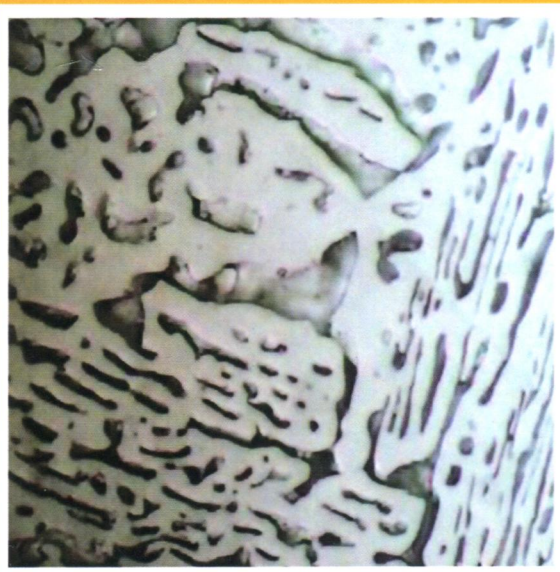


С. В. ДАВЫДОВ

**ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ
СПЛАВОВ СИСТЕМЫ
«ЖЕЛЕЗО – КАРБИД $\epsilon\text{-Fe}_2\text{C}$ »**



«Инфра-Инженерия»

С. В. ДАВЫДОВ

**ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ
СИСТЕМЫ «ЖЕЛЕЗО – КАРБИД ε -Fe₂C»**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 620.17+669.131

ББК 34.22

Д13

Рецензенты:

Панов Алексей Геннадьевич – проф., д-р техн. наук (Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны, Республика Татарстан);

Болдырев Денис Алексеевич – проф., д-р техн. наук, главный специалист бюро металлургических процессов и сварки отдела инжиниринга материалов дирекции по испытаниям материалов и автомобилей службы исполнительного вице-президента по инжинирингу АО «АвтоВАЗ»

Давыдов, С. В.

Д13 Диаграмма состояния сплавов системы «железо – карбид ϵ -Fe₂C» : монография / С. В. Давыдов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 280 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-0735-9

Рассмотрены этапы эволюции и основные проблемы диаграммы «железо – углерод». Исследованы фазовые превращения карбидов железа, представлена фазовая диаграмма железа в условиях температур и давлений ядра Земли. Рассмотрены варианты диаграмм состояния сплавов системы «Fe – C» при сверхвысоких давлениях, выполнен анализ процессов структурообразования высокоуглеродистых сплавов, закаленных под высоким давлением при различных температурах. Предложены два варианта диаграмм системы «Fe – карбид ϵ -Fe₂C» в концентрационном интервале 0...9,7 % C – на основе эвтектического и перитектического типов превращений.

Для специалистов в области металлургии. Издание может быть полезно научным работникам, преподавателям вузов и аспирантам металлургических направлений подготовки.

УДК 620.17+669.131

ББК 34.22

ISBN 978-5-9729-0735-9 © С. В. Давыдов, 2021

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
ГЛАВА 1	
ЭВОЛЮЦИЯ ДИАГРАММЫ «ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОД».....	10
1.1. Диаграмма «железо-цементит».....	10
1.2. Диаграмма «железо-алмаз».....	22
1.3. Фазовые превращения карбидов железа в ядре Земли.....	32
1.3.1. Внутреннее строение ядра Земли.....	32
1.3.2. Фазовые соотношения и стабильность карбидов железа Fe_2C , Fe_3C , Fe_7C_3 при давлениях и температурах ядра Земли.....	33
1.3.3. Политипные модификации карбида Fe_7C_3	41
1.3.4. Структура и состав карбидов железа, стабильных при сверхвысоких давлениях.....	42
1.3.5. Фазовая диаграмма железа при высоких давлениях.....	45
1.4. Диаграмма состояния сплавов системы Fe-C при сверхвысоких давлениях.....	48
1.4.1. Экспериментальные методы синтеза, плавки и исследования смесей карбидов Fe_3C , Fe_7C_3 с железом.....	48
1.4.2. Исследование расплава эвтектического состава в системе Fe-C.....	50
1.4.3. Металлографические исследования структуры сплавов системы Fe-C при сверхвысоких давлениях.....	67
1.4.3.1. Фазовая структура закаленных с 1300 °C сплавов под давлением 5,0 ГПа.....	69
1.4.3.2. Фазовая структура закаленных с 1700 °C сплавов под давлением 5,0 ГПа.....	71
1.4.3.3. Фазовая структура закаленных с 1800 °C сплавов под давлением 14,0 ГПа.....	74
1.4.4. Фазовые превращения в цементите Fe_3C при нагреве в условиях сверхвысоких давлений.....	77
1.4.5. Конфигурация линий фазового равновесия в высокоуглеродистой части диаграммы Fe-C.....	80
1.5. Ревизионистские варианты диаграммы Fe-C.....	90
Выводы к главе 1.....	97
Список литературы к главе 1.....	98

ГЛАВА 2	
ДАВЛЕНИЕ ПАРА УГЛЕРОДА В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ РАСПЛАВАХ	105
2.1. Общие положения о давлении пара углерода в расплавах системы Fe-C.....	105
2.2. Термодинамика давления пара углерода.....	108
2.3. Термодинамическая активность и давление пара углерода	109
2.4. Расчетный метод определения давления пара углерода над кристаллическим графитом и расплавом чугуна.....	110
2.5. Давление пара углерода как корреляционная термодинамическая функция описания состояния железоуглеродистого расплава.....	116
2.6. Расчет давления пара углерода в подсистеме углеродная наночастица – расплав	117
2.7. Расчет давления пара углерода в подсистеме расплав – пар.....	119
2.8. О графитной спели в чугунах	123
Выводы к главе 2	126
Список литературы к главе 2	128

ГЛАВА 3 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ КАРБИДНЫХ ФАЗ В СИСТЕМЕ Fe-C	130
3.1. «Белые» области диаграммы состояния сплавов Fe-C.....	130
3.2. Железо-углеродистые сплавы как растворы	131
3.3. Эволюция представлений о фазовых превращениях в карбидной области диаграммы.....	132
3.4. О нестехиометричности кристаллов	136
3.5. Физико-химическая идентификация карбидных фаз.....	137
Выводы к главе 3	145
Список литературы к главе 3	146

Глава 4 ПЕРИТЕКТОИДНОЕ КАРБИДНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ НА ОСНОВЕ ϵ -КАРБИДА Fe_2C В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ Fe-C.....	149
4.1. Выделение ϵ -карбида Fe_2C в сталях	149
4.2. Идентификация цементита и ϵ -карбида как твердых растворов.....	152
4.3. Перитектоидное фазовое превращение ϵ -карбида на диаграмме Fe-C.....	154
4.4. Металлографические исследования перитектоидного превращения	156
4.4.1 Методика проведения исследований при равновесном охлаждении сталей.....	157
4.4.2. Выделение ϵ -карбида в перлите стали 45	157

4.4.3. Выделение ϵ -карбида в перлите стали 40X	159
4.4.4. Выделение ϵ -карбида в перлите стали 35ХГСА	161
4.4.5. Выделение третичного цементита в феррите стали 45	163
4.4.6. Распад перлита стали 20 по реакции перитектоидного превращения при длительном изотермическом отжиге	164
4.4.7. Распад перлита в эвтектическом белом чугуна при длительном изотермическом отжиге.....	165
Выводы к главе 4	170
Список литературы к главе 4	171

ГЛАВА 5

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В КАРБИДНОЙ ОБЛАСТИ

ДИАГРАММЫ Fe-C	173
5.1. Проблемы высокоуглеродистой области диаграммы Fe-C	173
5.2. Вариант диаграммы «Fe-карбид ϵ -Fe ₂ C» с эвтектическими превращениями в «зацементитной» области	177
5.3. Вариант диаграммы «Fe-карбид ϵ -Fe ₂ C» с перитектическими превращениями в «зацементитной» области	181
Выводы к главе 5	184
Список литературы к главе 5	184

ГЛАВА 6

СТРОЕНИЕ РАСПЛАВА ЧУГУНА И УСЛОВИЯ ЕГО ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

186	
6.1. Кластерная структура расплавов.....	186
6.1.1 Развитие представлений о структуре жидких металлов.....	186
6.1.2 Фрактальные кластеры и физика открытых систем.....	187
6.1.3 Свойства фрактального кластера	189
6.2. О строении жидкого чугуна.....	191
6.3. Фуллерены – основа структурирования жидкого чугуна	193
6.3.1. Развитие науки о фуллеренах	193
6.3.2. Роль фуллеренов в железоуглеродистых расплавах	194
6.3.2.1. Структура малых кластеров углерода	194
6.3.2.2. Фуллерены.....	197
6.3.2.3. Фрактальные структуры углерода	202
6.3.3. Развитие теории субмикрорегетерогенного строения жидкого чугуна	205
6.3.4. Химия фуллеренов и оценка влияния поверхностно-активных элементов	207
6.3.5. Фуллерены и теории строения жидкого чугуна	209

6.3.6. Компенсирующие процессы в Fe-C-расплаве при нарушении состояния равновесия по давлению пара углерода	211
6.3.6.1. Поведение в расплаве чугуна фазы углеродистых наночастиц	211
6.3.6.2. Уровень давления и температур существования углеродных наночастиц на основе фуллеренов.....	214
6.3.6.3. О стабилизации цементита в Fe-C-расплавах под влиянием внешнего давления	218
6.3.7. Форма углерода в расплаве чугуна	219
6.3.7.1. Неравновесный фазовый переход и влияние флуктуаций на формирование диссипативных структур в жидком чугуне.....	219
6.3.7.2. Расчет действительных размеров углеродных наночастиц в расплаве чугуна	222
6.3.7.3. Форма углерода в расплаве чугуна и давление пара углерода	226
6.3.8. Кристаллизация железоуглеродистых сплавов высокотемпературной плавки.....	230
Выводы к главе 6	238
Список литературы к главе 6	240
Приложения	244