



**В. Я. ДАШЕВСКИЙ**

# **ФЕРРОСПЛАВЫ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ**

- ◆ **Металлургия сплавов кремния, марганца, хрома, вольфрама, молибдена, ванадия, титана, щелочноземельных и редкоземельных металлов, ниобия, циркония, алюминия, бора, никеля, кобальта, фосфора, селена и теллура**
- ◆ **Металлургия железоуглеродистых сплавов, электрокорунда и флюсов**
- ◆ **Ферросплавные печи**
- ◆ **Самообжигающихся электроды**

В. Я. Дашевский

**ФЕРРОСПЛАВЫ:  
ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ**

Москва      Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2021

УДК 669.168  
ББК 34.326  
Д21

*Посвящается памяти отца автора, Дашевского Якова Вениаминовича –  
одного из создателей отечественной промышленности ферросплавов*

**Дашевский, В. Я.**

**Д21** Ферросплавы: теория и технология / В. Я. Дашевский. – Москва ; Вологда :  
Инфра-Инженерия, 2021. – 288 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-0566-9

Изложены физико-химические основы высокотемпературных процессов получения ферросплавов кремнистой, марганцевой и хромистых групп, сплавов молибдена, ванадия, титана, щелочноземельных и редкоземельных металлов, ниобия, циркония, алюминия, бора, никеля, кобальта, фосфора, селена и теллура, железоуглеродистых сплавов. Рассмотрены технологии промышленного производства этих групп ферросплавов, характеристики шихтовых материалов, технологические параметры процессов выплавки. Описаны технологии выплавки электрокорунда и электроплавленных флюсов. Приведено описание ферросплавных печей. Рассмотрены конструкция и технология изготовления самообжигающихся электродов.

Для специалистов в области металлургии, аспирантов и преподавателей. Может быть полезно студентам старших курсов направления подготовки «Металлургия».

УДК 669.168  
ББК 34.326

ISBN 978-5-9729-0566-9

© Дашевский В. Я., 2021  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ФЕРРОСПЛАВНЫХ ПРОЦЕССОВ .....	10
1.1. Ведущие элементы ферросплавов .....	10
1.2. Общие требования к качеству ферросплавов.....	12
1.3. Классификация ферросплавных процессов по виду применяемых восстановителей.....	12
1.4. Классификация ферросплавных процессов по виду используемого агрегата.....	14
1.5. Классификация ферросплавных процессов по технологическим признакам.....	15
ГЛАВА 2. КРЕМНИЙ И КАРБИД КРЕМНИЯ.....	17
2.1. Свойства кремния, углерода и их соединений.....	17
2.2. Теоретические основы восстановления кремния углеродом .....	21
2.3. Сортамент кристаллического кремния и качество шихтовых материалов .....	22
2.4. Технология выплавки кристаллического кремния .....	24
2.5. Технология производства карбида кремния .....	27
ГЛАВА 3. ФЕРРОСИЛИЦИЙ .....	30
3.1. Свойства соединений кремния .....	30
3.2. Теоретические основы восстановления кремния углеродом при получении ферросилиция.....	32
3.3. Электрические характеристики и геометрические параметры ванны электропечей для выплавки ферросилиция.....	32
3.4. Технология выплавки и разлива ферросилиция .....	33
ГЛАВА 4. СПЛАВЫ МАРГАНЦА .....	41
4.1. Свойства марганца и его соединений .....	42
4.2. Минералы, руды и концентраты марганца.....	48
4.3. Дефосфорация марганцевых концентратов и марганецосодержащих продуктов.....	49
4.4. Технология сушки и окускования марганцевых концентратов .....	51
4.5. Технология выплавки высокоуглеродистого ферромарганца.....	53
4.6. Технология выплавки ферросиликомарганца .....	58
4.7. Технология выплавки металлического марганца, низко- и среднеуглеродистого ферромарганца .....	60
4.8. Технология получения азотированного марганца и силикомарганца .....	66
ГЛАВА 5. СПЛАВЫ ХРОМА .....	69
5.1. Свойства хрома и его соединений.....	69

5.2. Минералы и руды хрома .....	75
5.3. Технология выплавки высокоуглеродистого феррохрома .....	76
5.4. Технология выплавки ферросиликохрома .....	79
5.5. Технология выплавки низкоуглеродистого феррохрома.....	81
5.6. Вакуумные процессы обезуглероживания и дегазации феррохрома .....	85
5.7. Кислородно-конвертерный и силикотермический способы выплавки среднеуглеродистого феррохрома .....	86
5.8. Аллюминотермический способ получения хрома и феррохрома .....	88
5.9. Технология получения азотированного феррохрома .....	92
<b>ГЛАВА 6. ФЕРРОВОЛЬФРАМ.....</b>	<b>94</b>
6.1. Свойства вольфрама и его соединений.....	94
6.2. Минералы, руды и концентраты вольфрама .....	97
6.3. Технология получения ферровольфрама углеродосиликотермическим способом .....	98
6.4. Технология получения ферровольфрама аллюминотермическим способом.....	101
<b>ГЛАВА 7. ФЕРРОМОЛИБДЕН.....</b>	<b>102</b>
7.1. Свойства молибдена и его соединений.....	102
7.2. Минералы, руды и концентраты молибдена .....	106
7.3. Окислительный обжиг молибденитового концентрата.....	107
7.4. Технология получения ферромolibдена внепечным силикоаллюмотермическим способом.....	108
<b>ГЛАВА 8. ФЕРРОВАНАДИЙ .....</b>	<b>112</b>
8.1. Свойства ванадия и его соединений .....	113
8.2. Минералы, руды и концентраты ванадия .....	116
8.3. Технология металлургического передела ванадийсодержащих концентратов .....	117
8.4. Технология химического передела ванадийсодержащих шлаков .....	119
8.5. Термодинамика реакций восстановления ванадия из оксидов .....	120
8.6. Технология получения феррованадия силикоаллюминотермическим способом .....	122
8.7. Технология получения феррованадия аллюминотермическим способом .....	123
8.8. Технология получения ферросиликованадия.....	125
8.9. Технология получения азотированного феррованадия.....	125
<b>ГЛАВА 9. ФЕРРОТИТАН.....</b>	<b>126</b>
9.1. Свойства титана и его соединений.....	126
9.2. Минералы, руды и концентраты титана .....	131
9.3. Термодинамика реакций восстановления титана .....	132
9.4. Окислительный обжиг титановых концентратов .....	133

9.5. Технология диспергирования алюминия.....	134
9.6. Технология получения ферротитана алюминотермическим способом.....	134
9.7. Технология получения металлического титана магниетермическим способом .....	138
<b>ГЛАВА 10. ФЕРРОСПЛАВЫ СО ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ.....</b>	<b>142</b>
10.1. Карбид кальция и силикокальций .....	142
10.1.1. Свойства кальция и его соединений.....	142
10.1.2. Технология выплавки карбида кальция .....	146
10.1.3. Технология выплавки силикокальция.....	149
10.2. Ферросиликобарий и алюминобарий.....	152
10.2.1. Свойства бария и его соединений .....	154
10.2.2. Технология выплавки ферросиликобария .....	159
10.2.3. Технология выплавки алюминобария .....	159
10.3. Ферросиликостронций.....	160
10.3.1. Свойства стронция и его соединений .....	160
10.3.2. Минералы и руды стронция .....	163
10.3.3. Технология выплавки ферросиликостронция .....	164
10.4. Ферросиликомагний .....	164
10.4.1. Свойства магния и его соединений .....	164
10.4.2. Минералы и руды магния.....	167
10.4.3. Технология получения магния и магниевых ферросплавов .....	167
10.5. Бериллий.....	168
10.5.1. Свойства бериллия и его соединений .....	168
10.5.2. Минералы и руды бериллия .....	169
10.5.3. Технология получения бериллия.....	169
<b>ГЛАВА 11. ФЕРРОНИОБИЙ .....</b>	<b>171</b>
11.1. Свойства ниобия и его соединений.....	171
11.2. Минералы и руды ниобия .....	176
11.3. Термодинамика реакций восстановления ниобия .....	176
11.4. Технология получения феррониобия алюминотермическим способом.....	177
<b>ГЛАВА 12. ФЕРРОСИЛИКОЦИРКОНИЙ И ФЕРРОАЛЮМИНОЦИРКОНИЙ .....</b>	<b>180</b>
12.1. Свойства циркония и его соединений.....	180
12.2. Минералы, руды и концентраты циркония .....	184
12.3. Термодинамика реакций восстановления циркония .....	184
12.4. Технология получения ферросиликоциркония алюминотермическим способом.....	185
12.5. Технология получения ферроалюминоциркония алюминотермическим способом.....	187

ГЛАВА 13. ФЕРРОАЛЮМИНИЙ И СИЛИКОАЛЮМИНИЙ .....	189
13.1. Свойства алюминия и его соединений .....	189
13.2. Минералы и руды алюминия .....	193
13.3. Технология производства ферроалюминия .....	193
13.4. Технология производства силикоалюминия .....	194
 ГЛАВА 14. ФЕРРОБОР И КАРБИД БОРА .....	 198
14.1. Свойства бора и его соединений .....	198
14.2. Минералы и руды бора .....	200
14.3. Термодинамика реакций восстановления бора .....	201
14.4. Технология получения ферробора .....	202
14.5. Технология получения карбида бора .....	204
 ГЛАВА 15. ФЕРРОСПЛАВЫ С РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ .....	 207
15.1. Свойства редкоземельных металлов и их соединений .....	207
15.2. Минералы, руды и концентраты редкоземельных металлов .....	212
15.3. Технология получения ферросплавов с редкоземельными металлами .....	212
 ГЛАВА 16. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ .....	 215
16.1. Свойства железа и его соединений .....	215
16.2. Восстановление железа углеродом и газами .....	217
16.3. Электротермия чугуна .....	219
 ГЛАВА 17. ФЕРРОНИКЕЛЬ .....	 222
17.1. Свойства никеля и его соединений .....	222
17.2. Минералы и руды никеля .....	226
17.3. Технология получения и рафинирования ферроникеля .....	227
 ГЛАВА 18. КОБАЛЬТ .....	 231
18.1. Свойства кобальта и его соединений .....	231
18.2. Минералы и руды кобальта .....	234
18.3. Технология получения кобальта .....	235
 ГЛАВА 19. ФЕРРОФОСФОР .....	 238
19.1. Свойства фосфора и его соединений .....	238
19.2. Минералы и руды фосфора .....	240
19.3. Термодинамика реакций восстановления фосфора .....	241
19.4. Подготовка фосфоритов к электроплавке .....	242
19.5. Электропечи для восстановления фосфора .....	243
19.6. Электротермия фосфора .....	243

ГЛАВА 20. ФЕРРОСЕЛЕН И ФЕРРОТЕЛЛУР.....	245
20.1. Свойства селена, теллура и их соединений.....	245
20.2. Селен- и теллурсодержащие руды .....	247
20.3. Легирование стали селеном и теллуrom .....	248
ГЛАВА 21. ЭЛЕКТРОКОРУНД.....	250
21.1. Свойства корунда.....	250
21.2. Технология электрокорунда .....	250
21.3. Технология нормального электрокорунда .....	251
ГЛАВА 22. ЭЛЕКТРОПЛАВЛЕННЫЕ ФЛЮСЫ.....	256
22.1. Требования к флюсам и способы их получения .....	256
22.2. Электроплавка флюсов.....	257
22.3. Поведение примесей при электроплавке флюсов.....	258
ГЛАВА 23. ФЕРРОСПЛАВНЫЕ ПЕЧИ.....	261
23.1. Рудно-термические электрические печи .....	263
23.1.1. Ванна рудно-термической печи .....	266
23.1.2. Механизм вращения ванны рудно-термической печи.....	267
23.1.3. Свод рудно-термической печи.....	268
23.1.4. Обеспечение печей шихтой.....	269
23.2. Рафинировочные электрические печи .....	273
ГЛАВА 24. САМООБЖИГАЮЩИЕСЯ ЭЛЕКТРОДЫ .....	277
24.1. Конструкция самообжигающихся электродов .....	277
24.2. Электродная масса .....	279
24.3. Технология производства электродной массы.....	282
24.4. Процессы, происходящие при обжиге электродной массы .....	283
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	286