

Лекция 4

Тема Лекции: Диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов

к.ф.-м.н., PhD, ассоциированный профессор
Тулегенова Аида Тулегенкызы

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

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. 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: К = 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.**

Остальные сплавы кристаллизуются аналогично сплаву I, кривая охлаждения которого представлена на след.слайде.

Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (сплавы твердые растворы с неограниченной растворимостью)

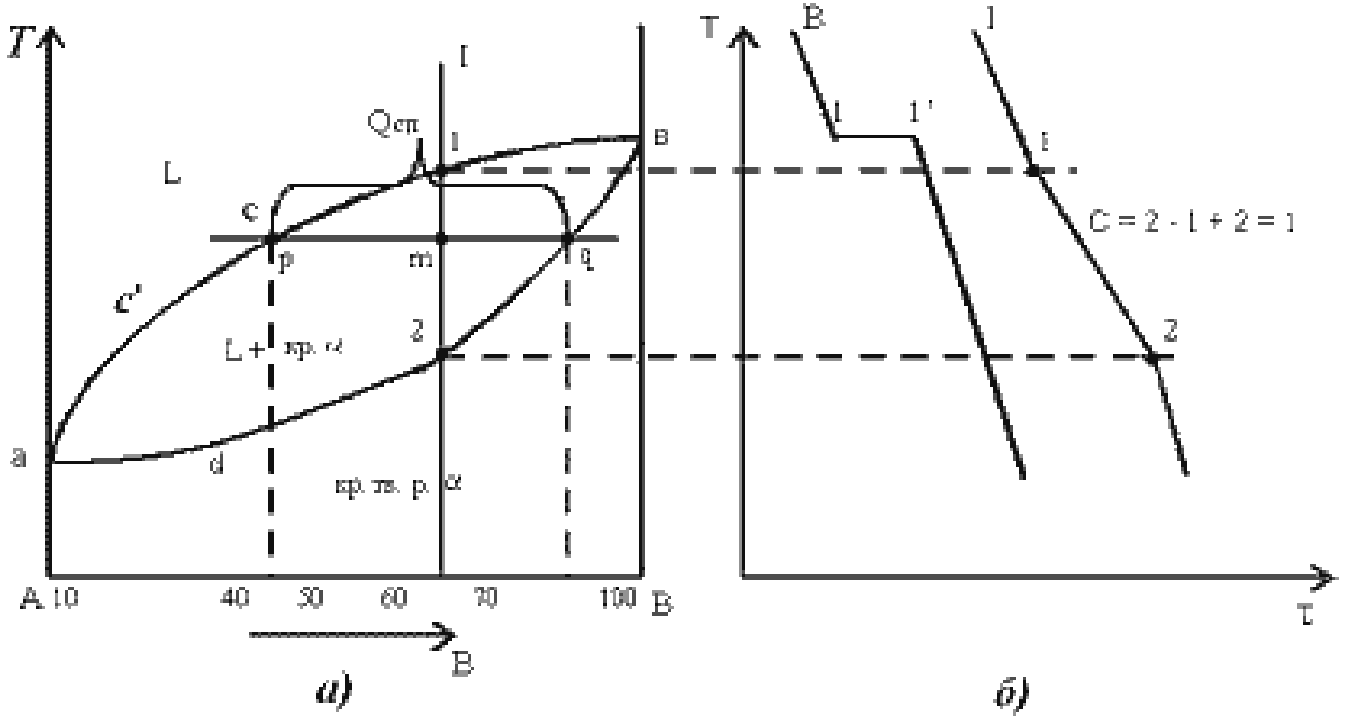


Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а);
кривые охлаждения типичных сплавов (б)

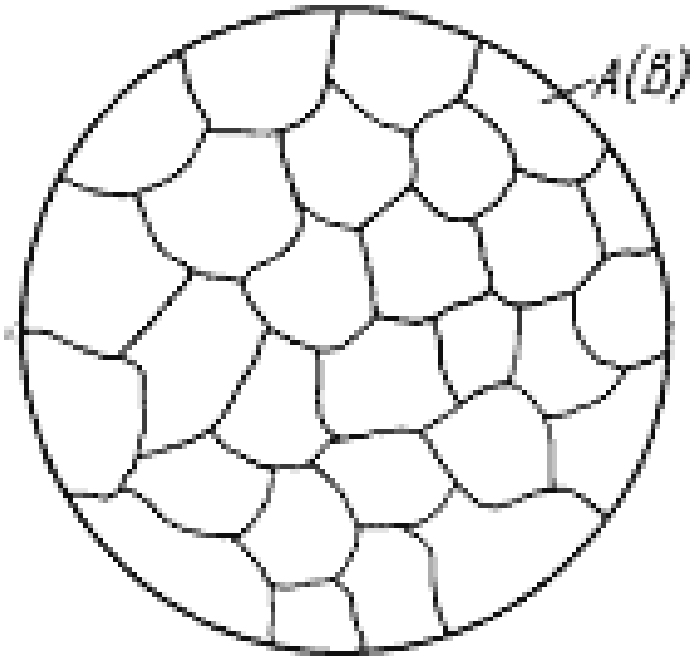
***Процесс кристаллизации сплава I*: до точки 1 охлаждается сплав в жидком состоянии. При температуре, соответствующей точке 1, начинают образовываться центры кристаллизации твердого раствора . На кривой охлаждения отмечается перегиб (критическая точка), связанный с уменьшением скорости охлаждения вследствие 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 *а*) 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 *а*.

Микроструктуры сплава – однородного твердого раствора



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).

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

Количество всего сплава ($Q_{сп}$) определяется отрезком *pq*.

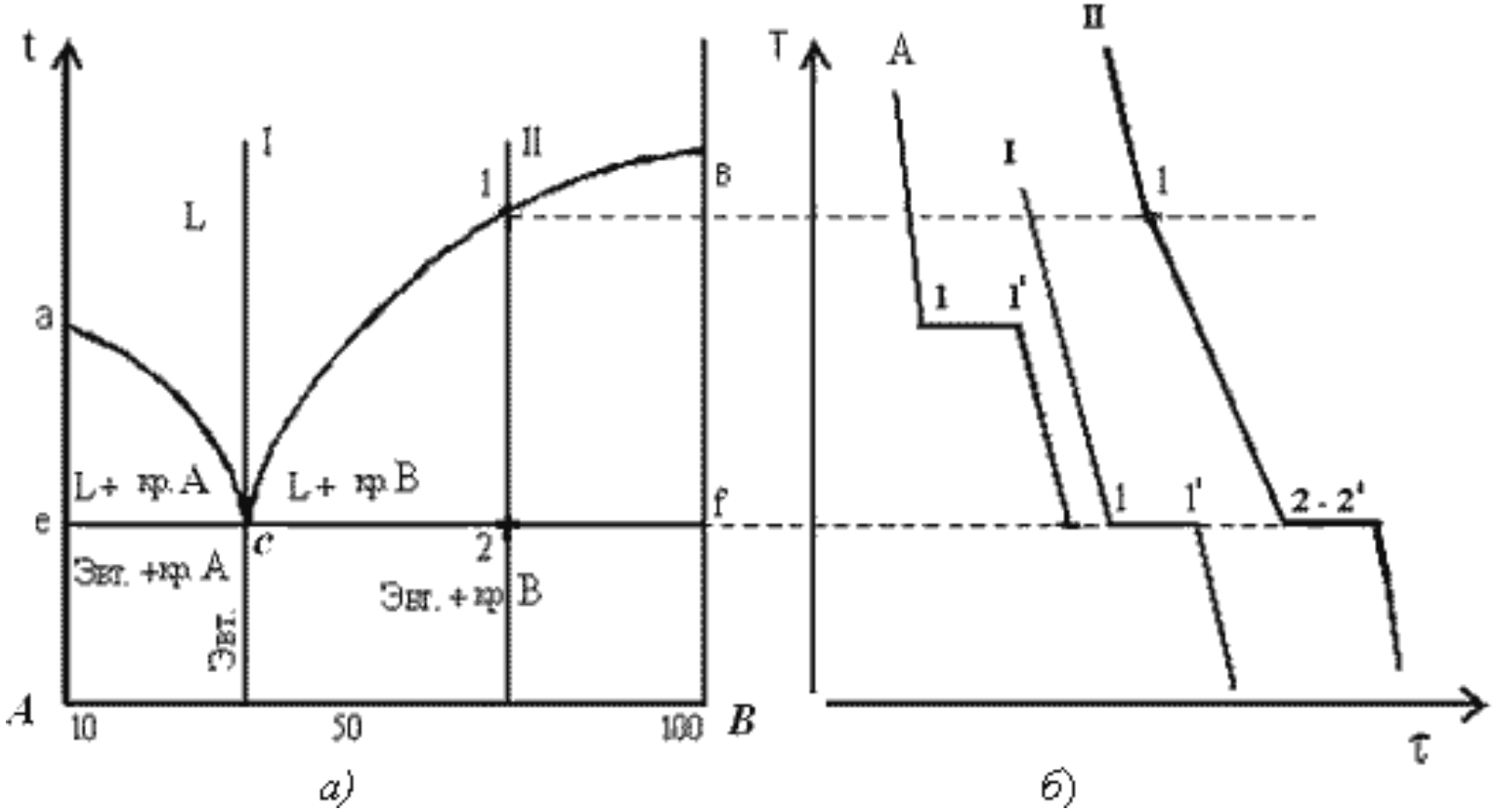
***О*трезок, прилегающий к линии ликвидус *pm*, определяет количество твердой фазы.**

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

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 компонентов в твердом состоянии (механические смеси)



Проведем анализ диаграммы состояния.

1. Количество компонентов: *K = 2* (компоненты A и B);

2. Число фаз: *f = 3* (кристаллы компонента A, кристаллы компонента B, жидкая фаза).

3. Основные линии диаграммы:

- **линия *ликвидус* acb, состоит из двух ветвей, сходящихся в одной точке;**
- **линия *солидус* ecf, параллельна оси концентраций стремится к осям компонентов, но не достигает их;**

4. Типовые сплавы системы.

а) Чистые компоненты, кристаллизуются при постоянной температуре, показана кривая охлаждения компонента A.

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

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

Выводы лекции:

Назначение диаграмм состояния: Диаграммы двойных сплавов наглядно отображают их фазовый состав в зависимости от температуры и концентрации компонентов в равновесных условиях.

Основные типы взаимодействия: Структура сплавов определяется взаимной растворимостью компонентов в твёрдом состоянии — от неограниченных и ограниченных твёрдых растворов до механических смесей (эвтектик) и химических соединений.

Превращения в твёрдом состоянии: Наличие переменной растворимости и фазовых переходов (эвтектоидные превращения, выделение избыточных фаз) позволяет управлять структурой сплавов с помощью термической обработки.

Связь диаграммы со свойствами (закон Курнакова): Твёрдые растворы обладают высокой пластичностью и вязкостью, механические смеси обеспечивают наилучшие литейные свойства и прочность, а химические соединения отличаются высокой твёрдостью и хрупкостью.

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Чем отличаются идеальные и реальные кристаллы?
2. Какие бывают точечные дефекты и как они влияют на свойства вещества?
3. В чём разница между краевой и винтовой дислокацией?
4. Что называют границей зёрен и какие процессы с ней связаны?
5. Как дефекты влияют на механические и электрические свойства материалов?

Список литературных источников:

1. Соколова Т. Н. Физика конденсированного состояния. — М.: Лань, 2020.
2. Китаев В. П. Физика твёрдого тела. — М.: Физматлит, 2021.
3. Капустин А. П. Кристаллография, минералогия и физика твёрдого тела. — М.: МИСиС, 2020.
4. Kittel, C. Introduction to Solid State Physics. — Wiley, 2022.
5. Ashcroft, N. W., Mermin, N. D. Solid State Physics. — Cengage, 2019.