

Г. А. Дорофеев

Г. А. Зинягин

Н. А. Ашпин

**ПРЯМОЕ ПОЛУЧЕНИЕ  
СТАЛИ  
ИЗ РУДНОГО СЫРЬЯ**



Тонкие  
Наукоёмкие  
Технологии

**Г. А. ДОРОФЕЕВ, Г. А. ЗИНЯГИН, Н. А. АШПИН**

**ПРЯМОЕ ПОЛУЧЕНИЕ  
СТАЛИ  
ИЗ РУДНОГО СЫРЬЯ**

Старый Оскол  
ТНТ  
2021

УДК 669.1  
ББК 34.32  
Д 694

Рецензенты:

доктор экономических наук, профессор, академик РАЕН *Л. Н. Шевелев*  
доктор технических наук, профессор, почетный работник  
высшего профессионального образования РФ *А. Е. Гвоздев*

**Дорофеев Г. А., Зинягин Г. А., Ашпин Н. А.**  
**Д 694** Прямое получение стали из рудного сырья [Текст] : монография /  
Г. А. Дорофеев, Г. А. Зинягин, Н. А. Ашпин. — Старый Оскол : ТНТ,  
2021. — 428 с. : ил.

**ISBN 978-5-94178-714-2**

В монографии представлено подробное описание физико-химических и технологических свойств перспективных шихтовых материалов для выплавки стали, выделенных в отдельную группу под общим названием — «синтиком». Входящие в эту группу материалы — синтиком на литой основе и синтиком в виде брикетов из железо- и углеродсодержащих компонентов, являются концептуальным сырьем для развития нового запатентованного в России способа получения стали в электродуговой печи, получившего название ORIEN. Представлена термодинамика основных реакций в синтикоме и их энергетика при высокоскоростном электродуговом нагреве, приведены результаты опытно-промышленных испытаний ключевых элементов технологии ORIEN.

Выполнен расчет параметров кластеризованного состояния металлических расплавов, образуемых первородной шихтой, определены характеристики кластеризованного состояния бинарных сплавов железа на основе термодинамики дисперсных малых систем, показано ключевое влияние состава кластеров на структуру и свойства затвердевшего металла.

На основе технико-экономических расчетов подтверждено преимущество и экономическая эффективность технологии ORIEN при выплавке стали.

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 978-5-94178-714-2**

© Дорофеев Г. А., Зинягин Г. А.,  
Ашпин Н. А., 2021  
© Оформление. ООО «ТНТ», 2021

---

## Оглавление

---

От научного редактора .....	9
Введение .....	11
<b>ГЛАВА 1. РАЗНОВИДНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ОСОБЕННОСТИ .....</b>	<b>16</b>
1.1. Синтиком с литой металлической основой .....	18
1.1.1. Особенности литого синтикама .....	18
1.1.2. Физико-химические особенности синтикама с литой основой.....	20
1.2. Синтиком в виде брикетов из железо- и углеродсодержащих компонентов .....	24
1.2.1. История вопроса .....	24
1.2.2. Научные и технологические основы производства и применения синтикама .....	26
1.3. Оценка энергозатрат на получение жидкого металла из брикетированного синтикама .....	39
1.3.1. Введение .....	39
1.3.2. Исходные данные .....	40
1.3.3. Расчет расхода энергии на процесс получения жидкого металла из 1 т брикетов синтикама марки СК30Б .....	43

1.4. Особенности первичного металлического сырья, получаемого из брикетов синтикома марки СК30Б .....	51
1.4.1. Железоуглеродистые расплавы со сверхравновесным содержанием углерода в двойственной форме.....	51
1.4.2. Газотворная способность синтикома марки СК30Б .....	56
1.5. Заключение .....	63
1.6. Энергопотенциал углерода в свободном и связанном состоянии .....	65
1.6.1. Энергоэффективность углеродсодержащих материалов в свободном состоянии .....	65
1.6.2. Энергопотенциал углерода в синтикоме системы Fe-O-C .....	74
Библиографический список к главе 1 .....	88

## **ГЛАВА 2. ПЛАВКИ В ДСП С ПОЛУЧЕНИЕМ В ПЕЧИ ОСОБОГО РОДА РАСПЛАВА — ЖИДКОСТНОГО**

<b>НАУГЛЕРОЖИВАТЕЛЯ .....</b>	<b>90</b>
2.1. Характеристика брикетов синтикома .....	91
2.2. Варианты проведения плавки и их основные результаты .....	94
2.3. Сравнительный анализ основных энерготехнологических параметров опытных и сравнительных плавки .....	101
2.3.1. Энергетические аспекты использования высокоуглеродистых брикетов синтикома в ДСП .....	101
2.3.2. Выход жидкого полупродукта .....	112
2.3.3. Особенности поведения углерода в процессе плавки .....	117
2.3.4. Изменение состава металла и шлака .....	126
2.3.5. Особенности энергобаланса электропечи с использованием брикетов синтикома .....	136
2.4. Оценка экономической эффективности синтикома .....	154
2.5. Заключение .....	156
2.5.1. Основные результаты .....	156
2.5.2. Технологические особенности новой технологии ...	161
2.5.3. Преимущества с позиций экологии .....	162
Библиографический список к главе 2 .....	163

**ГЛАВА 3. ПРИМЕНЕНИЕ ОКСИДОУГОЛЬНОГО  
СИНТИКОМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПЕЧИ  
ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОГО РАСПЛАВА  
СО СВЕРХРАВНОВЕСНЫМ УГЛЕРОДОМ —  
ЖИДКОСТНОГО НАУГЛЕРОЖИВАТЕЛЯ**

<b>НОВОГО ВИДА .....</b>	<b>165</b>
3.1. Характеристика брикетов .....	165
3.2. Варианты проведения плавки .....	169
3.3. Техничко-экономические показатели работы ДСП .....	170
3.4. Результаты исследований .....	181
3.4.1. Анализ основных параметров плавки .....	181
3.4.2. Влияние химического состава брикетов синтикома на показатели ДСП.....	193
3.4.3. Влияние состава брикетов и режима их ввода на основные показатели ДСП .....	197
3.4.4. Выводы .....	205
3.5. Предварительная оценка экономической эффективности использования брикетированного синтикома на основе окалина .....	207
3.6. Заключение .....	209
Библиографический список к главе 3 .....	211

**ГЛАВА 4. МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ ШИХТЫ —  
ЖЕЛЕЗА ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ,  
ЧУГУНА И МЕТАЛЛОЛОМА НА СОСТОЯНИЕ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ**

<b>И СВОЙСТВА СТАЛИ.....</b>	<b>212</b>
4.1. Основные свойства железа прямого восстановления.....	213
4.2. Формирование кластеризованного состояния металлического расплава из железа прямого восстановления .....	221
4.3. Характеристики кластерного строения металлических расплавов .....	231
4.4. Особенности поведения микропримесей цветных металлов в кластеризованных расплавах .....	248
4.5. Динамика изменения состава кластеров в процессе плавки .....	257
4.6. Влияние продувки ванны кислородом на характер кластеризации расплава .....	262

4.7. Трансформация структуры металлических расплавов в процессах выплавки стали .....	265
4.8. Потенциальные возможности электрометаллургического процесса ORIEN в области повышения качества стали .....	269
4.9. О возможности количественной оценки влияния условий нагрева на кластерное строение сталеплавильной ванны .....	272
4.10. Результаты анализа .....	276
Библиографический список к главе 4 .....	286

<b>ГЛАВА 5. ПРОЦЕСС ORIEN — ЭНЕРГОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ НЕПОСРЕДСТВЕННО ИЗ РУДНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ НА ПРИНЦИПЕ САМОЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ .....</b>	<b>289</b>
5.1. Характеристика процесса ORIEN .....	289
5.1.1. Описание процесса .....	289
5.1.2. Векторы развития процесса ORIEN с позиций обеспеченности углем и железорудным сырьем .....	301
5.1.3 Основы технологии ORIEN .....	307
5.1.4. Особенности технологии ORIEN .....	313
5.1.5. Характеристика продуктов процесса ORIEN .....	321
5.1.6. Экономика энергометаллургического комплекса ORIEN .....	332
5.2. Энерготехнологические основы процесса ORIEN .....	338
5.2.1. Основные реакции процесса .....	338
5.2.2. Энерготехнологические особенности процесса .....	343
5.2.3. Характеристика теплообмена в зоне горения дуг .....	348
5.2.4. Некоторые особые свойства плавки и ее продуктов .....	354
5.2.5. Энергетика процесса ORIEN .....	358
5.2.6. Технология ORIEN с предварительным нагревом и частичным восстановлением синтикома системы Fe-O-C .....	369
5.3. Заключение .....	375
Библиографический список к главе 5 .....	388

**ГЛАВА 6. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА, МЕТАЛЛИЗОВАННОГО  
ПРОДУКТА И СТАЛИ ПО РАЗЛИЧНЫМ  
ТЕХНОЛОГИЯМ (ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ**

<b>РАСЧЕТЫ) .....</b>	<b>391</b>
6.1. Экономическое сопоставление выплавки стали из металлошихты, полученной различными способами восстановления железорудных материалов .....	392
6.1.1. Сравнение инвестиционных затрат на реализацию производства железа прямого восстановления и выплавки стали .....	392
6.2. Ценовая база для расчета эксплуатационных издержек .....	395
6.3. Удельные расходы сырья, энергоресурсов и материалов .....	396
6.3.1. Удельные расходы при производстве железа .....	396
6.3.2. Удельные расходы при производстве стали .....	400
6.4. Себестоимость первичного железа, полученного различными способами .....	404
6.5. Себестоимость стали при использовании в шихте до 60 % первичного железа, полученного различными способами .....	410
6.6. Сводные данные и выводы .....	416
<b>Заключение .....</b>	<b>424</b>