Дислокация – это особая конфигурация расположения атомов в кристаллической решетке. Дислокации бывают двух основных видов: краевые и винтовые. *Краевую дислокацию* образует лишняя атомная полуплоскость, образованная в части кристалла. Эта полуплоскость называется *экстраплоскостью*.

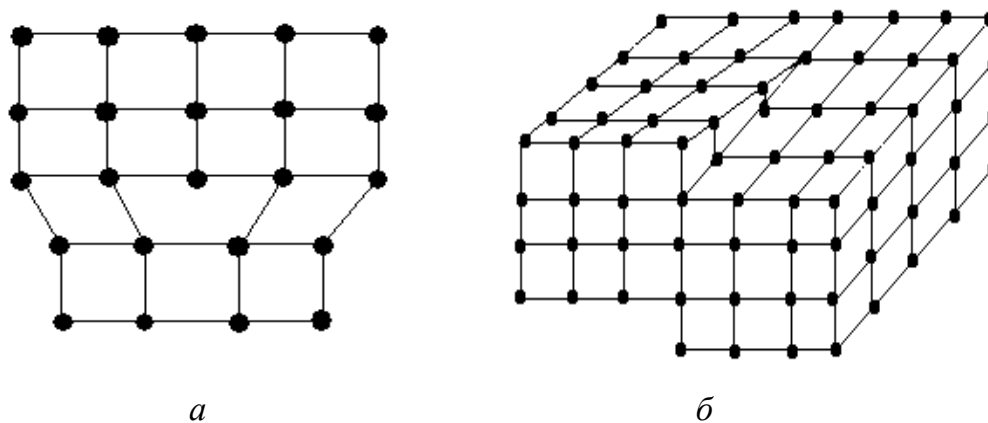


Рис. 2.10. Схемы линейных дефектов кристаллического строения:
а – краевой дислокации; б – винтовой дислокации

Винтовая дислокация получается при частичном сдвиге кристаллической решетки. При этом образуется ступенька, проходящая по части кристалла. В металлах могут возникать также *смешанные дислокации*, которые состоят из краевых и винтовых дислокаций.

Образование дислокаций повышает энергию кристалла. Плотность дислокаций зависит от состояния металла. После отжига плотность дислокаций составляет $10^4 - 10^8 \text{ см}^{-2}$. После холодной деформации плотность дислокаций увеличивается с $10^7 - 10^8 \text{ см}^{-2}$ до $10^{11} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Изменение плотности дислокаций сильно влияет на свойства металлов. Повышение плотности дислокаций увеличивает прочность.

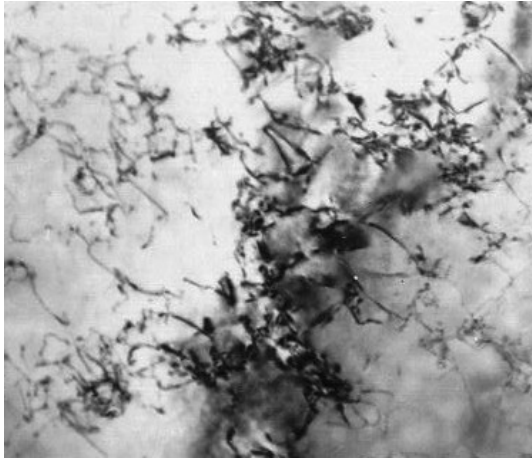


Рис. 2.11. Дислокационная структура в ферритном зерне стали 20

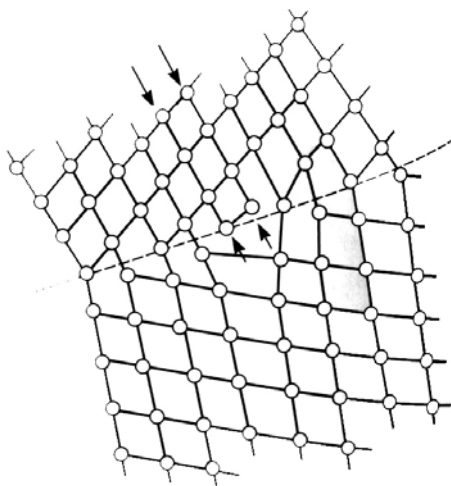
Анализ дислокационной структуры проводят с помощью электронной микроскопии. На рис. 2.11.

представлено светлопольное изображение зерна феррита в малоуглеродистой стали. Дислокации наблюдаются в виде нитевидных включений, декорированных атомами легких элементов: углерода, азота, водорода и т.п. Просвечивающая электронная микроскопия позволяет не только увидеть дислокации, но и рассчитать их

количество, а так же оценить морфологию.

Поверхностные дефекты кристаллического строения. Эти дефекты имеют малую толщину при значительных размерах в двух измерениях. Примерами поверхностных дефектов являются *границы зерен* и дефекты упаковки.

При поликристаллическом строении зерна в металлах повернуты одно относительно другого, и на границах между ними атомы не имеют правильного расположения (рис. 2.12).



а



б

Рис. 2.12. Схема границы между кристаллитами (а) и атомно-силовое изображение границ зерен (б)

Внутри зерен также выявляются нарушения правильного кристаллического строения. Дефекты упаковки возникают при сдвиге, внедрении или удалении плотноупакованной плоскости.

Поверхностные дефекты, так же как точечные и линейные оказывают влияние на механические свойства металлов, упрочняя их.

Объемные дефекты. В металлическом материале встречаются так



Рис. 2.13. Микроструктура газотермического покрытия из сплава на основе никеля ($\times 200$)

называемые объемные дефекты. Они имеют значительные размеры в трех измерениях и образуются в процессе производства металла, либо при изготовлении заготовки или готового изделия. Это *поры, раковины, пустоты, включения шлаков, окислов* и т.д. Так, в газотермических покрытиях, наносимых на детали для их восстановления и упрочнения, объемными дефектами являются границы между напыляемыми частицами, внутренняя пористость, сформировавшаяся при кристаллизации частиц и др. (рис. 2.13). Объемные дефекты снижают прочность металлов.

называемые объемные дефекты. Они имеют значительные размеры в трех измерениях и образуются в процессе производства металла, либо при изготовлении заготовки или готового изделия. Это *поры, раковины, пустоты, включения шлаков, окислов* и т.д. Так, в газотермических покрытиях, наносимых на детали для их восстановления и упрочнения, объемными дефектами являются границы между напыляемыми частицами, внутренняя

2.2. Строение металлических сплавов

В технике чистые металлы находят ограниченное применение. Основными конструкционными материалами, которые широко применяются в промышленности, являются металлические сплавы, которые часто обладают более высокими свойствами, чем чистые металлы.

Сплавом называется вещество, полученное сплавлением двух и более элементов. Металлические сплавы получают сплавлением металлов или преимущественно металлов с неметаллами. При этом металлический сплав сохраняет комплекс характерных металлических свойств.

В теории сплавов основными понятиями являются компонент, фаза и система. *Системой* называют металлы и металлические сплавы. *Компонентами* называют вещества, образующие систему. Ими могут быть элементы (металлы и неметаллы) и химические соединения элементов. Например: чистый металл является однокомпонентной системой, сплав двух металлов – двухкомпонентной системой.

Фазой называется однородная часть системы, отделенная от другой части системы (то есть другой фазы) поверхностью раздела. При переходе через эту поверхность раздела сильно (скачком) изменяются химический состав или структура. Например, при кристаллизации чистого металла в системе имеются только две фазы: жидкая – из расплавленного металла; твёрдая – из закристаллизовавшихся зерен этого же металла.

Фазы в металлических сплавах. В твердых в агрегатном состоянии сплавах фазами могут быть: зёрна чистого металла, зёрна твёрдого раствора, зёрна химического соединения.

Твердыми растворами называют фазы, в которых один из компонентов сплава сохраняет свою кристаллическую решетку, а атомы другого компонента располагаются в решетке первого компонента, изменяя ее размеры. Все твердые растворы однофазны и имеют металлический тип связи. Различаются твердые растворы внедрения и твердые растворы замещения (рис. 2.14).

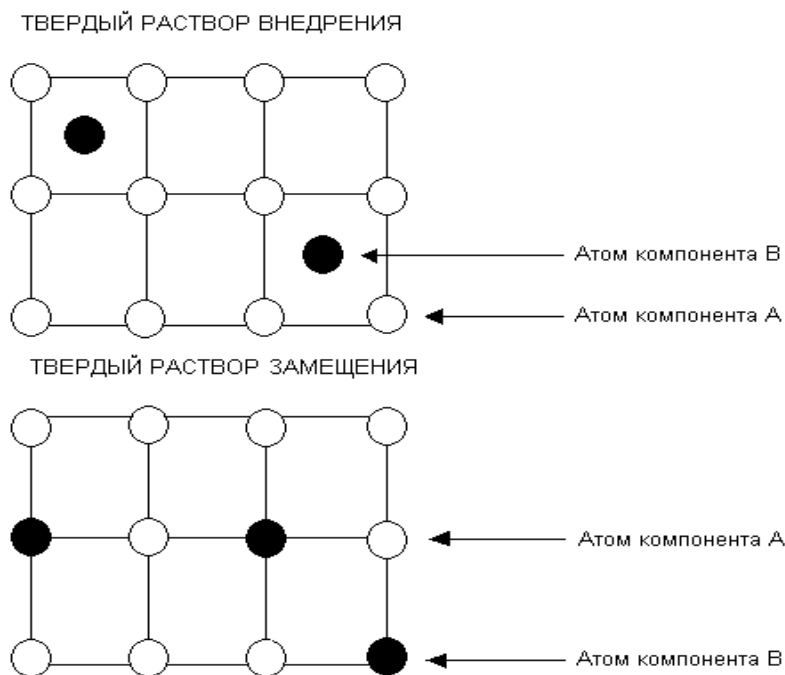


Рис.2.14. Схема формирования твердых растворов

Твердые растворы внедрения возникают при сплавлении металлов с неметаллами, имеющими малый атомный радиус – С, N, В, Н. Такие твердые растворы всегда имеют ограниченную растворимость второго компонента в первом. Например, с углеродом железо образует твердые растворы: феррит с ОЦК-решеткой и аустенит с ГЦК-решеткой.

Твердые растворы замещения образуются, когда атомные радиусы металлов отличаются менее, чем на 15%. Такие твердые растворы могут

быть ограниченными и неограниченными. Чем больше различие в атомных радиусах компонентов, тем меньше растворимость. Неограниченные твердые растворы образуют компоненты, имеющие одинаковый тип кристаллической решетки, например: Cu – Au, Si – Ge, Cu – Ni, Co – Ni, Ti – V.

Химические соединения образуются при химическом взаимодействии компонентов. В химическом соединении элементы находятся в строгом соотношении друг с другом, то есть соблюдается соответствие стехиометрической пропорции, выраженной формулой вида A_mB_n . Химические соединения имеют свою кристаллическую решетку, отличную от решеток компонентов. Химические соединения имеют постоянную температуру плавления, как и чистые металлы, и играют роль самостоятельного компонента.

Свойства химического соединения сильно отличаются от свойств исходных элементов. Как правило, оно обладает высокой твердостью и хрупкостью.

Примерами химических соединений являются:

1. соединения металлов с металлами, так называемые интерметаллиды, например, $CuAl_2$, Ni_3Al , $MoFe_2$, Mg_2Sn .

2. соединения металлов с неметаллами, так называемые металлические соединения, например: карбиды Fe_3C , VC, WC, TiC; нитриды TiN, Cr_2N , Fe_2N ; бориды CrB, Ni_3B , TiB_2 , а также гидриды элементов. Такие соединения очень тугоплавки и обладают высокой твердостью.

Некоторые химические соединения могут формировать твердые растворы. В этом случае сохраняется решетка химического соединения A_mB_n с замещенными в ее узлах атомами А или В, а так же замещенными или внедренными атомами третьего компонента С.

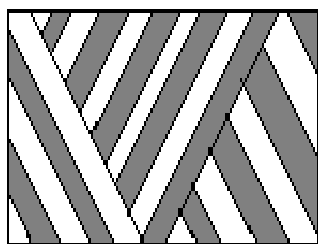


Рис. 2.15. Схема структуры механической смеси

При образовании сплавов в процессе затвердевания или полиморфного превращения в структуре может формироваться особая структурная составляющая, называемая механической смесью (рис. 2.15). Механическая смесь не является фазой, это смесь двух фаз, сформированная при определенной постоянной температуре и определенном постоянном химическом составе сплава.

Фазами, входящими в механическую смесь, могут быть чистые компоненты, твердые растворы и химические соединения.

Если механическая смесь формируется при одновременной кристаллизации зерен двух фаз из жидкости – она называется *эвтектика*, а такое превращение называется *эвтектическим*. Если механическая смесь формируется из твердой фазы при ее полиморфном превращении из высокотемпературной модификации в низкотемпературную модификацию с выделением второй фазы – такая механическая смесь называется *эвтектоидом*, а такое превращение называется *эвтектоидным*.

2.3. Диаграммы состояния сплавов

Диаграмма состояния – это графическое изображение состояния сплава в зависимости от температуры и концентрации компонентов. Диаграммы состояния показывают равновесные (устойчивые) состояния, то есть такие, которые обладают минимальной свободой энергий. Диаграмма строится в координатах: температура – концентрация компонентов.

С построения и анализа диаграммы состояния начинается изучение любого сплава. Диаграмма состояния позволяет изучать *фазы* и *структурные составляющие* сплава. Пользуясь диаграммой состояния можно определять при любой температуре нагрева сплава число составляющих фаз, их состав и количественное соотношение, температуры начала и конца плавления. Используя диаграмму состояния сплава, можно установить возможность проведения термической обработки и её режимы, температуру литья и горячей пластической деформации, и т.д.

Диаграмма состояния строится различными экспериментальными методами: по кривым охлаждения сплава (термический анализ); измерением удлинения образцов при охлаждении; наблюдением микроструктуры; рентгеновским методом и др.

Имеется *4 основных типа диаграмм состояния*, на которых основывается теория сплавов.

Диаграмма состояния сплавов с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии (механических смесей компонентов). Компоненты таких сплавов в жидком состоянии неограниченно растворимы друг в друге, а в твердом не вступают в химическое взаимодействие друг с другом и не растворяются друг в друге. Такая форма сплава возникает при большом различии в свойствах образующих его металлов. К сплавам с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии относятся сплавы Al – Si, Pb – Sb, Be – Al, Sn – Zn и др.

На диаграмме (рис. 2.16) линия АДВ является линией *ликвидус*, выше неё сплав находится в жидком состоянии; линия СДЕ является линией *солидус*, ниже неё сплав находится в твердом состоянии и представляет собой механическую смесь компонентов А и В. Выше линии солидус, но ниже линии ликвидус сплав состоит из жидкости (ж) и кристаллов А – левее точки Д; из жидкости (ж) и кристаллов В – правее точки Д.

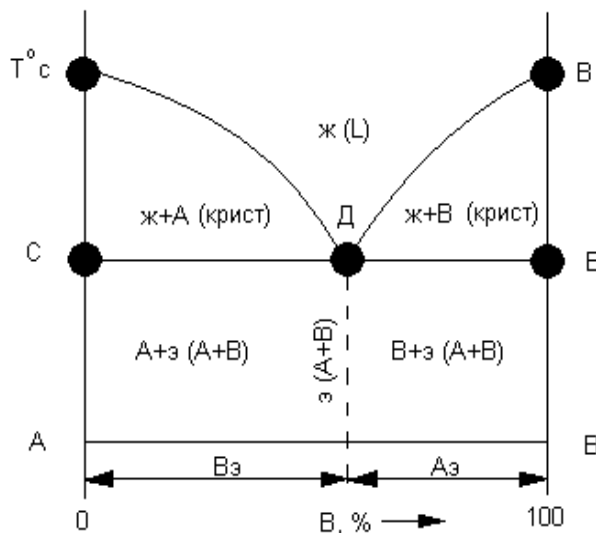


Рис. 2.16. Диаграмма состояния сплавов с полной нерастворимостью компонентов

При концентрации компонентов $A_э$ и $B_э$ – в точке Д – на диаграмме происходит кристаллизация из жидкости механической смеси кристаллов А и В – эвтектики. Эвтектика имеет наименьшую температуру плавления (кристаллизации) в данной системе и представляет собой сложную структуру чередующихся фаз А и В.

В соответствии с данной диаграммой в зависимости от концентрации компонентов могут формироваться доэвтектические, эвтектические и заэвтектические сплавы (рис. 2.17).

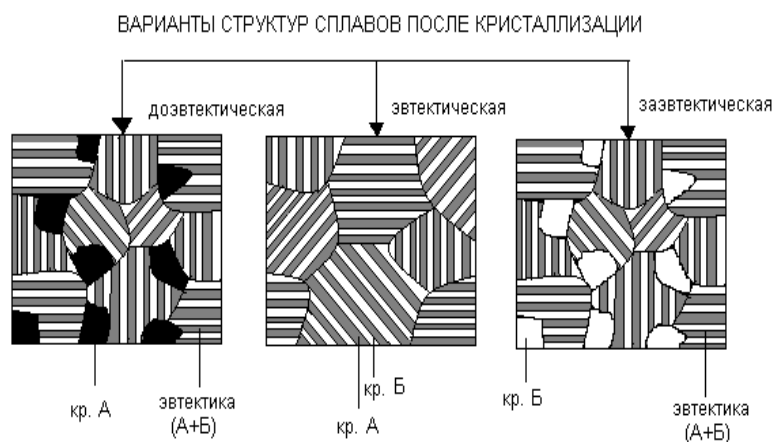


Рис. 2.17. Схематические изображения структуры сплавов с полной нерастворимостью компонентов

Доэвтектические сплавы – левее точки Д, ниже линии СД; заэвтектические – правее точки Д, ниже линии ДЕ; эвтектические – при эвтектической концентрации компонентов А и В, ниже точки Д.

Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Эта диаграмма соответствует сплавам, у которых компоненты и в жидком, и в твердом состоянии образуют растворы. Причем в твердом состоянии формируется твердый раствор замещения с полной растворимостью компонентов. К сплавам, имеющим такую диаграмму, относятся Cu-Ni, Fe-Cr, Co-Cr и др.

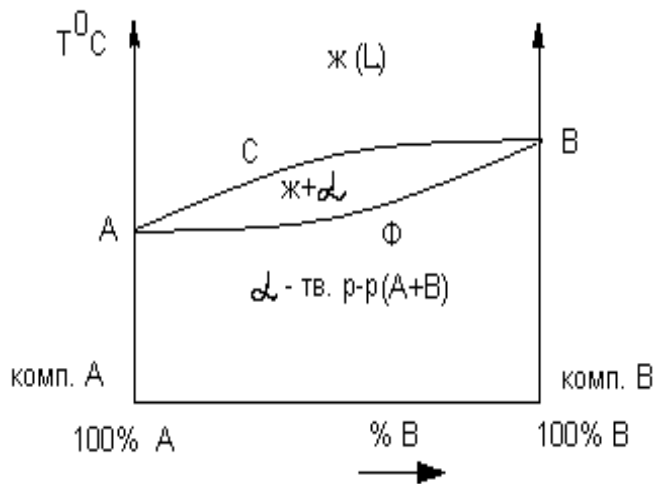


Рис. 2.18. Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов

На диаграмме (рис. 2.18): линия ACB – ликвидус; линия AFB – солидус; точки А и В – температуры кристаллизации компонентов А и В, соответственно; α – неограниченный твердый раствор компонентов А и В друг в друге (рис. 2.19).

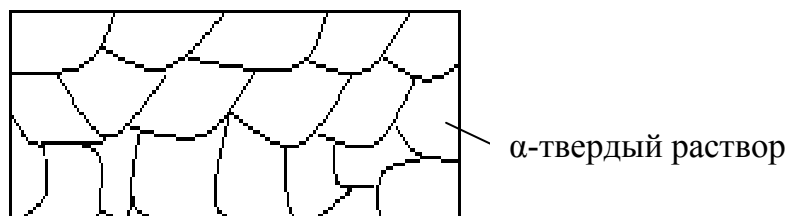


Рис. 2.19. Схематическое изображение структуры сплава с неограниченной растворимостью компонентов при любой концентрации компонентов

При любом составе сплава (кроме состава чистых компонентов), на линии ликвидуса начинается процесс формирования первых кристаллитов твердого состава. На линии солидуса кристаллизация заканчивается.

Кристаллиты твердого раствора, сформированные при разной температуре имеют разный химический состав. При медленной, так называемой равновесной кристаллизации, за счет диффузионных процессов состав кристаллов выравнивается. Однако реальные условия охлаждения сплавов в технологическом производстве изделий не обеспечивают протекание диффузионных процессов. Неравновесная кристаллизация создает внутри сплава так называемую *дендритную (внутрикристаллитную) ликвацию*. Чем больше температурный интервал кристаллизации сплава, то есть, чем больше расстояние между линиями ликвидус и солидус, тем сильнее проявляется дендритная ликвация, снижающая свойства.

Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Эта диаграмма характеризует систему сплавов двух компонентов, обозначающих твёрдые растворы в ограниченных областях сплавов, за пределами которых образуется механическая смесь из кристаллов твёрдых растворов.

Диаграмма представляет собой комбинацию диаграмм: диаграмму с полной нерастворимостью компонентов в твёрдом состоянии (с эвтектикой – механической смесью) и диаграмму с неограниченной растворимостью компонентов в твёрдом состоянии (рис. 2.20).

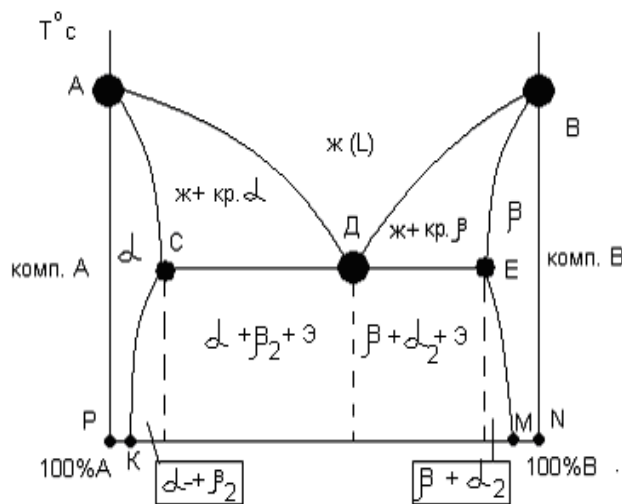


Рис. 2.20. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов

Несмотря на сложный, на первый взгляд, вид, используя закономерности, характерные для двух предыдущих диаграмм, можно легко разобраться в этой диаграмме.

На этой диаграмме: линия АДВ – ликвидус; линия АСДЕВ – солидус; область АСКРА – область существования твердого раствора α (твердого раствора компонента В в кристаллической решетке компонента А); область ВЕМНВ – область существования твердого раствора β (твердого раствора компонента А в кристаллической решетке компонента В); область КСДЕМ – область существования механической смеси двух твердых растворов, α и β . Линии КС и ЕМ являются линиями переменной растворимости. Ниже этих линий из твердых растворов α и β выделяются вторичные кристаллы β_2 и α_2 .

Физические и химические свойства этих вторичных кристаллов такие же, что и первичных кристаллов той же фазы. Отличие заключается в размерах и форме. При высокой температуре превращения и медленном охлаждении сплава вторичные фазы выделяются по границам зерен твердых растворов α и β (рис. 2.21а). При низкой температуре превращения или быстром охлаждении вторичные фазы выделяются внутри зерен твердых растворов α и β в виде дисперсных (мелких) включений (рис. 2.21б). Эти вторичные зерна (твердого раствора β_2) приводят к упрочнению сплава – так называемому *дисперсионному твердению*.

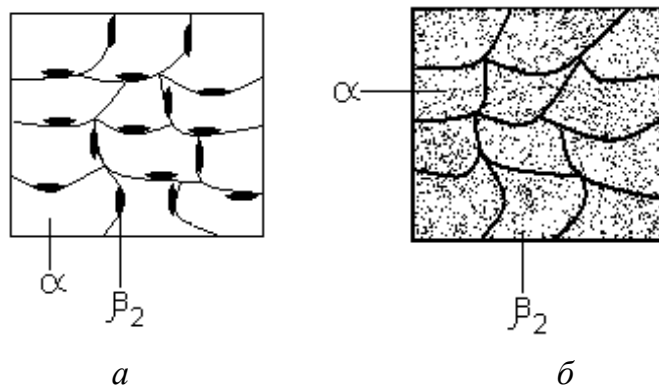


Рис. 2.21. Схематическое изображение выделения вторичных фаз: а – при равновесном охлаждении; б – при неравновесном охлаждении

Чем больше скорость охлаждения, тем меньше образуется вторичных кристаллов β_2 и α_2 фаз. При определенных, выше критических, скоростях охлаждения выделений вторичных фаз вообще не происходит, а происходит закалка сплава и образуется пересыщенный твердый раствор α или β .

При охлаждении сплава эвтектического состава (точка Д – на диаграмме) из жидкости одновременно выделяются кристаллы твердых

растворов α и β , и образуется эвтектика ($\alpha + \beta$), то есть механическая смесь растворов.

При охлаждении доэвтектических сплавов с концентрацией компонента В в пределах между точками С и Д ниже линии солидус (СД) остатки жидкости (ранее не закристаллизовавшейся как твердый раствор α) кристаллизуются с образованием эвтектики ($\alpha + \beta$). Сплав имеет структуру: эвтектика + отдельные зерна α - фазы (рис. 2.22а).

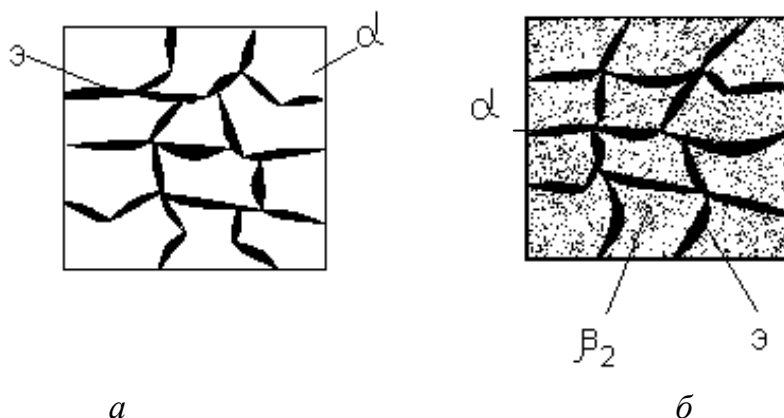


Рис. 2.22. Схематическое изображение строения доэвтектического сплава: а – до начала дисперсионного твердения; б – после дисперсионного твердения

Соотношение зерен эвтектики и твердого раствора α зависит от исходной концентрации сплава. Чем ближе состав сплава к эвтектическому, тем больше зерен эвтектики. Кроме того, при охлаждении сплава из твердого раствора α происходит выделение мелких вторичных зерен β_2 (рис. 2.22б).

При охлаждении заэвтектических сплавов с концентрацией компонента В в пределах между точками Д и Е происходят аналогичные процессы с выделением α_2 кристаллов.

Указанная диаграмма характерна для сплавов типа Pb – Sn, которые используют в качестве припоев в электронике (из-за низкой температуры плавления ~ 183 °С).

Диаграмма состояния сплавов с устойчивым химическим соединением. Устойчивым называется такое химическое соединение, которое при нагреве до температуры плавления не диссоциирует. Такие химические соединения, как говорилось выше, играют роль компонентов в сплавах и описываются диаграммами состояния с устойчивым химическим соединением (рис. 2.23).

Если химическое соединение $AmBn$ обозначить как компонент С, то данная диаграмма разделится на 2 части, которые аналогичны уже рассмотренным нами ранее. Исключением является то, что одним из компонентов является химическим соединением. Таким образом, одна

часть диаграммы (левее точки С) – простая эвтектическая диаграмма с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии, а другая (правее точки С) – эвтектическая диаграмма с ограниченной растворимостью компонента С в решетке компонента В, то есть $AmBn$.

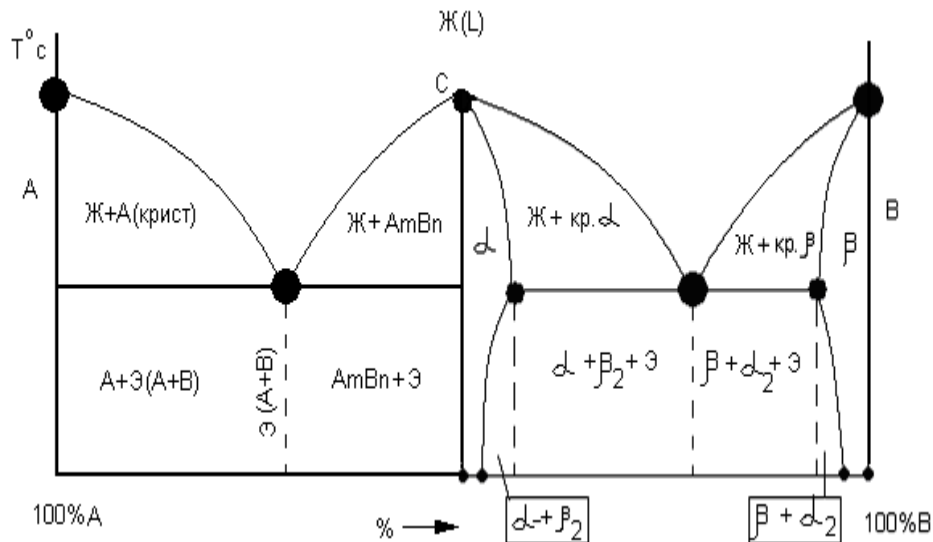


Рис. 2.23. Диаграмма состояния сплавов с устойчивым химическим соединением

Поэтому, по аналогии с диаграммой с ограниченной растворимостью компонентов, α -фаза является твердым раствором компонента В в кристаллической решетке химического соединения $AmBn$, а β -фаза является твердым раствором химического соединения $AmBn$ в кристаллической решетке компонента В.

Физические и механические свойства сплавов. Свойства сплавов в значительной степени определяются фазовым составом, о котором можно судить по диаграмме состояния. Для систем, образующих непрерывные твердые растворы, зависимость свойств от состава изображается кривыми, а для двухфазных смесей – прямыми линиями (рис. 2.24).

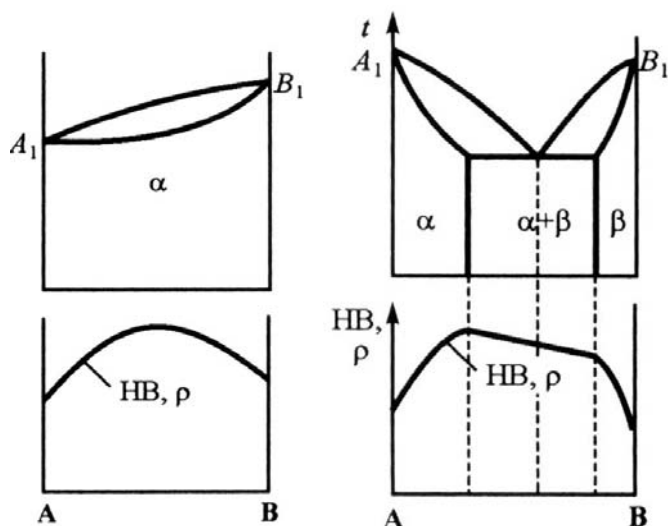


Рис. 2.24. Закономерности изменения свойств сплавов

Эти закономерности указывают на то, что у твердых растворов такие свойства, как твердость HB, удельное сопротивление ρ , всегда превосходят аналогичные свойства исходных компонентов.

Сохранение пластичности твердых сплавов используется на практике. Например, при растворении в меди 5% алюминия прочность увеличивается в два раза, а пластичность остается на уровне пластичности чистой меди. Твердые растворы обладают и другими уникальными физическими и химическими свойствами. Например, при растворении в железе 30% никеля теряются его ферромагнитные свойства.

Строение сплава определяет и технологические свойства. Сплавы в состоянии твердых растворов хорошо обрабатываются давлением (деформируемые сплавы), но трудно – резанием. Эвтектические сплавы обладают наилучшей жидкотекучестью и являются литейными сплавами.