

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора ЮТИ ТПУ по УР
_____ В.Л. Бибик
« _____ » _____ 2012 г.

С.Н. Федосеев

Изучение диаграммы состояния сплавов системы «ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ» (Fe-Fe₃C)

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Материаловедение» для студентов специальностей
150101 «Металлургия черных металлов»,
150202 «Оборудование и технология сварочного производства»,
150402 «Горные машины и оборудование»,
151001 «Технология машиностроения»
очной и заочной формы обучения

Издательство
Юргинского технологического института (филиала)
Томского политехнического университета
2012

УДК 620.22
ББК 30.3
Ф33

Федосеев С.Н.

Ф33 Изучение диаграммы состояния сплавов системы «железо-цементит» (Fe-Fe₃C): методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Материаловедение» для студентов специальностей 150101 «Металлургия черных металлов», 150202 «Оборудование и технология сварочного производства», 150402 «Горные машины и оборудование», 151001 «Технология машиностроения» очной и заочной формы обучения / С.Н. Федосеев; Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета – Юрга: Изд-во Юргинского технологического института (филиала) Томского политехнического университета, 2012. – 14 с.

УДК 620.22
ББК 30.3

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
МЧМ ЮТИ ТПУ
« 03 » октября 2012 г.

Зав. кафедрой МЧМ
канд. тех. наук,

_____ *А.А. Сапрыкин*

Председатель
учебно-методической комиссии

_____ *И.С. Сулимова*

Рецензент
Кандидат технических наук,
доцент
А.М. Анасов

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, ЮТИ ТПУ, 2012
© Федосеев С.Н., 2012

Введение

В начале занятия проводится контроль степени готовности студентов к выполнению лабораторной работы по контрольным вопросам. После этого студенты проходят общий инструктаж по технике безопасности и получают допуск к занятию.

После проведения необходимых исследований оформляется отчет. Отчет составляется каждым студентом индивидуально, либо общий на подгруппу студентов. Работа считается выполненной после сдачи отчета и получения зачета от руководителя работы.

1. Цель и задачи лабораторной работы

Изучить диаграмму состояния «железо-цементит». Разобраться с превращениями, происходящими в железоуглеродистых сплавах при медленном охлаждении и нагреве, определить фазовый состав и структуру сплавов в зависимости от их химического состава и температуры.

2. Оборудование и материалы

1. Диаграмма состояния системы Fe-Fe₃C.
2. Фотографии микроструктур железоуглеродистых сплавов.

3. Краткая характеристика объекта изучения

Диаграмма железоуглеродистых сплавов является графическим изображением фазового и структурного состояния сплавов в зависимости от температуры и концентрации химических компонентов.

Диаграмма железоуглеродистых сплавов может быть представлена в двух вариантах: метастабильном, отражающем превращения в системе «железо-карбид железа», и стабильном, отражающем превращения в системе «железо-графит». Наибольшее практическое значение имеет диаграмма состояния «железо-карбид железа», т. к. для большинства технических сплавов превращения реализуются по этой диаграмме.

Карбид железа (Fe₃C) называют цементитом, поэтому метастабильную диаграмму железоуглеродистых сплавов называют диаграммой состояния «железо-цементит» (Fe-Fe₃C).

3.1. Компоненты и фазы в сплавах железа с углеродом

Важнейшими конструкционными материалами в машиностроении являются железоуглеродистые сплавы. Основа для изучения процессов формирования их структуры – диаграмма состояния системы «железо – цементит». Главными компонентами железоуглеродистых сплавов являются железо и углерод.

Железо – пластичный металл сероватого цвета. Температура плавления – 1539 °С. Железо имеет три полиморфные модификации α , γ и δ . Модификация α существует при температурах ниже 911 °С. Кристаллическая решетка α -железа – объемно центрированный куб (ОЦК) с периодом решетки 0,28606 нм. До температуры 768°С α -железо магнитно (ферромагнитно). Температуру 768°С, соответствующую магнитному превращению, т.е. переходу из ферромагнитного состояния в парамагнитное, называют точкой Кюри. Плотность α -железа 7,68 Мг/м³. Вторая модификация γ -железо (Fe_{γ}) существует при температуре 911–1392 °С. Кристаллическая решетка – гранецентрированная кубическая (ГЦК) с периодом 0,3645 нм. В интервале 1392–1539 °С существует δ -железо с кристаллической решеткой объемно центрированного куба (ОЦК) с периодом решетки 0,293 нм.

Температурные интервалы существования полиморфных модификаций железа (α и γ) показаны на кривой охлаждения чистого железа (рис. 1).

Углерод (и его модификации) – неметаллический элемент II периода IV группы периодической системы, атомный номер 6, плотность 2,5 Мг/м³, температура плавления 3500 °С, атомный радиус 0,077 нм. В обычных условиях углерод находится в виде модификации графита, но может существовать в виде алмаза.

В системе железо – углерод различают следующие фазы: жидкий расплав, твердые растворы – α -феррит, δ -феррит и аустенит, а также цементит и графит.

Феррит (Φ) – твердый раствор углерода и других примесей в ОЦК-железе. Атом углерода располагается в решетке феррита в центре грани куба, где помещается сфера радиусом 0,031 нм, а также в дефектах кристаллической решетки. Предельная растворимость углерода в α -феррите 0,02% при температуре 727 °С и менее 0,01% при комнатной температуре, растворимость в δ – феррите – 0,1%. Под микроскопом феррит выявляется в виде однородных полиэдрических (многогранных) зерен. Твердость и прочность феррита невысоки ($\sigma_b = 250$ МПа, НВ = 800 МПа).

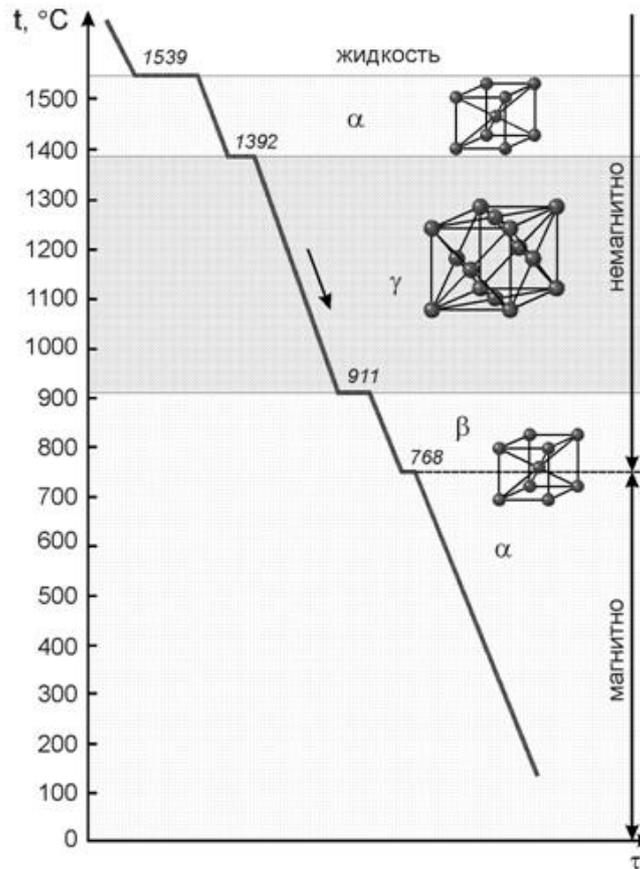


Рис. 1. Кривая охлаждения чистого железа

Аустенит (А) – твердый раствор углерода и других примесей в γ -железе. Предельная растворимость углерода в γ -железе – 2,14% при температуре 1147 °С и 0,8% при 727 °С. Атом углерода располагается в центре куба, в котором может разместиться сфера радиусом 0,051 нм, и в дефектных областях кристалла.

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом – карбид железа Fe_3C , содержащий 6,67% С. Цементит имеет сложную ромбическую решетку с плотной упаковкой атомов. Температура плавления цементита точно не определена (около 1260 °С). К характерным особенностям цементита относятся высокая твердость (НВ – 8000 МПа) и очень малая пластичность (δ около 0%).

Графит (Гр) имеет гексагональную слоистую кристаллическую решетку. Межатомные расстояния в слоях небольшие (0,142 нм), расстояние между плоскостями – 0,340 нм. Графит мягок, обладает низкой прочностью.

3.2. Диаграмма железо-цементит

Наличие двух высокоуглеродистых фаз (графита и цементита) при-

водит к появлению двух диаграмм состояния: метастабильной – «железо-цементит» и стабильной – «железо-графит». Свободная энергия цементита всегда больше, чем свободная энергия графита.

Кристаллические структуры цементита и аустенита близки, тогда как кристаллические структуры аустенита и графита существенно различны. По составу аустенит и цементит ближе друг к другу и составу жидкой фазы, чем аустенит и графит (аустенит содержит до 2,14% С, цементит – 6,67% С, жидкая фаза – от 2,14 до 6,67% С, графит – 100% С. Поэтому образование цементита из жидкости или из аустенита происходит легче, работа образования зародыша, как и необходимые диффузионные изменения, меньше в случае кристаллизации цементита, чем при кристаллизации графита, несмотря на меньший выигрыш свободной энергии.

Диаграмма состояния «железо-цементит» приведена на рис. 2.

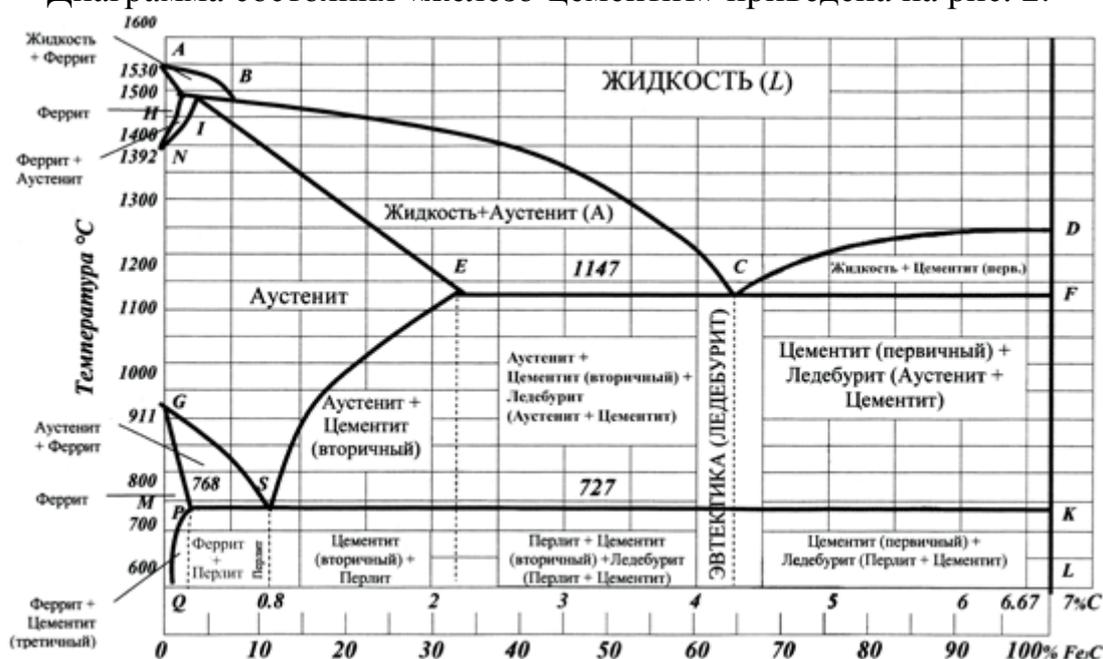


Рис. 2. Диаграмма «железо-цементит»

3.3. Основные линии и точки диаграммы

Линии диаграммы представляют собой совокупность критических точек сплавов с различным составом, характеризующих превращения в этих сплавах при соответствующих температурах.

ABCD – линия начала кристаллизации расплава (линия «ликвидус» – жидкости).

АНJESCF – линия окончания кристаллизации расплава (линия «солидус» – твердого тела);

CD – линия первичного цементита (C_I), выделяющегося непосред-

ственно из жидкости при высоких температурах и имеющего крупнокристаллическое строение;

ES – линия вторичного цементита (Ц_{II}), выделяющегося из аустенита при высоких температурах и высокой скорости диффузии, образуется в виде сеток по границам зерен, имеет более мелкокристаллическую структуру (линия имеет иное обозначение – A_{cm});

PQ – линия третичного цементита (Ц_{III}), выделяющегося из феррита при сравнительно низких температурах в виде мелкозернистых отдельных включений внутри зерен феррита;

DFK – линия цементита, соответствующая постоянному содержанию углерода 6,67% как химическое соединение;

A – точка плавления чистого железа, 1536 °C;

G, N – точки полиморфных превращений $\alpha\text{-Fe} \leftrightarrow \gamma\text{-Fe}$ (911 °C) и $\gamma\text{-Fe} \leftrightarrow \delta\text{-Fe}$ (1392 °C), соответственно;

E – точка максимальной концентрации углерода в аустените – 2,14% при 1147 °C.

Превращения, протекающие в твердом состоянии, в зависимости от содержания углерода и температуры, определяются критическими точками. Критической точкой называется линия, в которой при нагреве или охлаждении происходят фазовые изменения. Обозначают ее буквой A с буквенно – цифровым индексом. Буква показывает, какой процесс рассматривается (при нагревании – r, при охлаждении – c), а цифра – место расположения данной критической точки на диаграмме.

PSK – линия перлитного превращения. При охлаждении (A_{r1}) – конец распада аустенита с образованием эвтектоида, т.е. ферритоцементитной структуры (перлита). При нагревании (A_{c1}) – начало образования аустенита.

MO – температура точки Кюри (768 °C). При нагревании (A_{c2}) – ферромагнитный феррит превращается в парамагнитный, а при охлаждении (A_{r2}) – наоборот.

GOS – линия, на которой при нагревании (A_{c3}) заканчивается растворение феррита в аустените, а при охлаждении (A_{r3}) из аустенита выделяются зерна феррита.

SE – линия, на которой при нагревании (A_{cm}) заканчивается растворение вторичного цементита в аустените, а при охлаждении (A_{r_m}) из аустенита выделяется вторичный цементит.

Три горизонтальные линии HJB, ECF и PSK указывают на протекание трех превращений при постоянной температуре. При 1499 °C (горизонталь HJB) происходит перитектическая реакция $L_B + \text{Фн} \rightarrow A_J$. В результате реакции образуется аустенит.

При 1147 °C (горизонталь ECF) протекает эвтектическая реакция

LC → AE + Ц (жидкость, состав которой соответствует точке С, превращается в эвтектическую смесь аустенита, состав которого соответствует точке E, и цементита, называемую ледебуритом).

При 727 °С (горизонталь PSK) протекает эвтектоидная реакция A → ФР + Ц (в отличие от эвтектики, образующейся из жидкости, эвтектоид возникает из твердых фаз).

Продукт превращения – эвтектоидная смесь феррита и цементита, называемая перлитом.

Перлит чаще имеет пластинчатое строение, т.е. состоит из чередующихся пластинок феррита и цементита. После специальной термической обработки перлит может иметь зернистое строение.

Однофазные области диаграммы Fe – Fe₃C: жидкий расплав (L) – выше линии ABCD, феррит (Ф) – области ANH и GPQ, аустенит (A) – область JESGN.

Двухфазные области диаграммы: ANB – в равновесии находится жидкий расплав и кристаллы δ – феррита, NHJ – в равновесии кристаллы δ – феррита и аустенита, JECB – в равновесии жидкий расплав и кристаллы аустенита, CDF – в равновесии жидкий расплав и кристаллы цементита, SECFK – в равновесии кристаллы аустенита и цементита, GSP – в равновесии кристаллы аустенита и α – феррита, QPSKL – в равновесии кристаллы α – феррита и цементита.

3.4. Определение структуры и фазового состава железоуглеродистых сплавов

Диаграмма состояния даёт возможность не только провести анализ фазового состояния, но и определить состав и количественное соотношение фаз при любой температуре. Это осуществляется с помощью двух правил: концентраций и отрезков.

Правило концентраций: чтобы определить концентрацию компонентов в фазах, через данную точку, характеризующую состояние сплава, проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данную область; проекция точек пересечения на ось концентраций показывает состав фаз.

Правило отрезков (рычага): чтобы определить количественное соотношение фаз, через заданную точку проводят горизонтальную линию; отрезки этой линии между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз:

$$m_2/m_1 = (f_2/f_1)/(f_1/f_2).$$

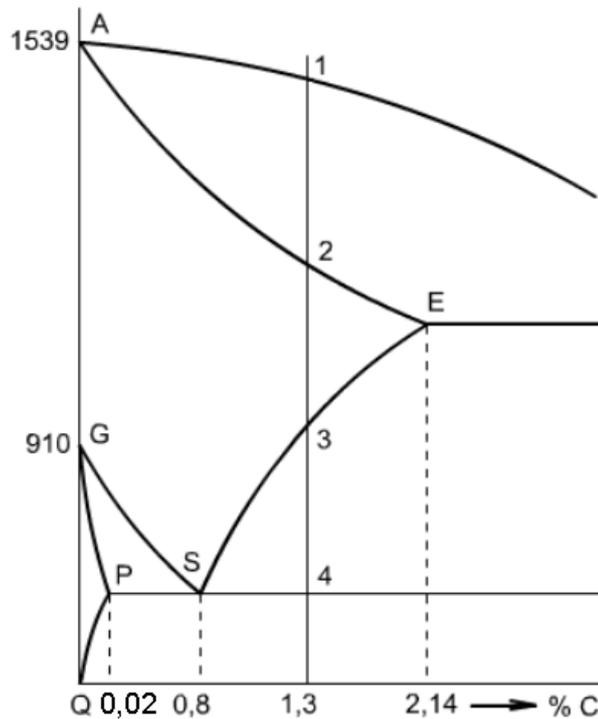


Рис. 3. Фрагмент диаграммы состояния $Fe-Fe_3C$ с нанесенной ординатой состава сплава, содержащего 1,3% C

Рассмотрим процесс структурообразования в охлаждаемых железоуглеродистых сплавах.

Пример 1. Сплав железа и углерода, содержащий 0,4% C:

- 1) сплав относится к доэвтектоидной стали;
- 2) условия затвердевания сплава соответствуют диаграмме состояния с перитектическим превращением;

3) количество жидкой $Q_{ж}$ и твёрдой $Q_{тв}$ фаз в точке а (см. рис. 1) соответственно равно отношениям $ab/bc \cdot 100\%$ и $ac/bc \cdot 100\%$. Содержание углерода в жидкой фазе приблизительно равно 1,0%, в аустените – 0,3%;

4) количество феррита $Q_{ф}$ и перлита $Q_{п}$ в структуре при комнатной температуре соответственно составляет: $kn/mn \cdot 100\%$ и $mk/mn \cdot 100\%$.

Пример 2. Сплав железа с углеродом, содержащий 5,5% C:

- 1) сплав относится к заэвтектическому белому чугуно;
- 2) количество жидкой $Q_{ж}$ и твёрдой $Q_{тв}$ фаз в точке а (см. рис. 1) соответственно равно отношениям $ac/bc \cdot 100\%$ и $ab/bc \cdot 100\%$. Содержание углерода в жидкой фазе приблизительно равно 5%, в цементите 6,67%.

4. Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на 2 часа и выполняется подгруппой студентов из 6–8 человек под руководством преподавателя. Последовательность выполнения работы:

1. Ознакомится с диаграммой состояния Fe–Fe₃C.
2. Получить у преподавателя данные контрольных сплавов для описания.
3. Подробно описать изменение структуры при медленном охлаждении контрольного сплава.

5. Оформление лабораторной работы

Оформление лабораторной работы должно соответствовать методическим указаниям. Работа оформляется в рабочей тетради в виде отчета, который должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) тему работы;
- 3) цель работы;
- 4) оборудование и материалы;
- 5) диаграмма состояния Fe–Fe₃C с обозначением фаз и структурных составляющих по всем областям диаграммы;
- 6) характеристика линий и структурных составляющих железоуглеродистых сплавов;
- 7) подробное описание изменений структуры при медленном охлаждении контрольного сплава;
- 8) выводы.

Работу студент защищает руководителю по контрольным вопросам. После выполнения и защиты всех работ рабочая тетрадь в обязательном порядке сдается преподавателю.

6. Контрольные вопросы

1. Что такое аустенит?
2. Что такое феррит?
3. Что такое цементит?
4. Какую кристаллическую решётку имеет α -железо? Укажите температурный интервал существования α -железа.

5. Какими линиями диаграммы ограничивается температурный интервал первичной кристаллизации?
6. На какой линии происходит эвтектическое превращение?
7. На какой линии происходит эвтектоидное превращение?
8. Назовите фазы железоуглеродистых сплавов?
9. В чем различие первичного, вторичного и третичного цемента?
10. Правило концентраций.
11. Правило отрезков.

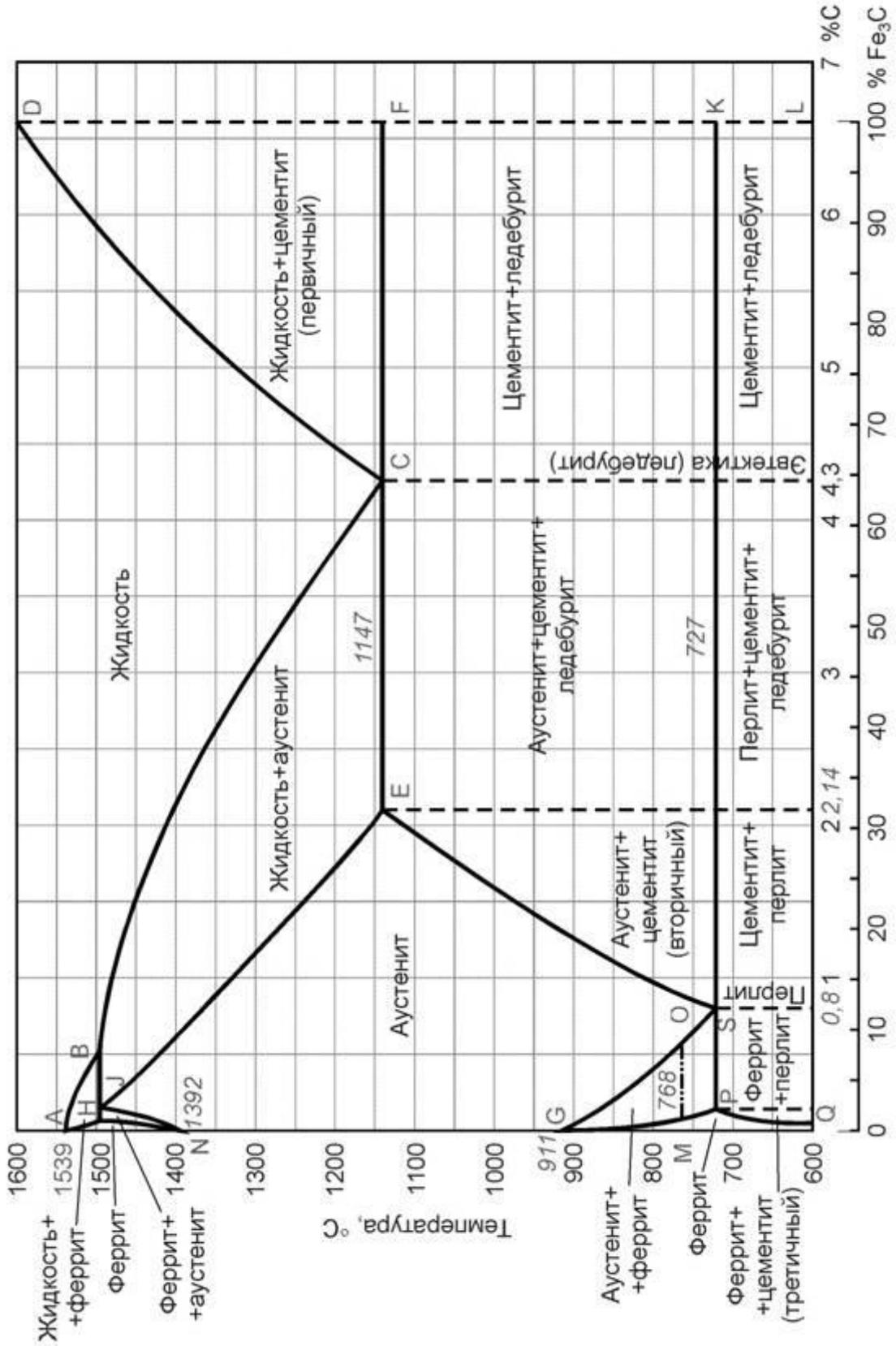
ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ СПЛАВОВ

№ п/п	% С	№ п/п	% С	№ п/п	% С
1	0,4	11	5,3	21	1,6
2	1,5	12	2,9	22	3,5
3	3,2	13	1,7	23	4,4
4	4,6	14	0,55	24	5,5
5	5,8	15	1,9	25	0,15
6	0,08	16	1,2	26	0,6
7	0,45	17	4,7	27	0,5
8	0,9	18	2,5	28	3,8
9	1,4	19	0,7	29	4,1
10	2,6	20	0,4	30	1,3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апасов А.М. *Материаловедение* / Апасов А.М, Галевский Г.В., Данилов В.И. – Томск: Издательство ТПУ, 2005. – 622 с.
2. Апасов А.М. *Методы исследования, испытания, анализа и контроля в металлургии и материаловедении* / Апасов А.М, Галевский Г.В. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 488 с.
3. Фетисов Г.П. *Материаловедение и технология металлов* / Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Матюшин В.М. и др. / под ред. Фетисова Г.П. – М.: Высшая школа, 2001. – 638 с.

Диаграмма «железо-цементит»



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Металлургия черных металлов»

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа № __

ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ
«ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ» (Fe-Fe₃C)

Исполнитель:
студент гр. _____

(подпись) И.О.Фамилия
(дата)

Руководитель:
(должность, ученая степень)

(подпись) И.О.Фамилия
(дата)

Юрга 20__

Учебное издание

ФЕДОСЕЕВ Сергей Николаевич

ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ «ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ» (Fe-Fe₃C)

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Материаловедение» для студентов специальностей 150101 «Металлургия черных металлов», 150202 «Оборудование и технология сварочного производства», 150402 «Горные машины и оборудование», 151001 «Технология машиностроения» очной и заочной формы обучения

Печатается в редакции автора-составителя

**Отпечатано в издательстве ЮТИ ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 21.09.12

Формат 60x84/16. Бумага офсетная

Плоская печать. Усл. печ. л. 0,70. Уч.-изд.л. 0,78

Тираж 60 экз. Заказ 1555. Цена свободная.

ИПЛ ЮТИ ТПУ. Ризограф ЮТИ ТПУ.

652050. Юрга, ул. Московская, 17.