

Лабораторная работа

АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ «ЖЕЛЕЗО - УГЛЕРОД»

Цель работы: изучить диаграмму состояния сплавов «железо–цементит» и ее структурные составляющие.

Студент должен знать основные структурные составляющие и фазы железоуглеродистых сплавов; превращения, происходящие в сплавах при нагреве и охлаждении.

Студент должен уметь анализировать изменения, происходящие в железоуглеродистых сплавах, с помощью правила фаз и правила отрезков.

Общие сведения

Диаграммы состояния сплавов железа с углеродом дают представления о превращениях, происходящих в сталях и чугунах в зависимости от температуры и концентрации сплавов, а также скорости охлаждения.

Углерод может находиться в виде **цементита** (метастабильного равновесия) и **графита** (стабильного равновесия). В связи с этим, существуют два варианта диаграмм состояния сплавов железа с углеродом – «железо–цементит» (метастабильная) и «железо–графит» (стабильная). Большое практическое значение имеет метастабильная диаграмма, так как с ее помощью объясняют не только превращения в сталях и белых чугунах, но и осуществляют рациональный выбор оптимальных режимов термической обработки железоуглеродистых сплавов.

В железоуглеродистых сплавах при нагревании и охлаждении образуются следующие структурные составляющие: два твердых раствора, одно химическое соединение, две механические смеси.

Твердые растворы

Феррит – твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Максимальное содержание углерода $C = 0,02\%$ при температуре равной $727\text{ }^\circ\text{C}$. При комнатной температуре содержание углерода в феррите $0,006\%$. Феррит – мягкая, пластичная структура со следующими механическими свойствами: $\sigma_{\text{в}} = 250\text{ МПа}$; $\text{НВ} = 800\text{ МПа}$; $\delta = 40\%$.

Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе. Максимальное содержание углерода $C = 2,14\%$ при температуре равной $1147\text{ }^\circ\text{C}$. Аустенит существует до температуры $t = 727\text{ }^\circ\text{C}$; при этой температуре содержание углерода в аустените $C = 0,8\%$. Ниже $727\text{ }^\circ\text{C}$ аустенит распадается. Аустенит тверже и прочнее феррита: $\sigma_{\text{в}} = 600\text{ МПа}$; $\text{НВ} = 1800\text{--}2000\text{ МПа}$.

Химические соединения

Цементит – химическое соединение Fe_3C (карбид железа). Цементит содержит углерода $C = 6,67\%$. Эта структура очень твердая и хрупкая: $\text{НВ} = 8000\text{ МПа}$; $\delta = 0\%$.

Механические соединения

Ледебурит – механическая смесь аустенита и цементита (А+Ц), которая кристаллизуется из жидкого сплава с концентрацией $C = 4,3\%$ при постоянной температуре $t = 1147\text{ }^\circ\text{C}$. Ледебурит – эвтектическая смесь, твердая и хрупкая: $\text{НВ} = 5000\text{ МПа}$; $\delta = 1\text{--}2\%$.

Перлит – механическая смесь феррита и цементита (Ф+Ц), которая кристаллизуется из аустенита при постоянной температуре $t = 727\text{ }^\circ\text{C}$. Содержание углерода в перлите $C = 0,8\%$. Перлит – эвтектоидная смесь, средней прочности и пластичности: $\sigma_{\text{в}} = 650\text{ МПа}$; $\text{НВ} = 2000\text{ МПа}$; $\delta = 20\%$.

Диаграмма сплавов «железо–углерод» имеет пять фаз: жидкий сплав (Ж), цементит (Ц), феррит (Ф), аустенит (А) и графит (Гр).

Анализ диаграммы состояния сплавов «железо–цементит»

Каждая точка диаграммы состояния $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ (рисунок 5.1) характеризует строго определенный состав сплава при соответствующей температуре и концентрации.

Точка A ($t = 1539\text{ }^\circ\text{C}$) отвечает температуре плавления железа, а точка D ($t = 1250\text{ }^\circ\text{C}$) – температуре плавления цементита.

Линия $ABCD$ – линия ликвидус. Линия начала кристаллизации жидкого сплава.

По линии AB жидкий сплав кристаллизуется в виде феррита (Ф).

По линии BC жидкий сплав кристаллизуется в виде аустенита (А).

По линии CD жидкий сплав кристаллизуется в виде цементита первичного (Ц₁).

Линия $AHJECF$ – линия солидус. Это линия конца кристаллизации жидкого сплава.

По линии AH жидкость затвердевает в виде феррита (Ф).

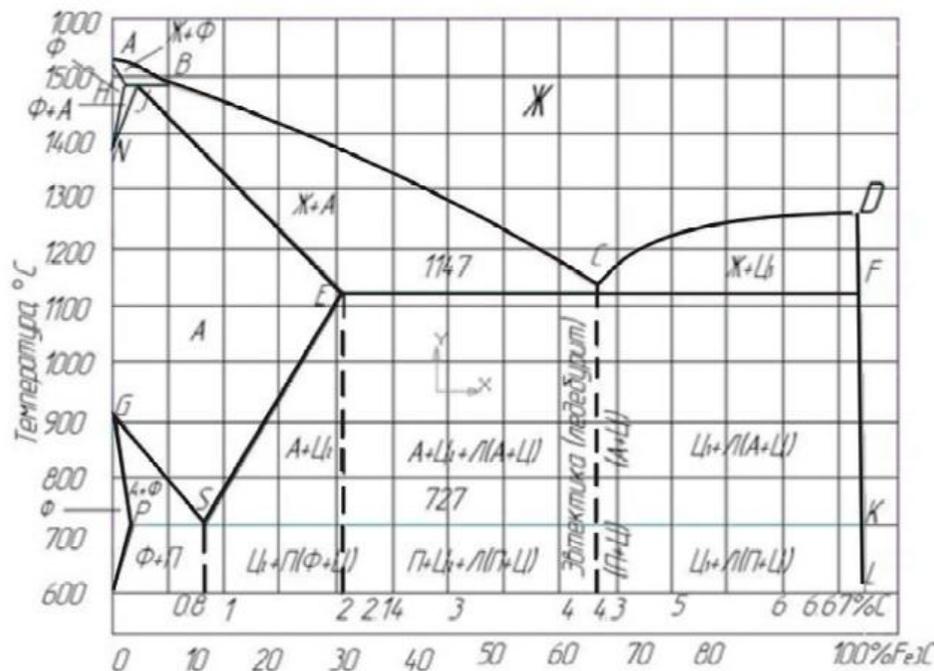


Рисунок 5.1. Диаграмма состояния сплавов системы «железо–цементит»

По линии JE жидкость затвердевает в виде аустенита (А).

По линии ECF жидкость затвердевает в виде механической смеси аустенита и цементита – ледебурита (Л).

Линия ECF – линия эвтектического или ледебуритного превращения.

Линия HJB – линия перитектического превращения. Жидкость взаимодействует с ферритом, образуя аустенит (А).

По линии ES из аустенита кристаллизуется цементит вторичный (C_2).

По линии GS из аустенита кристаллизуется феррит.

Линия PSK – линия эвтектоидного или перлитного превращения. Весь аустенит кристаллизуется в перлит (П).

По линии PQ из феррита кристаллизуется цементит третичный (C_3).

Таблица 1 – Точки диаграммы состояния «железо–цементит»

Обозначение	A	H	J	B	N	D	E	C	F	G	P	S	K
Концентрация углерода С, %	0	0.1	0.16	0.5	0	6.67	2.14	4.3	6.67	0	0.02	0.8	6.67
Температура, °С	1539	1440	1440	1440	1392	1250	1147	1147	1147	910	727	727	727

Построение кривых охлаждения с помощью правила фаз

Проанализируем превращения, происходящие в сплаве с 3 % углерода, остальное – железо, построив кривую охлаждения с помощью правила фаз, и определим его состав и количественное соотношение фаз с помощью правила отрезков при температуре 1300 °С.

При выполнении задания необходимо осуществить следующие действия.

Сплав наносится на диаграмму состояния сплавов «железо–цементит» (рисунок 5.2), точки пересечения сплава с линиями диаграммы отмечаются цифрами «1», «2», «3» и т.д.

Рассчитывается число степеней свободы с помощью правила фаз на участках сплава. $C = K + 1 - f$, где C – число степеней свободы, K – количество компонентов, f – количество фаз.

Анализируются изменения, происходящие в сплаве при охлаждении.

На участке «01» происходит охлаждение жидкого сплава. Компонентов «2» – железо и углерод, фаза одна – жидкий сплав. По правилу фаз

$$C_{01} = 2 + 1 - 1 = 2 \text{ (жидкий сплав).}$$

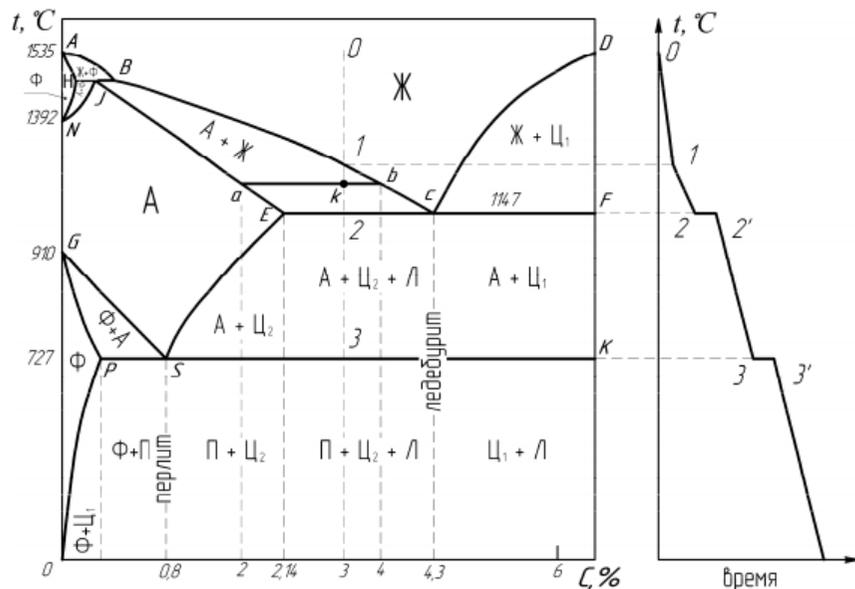


Рисунок 5.2. Диаграмма состояния сплавов «железо–цементит»

В точке тока «1» при пересечении сплава с линией «ликвидус» начинается процесс кристаллизации жидкого сплава с образованием аустенита. Процесс протекает от точки «1» до точки «2». Компонентов «2» – железо и углерод; фазы две – жидкий сплав и аустенит.

$$C_{12} = 2 + 1 - 2 = 1 \text{ (жидкий сплав, А).}$$

В точке «2» сплав пересекает линию «солидус». Конец кристаллизации жидкого сплава. Жидкий сплав затвердевает в виде равномерной механической смеси: аустенита и цементита – ледебурита. Компонентов два, фазы три – жидкий сплав, аустенит, цементит.

$$C_{22'} = 2 + 1 - 3 = 0 \text{ (жидкий сплав, А, Ц).}$$

На участке 2–3 из аустенита кристаллизуется цементит вторичный. Компонентов два, фазы две – аустенит, цементит.

$$C_{23} = 2 + 1 - 2 = 1 \text{ (А, Ц).}$$

В точке «3» сплав пересекает линию «эвтектондного» или «перлитного» превращения. На этой линии весь аустенит кристаллизуется в «перлит». Компонентов два, фазы три – аустенит, феррит, цементит.

$$C_{33'} = 2 + 1 - 3 = 0 \text{ (А, Ф, Ц).}$$

На участке 34 происходит дальнейшее охлаждение сплава. Компонентов два, фазы две – феррит и цементит.

$$C_{34} = 2 + 1 - 2 = 1 \text{ (Ф, Ц).}$$

Для определения состава и количественного соотношения фаз в точке «k» при температуре 1300 °C через данную точку проводим «каноду» – горизонталь до пересечения с линиями диаграммы, ограничивающими данные фазы. Точки «a» и «b». Проекции, опущенные из точки «a» и «b» на ось концентрации, показывают концентрацию каждой фазы. Концентрация жидкой фазы в точке «k» равна: 4 % C, остальное – Fe. Концентрация аустенита в точке «k» равна 2 % C, остальное – Fe.

Количество жидкого сплава в точке «k» равно:

$$Q_{\text{ж.сплава}} = \frac{ak}{ab} \cdot 100 \% ; Q_{\text{ж.сплава}} = \frac{3-2}{4-2} \cdot 100 \% = 50 \%.$$

Количество аустенита в точке «k» равно:

$$Q_A = \frac{ak}{ab} \cdot 100 \% ; Q_{\text{ж.сплава}} = \frac{3-2}{4-2} \cdot 100 \% = 50 \%.$$

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Привести диаграмму состояния сплавов Fe – Fe₃C.
3. Дать определения и указать механические свойства структурных составляющих.
4. Описать превращения, происходящие на линиях диаграммы Fe – Fe₃C.
5. Для сплавов (по заданию преподавателя) построить кривую охлаждения с применением правила фаз. Описать превращения в этих сплавах при охлаждении. Рассчитать концентрации и количественное соотношение фаз и структурных составляющих в указанных точках.
6. Выводы по работе.
7. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Назовите компоненты в железоуглеродистых сплавах.
2. Что такое феррит, какие его свойства?
3. Что такое аустенит, какие его свойства?
4. Что такое цементит, какие его свойства?
5. Что такое ледебурит, какие его свойства?
6. Что такое перлит, какие его свойства?
7. Назовите линию ликвидус, что на ней происходит?
8. Назовите линию солидус, что на ней происходит?
9. Назовите линию эвтектического превращения, что на ней происходит?
10. Назовите линию эвтектического превращения, что на ней происходит?
11. Как происходит образование цементита первичного, вторичного, третичного?
12. Для чего используется диаграмма состояния «железо–цементит»?
13. Что является фазами в диаграмме состояния сплавов «железо–цементит»?
14. Укажите предельную растворимость углерода в аустените и феррите.
15. Укажите на диаграмме области сталей и чугунов.
16. Сколько углерода содержится в феррите, аустените, цементите?
17. Постройте кривую охлаждения железоуглеродистого сплава с 2,14% углерода, используя диаграмму состояния сплавов «Fe – Fe₃C».
18. На диаграмме состояния сплавов «Fe – Fe₃C» для сплава с содержанием 2,5 % C при температуре 1200 °C определите состав и количественное соотношение жидкой и твердых фаз, используя правило отрезков.