

Лекция 4

Тема лекции: Диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов

Цель лекции:

Изучить принципы построения и анализа диаграмм состояния бинарных (двухкомпонентных) сплавов, раскрыть закономерности фазовых превращений в системах металл–металл и металл–неметалл, а также связь диаграмм состояния со структурой и свойствами сплавов.

Основные вопросы:

1. Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (сплавы твердые растворы с неограниченной растворимостью)
2. Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в компонентах в твердом состоянии (механические смеси)
3. Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии
4. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения.
5. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии (переменная растворимость)
6. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

Введение.

Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (сплавы твердые растворы с неограниченной растворимостью). Ниже приведена Диаграмма состояния и кривые охлаждения сплавов системы на рис. 5.1.

Сначала получают термические кривые. Полученные точки переносят на диаграмму, соединив точки начала кристаллизации сплавов и точки конца кристаллизации, получают диаграмму состояния.

Проведем анализ полученной диаграммы.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В).
2. Число фаз: $f = 2$ (жидкая фаза L, кристаллы твердого раствора)
3. Основные линии диаграммы:

- acb – линия ликвидус, выше этой линии сплавы находятся в жидком состоянии;
- adb – линия солидус, ниже этой линии сплавы находятся в твердом состоянии.

4. Характерные сплавы системы:

Чистые компоненты А и В кристаллизуются при постоянной температуре, кривая охлаждения компонента В представлена на рис. 5.1, б.

Остальные сплавы кристаллизуются аналогично сплаву I, кривая охлаждения которого представлена на рис. 5.1, б.

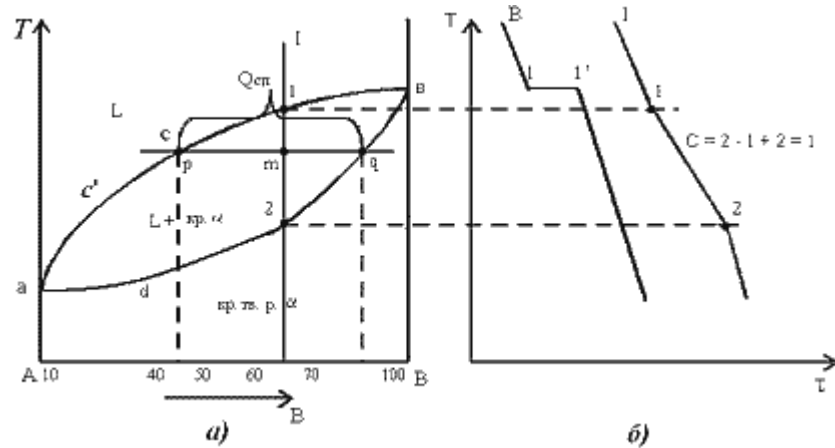


Рис.5.1 Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а); кривые охлаждения типичных сплавов (б)

Процесс кристаллизации сплава I: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации твердого раствора α . На кривой охлаждения отмечается перегиб (критическая точка), связанный с уменьшением скорости охлаждения вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации. На участке 1–2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре, так как согласно правилу фаз в двухкомпонентной системе при наличии двух фаз (жидкой и кристаллов твердого раствора α) число степеней свободы будет равно единице ($C = 2 - 2 + 1 = 1$). При достижении температуры соответствующей точке 2, сплав затвердевает, при дальнейшем понижении температуры охлаждается сплав в твердом состоянии, состоящий из однородных кристаллов твердого раствора α .

Схема микроструктуры сплава представлена на рис. 5.2.

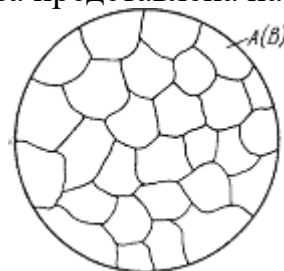


Рис. 5.2. Схема микроструктуры сплава – однородного твердого раствора

5. Количественный структурно-фазовый анализ сплава.

Пользуясь диаграммой состояния, можно для любого сплава при любой температуре определить не только число фаз, но и их состав и количественное соотношение. Для этого используется *правило отрезков*. Для проведения количественного структурно-фазового анализа через заданную точку проводят горизонталь (коноду) до пересечения с ближайшими линиями диаграммы (ликвидус, солидус или оси компонентов).

а). Определение состава фаз в точке m :

Для его определения через точку m проводят горизонталь до пересечения с ближайшими линиями диаграммы: ликвидус и солидус.

Состав жидкой фазы определяется проекцией точки пересечения горизонтали с линией ликвидус p на ось концентрации.

Состав твердой фазы определяется проекцией точки пересечения горизонтали с линией солидус q (или осью компонента) на ось концентрации.

Состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидуса, а состав твердой фазы – по линии солидуса.

С понижением температуры состав фаз изменяется в сторону уменьшения содержания компонента В.

б). Определение количественного соотношения жидкой и твердой фазы при заданной температуре (в точке m):

Количественная масса фаз обратно пропорциональна отрезкам проведенной коноды. Рассмотрим проведенную через точку m коноду и ее отрезки.

Количество всего сплава (Q_{cn}) определяется отрезком pq .

Отрезок, прилегающий к линии ликвидус pm , определяет количество твердой фазы.

$$Q_{тв} = \frac{pm}{pq} \cdot 100\%$$

Отрезок, прилегающий к линии солидус (или к оси компонента) mq , определяет количество жидкой фазы.

$$Q_{ж} = \frac{mq}{pq} \cdot 100\%$$

Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (механические смеси)

Диаграмма состояния и кривые охлаждения типичных сплавов системы представлены на рис. 5.3.

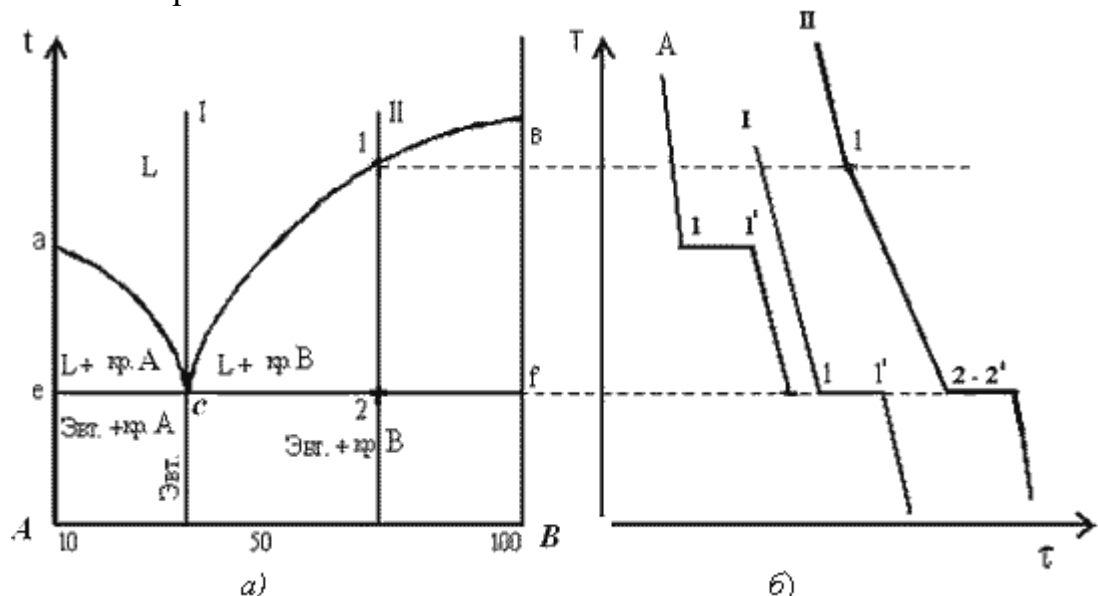


Рис. 5.3. Диаграмма состояния сплавов с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения сплавов (б)

Проведем анализ диаграммы состояния.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В);
2. Число фаз: $f = 3$ (кристаллы компонента А, кристаллы компонента В, жидкая фаза).
3. Основные линии диаграммы:
 - линия ликвидус ac_b , состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;
 - линия солидус ec_f , параллельна оси концентраций стремится к осям компонентов, но не достигает их;
4. Типовые сплавы системы.

а) Чистые компоненты, кристаллизуются при постоянной температуре, на рис 5.3 б показана кривая охлаждения компонента А.

б). *Эвтектический сплав* – сплав, соответствующий концентрации компонентов в точке с (сплав I). Кривая охлаждения этого сплава, аналогична кривым охлаждения чистых металлов (рис. 5.3 б)

Эвтектика – мелкодисперсная механическая смесь разнородных кристаллов, кристаллизующихся одновременно при постоянной, самой низкой для рассматриваемой системы, температуре.

При образовании сплавов механических смесей эвтектика состоит из кристаллов компонентов А и В: Эвт. (кр. А + кр. В)

Процесс кристаллизации эвтектического сплава: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинается одновременная кристаллизация двух разнородных компонентов. На кривой охлаждения отмечается температурная остановка, т.е. процесс идет при постоянной температуре, так как согласно правилу фаз в двухкомпонентной системе при наличии трех фаз (жидкой и кристаллов компонентов А и В) число степеней свободы будет равно нулю ($C = 2 - 3 + 1 = 0$). В точке 1' процесс кристаллизации завершается. Ниже точки 1' охлаждается сплав, состоящий из дисперсных разнородных кристаллов компонентов А и В.

в) Другие сплавы системы аналогичны сплаву II, кривую охлаждения сплава см на рис 5.3.б.

Процесс кристаллизации сплава II: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации избыточного компонента В. На кривой охлаждения отмечается перегиб (критическая точка), связанный с уменьшением скорости охлаждения вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации. На участке 1–2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре, так как согласно правилу фаз в двухкомпонентной системе при наличии двух фаз (жидкой и кристаллов компонента В) число степеней свободы будет равно единице ($C = 2 - 2 + 1 = 1$). При охлаждении состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус до эвтектического. На участке 2–2' кристаллизуется эвтектика (см. кристаллизацию эвтектического сплава). Ниже точки 2' охлаждается сплав, состоящий из кристаллов первоначально закристаллизовавшегося избыточного компонента В и эвтектики.

Схема микроструктуры сплава представлена на рис. 5.4.

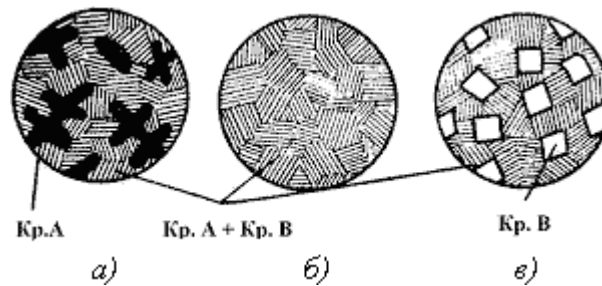


Рис. 5.4. Схема микроструктур сплавов: а – доэвтектического, б – эвтектического, в – заэвтектического

5. При проведении количественного структурно-фазового анализа, конода, проведенная через заданную точку, пересекает линию ликвидус и оси компонентов, поэтому состав твердой фазы или 100 % компонента А, или 100 % компонента В.

Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии

Диаграмма состояния и кривые охлаждения типичных сплавов системы представлены на рис.5.5.

1. Количество компонентов: $K = 2$ (компоненты А и В);
2. Число фаз: $f = 3$ (жидкая фаза и кристаллы твердых растворов α (раствор компонента В в компоненте А) и β (раствор компонента А в компоненте В));
3. Основные линии диаграммы:
 - линия ликвидус acb , состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;
 - линия солидус $adcfb$, состоит из трех участков;
 - dm – линия предельной концентрации компонента В в компоненте А;
 - fn – линия предельной концентрации компонента А в компоненте В.

4. Типовые сплавы системы.

При концентрации компонентов, не превышающей предельных значений (на участках Am и nV), сплавы кристаллизуются аналогично сплавам твердым растворам с неограниченной растворимостью, см кривую охлаждения сплава I на рис. 5.5 б. При концентрации компонентов, превышающей предельные значения (на участке dcf), сплавы кристаллизуются аналогично сплавам механическим смесям, см. кривую охлаждения сплава II на рис. 5.5 б.

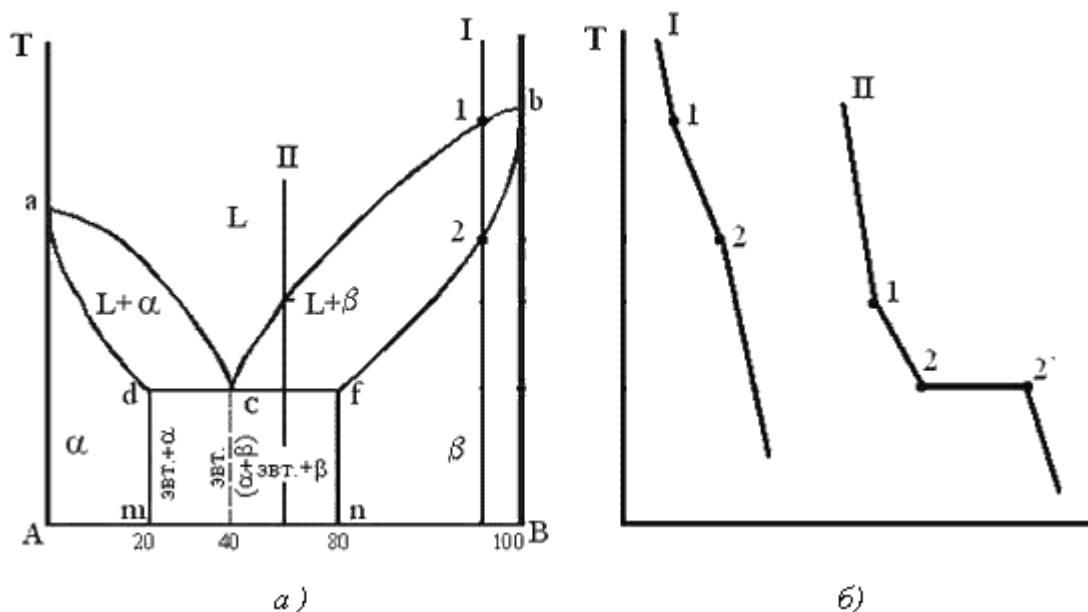


Рис. 5.5 Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения типичных сплавов (б)

Сплав с концентрацией компонентов, соответствующей точке с, является эвтектическим сплавом. Сплав состоит из мелкодисперсных кристаллов твердых растворов α и β , эвт. (кр. тв. р-ра α + кр. тв. р-ра β)

Кристаллы компонентов в чистом виде ни в одном из сплавов не присутствуют.

Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения.

Диаграмма состояния сплавов представлена на рис. 5.6.

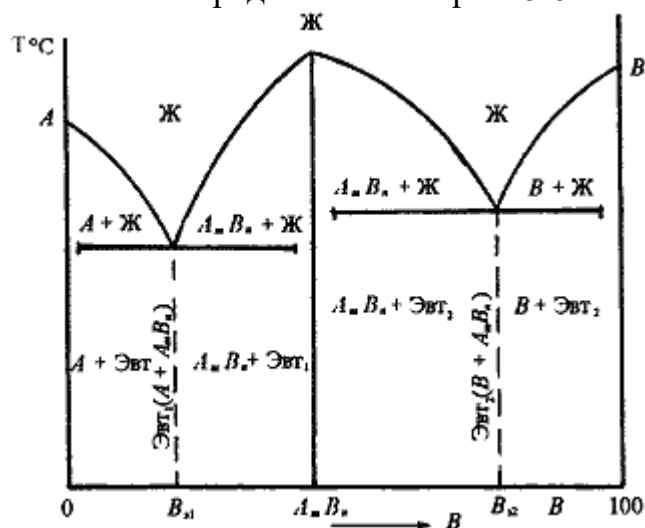


Рис. 5.6. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения

Диаграмма состояния сложная, состоит из нескольких простых диаграмм. Число компонентов и количество диаграмм зависит от того, сколько химических соединений образуют основные компоненты системы.

Число фаз и вид простых диаграмм определяются характером взаимодействия между компонентами.

Эвт₁ (кр. A + кр. AmBn);

Эвт₂ (кр. B + кр. AmBn).

Диаграмма состояния сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии (переменная растворимость)

Диаграмма состояния представлена на рис. 5.7.

По внешнему виду диаграмма похожа на диаграмму состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Отличие в том, что линии предельной растворимости компонентов не перпендикулярны оси концентрации. Появляются области, в которых из однородных твердых растворов при понижении температуры выделяются вторичные фазы.

На диаграмме:

- df – линия переменной предельной растворимости компонента В в компоненте А;
- ек – линия переменной предельной растворимости компонента А в компоненте В.

Кривая охлаждения сплава I представлена на рис. 5.7 б.

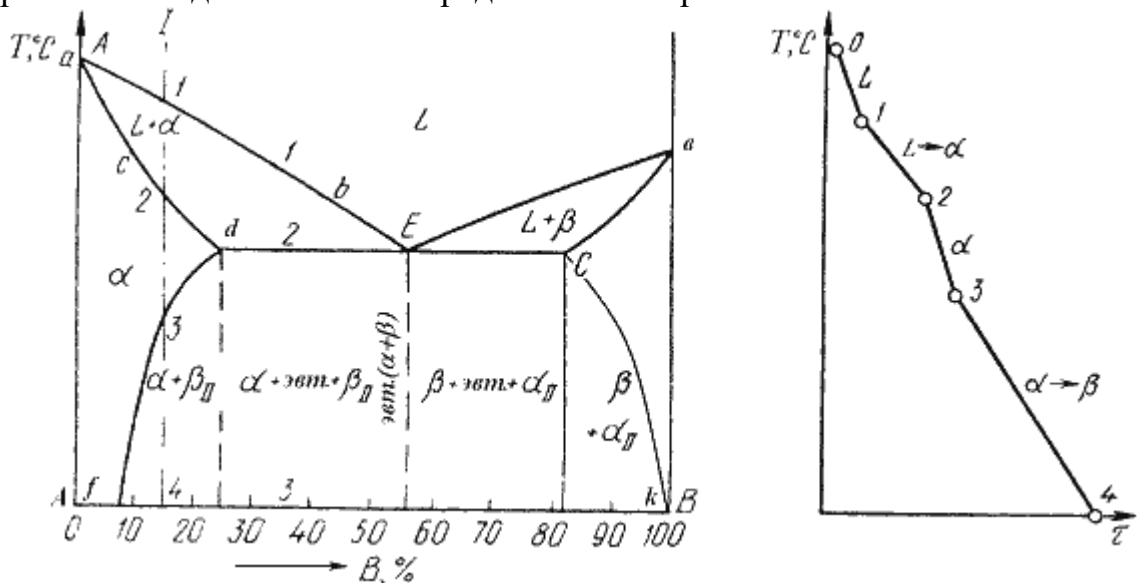


Рис. 5.7. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии (а) и кривая охлаждения сплава (б)

Процесс кристаллизации сплава I: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации твердого раствора α . На участке 1–2 идет процесс кристаллизации, протекающий при понижающейся температуре. При достижении температуры соответствующей точке 2, сплав затвердевает, при дальнейшем понижении температуры охлаждается сплав в твердом состоянии, состоящий из однородных кристаллов твердого раствора α . При достижении температуры, соответствующей точке 3, твердый раствор α оказывается насыщенным компонентом В, при более низких температурах

растворимость второго компонента уменьшается, поэтому из α -раствора начинает выделяться избыточный компонент в виде кристаллов β_{II} . За точкой 3 сплав состоит из двух фаз: кристаллов твердого раствора α и вторичных кристаллов твердого раствора β_{II} .

Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

Так как вид диаграммы, также как и свойства сплава, зависит от того, какие соединения или какие фазы образовали компоненты сплава, то между ними должна существовать определенная связь. Эта зависимость установлена Курнаковым, (см. рис. 5.8.).

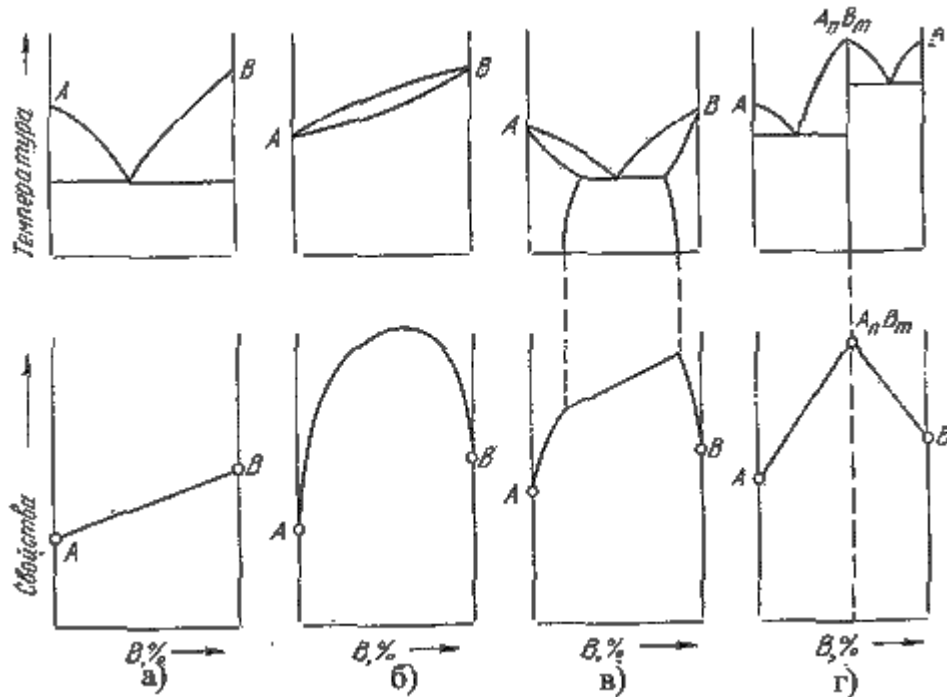


Рис. 5.8. Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния

1. При образовании механических смесей свойства изменяются по линейному закону. Значения характеристик свойств сплава находятся в интервале между характеристиками чистых компонентов.

2. При образовании твердых растворов с неограниченной растворимостью свойства сплавов изменяются по криволинейной зависимости, причем некоторые свойства, например электросопротивление, могут значительно отличаться от свойств компонентов.

3. При образовании твердых растворов с ограниченной растворимостью свойства в интервале концентраций, отвечающих однофазным твердым растворам, изменяются по криволинейному закону, а в двухфазной области – по линейному закону. Причем крайние точки на прямой являются свойствами чистых фаз, предельно насыщенных твердых растворов, образующих данную смесь.

4. При образовании химических соединений концентрация химического соединения отвечает максимуму на кривой. Эта точка

перелома, соответствующая химическому соединению, называется сингулярной точкой.

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Что такое диаграмма состояния и для чего она используется?
2. Чем отличается диаграмма с полной растворимостью от диаграммы с эвтектическим превращением?
3. Каково физическое значение эвтектической точки?
4. Как применяется правило отрезков?
5. Приведите примеры систем, для которых характерны различные типы диаграмм.

Список литературных источников:

1. Улицкий А. Р. Физика материалов. — М.: Физматлит, 2021.
 2. Новиков И. И. Материаловедение. — М.: Metallurgy, 2019.
 3. Callister W. D., Rethwisch D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. — Wiley, 2022.
 4. Ashby M., Jones D. Engineering Materials 1–2. — Elsevier, 2021.
- Лившиц Б.Г., Краношин В.С., Липецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Metallurgy, 1980, -320 с