

Лекция 3.
Теория диаграмм состояния

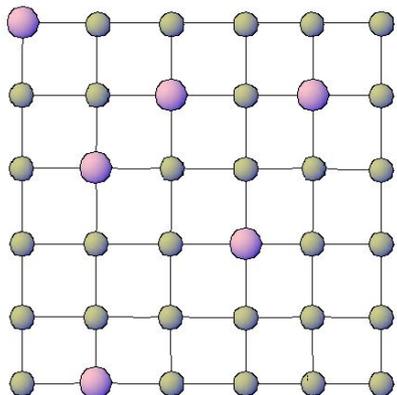
1. Общие понятия о сплавах

Сплавами называют сложные вещества, получаемые сплавлением или спеканием нескольких простых веществ (компонентов).

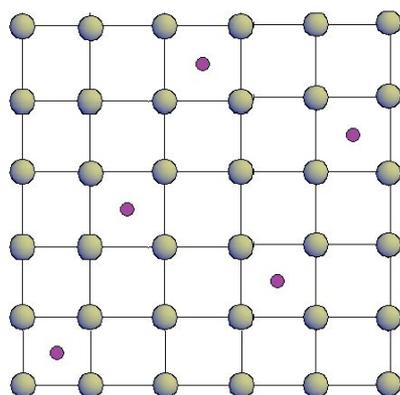
Виды взаимодействия атомов в сплавах

Твердый раствор

Твердый раствор замещения



Твердый раствор внедрения



Химическое соединение

- Имеют определенный химический состав ($A_m B_n$).
- Специфическая кристаллическая решетка, отличающаяся от решеток обоих компонентов.
- Свойства химического соединения резко отличаются от свойств образующих его компонентов.

Механическая смесь

образуется, если в твердом состоянии компоненты не растворимы и не образуют химических соединений.

2. Понятие о диаграммах состояния сплавов

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение структурного или фазового состава всех сплавов системы, состоящей из двух компонентов A и B , в зависимости от температуры и химического состава сплава (соотношения содержаний компонентов A и B).

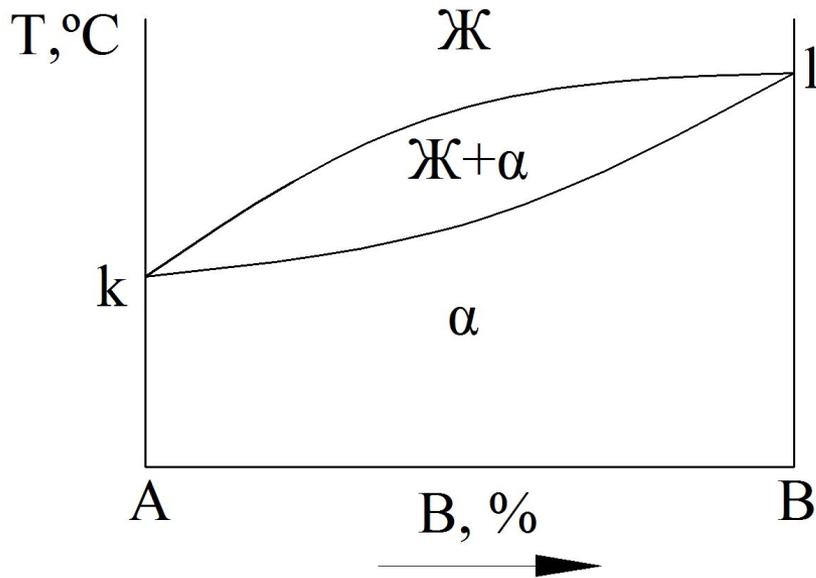
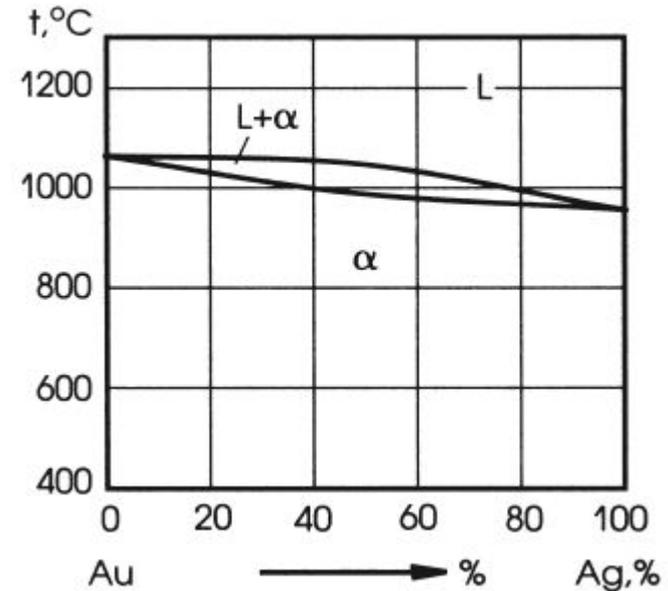
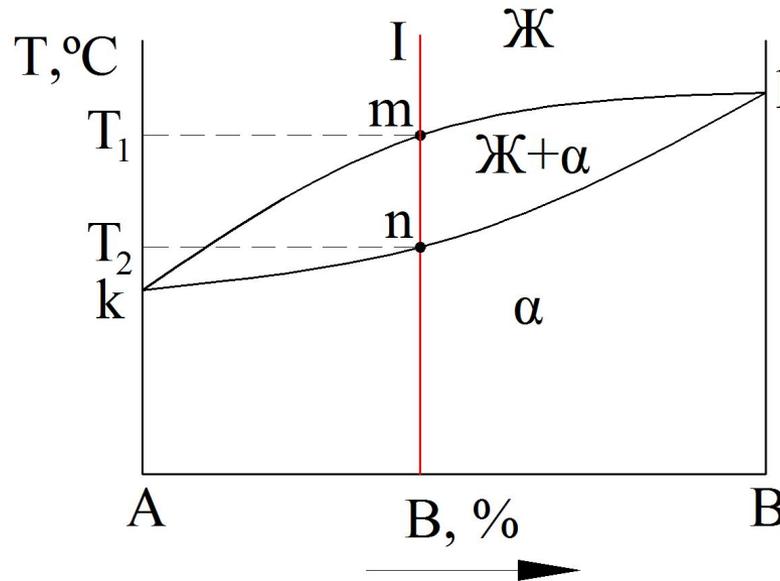


Диаграмма состояния сплавов, состоящих из двух компонентов A и B :
 Ж – жидкий раствор компонентов A и B ;
 α – твердый раствор компонентов A и B



Пример диаграммы состояния «золото Au – серебро Ag»: L – жидкий раствор Au и Ag; α – твердый раствор Au и Ag

3. Основные линии диаграммы состояния



Линия ликвидус – это геометрическое место точек на диаграмме состояния, соответствующее температурам начала кристаллизации всех сплавов компонентов A и B . Выше линии ликвидус чистые компоненты и сплавы находятся в жидком состоянии.

Линия солидус – это геометрическое место точек на диаграмме состояния, соответствующее температурам окончания кристаллизации всех сплавов компонентов A и B . Ниже линии солидус чистые компоненты и сплавы находятся в твердом состоянии.

4. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов

Диаграмма состояния I типа

Для каких сплавов
характерна

для сплавов, компоненты которых полностью взаимно растворимы в жидком состоянии, **нерастворимы** в твердом состоянии и не образуют химических соединений.

Линии диаграммы

acb – линия ликвидус; *dce* – линия солидус.

Примеры:

Pb – Sb, Sn – Zn.

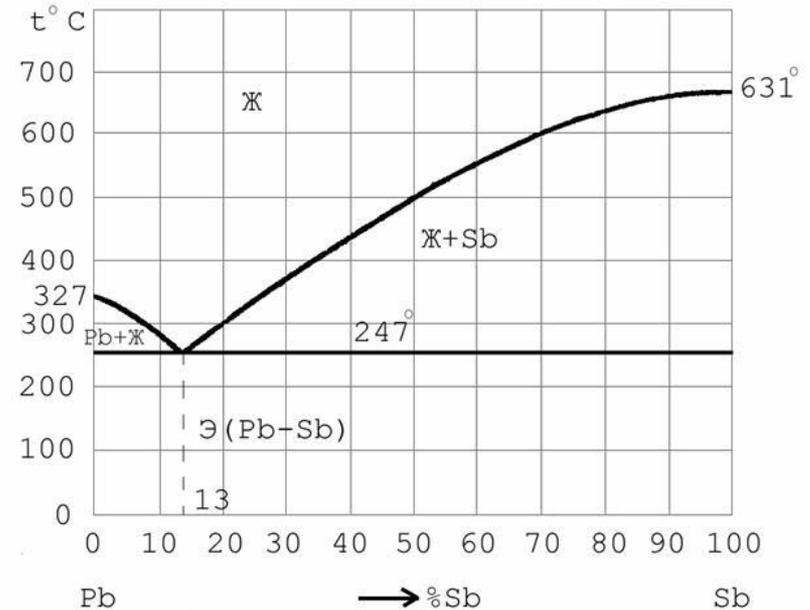
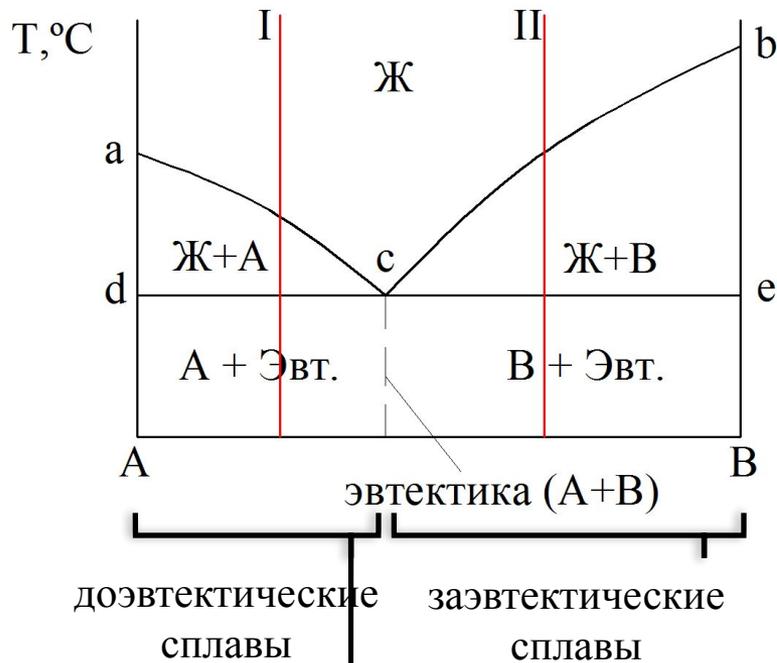


Диаграмма состояния Pb-Sb (I тип)

4. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов

Диаграмма состояния II типа

Для каких сплавов
характерна

для сплавов, компоненты которых полностью взаимно растворимы в жидком состоянии, **неограниченно** взаимно растворимы в твердом состоянии и не образуют химических соединений.

Линии диаграммы

ab (поверху) – линия ликвидус; *ab* (понузу) – линия солидус.

Примеры:

Cu – Ni, Ag – Au.

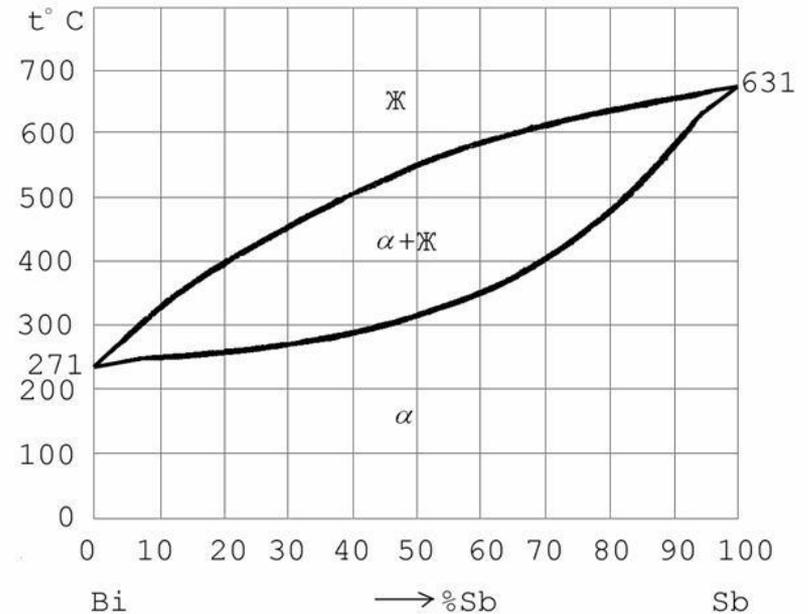
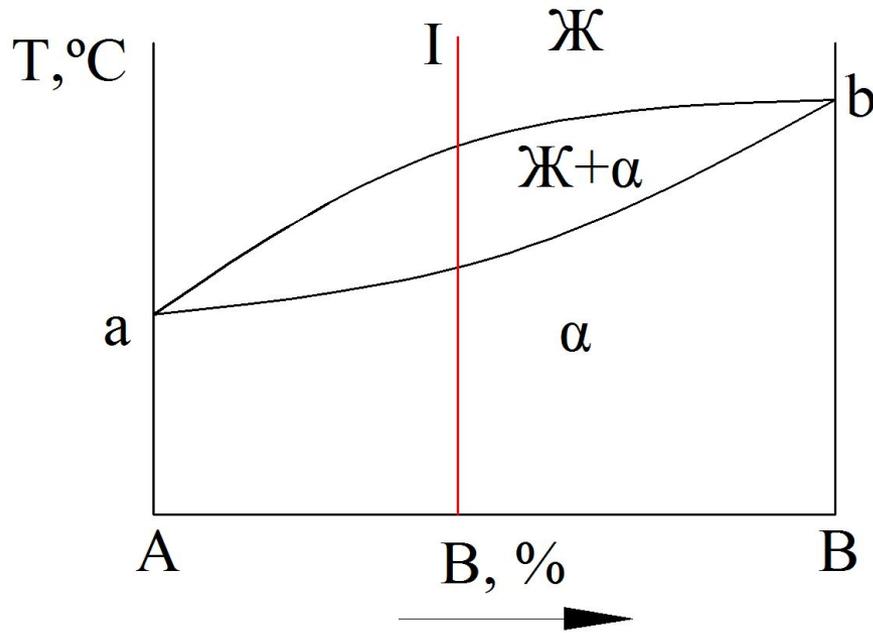


Диаграмма состояния Bi-Sb (II тип)

4. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов

Диаграмма состояния III типа

Для каких сплавов
характерна

для сплавов, компоненты которых полностью взаимно растворимы в жидком состоянии, **ограниченно** взаимно растворимы в твердом состоянии и не образуют химических соединений.

Линии диаграммы

acb – линия ликвидус; *adceb* – линия солидус.

Примеры:

Pb – Sn, Cu – Ag.

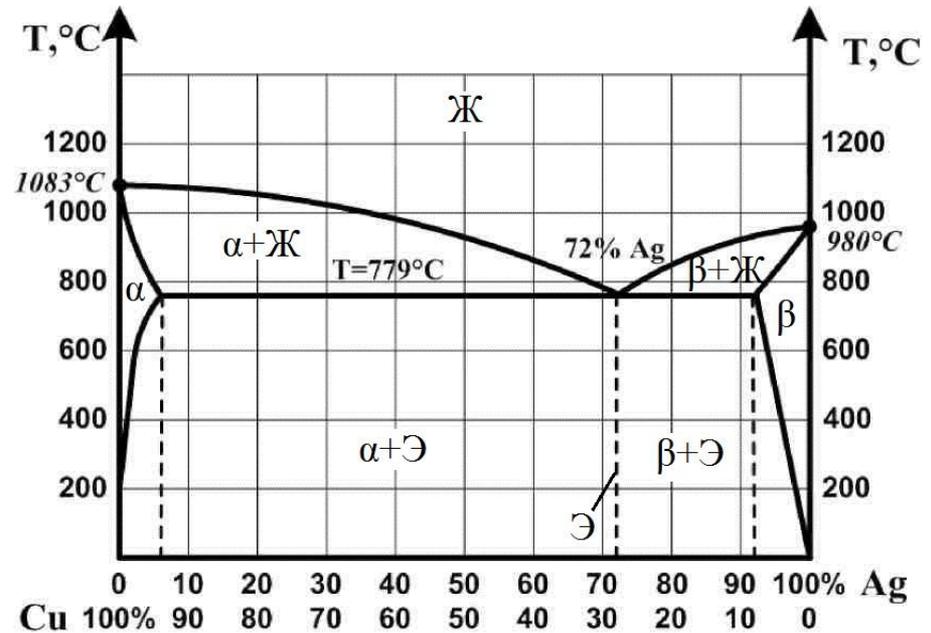
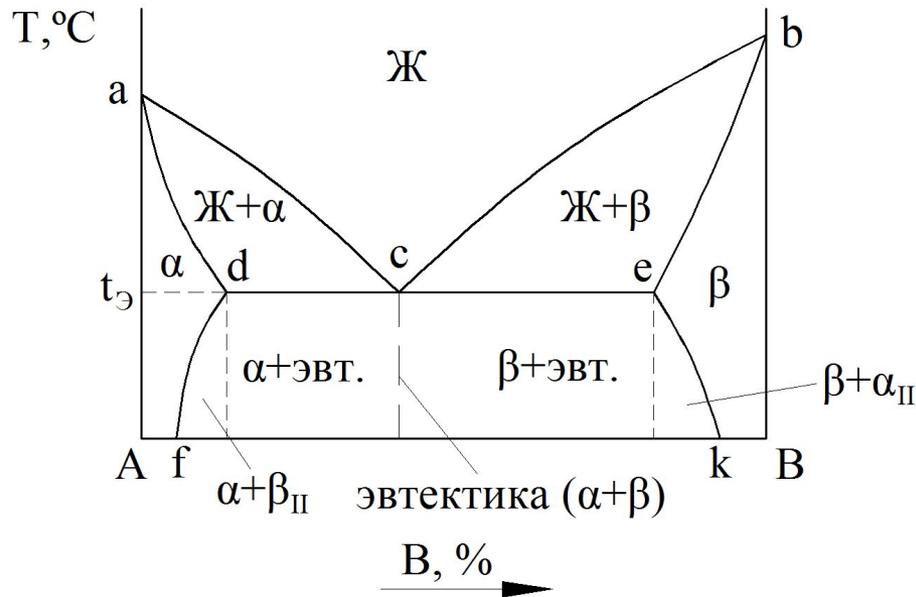


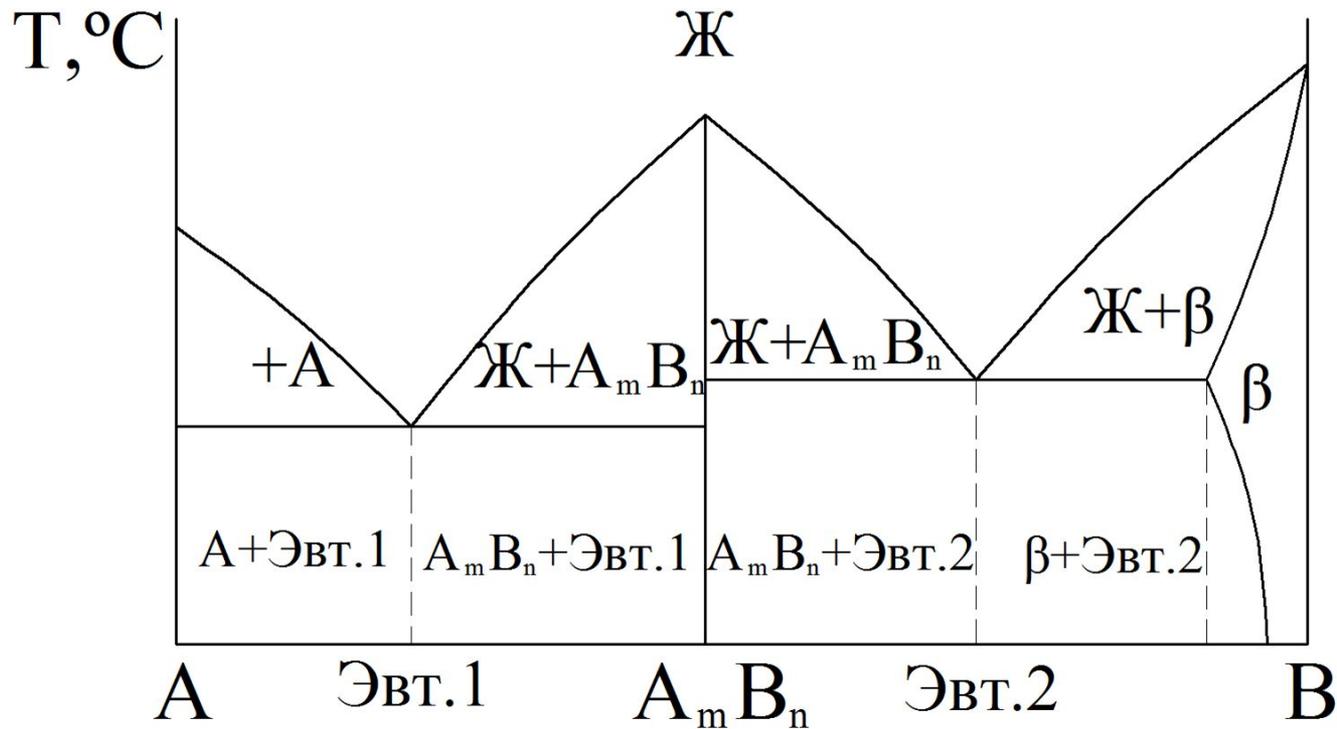
Диаграмма состояния Cu-Ag (III тип)

4. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов

Диаграмма состояния IV типа

Для каких сплавов характерна для сплавов, компоненты которых образуют химические соединения.

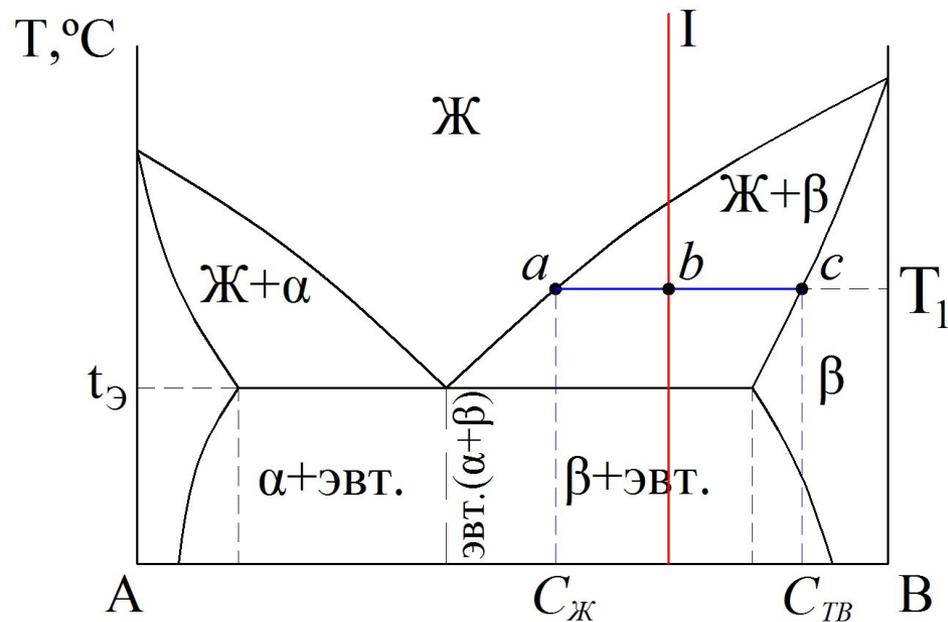
Примеры: *Cu – Al, Fe – Al.*



5. Правило отрезков

Первое положение правила отрезков позволяет определить концентрацию компонентов в твердой и жидкой фазах.

Второе положение правила отрезков позволяет определить количественное соотношение фаз для конкретного сплава при заданной температуре.



Применение правила отрезков на диаграмме состояния III типа

По первому положению:

$C_{Ж}$ и $C_{ТВ}$ показывают хим. состав (концентрацию компонентов) в жидкой и твердой фазе соответственно.

По второму положению:

Количество жидкой фазы $Q_{жс}$ во всем объеме металла для сплава I при температуре T_1 будет определяться отношением длин отрезков

$$Q_{жс} = \frac{b}{ac} \cdot 100\%$$

Количество твердой фазы β $Q_{мс}$ будет определяться отношением длин отрезков

$$Q_{мс} = \frac{ab}{ac} \cdot 100\%$$

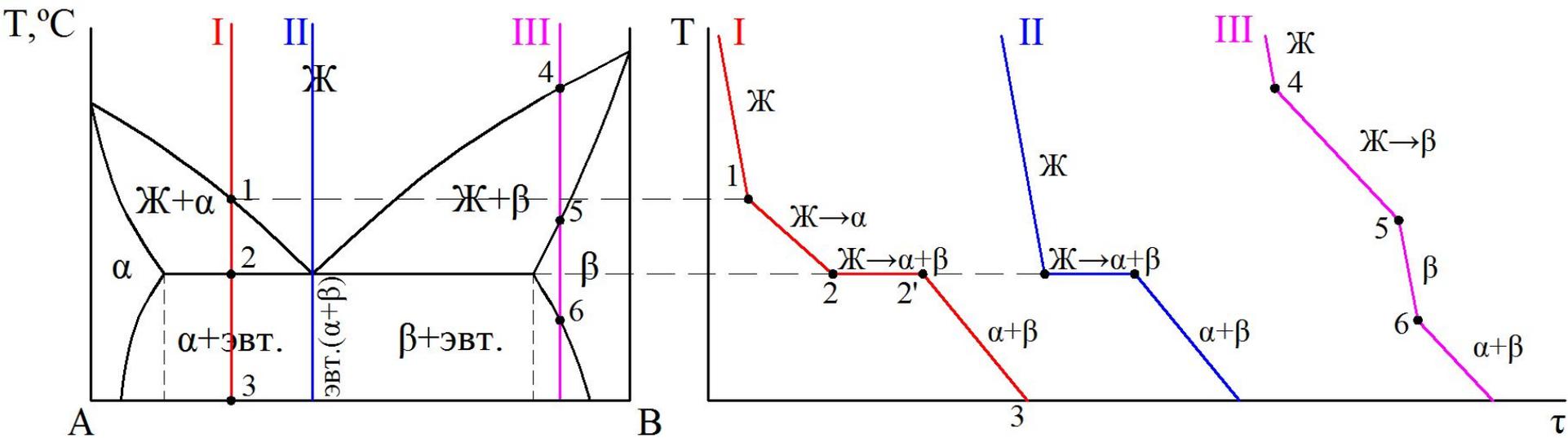
6. Правило фаз. Построение кривых охлаждения сплавов

Правило фаз (правило Гиббса):

$$C = K - \Phi + n,$$

где C – число степеней свободы; K – число компонентов; n – число внешних факторов.

$$\text{В случае } p = \text{const} \quad C = K - \Phi + 1.$$



Пример применения правила фаз на диаграмме состояния III типа

Сплавы железа с углеродом

1. Общие сведения о сплавах железа с углеродом

Сталь – сплав железа и углерода с содержанием углерода не более 2.14%.

Чугун – сплав железа и углерода с содержанием углерода от 2.14% до 6.67%.

Широкое использование сплавов *Fe* с *C* объясняется тем, что:

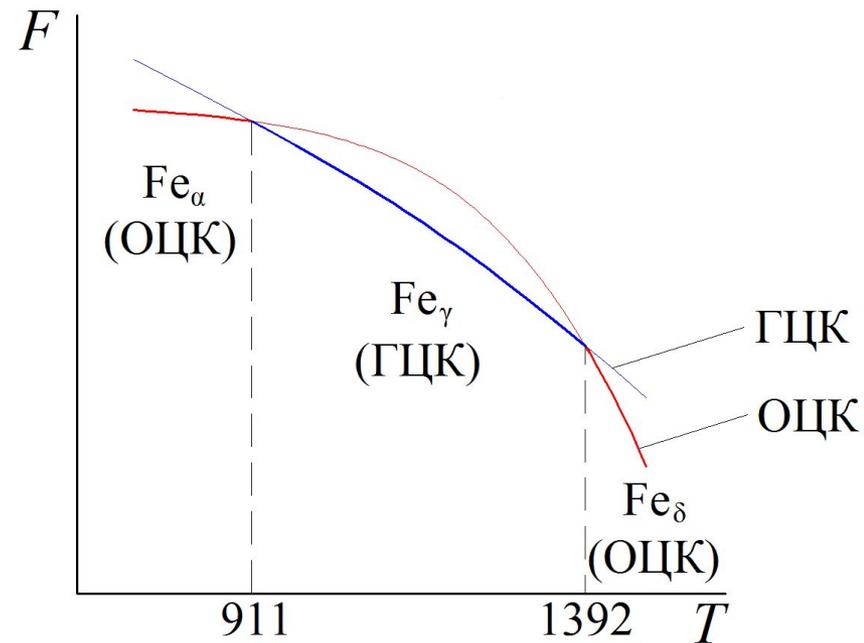
- в земной коре содержится сравнительно много железа;
- железо сравнительно легко восстанавливается до металлического состояния;
- железо имеет достаточно высокую температуру плавления (1539 °С);
- железо имеет полиморфное (аллотропическое) превращение, что позволяет получать в его сплавах большое количество структур с различными свойствами.

2. Общие сведения о железе

Атомный номер	26
Атомный вес	56
Плотность, г/см ³	7,87
Температура плавления, °С	1539
Температура магнитного превращения, °С	768

Типы кристаллических решеток чистого железа в зависимости от температуры

Интервал температур	Тип решетки	Обозначение модификации
< 911°С	ОЦК	Fe _α
911...1392 °С	ГЦК	Fe _γ
1392...1539 °С	ОЦК	Fe _δ



Изменение свободной энергии железа с различными типами кристаллической решетки в зависимости от температуры

3. Виды взаимодействия железа и углерода

1. Образование твёрдых растворов.

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в Fe_{α} (железо с ОЦК-решеткой).

$$\max \% C (1499^{\circ}C) = 0,1 \%$$

$$\max \% C (727^{\circ}C) = 0,025 \%$$

$$\max \% C (600^{\circ}C) \approx 0,010 \%$$

$$\max \% C (20^{\circ}C) = 0,006 \%$$

Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в Fe_{γ} (железо с ГЦК-решеткой).

$$\max \% C (1147^{\circ}C) = 2,14 \%$$

$$\max \% C (727^{\circ}C) = 0,8 \%$$

$$r_C = 1,54 \text{ \AA}$$

$$r_{\text{ОЦК}} = 0,62 \text{ \AA}$$

$$r_{\text{ГЦК}} = 1,02 \text{ \AA}$$

2. Образование химического соединения (Fe_3C – цементит).

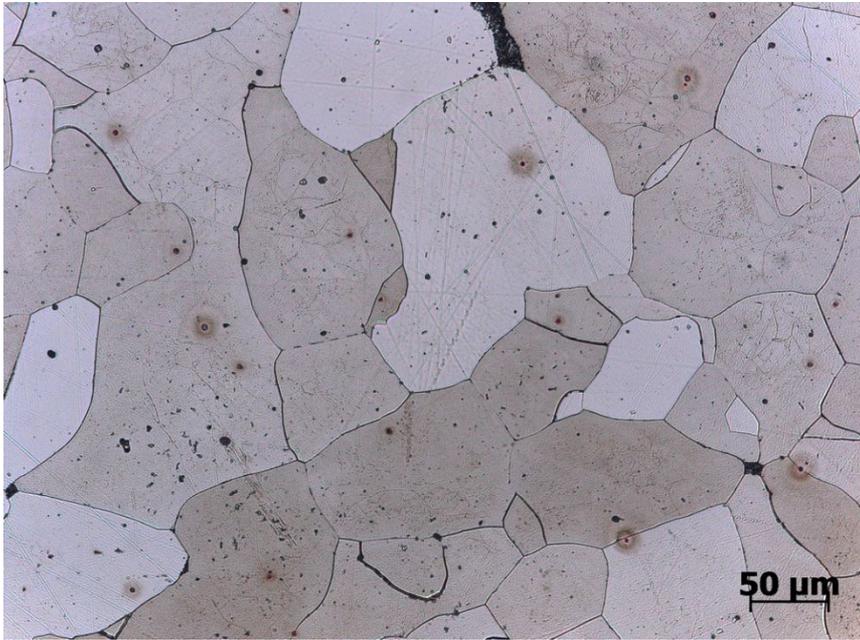


$$\% C = 6,67 \%$$

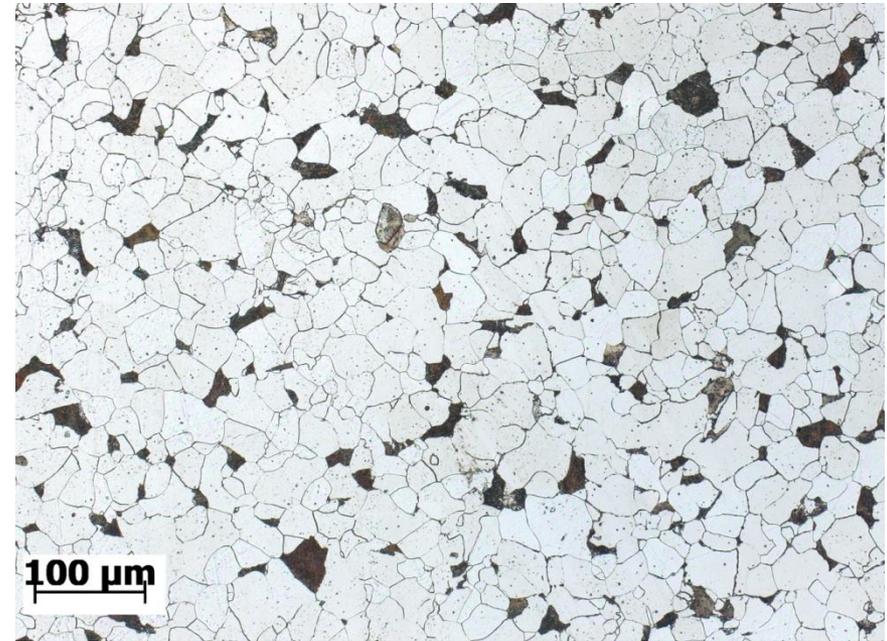
4. Структурные составляющие углеродистых незакаленных сталей

	<i>Феррит (Ф)</i>	<i>Аустенит (А)</i>	<i>Цементит (Ц)</i>	<i>Перлит (П)</i>
<i>Вид взаимодействия атомов Fe и C</i>	твердый раствор углерода в Fe _α	твердый раствор углерода в Fe _γ	химическое соединение Fe ₃ C	механическая смесь феррита и цементита
<i>Содержание углерода, %</i>	≤ 0,1% (1499°C) ≤ 0,025% (727°C) ≤ 0,006% (20°C)	≤ 2,14% (1147°C)	6,67%	0,8%
<i>Твердость по Бринеллю HB, МПа</i>	1000	1600-2000	8500	2000
<i>Предельное удлинение до разрушения, %</i>	40	50	0	15

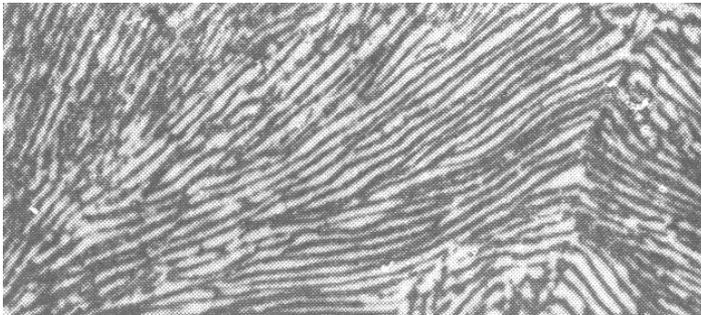
4. Структурные составляющие углеродистых незакаленных сталей



Микроструктура низкоуглеродистой стали после отжига (на фото – зерна феррита)

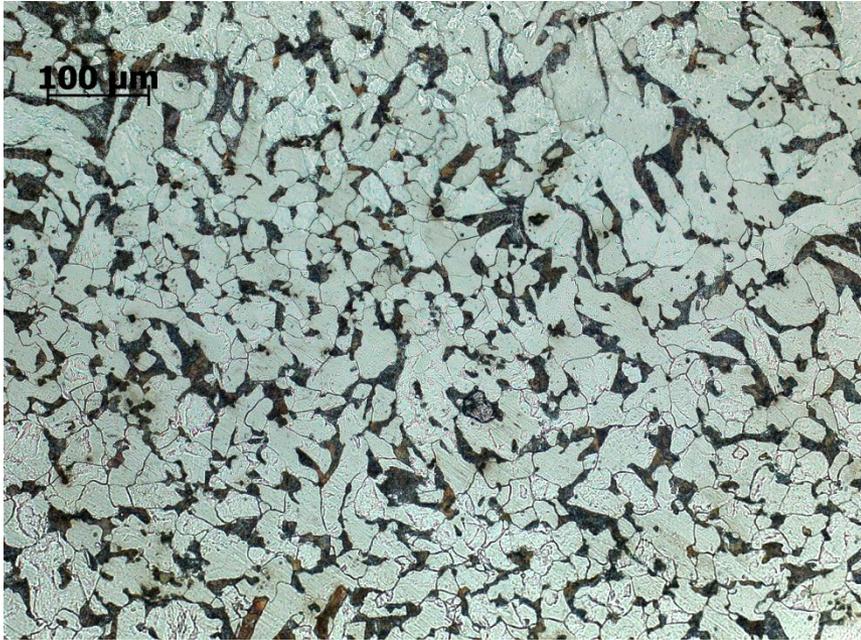


Микроструктура стали с содержанием углерода $\approx 0.1\%$; (на фото – зерна феррита и перлита)

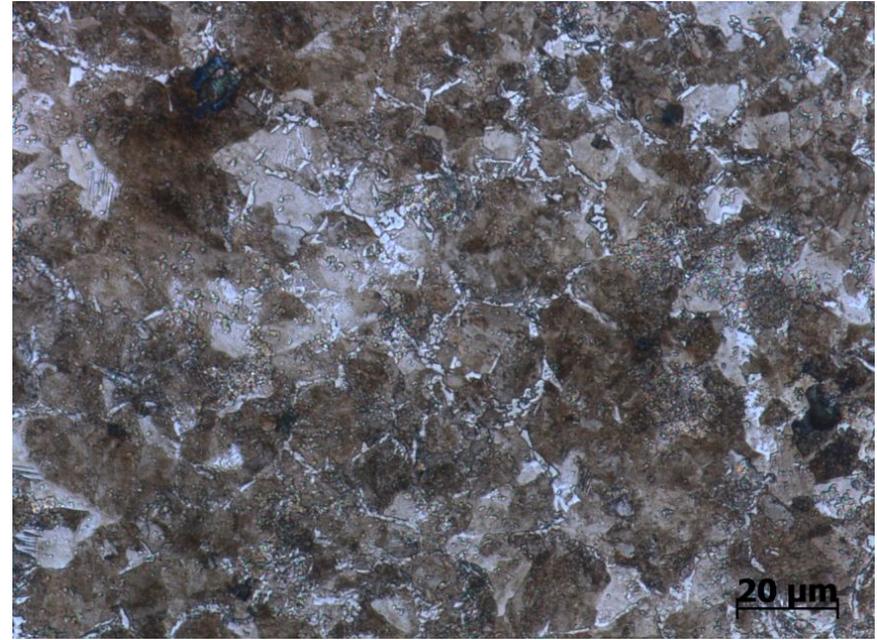


Микроструктура зерна перлита (увеличено, $\times 1600$)

4. Структурные составляющие углеродистых незакаленных сталей



Микроструктура доэвтектоидной стали
с содержанием углерода $\approx 0.25\%$



Микроструктура заэвтектоидной стали
с содержанием углерода $\approx 0.9\%$

5. Диаграмма состояния «железо (Fe) - цементит (Fe₃C)»

