

# ПОДГОТОВКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ДОМЕННОЙ И БЕЗДОМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЖЕЛЕЗА



В двух томах

**ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ И ПРАКТИКА  
ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ ОКОМКОВАННЫХ ШИХТ  
И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ОКУСКОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**II**

Ф. М. Журавлев, В. П. Лялюк, Н. И. Ступник,  
В. С. Моркун, Е. В. Чупринов, Д. А. Кассим

**ПОДГОТОВКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ  
ДЛЯ ДОМЕННОЙ И БЕЗДОМЕННОЙ  
МЕТАЛЛУРГИИ ЖЕЛЕЗА**

**Учебник  
В двух томах**

**ТОМ 2**

**ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ И ПРАКТИКА ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ  
ОКОМКОВАННЫХ ШИХТ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКУСКОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2021

УДК 669.162.26

ББК 34.323

П44

**Р е ц е н з е н т ы :**

заведующий кафедрой металлургии чугуна Национальной металлургической академии Украины доктор технических наук, профессор *А. К. Тараканов*;  
заведующий кафедрой металлургии черных металлов им. профессора В. И. Логинова Днепропетровского государственного технического университета доктор технических наук, профессор *Е. Н. Сигарев*

**П44**      **Подготовка металлургического сырья для доменной и бездомной металлургии железа** : учебник. В двух томах. Том 2. Теория, технология и практика термоупрочнения окомкованных шихт и металлургические характеристики окомкованных материалов / [Ф. М. Журавлев и др.] – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 380 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-0704-5 (общ.)

ISBN 978-5-9729-0707-6 (Т.2)

Изложены теоретические основы, показано современное состояние и перспективы производства окомкованного железорудного материала для доменного и бездомного получения железа. Описаны методы определения металлургических характеристик железорудных материалов, требования к ним для дальнейшей плавки, положительные и отрицательные свойства для эффективного использования в металлургии. Освещены технологии производства агломерата и окатышей с металлургическими характеристиками, а также новых видов окомкованных материалов для доменной плавки. Рассмотрены безобжиговые технологии производства окатышей, их металлургические характеристики.

Для студентов и аспирантов металлургических специальностей. Учебник может быть полезен научным и инженерно-техническим работникам научно-исследовательских институтов и предприятий металлургической промышленности.

УДК 669.162.26

ББК 34.323

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕ- ВРАЩЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ СПЕКАНИЯ АГЛОШИХТЫ И ТЕРМО- УПРОЧНЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ.....	5
1.1. Температурно-временные параметры спекания аглошихты и термоупрочнения сырых окатышей.....	5
1.1.1. Температурно-временные параметры спекания аглошихты...	6
1.1.2. Температурно-временные параметры термоупрочнения сырых окатышей.....	8
1.2. Физико-химические реакции в процессах спекания аглошихты и термоупрочнения сырых окатышей.....	10
1.2.1. Основные закономерности поведения влаги при сушке аглошихты и сырых окатышей.....	12
1.2.2. Химические реакции проходящие в твердой фазе при нагре- ве аглошихты и окатышей.....	21
1.2.3. Спекание и рекристаллизация свежеокисленных магнетито- вых зерен.....	31
1.3. Твердофазные и жидкофазные процессы между минералами шихты, формирование структуры и свойств при нагреве.....	35
1.3.1. Неофлюсованные агломерат и окатыши.....	36
1.3.2. Офлюсованные агломерат и окатыши.....	47
1.4. Структура, состав и свойства стеклянных железосиликатных связок обожженных окатышей.....	69
1.5. Механизм формирования пористости обожженных окатышей.....	82
2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБО- РУДОВАНИЕ ДЛЯ СПЕКАНИЯ АГЛОШИХТЫ И ТЕРМОУПРОЧ- НЕНИЯ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ.....	90
2.1. Технология и основное оборудование для подачи и укладки аглошихты и сырых окатышей в обжиговые агрегаты.....	90
2.1.1. Подача и укладка аглошихты на агломерационную конвей- ерную машину для спекания.....	90
2.1.2. Подача и укладка сырых окатышей в обжиговые агрегаты на термоупрочнение.....	95
2.2. Технология и основные агрегаты для спекания аглошихты.....	107
2.2.1. Агломерационные конвейерные машины.....	107
2.2.2. Охлаждение агломерата и утилизация теплоты.....	115
2.2.3. Газовоздушные потоки, очистка выбрасываемых газов.....	122
2.2.4. Материальный и тепловой балансы производства агломерата.....	126
2.2.5. Технологические факторы, влияющие на производи- тельность агломашин и качество агломерата.....	130
2.3. Технология и основные агрегаты для термоупрочнения сырых окатышей.....	133
2.3.1. Шахтные печи.....	134

2.3.2. Обжиговые конвейерные машины.....	136
2.3.3. Комбинированные установки “решетка –трубчатая печь – охладитель”.....	176
2.3.4. Сравнительные технико-экономические показатели термоупрочнения в разных агрегатах и качество обожженных окатышей.....	177
2.3.5. Материальный и тепловой балансы термоупрочнения сырых окатышей.....	182
2.3.6. Влияние технологических параметров на металлургические характеристики обожженных окатышей.....	187
2.3.7. Сравнение металлургических характеристик агломератов и окатышей.....	198
<b>3. ГАЗОДИНАМИКА, ТЕПЛО- И МАССООБМЕН ПРИ СПЕКАНИИ АГЛОМЕРАТА И ТЕРМОУПРОЧНЕНИИ ОКАТЫШЕЙ.....</b>	<b>205</b>
3.1. Основные закономерности газодинамики при движении газов в газо-воздушных трактах агрегатов для спекания агломерата и термоупрочнения окатышей.....	206
3.2. Основные закономерности газодинамики при движении газа в слое спекаемой аглошихты и обжигаемых окатышей.....	209
3.3. Теплообмен в слое обжигаемых железорудных окатышей.....	228
3.4. Массообмен при окислительном обжиге офлюсованных окатышей.....	238
<b>4. ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТОПЛИВО И ГОТОВАЯ ПРОДУКЦИЯ БЕЗДОМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЖЕЛЕЗА.....</b>	<b>248</b>
4.1. Металлургические характеристики железорудных материалов и топлива в производстве губчатого железа.....	248
4.1.1. Металлургические характеристики железорудных материалов.....	249
4.1.2. Металлургические характеристики топлива.....	254
4.1.3. Металлургические характеристики производимого губчатого железа.....	257
4.2. Металлургические характеристики железорудных материалов, топлива и готовой продукции в жидкофазных технологиях.....	260
4.2.1. Металлургические характеристики железорудных материалов и топлива.....	261
4.2.2. Металлургические характеристики готовой продукции (чугуна).....	262
4.2.2.1. Химический состав чугуна.....	262
4.3. Технико-экономические показатели доменной и бездомненной металлургии железа.....	263
<b>5. БЕЗОБЖИГОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ.....</b>	<b>268</b>
5.1. Основы теории твердения безобжиговых связок и упрочнения окатышей.....	269
5.1.1. Вяжущие вещества.....	269
5.1.2. Механизм и кинетика твердения цементных вяжущих.....	271

5.1.3. Механизм твердения известково-кремнеземистых вяжущих..	275
5.2. Технология низкотемпературного упрочнения окатышей с цементной связкой.....	277
5.2.1. Технология производства портландцемента.....	277
5.2.2. Особенности окомкования шихт с цементной связкой.....	283
5.2.3. Основные технологические факторы, влияющие на прочность окатышей с цементной связкой.....	285
5.2.4. Процесс низкотемпературного упрочнения окатышей по способу Гренгколд.....	289
5.3. Технология автоклавного упрочнения окатышей с известково-кремнеземистым вяжущим.....	291
5.3.1. Основные технологические факторы автоклавного упрочнения.....	291
5.3.2. Промышленное производство автоклавных окатышей.....	295
5.4. Технология ускоренного твердения безобжиговых окатышей..	299
5.5. Технологии упрочнения с использованием других связующих..	302
5.5.1. Упрочнение при сушке на основе гидрооксидных связей.....	302
5.5.2. Упрочнение карбонизацией.....	302
5.6. Металлургические характеристики и доменные плавки безобжиговых окатышей.....	305
5.6.1. Окатыши низкотемпературного упрочнения.....	305
5.6.2. Окатыши автоклавированного упрочнения.....	310
5.6.3. Окатыши ускоренного упрочнения.....	314
5.6.4. Окатыши карбонизированного химико-каталитического упрочнения.....	318
6. ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ ВИДОВ ОКУСКОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ.....	322
6.1. Обоженные окатыши с остаточным углеродом.....	322
6.1.1. Окатыши с остаточным углеродом из тонкоизмельченного твердого топлива.....	324
6.1.2. Окатыши с остаточным углеродом из фракционированного твердого топлива.....	327
6.2. Офлюсованные локальные спеки.....	344
7. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОКУСКОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ.....	364
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	371
СОДЕРЖАНИЕ.....	374