

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов»

**Построение кривых охлаждения железоуглеродистых
сплавов**

Методическое пособие к практическим занятиям
по дисциплине «Материаловедение»

Пермь 2015

Составители: Силина О.В., Панов Д.О.

Рецензент: к.т.н., доцент Т.В. Некрасова

Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения практических занятий по дисциплине «Материаловедение».

Методическое пособие рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» «22» октября 2014 года протокол № 7.

Методическое пособие согласовано с методической комиссией механико-технологического факультета «27» октября 2014 года протокол № 2.

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, 2015

Цели работы:

- изучить диаграмму состояния железо-углерод;
- построить кривую охлаждения железоуглеродистого сплава с указанием превращений, структурных состояний и фазового состава в различных температурных интервалах.

Краткие теоретические сведения

1.1 Диаграмма состояния железо – углерод

Диаграмма состояния железо – углерод описывает равновесную структуру железоуглеродистых сплавов в зависимости от температуры и содержания углерода. Равновесное состояние реализуется при медленном нагреве или при медленном охлаждении.

В системе железо-углерод рассматривают упрощенную диаграмму (см. рис. 1, рис. 2), в случае, когда вторым компонентом системы является карбид железа (Fe_3C) – цементит.

На диаграмме состояния железо-цементит встречаются следующие фазы, т.е. однородные области в системе, имеющие собственный химический состав, строение, свойства и отделенные от других частей системы поверхностью раздела:

1. Феррит (Φ) - *твердый раствор* внедрения углерода в α -железе. *Кристаллическая решетка* феррита - объемно-центрированный куб. Максимальная растворимость углерода в α -железе при 0°C составляет 0,006% углерода, а при 727°C – 0,02%. На диаграмме состояния феррит занимает область GPQ.

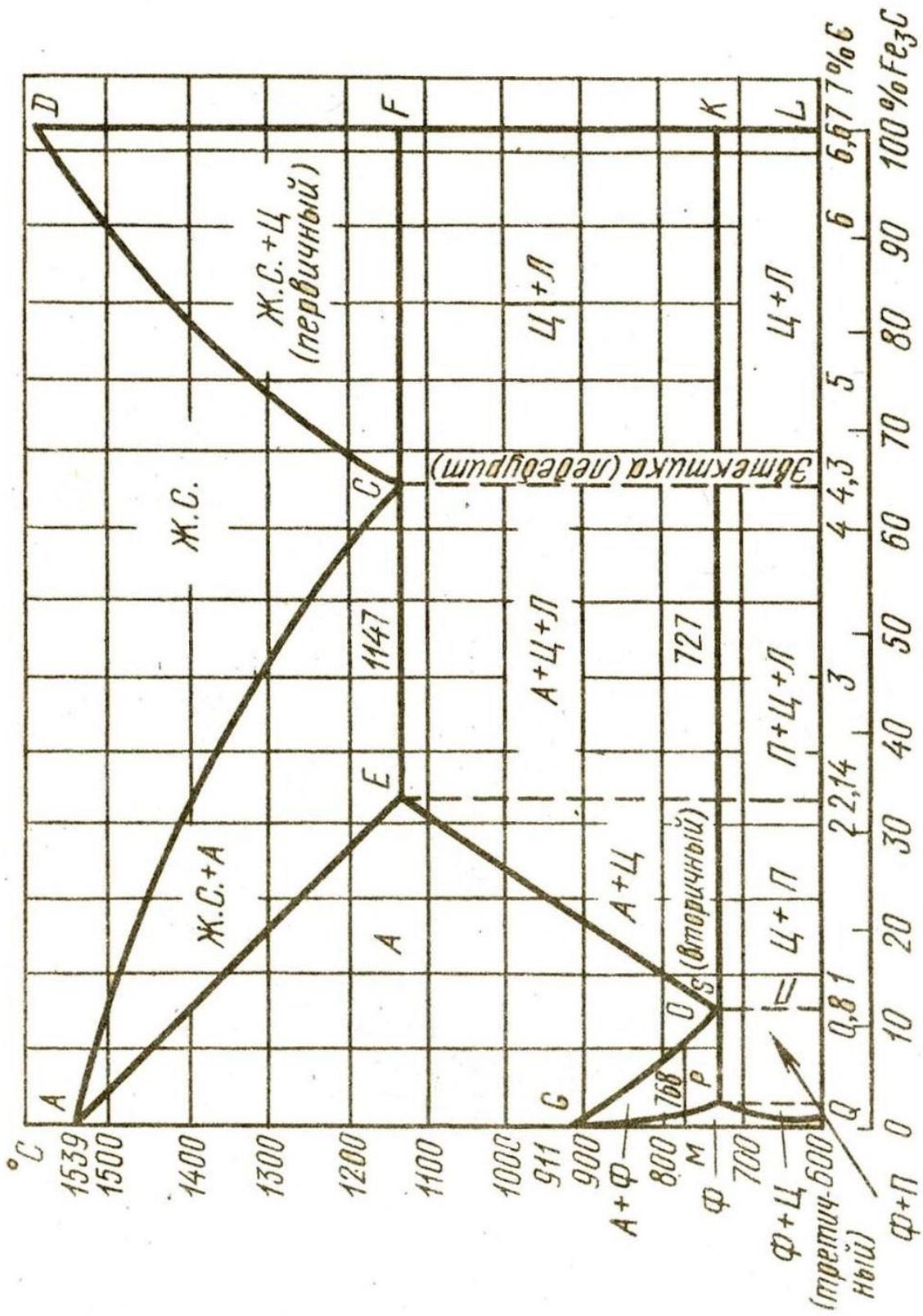


Рис. 1. Диаграмма состояния железо-цементит (в упрощенном виде)
 А - аустенит, П - перлит, Л - ледебурит, Ф - феррит, Ц - цементит

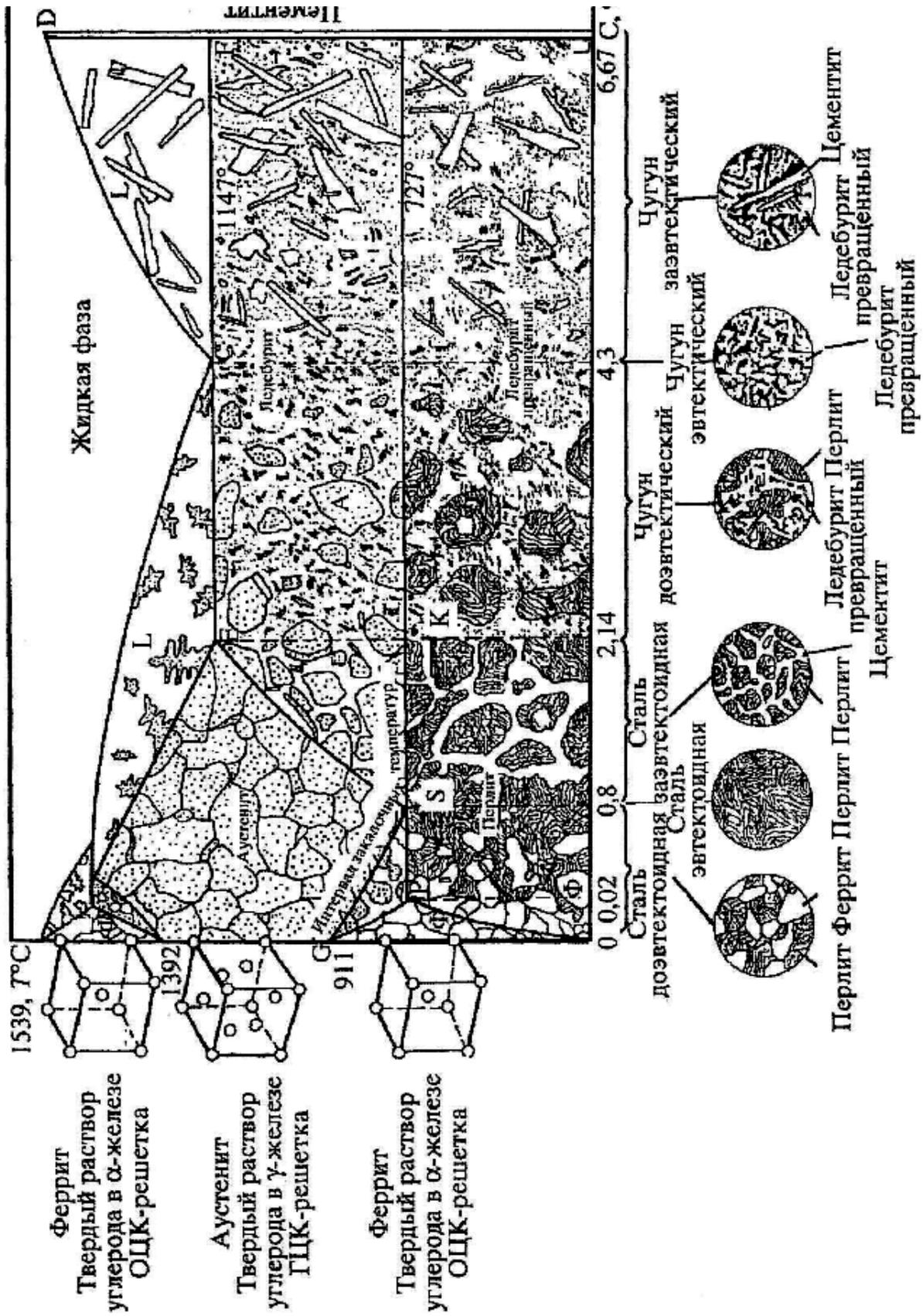


Рис. 2. Диаграмма состояния железо-цементит

2. Аустенит (А) - *твердый раствор* внедрения углерода в γ -железе. *Кристаллическая решетка* аустенита - *гранцентрированный куб*. Максимальная растворимость углерода в аустените при 1147°C 2,14%. На диаграмме состояния аустенит занимает область NJESG .

Наличие однофазных структур железоуглеродистых сплавов - феррита и аустенита, обусловлено *полиморфным $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращением* в железе.

3. Цементит (Ц) - химическое соединение карбида железа, имеющее стехиометрическую формулу Fe_3C . Состав цементита: 93,33%(вес) Fe и 6,67%(вес) C. Он обладает высокой *твердостью* (800НВ).

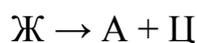
Из описанных выше фаз состоят двухфазные структурные составляющие, т.е. область, видимая как однородная на травленном микрошлифе (бывает однофазная (феррит, цементит, аустенит, графит) и двухфазная (перлит, ледебурит):

1. Перлит (П) – механическая смесь (эвтектоид) феррита и цементита. Перлит содержит 0,8% углерода и образуется при температуре 727°C (точка A_1) при охлаждении в результате распада аустенита по эвтектоидной реакции:



Перлит в зависимости от формы цементитных включений бывает пластинчатым и зернистым.

2. Ледебурит (Л) - механическая смесь (эвтектика). Ледебурит содержит 4,3%С и образуется при температуре 1147°C из жидкости по эвтектической реакции:



При температуре выше 727°C ледебурит состоит из цементита и аустенита (высокотемпературный ледебурит - L_B), а при температуре ниже 727°C - из перлита и цементита (низкотемпературный ледебурит - L_H).

Критическими точками называют температуры, при которых в сталях происходят фазовые превращения в твердом состоянии. Они обозначаются:

A_0 - магнитное превращение цементита – 210 °С;

A_1 - превращение перлита в аустенит при нагреве или превращение аустенита в перлит при охлаждении – 727°С;

A_2 - магнитное превращение феррита – 768 °С;

A_3 - в доэвтектоидных сталях полный переход структуры феррита в аустенит при нагреве или начало превращения аустенита в феррит при охлаждении – изменяется по линии GS в зависимости от содержания углерода;

A_m - заэвтектоидных сталях конец растворения цементита в аустените при нагревании или начало выделения цементита из аустенита при охлаждении – изменяются по линии SE в зависимости от содержания углерода.

Все сплавы системы железо-углерод можно разделить на три группы:

1. Техническое железо - сплавы с ферритной структурой, содержащие менее 0,02% углерода.

2. Стали. К сталям относятся сплавы, содержащие от 0,02 до 2,14% углерода и характеризующиеся в качестве основной структурной составляющей наличием перлита. Стали подразделяются на доэвтектоидные (0,02-0,8%), эвтектоидные (0,8%) и заэвтектоидные (0,8-2,14%).

3. Чугуны – железоуглеродистые сплавы, содержащие от 2,14 до 6,67%С. На диаграмме состояния железо-углерод представлены только белые чугуны, где углерод находится в твердом растворе (аустенит, феррит) или в связанном состоянии в виде цементита Fe_3C . Характерной структурной составляющей белых чугунов является ледебурит. Белые чугуны подразделяются на эвтектические (4,3%), доэвтектические (2,14-4,3%) и заэвтектические (4,3-6,67%).

1.2 Правила расстановки фаз на диаграмме состояния

При расстановке фаз на диаграмме состояния используют правило фаз Гиббса. *Правило фаз Гиббса* может быть записано для случая постоянного давления с помощью формулы:

$$C = K - \Phi + 1$$

где C - число степеней свободы (вариантность);

K - число компонентов;

Φ - число фаз.

Для случая кристаллизации чистого металла, где число компонентов (K) равно 1, а число сосуществующих фаз (Φ) равно 2 (жидкая и твердая фаза) число степеней свободы (C) равно 0. Это свидетельствует о том, что кристаллизация идет до конца при *постоянной температуре*, а дальнейшее охлаждение возможно только после окончания момента кристаллизации.

Диаграмма состояния железо-углерод является двухкомпонентной (один компонент железо, а другой углерод), т.е. $K = 2$ и

$$C = 3 - \Phi.$$

Число степеней свободы показывает, сколько термодинамических параметров (температура, давление, электромагнитное поле) можно изменить без изменения числа фаз (фазового состояния). Значение C не может быть отрицательным. Максимально возможное число фаз в двухкомпонентной системе равно трем. В трехфазном случае число степеней свободы равно нулю. Это приводит к возникновению горизонтальных ступенек на кривых охлаждения в равновесных условиях, которые имеют вид горизонтальных (изотремических) линий.

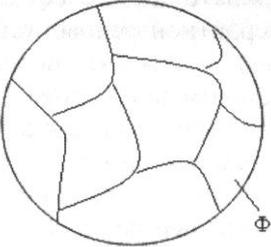
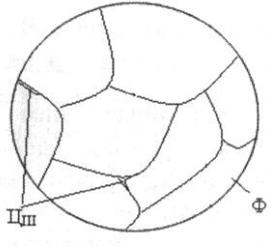
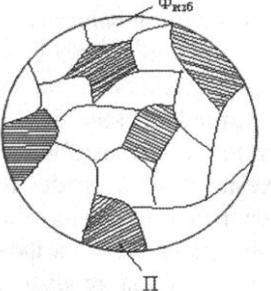
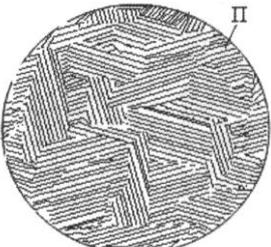
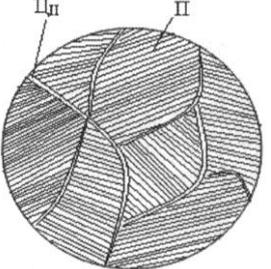
Если кристаллизация развивается в двухкомпонентной системе ($K=2$), где $\Phi=2$, то число степеней свободы (C) равно 1, т.е. процесс идет при *непрерывном охлаждении*.

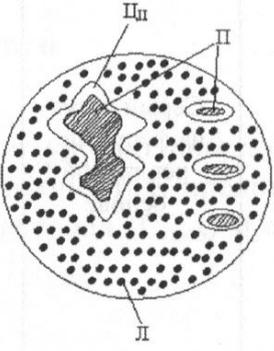
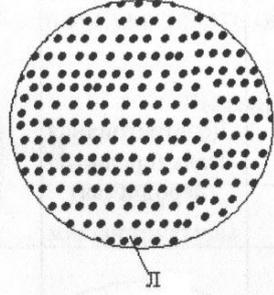
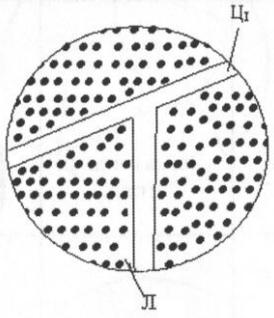
Таким образом, те процессы, у которых число степеней свободы (C) равно нулю являются безвариантными и развиваются при постоянной

температуре, а процессы со степенью свободы 1 и более – при *непрерывном изменении температуры*.

Таблица 1

Микроструктура железоуглеродистых сплавов при 20 °С

№	Сплав	Схема микроструктуры
1	Однофазное техническое железо	
2	Двухфазное техническое железо	
3	Доэвтектоидная сталь (низкоуглеродистая)	
4	Эвтектоидная сталь	
5	Заэвтектоидная сталь	

6	Доэвтектический белый чугун	
7	Эвтектический белый чугун	
8	Заэвтектический белый чугун	

1.4 Описание фазовых превращений

Описание фазовых превращений (ФП) удобно осуществлять, записывая *формулу превращения* (формулу реакции) и температуру протекания (температурный интервал). В формуле ФП с одной стороны от стрелки ставится обозначение фаз, количество которых уменьшается, а с другой стороны - обозначения образующихся фаз (их количество в результате ФП увеличивается). Направление стрелки указывает направление протекания реакции при охлаждении или нагреве. В качестве нижнего индекса у обозначения фаз приводится содержание одного из компонентов (процент углерода), характеризующие начальный и конечный химический состав фазы, т.е. его изменение во время превращения.

Для технического железа, сталей и белых чугунов при анализе ФП используется метастабильная диаграмма Fe-Fe₃C, для серого чугуна на

ферритной основе - стабильная диаграмма состояния Fe-графит. Для других видов чугунов при высоких температурах ФП протекают по стабильной диаграмме, а при низких - по метастабильной.

Пример:

Задание

Опишите фазовые превращения, протекающие при охлаждении сплава:

- доэвтектический белый чугун с 3,7 % С;

Решение

Доэвтектический белый чугун с 3,7 % С

Для анализа ФП используем метастабильную диаграмму состояния.

Результаты анализа приведены в табл. 2

Таблица 2

Фазовые превращения в белом чугуне с 3,7 % С

t, °С	Формула ФП (при охлаждении)	Фазовое превращение	Образующаяся структурная составляющая
1200...1147	$\text{Ж} \rightarrow \gamma (\text{А})$	Первичная кристаллизация аустенита	Первичные кристаллы γ
1147	$\text{Ж}_{4,3} \rightarrow \gamma_{2,14} + \text{Fe}_3\text{C}$	Эвтектическое	Ледебурит Л ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$)
1147...723	$\gamma \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$	Выделение вторичного цементита из γ	Вторичный цементит Ц _{II}
723	$\gamma_{0,8} \rightarrow \alpha_{0,02} + \text{Fe}_3\text{C}$	Эвтектоидное	Перлит П ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)
723...20	$\alpha_{0,02} \rightarrow \alpha_{0,006} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$	Выделение третичного цементита	Нет (третичные кристаллы Fe_3C не видны)

1.5 Построение кривых термического анализа

Для построения кривых термического анализа необходимо выяснить, какие превращения претерпевает сплав указанного состава в процессе нагрева

(охлаждения) во всем интервале температур от области существования жидкого раствора до комнатной температуры.

Правило фаз Гиббса позволяет определить количество степеней свободы при переходе из одного состояния в другое. В случае, когда $C = 0$ на кривой охлаждения будет остановка (площадка), а когда $C > 1$ - кривая. При отсутствии превращений наклон кривой определяется только лишь скоростью теплоотвода.

Удобно строить соответствующие кривые рядом с диаграммой.

Пример:

Задание:

Определить тип железоуглеродистого сплава с содержанием углерода 3 %, вычертите диаграмму состояния железо – углерод, определите положение данного сплава на диаграмме, постройте кривую охлаждения с использованием правила фаз Гиббса, опишите структуру и превращения в различных температурных интервалах при охлаждении.

Решение:

Данный железоуглеродистый сплав с содержанием 3% углерода относится к доэвтектическим белым чугунам.

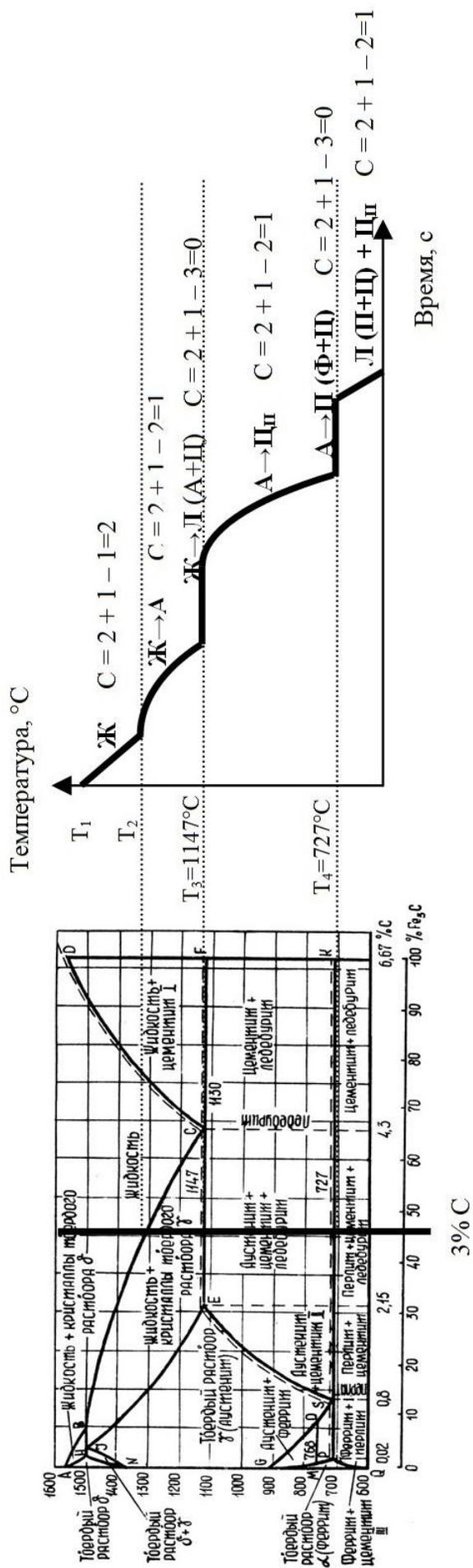


Рис. 3. Построение кривой охлаждения для железоуглеродистого сплава с 3% углерода

Порядок выполнения практической работы:

Практическое задание выполняется по вариантам. Номер варианта соответствует порядковому номеру в журнале группы.

1. Вычертите диаграмму состояния железо-цементит.
2. Укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы.
3. Выпишите содержание углерода в сплаве согласно своему варианту.
4. Перечислите критические точки данного сплава.
5. Постройте кривую охлаждения заданного сплава (табл. 3) из жидкости в соответствии с диаграммой Fe-Fe₃C.
6. Опишите превращения, происходящие при охлаждении сплава в соответствии с примером (табл. 2).
7. Укажите какова равновесная структура этого сплава при комнатной температуре и как такой сплав называется?

Таблица 3

Таблица вариантов

Вариант	Содержание углерода в сплаве, %	Вариант	Содержание углерода в сплаве, %
1	0,6	16	2,6
2	1,4	17	0,05
3	2,8	18	2,5
4	1,6	19	2,0
5	0,7	20	1,0
6	4,7	21	5,0
7	4,0	22	4,3
8	3,6	23	5,5
9	1,9	24	0,15
10	0,8	25	0,2
11	3,3	26	4,8
12	0,3	27	3,3
13	4,2	28	3,8
14	0,9	29	0,12
15	0,1	30	2,2

Контрольные вопросы

1. Какие фазовые и структурные составляющие присутствуют на диаграмме состояния железо-углерод? Характеристика каждой фазы и структурной составляющей.
2. Какие превращения происходят в сплавах при температурах A_0 , A_1 , A_2 , A_3 , A_m , A_4 ?
3. Какие превращения имеются на диаграмме состояния железо-углерод?
4. Какие железоуглеродистые сплавы относятся к техническому железу, сталям и чугунам? Как классифицируются по диаграмме стали и белые чугуны?
5. Какую структуру при комнатной температуре имеют доэвтектические, эвтектические и заэвтектические белые чугуны?
6. Какую структуру при комнатной температуре имеют доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные стали?
7. Какую структуру при комнатной температуре имеет техническое железо?
8. В чем заключается правило фаз Гиббса?

Список используемой литературы:

1. Лившиц Б.Г. Металлография. М.: Металлургиздат. 424 с.
2. Материаловедение: учебник для втузов / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева - 6-е изд. - Москва : Альянс, 2011 . - 528 с.
3. Материаловедение: Учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 8-е изд., стереотип. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.
4. Силина О.В., Панов Д.О., Каменских А.П. Структура и свойства железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии. Перм. гос. тех. ун-т. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009. 24 с.