

Г. А. Дорофеев
Г. А. Зинягин
А. Н. Макаров

**ПРОИЗВОДСТВО
СТАЛИ
НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА
ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ**



Тонкие
Наукоёмкие
Технологии

Г. А. ДОРОФЕЕВ, Г. А. ЗИНЯГИН, А. Н. МАКАРОВ

**ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ
НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА
ПРЯМОГО
ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Старый Оскол
ТНТ
2021

УДК 669.1

ББК 34.32

Д 694

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *В. И. Золотухин*

доктор технических наук, доцент *А. Н. Чуканов*

Дорофеев Г. А., Зинягин Г. А., Макаров А. Н.

Д 694 **Производство стали на основе железа прямого восстановления**

[Текст] : монография / Г. А. Дорофеев, Г. А. Зинягин, А. Н. Макаров. — Старый Оскол : ТНТ, 2021. — 324 с. : ил.

ISBN 978-5-94178-716-6

В монографии представлен краткий обзор современных, реализованных в промышленных масштабах, и развивающихся технологий подготовки железорудного сырья для металлургического передела, технологий получения первичного железа (альтернативных традиционному аглококсодоменному процессу) и выплавки стали из шихт на основе этого первичного железа в электропечах.

Описаны основные способы окускования мелкодисперсного железорудного сырья и технологии производства металлической шихты как в твердом, так и в жидком виде, начиная от способов подготовки исходного сырья и анализа основных способов получения железа прямого восстановления (ЖПВ) и заканчивая технологией выплавки стали с использованием в шихте различных видов железа прямого восстановления. На основе анализа мирового опыта производства стали в дуговых сталеплавильных печах, работающих на металлошихте, состоящей преимущественно из ЖПВ, обозначены особенности ведения процессов выплавки стали.

Приведены данные о новых способах получения жидких металлов непосредственно из рудного сырья на принципах жидкофазного восстановления, включая процесс *Hismelt* (КНР) и процессы Ромелт, СЭР и *ORIEN*, разработанные в России.

Книга может быть полезной для студентов металлургических вузов, инженерно-технических и научных работников предприятий и исследовательских организаций в области черной металлургии.

УДК 669.1

ББК 34.32

ISBN 978-5-94178-716-6

© Дорофеев Г. А., Зинягин Г. А.,
Макаров А. Н., 2021

© Оформление. ООО «ТНТ», 2021

Оглавление

Предисловие	6
Введение	9
Глава 1. ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПОДГОТОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА И ЖЕЛЕЗА ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ	11
1.1. Агломерация	12
1.2. Производство окатышей	17
1.2.1. Требования к качеству железорудных окатышей для производства чугуна и железа прямого восстановления ...	28
1.3. Брикетирование	47
Библиографический список к главе 1	70
Глава 2. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЗОВАННОГО ПРОДУКТА	75
2.1. Краткий обзор основных современных технологий и агрегатов по металлзации рудного сырья	75
Библиографический список	123
2.2. Новые разработки в области прямого восстановления железа в шахтных печах	125
2.2.1. Процесс Midrex — MXCOL для производства DRI, основанный на получении восстановительного газа из угля	125

2.2.2. Процесс — ENERGIRON HYL ZR для работы установки металлизации без реформера.....	130
2.2.3. Процесс ORIEN	137
Библиографический список к главе 2	141

Глава 3. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛИЗОВАННОГО ПРОДУКТА

3.1. Совершенствование технологии на основе нанесения защитного покрытия на обожженные окатыши перед их загрузкой в установки металлизации	144
3.1.1 Разработка и внедрение технологии нанесения защитных покрытий окатышей на Оскольском электрометаллургическом комбинате (ОАО «ОЭМК», Россия)	145
3.2. Повышение эффективности работы установок металлизации при внедрении технологии инъекции кислорода в восстановительный газ	152
Библиографический список к главе 3	159

Глава 4. МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕЕ ВЫПЛАВКИ МЕТАЛЛОШИХТОЙ.....

4.1. Мировое производство железа прямого восстановления ...	161
4.2. Новые металлургические заводы, ориентированные на преимущественное использование железа прямого восстановления при выплавке стали.....	169
4.3. Влияние содержания железа и пустой породы в металлошихте на показатели выплавки стали	179
4.3.1. Практические данные по заводу ACINDAR (Аргентина)	180
4.3.2. Данные западно-германских исследований	181
4.3.3. Сравнительные ориентировочные расчетные показатели выплавки стали в ДСП из металлизированных материалов, изготовленных из сырья с различным содержанием железа и пустой породы	183
4.4. Некоторые практические аспекты выплавки стали из шихт, состоящих из металлолома и ЖПВ при наличии систем непрерывной загрузки металлизированного продукта в ЭДП	185
4.4.1. Выплавка стали в 150-тонных основных дуговых электропечах при мощности трансформатора 90...105 МВА	185

4.4.2. Выплавка стали в 160-тонной основной дуговой электропечи, оборудованной системой непрерывной подачи ГБЖ при мощности трансформатора 140 МВА (технология DANIELI).....	198
Библиографический список к главе 4	205

Глава 5. РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КПД ДУГ С ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ МАЛОЙ, БОЛЬШОЙ ВМЕСТИМОСТИ И CONSTEEL	207
5.1. Изменение КПД дуг в процессе плавки в дуговых сталеплавильных печах.....	207
5.2. Влияние конструктивного исполнения на энергоэффективность дуговых сталеплавильных печей обычной конструкции и consteel	215
5.3. Расчет энергетических параметров плавки в печах обычной конструкции и consteel	225
5.4. Расчет и анализ взаимосвязи КПД дуг и электропотребления в дуговых сталеплавильных печах малой и большой емкости	230
5.5. Расчет и анализ взаимосвязи расположения дуг, стен и электропотребления в дуговых сталеплавильных печах малой и большой емкости	247
Библиографический список к главе 5	261

Глава 6. ВЛИЯНИЕ ЗАГЛУБЛЕНИЯ ДУГ, ВЫСОТЫ СЛОЯ ШЛАКА, СОСТАВА ГАЗА, ЕМКОСТИ НА КПД ДУГ И ТЕПЛООБМЕН В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ	265
6.1. Влияние формы электрода и параметров дуги на ее заглубление в ванну металла в дуговых сталеплавильных печах	265
6.2. Влияние высоты шлака, вместимости на КПД дуг и теплообмен в дуговых сталеплавильных печах	278
6.3. Влияние высоты шлака на величину теплового излучения дуг на стены и теплообмен в дуговых сталеплавильных печах.....	298
Библиографический список к главе 6	316
Заключение	321