

Изучение диаграмм состояния сплавов

Целью работы является изучение диаграмм состояния на примере железа и его сплавов.

Задание:

- ознакомиться с теоретическим материалом;
- построить кривую охлаждения для заданного состава (табл. П1);
- провести анализ кривой охлаждения;
- ответить на контрольные вопросы.

Теоретические основы

Железо (Fe) - металл сероватого цвета. Атомный номер 26, атомная масса 55,85. Чистое железо, которое может быть получено в настоящее время, содержит 99,999% Fe, технические сорта 99,8 - 99,9% Fe. Температура плавления железа 1539 °С. Железо имеет две полиморфные модификации α и γ . Модификация α -железа существует при температурах ниже 910 °С и выше 1392 °С (рис. 1). В интервале температур 1392-1539 °С α - железо нередко обозначают как δ - железо.

Кристаллическая решетка α - железа - объемно центрированная кубическая (ОЦК). До температуры 768 °С α - железо магнитно (ферромагнитно). Эту точку перехода от ферромагнитного в парамагнитное состояние называют точкой Кюри (A_2).

Модификация γ - железа существует при температуре 910-1392 °С. Оно парамагнитно. Кристаллическая решетка γ - железа - гранецентрированная кубическая (ГЦК) (рис.40).

В дальнейшем точки, соответствующие температуре превращения одной фазы в другую будем называть *критическими точками*, обозначаемыми буквой A с индексами s и r (s - при нагреве, r - при охлаждении) и цифрами. Ac_3 при нагреве (или Ar_3 - при охлаждении) -

переход $\alpha \leftrightarrow \gamma$ при температуре 910 °С. Ac_4 (Ar_4) - критическая точка перехода $\gamma \leftrightarrow \alpha$ при температуре 1392 °С (рис.1).

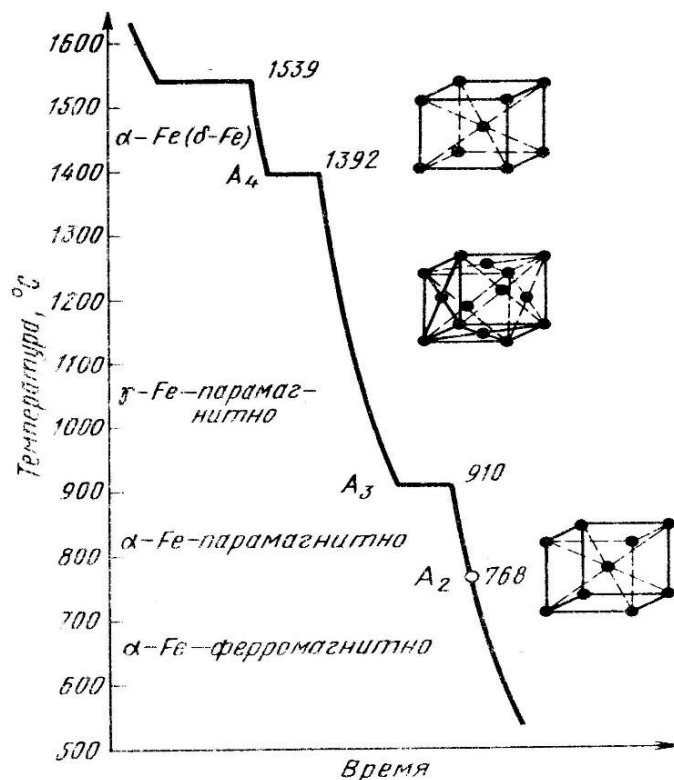


Рисунок 1 - Кривая охлаждения чистого железа

Железо со многими элементами образует твердые растворы: с металлами - растворы замещения, с углеродом, азотом и водородом - растворы внедрения.

В промышленности обычно используются сплавы железа с другими элементами. Наиболее широко применимы сплавы железа с углеродом - стали и чугуны. Для получения заданных свойств в сталь и чугун вводят легирующие элементы.

Диаграмма железо-углерод

Диаграмма состояния железо-углерод дает представление о строении железоуглеродистых сплавов - сталей и чугунов.

Кроме железа, рассмотренного ранее, в состав железоуглеродистых сплавов входит углерод. Углерод (C) является неметаллическим элементом, атомный номер 6, температура плавления 3500 °C. Углерод в обычных условиях находится в виде модификации графита, но может существовать и в виде метастабильной модификации алмаза.

Углерод растворим в железе в твердом и жидком состояниях, а также может быть в виде химического соединения - цементита (Fe_3C), а в высокоуглеродистых сплавах и в виде графита.

В системе Fe-C различают следующие фазы: жидкий сплав, твердые растворы - феррит и аустенит, а также цементит и графит.

Феррит (Ф) - твердый раствор углерода и других примесей в α - железе. Различают низкотемпературный α -феррит с растворимостью углерода до 0,02 % и высокотемпературный δ -феррит с предельной растворимостью углерода 0,1%. Под микроскопом феррит выявляется в виде однородных

полиэдрических зерен (рис.3 б). Феррит пластичен, но обладает низкой прочностью и твердостью.

Аустенит (А) - твердый раствор углерода и других примесей в γ -железе. Предельная растворимость углерода в γ -железе 2,14%. Микроструктура аустенита - полиэдрические зерна (рис.3 а). Аустенит обладает высокой пластичностью и низкими прочностными свойствами.

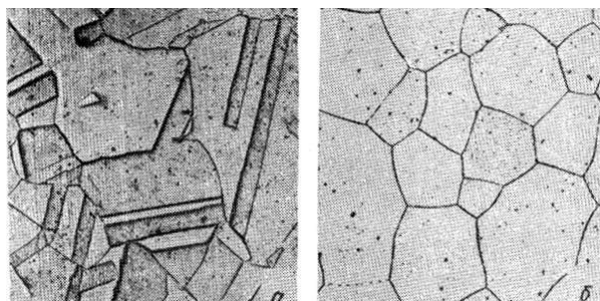


Рисунок 3 - Микроструктура железа, х400: а - аустенит, б – феррит

Цементит (Ц) - химическое соединение железа с углеродом - карбид железа (Fe_3C). В цементите содержится 6,67% С. До температур 210 °С (A_0) цементит ферромагнитен. Он обладает очень высокой твердостью и очень малой пластичностью. Цементит является метастабильной фазой. В условиях равновесия в сплавах с высоким содержанием углерода образуется графит.

Графит - модификация углерода в равновесном состоянии. Он мягок, обладает низкой прочностью и электрической проводимостью.

Различают диаграммы состояния железо-углерод и железо-цементит. Первая диаграмма соответствует равновесному состоянию, вторая - метастабильному.

Точки N (1392°C) и G(911°C) соответствуют полиморфному превращению $\alpha \leftrightarrow \gamma$.

Таблица 2 - Характерные точки на диаграмме железо-цементит

Точка	Температура, $^\circ\text{C}$	Концентрация С, %
A	1539 ($t_{\text{пл}} \text{ Fe}$)	0
B	1499	0,51
C	1147	4,3
D	~ 1250	6,67
E	1147	2,14
F	1147	$\sim 6,4$
G	911	0
H	1499	0,1
J	1499	0,16
K	727	6,67
L	~ 600	6,67
N	1392	0
P	727	0,02
Q	~ 600	0,01
S	727	0,8

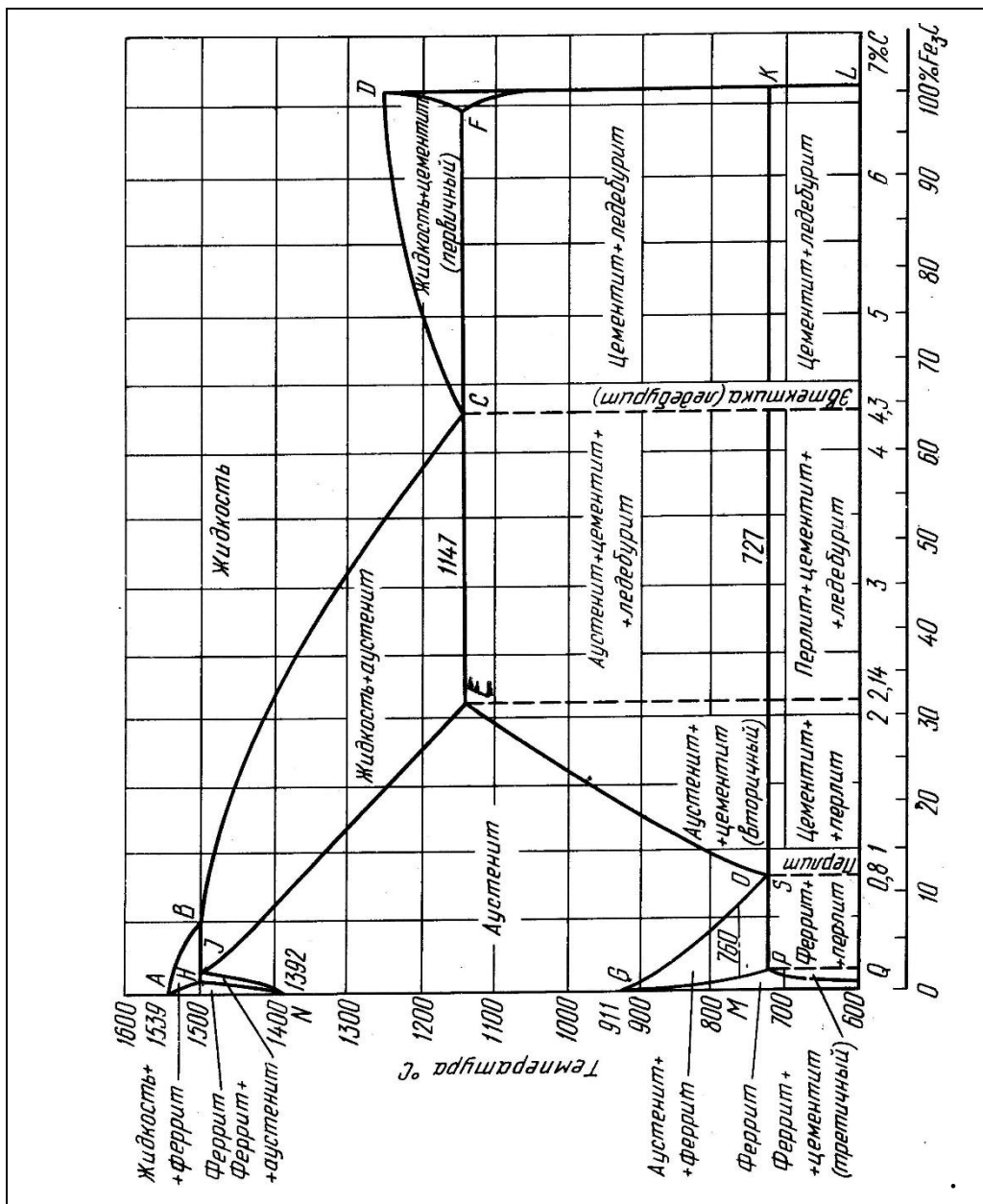
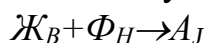


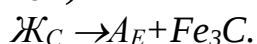
Рисунок - 4 Диаграмма железо-цементит

Линии диаграммы состояния Fe-Fe₃C имеют следующие обозначения и физический смысл.

ABCD - линия ликвидус, *AHJECF* - линия солидус. *AB* показывает температуру, ниже которой происходит кристаллизация δ -феррита (Φ_δ) из жидкого сплава (Ж); *BC* соответствует температуре начала кристаллизации аустенита (А) из жидкого сплава; *CD* соответствует температуре начала кристаллизации первичного цементита (Fe₃C_I) из жидкого сплава; *AH* является температурной границей области жидкого сплава и кристаллов δ -феррита; ниже этой линии существует только δ -феррит; *HJB* - линия перитектического равновесия (1499°C) с протеканием перитектической реакции (жидкость состава точки *B* взаимодействует с кристаллами δ -феррита состава точки *H* с образованием аустенита состава точки *J*):



Линия ECF соответствует кристаллизации эвтектики - *ледебурита* ($A_E + Fe_3C$):

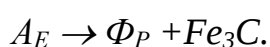


Структура ледебурита характерна для *эвтектического* сплава, содержащего 4,3% углерода. Ледебурит имеет сотовое или пластинчатое строение (рис. 5). После охлаждения ниже температуры $727^{\circ}C$ ледебурит представляет собой эвтектическую смесь перлита и цементита.

Железоуглеродистые сплавы, содержащие до 2,14% углерода, называются *сталями*, а сплавы, содержащие выше 2,14% углерода, *чугунами*.

Сплавы, содержащие менее 0,02% C (точка P), называются *техническим железом* (рис. 6, а), имеющего структуру феррита.

При охлаждении ниже температуры $727^{\circ}C$ (горизонталь PSK) протекает *эвтектоидная* реакция:



Линия эвтектоидного превращения соответствует распаду аустенита (0,8% C) с образованием эвтектоида - ферритоцементитной структуры - *перлита* ($\Phi_P + Fe_3C$) (рис. 6, ж).

Стали, содержащие от 0,02 до 0,8% C, называются *доэвтектоидными* и после полного охлаждения имеют структуру избыточного феррита + перлит (рис. 6, б-е). В зависимости от возрастания содержания углерода будет увеличиваться перлитная составляющая и уменьшаться ферритная.

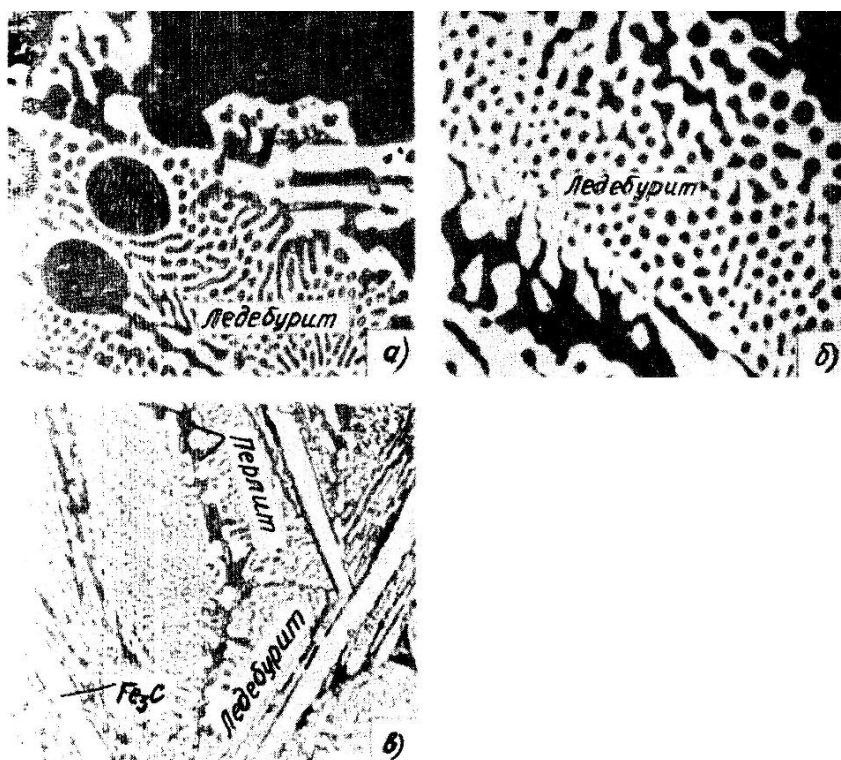


Рисунок 5 - Микроструктура чугунов, $\times 450$: а - доэвтектический чугун (перлит, ледебурит, вторичный цементит), б - эвтектический (ледебурит), в - заэвтектический (первичный цементит и ледебурит)

Сталь, содержащая 0,8% С, называется *эвтектоидной* и после охлаждения имеет структуру перлита (рис. 6, *ж*). Перлит чаще всего имеет пластинчатое строение, то есть состоит из чередующихся пластинок феррита и цементита.

Стали, содержащие от 0,8 до 2,14% С, называются *заэвтектоидными* и после охлаждения имеют структуру перлита и избыточного цементита, который располагается по границам перлитных зерен (рис. 6, *з*). Выделение избыточного цементита в виде сетки или игл делает сталь хрупкой. Поэтому специальной термической обработкой и деформацией ему придают зернистую форму (рис. 6, *и*).

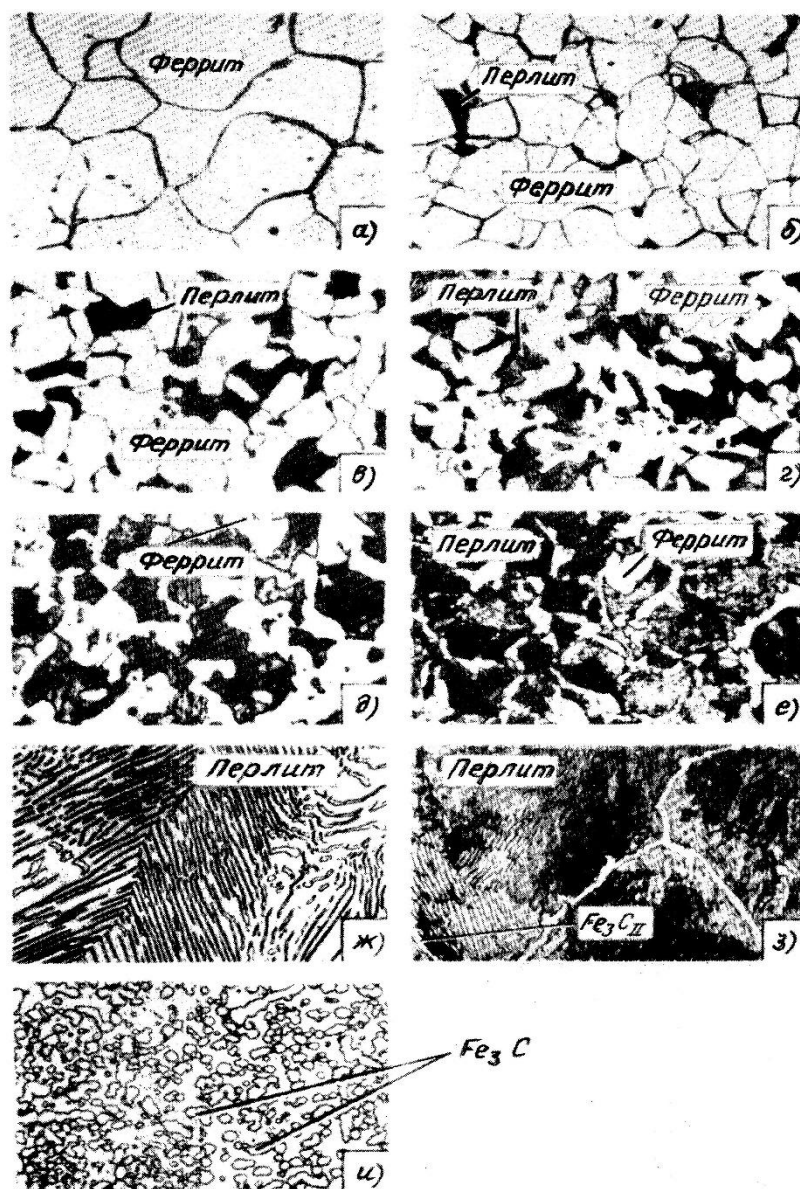


Рисунок 6 - Микроструктура стали в зависимости от содержания углерода, х450: *а* - техническое железо, *б-е* - доэвтектоидные стали (*б* - 0,1% С, *в* - 0,22% С, *г* - 0,3% С, *д* - 0,4% С, *е* - 0,55% С), *ж* - эвтектоидная сталь (0,8% С), *з-и* - заэвтектоидные стали (*з* - 1,3% С, *и* - 1,1% С)

Чугуны, в зависимости от содержания углерода, подразделяются на *доэвтектический* (2,14 - 4,3% С, структура после охлаждения - перлит, ледебурит (перлит + цементит) и вторичный цементит), *эвтектический* (4,3% С, структура после охлаждения - ледебурит (перлит + цементит)) и *заэвтектические* (более 4,3% С, структура - ледебурит (перлит + цементит) и вторичный цементит) (рис. 5). С повышением содержания углерода количество цементита возрастает.

Сплавы железа с углеродом после окончания кристаллизации имеют указанную выше различную структуру. Однако *фазовый состав всех сплавов одинаков: при температуре ниже 727⁰С они состоят из феррита и цементита.*

Приложение 1

Таблица 1 – Индивидуальные задания для построения кривых охлаждения – исходное содержание углерода в сплаве

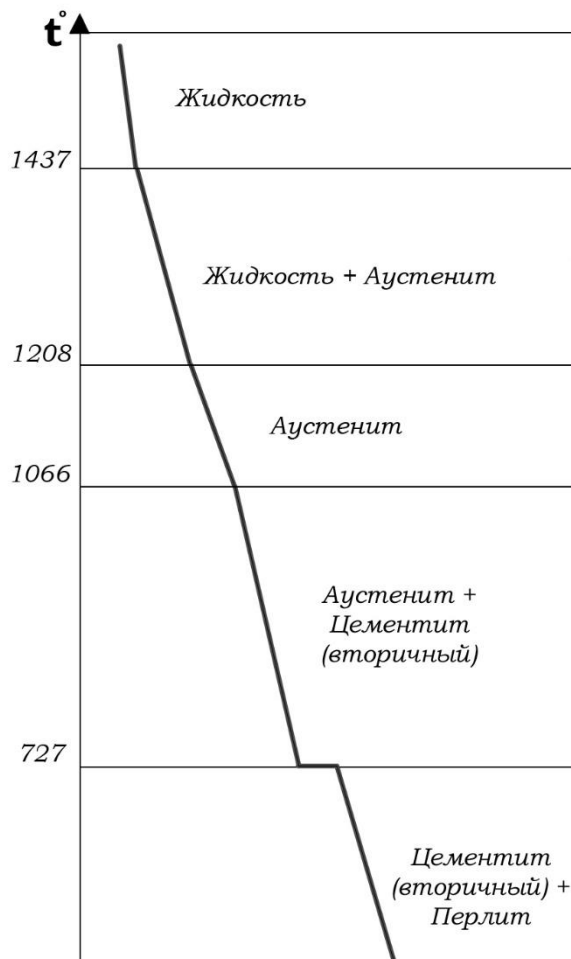
Вариант	Содержание углерода в сплаве	Вариант	Содержание углерода в сплаве
1	0,2	16	0,5
2	0,6	17	0,8
3	1	18	1,2
4	1,4	19	1,8
5	2	20	2,5
6	3	21	3,5
7	4	22	4,5
8	5	23	1,2
9	2,6	24	1,5
10	1,6	25	2,4
11	2,8	26	3,2
12	3,4	27	3,6
13	3,8	28	4,3
14	0,7	29	0,9
15	1,1	30	1,3
		31	2,14

Контрольные вопросы

1. Дайте определение следующим терминам:
- структура;- кривая охлаждения;- критическая точка;- диаграмма состояния сплавов;- солидус;- ликвидус;
2. Какие структурные составляющие могут присутствовать в железоуглеродистых сплавах и что они собой представляют?
3. Как построить диаграмму состояния сплавов?
4. Что можно узнать по диаграмме состояния сплавов?

Пример выполнения практической работы:

Задание: По диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов построить кривую охлаждения для сплава с содержанием углерода 1,8 % с последующим анализом структурных превращений.



Для заданного сплава по диаграмме состояния критические точки будут при температурах 1437, 1208, 1066 и 727°C

Данный сплав представляет собой **заэвтектоидную сталь**

При температурах выше 1437°C сплав находится в жидком состоянии. При температуре 1437°C в сплаве начинают образовываться твердые частицы аустенита

При температуре 1208°C сплав полностью переходит в твердое состояние. Структура состоит из аустенита.

При температуре 1066°C в сплаве происходит частичный распад аустенита с выделением цементита, сплав состоит из аустенита и цементита вторичного

При температуре 727°C перекристаллизовывается в смесь цементита и перлита, второй в свою очередь представляет собой механическую смесь феррита и цементита