



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

**Нижнетагильский  
технологический  
институт (филиал)**

О. Ю. Шешуков  
М. А. Михеенков  
И. В. Некрасов  
Д. К. Егиазарьян  
А. А. Метелкин  
О. И. Шевченко

# **ВОПРОСЫ УТИЛИЗАЦИИ РАФИНИРОВОЧНЫХ ШЛАКОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**



Нижний Тагил  
2017

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

**Нижнетагильский технологический институт (филиал)**

**Институт новых материалов и технологий**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт металлургии Уральского отделения  
Российской академии наук

О. Ю. ШЕШУКОВ  
М. А. МИХЕЕНКОВ  
И. В. НЕКРАСОВ  
Д. К. ЕГИАЗАРЬЯН  
А. А. МЕТЕЛКИН  
О. И. ШЕВЧЕНКО

# **Вопросы утилизации рафинировочных шлаков сталеплавильного производства**

*Монография*

Нижний Тагил  
2017

УДК 669.187.28: 658.567

ББК 34.3

В74

**Рецензенты:**

д-р техн. наук, проф. кафедры технологии металлургии и литейных процессов ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» В. А. Бигеев;

д-р техн. наук, проф. кафедры «Металлургия черных металлов»

Сибирского государственного индустриального университета И. Д. Рожихина

Научный редактор: канд. техн. наук М. В. Миронова

**В74**      **Вопросы утилизации рафинировочных шлаков сталеплавильного производства** : монография / О. Ю. Шешуков, М. А. Михеенков, И. В. Некрасов, Д. К. Егиазарьян, А. А. Метелкин, О. И. Шевченко ; М-во образования и науки РФ ; ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2017. – 208 с.

ISBN 978-5-9544-0075-5

В связи с широким распространением в металлургической отрасли внепечной обработки стали с использованием высококальциевых рафинировочных шлаков обострились экологические проблемы, связанные с хранением подобных шлаков, поскольку они подвержены силикатному распаду до пылевидной фракции. Показано, что силикатный распад происходит вследствие полиморфных превращений двухкальциевого силиката, составляющих основу высококальциевых рафинировочных шлаков. Рассмотрены способы стабилизации двухкальциевого силиката. Установлено, что химический способ стабилизации является наиболее предпочтительным при реализации стабилизации двухкальциевого силиката с использованием отходов производства вторичного алюминия (ОПВА). Изучен механизм стабилизации при использовании ОПВА в качестве стабилизатора. Установлено, что при содержании ОПВА в рафинировочном шлаке более 18 масс. %, он обеспечивает стабилизацию двухкальциевого силиката за счет преобразования его в более устойчивые, не подверженные полиморфизму фазы. Для обеспечения стабилизации двухкальциевого силиката при содержании ОПВА в шлаке менее 18 масс. % в ОПВА вводятся дополнительные стабилизаторы, обеспечивающие комплексную стабилизацию двухкальциевого силиката в указанном интервале. Изучено влияние ОПВА на режим горения дуги переменного тока (источник тепловыделения в большинстве агрегатов «ковш-печь»). Полученные результаты являются основой для определения рационального расхода флюсов с точки зрения металлургических свойств шлаков.

Книга предназначена для научных работников, аспирантов и инженеров.

Библиогр.: 173 назв. Табл. 43. Рис. 117. Прил.

УДК 669.187.28: 658.567

ББК 34.3

ISBN 978-5-9544-0075-5

© ФГАОУ ВО УрФУ НТИ (филиал)

© ФГАОУ ВО УрФУ

© ИМЕТ УрО РАН

© О. Ю. Шешуков, М. А. Михеенков,

И. В. Некрасов, Д. К. Егиазарьян,

А. А. Метелкин, О. И. Шевченко, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА УТИЛИЗАЦИИ РАФИНИРОВОЧНЫХ ШЛАКОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	8
1.1. Характеристика рафинировочных шлаков сталеплавильного производства .....	8
1.2. Причины распада рафинировочного сталеплавильного шлака.....	12
1.3. Методы стабилизации рафинировочных сталеплавильных шлаков.....	15
1.4. Применение алюминийсодержащих добавок для стабилизации рафинировочных сталеплавильных шлаков и их влияние на стойкость огнеупорной футеровки .....	22
2. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА СТАБИЛИЗАЦИИ РАФИРОВОЧНЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ .....	36
2.1. Стабилизация высокотемпературных модификаций белита .....	36
2.1.1. Боратная стабилизация .....	36
2.1.2. Не боратная стабилизация.....	37
2.1.3. Быстрое охлаждение (закалка).....	38
2.1.4. Химическая стабилизация .....	39
2.2. Обоснование выбора метода стабилизации рафинировочных шлаков сталеплавильного производства.....	40
2.2.1. Теоретическая оценка стабилизирующих свойств ОПВА.....	41
2.2.1.1. Методика проведения эксперимента .....	41
2.2.1.2. Результаты эксперимента.....	42
2.2.1.3. Статистический анализ результатов эксперимента .....	45
2.2.1.4. Анализ результатов эксперимента .....	48
2.3. Гидравлические свойства рафинировочных шлаков.....	50
2.4. Оценка возможности совместной переработки ковшевых шлаков и шлаков ДСП .....	52
2.4.1. Методика проведения эксперимента.....	52
2.4.2. Результаты проведения эксперимента .....	54
2.4.3. Статистический анализ результатов эксперимента .....	54
2.4.4. Анализ результатов эксперимента .....	62
2.5. Оценка стабилизирующего воздействия на двухкальциевый силикат солей NaCl и KCl.....	66
2.5.1. Методика проведения эксперимента.....	67
2.5.2. Результаты исследований контрольного образца (модельный шлак – проба 1) .....	68
2.5.3. Результаты исследований образца, состоящего из модельного шлака и оптимального количества ОПВА .....	73

2.5.4.	Результаты исследований образца, состоящего из модельного шлака и стабилизатора (сода кальцинированная).....	77
2.5.5.	Результаты исследований образца, состоящего из модельного шлака, ОПВА и дополнительного стабилизатора (сода кальцинированная) .....	81
2.5.6.	Результаты исследований образца, состоящего из модельного шлака, ОПВА и дополнительного стабилизатора (красный шлам).....	85
3.	<b>ПРОЦЕССЫ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФЛЮСО-</b> <b>ОБРАЗУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ</b> <b>РАФИНИРОВОЧНЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ</b> .....	90
3.1.	Анализ рафинировочных сталеплавильных шлаков .....	90
3.2.	Проверка адекватности расчетов вязкости промышленных шлаков.....	94
3.2.1.	Описание метода и экспериментальной установки измерения вязкости .....	94
3.2.2.	Описание проведения эксперимента.....	97
3.2.3.	Анализ полученных результатов.....	97
3.3.	Оценка возможности использования флюсообразующей добавки в металлургическом переделе .....	99
3.3.1.	Оценка влияния флюсообразующей добавки на поверхностное и межфазное натяжение шлаков .....	102
3.3.1.1.	<i>Описание методики измерений и экспериментальной установки.....</i>	102
3.3.1.2.	<i>Описание эксперимента и анализ результатов .....</i>	106
3.4.	Разработка научно-технических основ получения композиционных флюсообразующих добавок на основе отходов производства вторичного алюминия.....	110
3.4.1.	Оценка эффективности использования флюсообразующей добавки .....	111
3.4.1.1.	<i>Определение верхней границы эффективного ввода флюсообразующей добавки в шлак.....</i>	111
3.4.1.2.	<i>Определение нижней границы эффективного ввода флюсообразующей добавки в шлак.....</i>	117
3.4.1.3.	<i>Определение количества дополнительных стабилизирующих добавок.....</i>	126
3.4.2.	Оценка влияния флюсообразующей добавки на электрические характеристики дуги, горящей в слое шлака .....	131
3.4.2.1.	<i>Методика проведения исследований по определению электрических характеристик дуги, горящей в слое шлака .....</i>	131

3.4.2.1.1. Описание экспериментальной установки .....	131
3.4.2.1.2. Определение измеряемых параметров .....	134
3.4.2.2. Постоянные составляющие тока и напряжения дуги при варьировании основности шлака.....	138
3.4.2.3. Определение влияния добавки на электрические характеристики дуги .....	149
3.4.2.4. Электропроводность шлаков .....	151
3.4.2.4.1. Методика измерений электропроводности шлаков .....	151
3.4.2.4.2. Результаты измерения электропроводности шлаков .....	153
3.5. Разработка технологической схемы получения композиционных флюсообразующих добавок .....	156
3.5.1. Выбор способа окускования сырья .....	157
3.5.2. Технология брикетирования .....	158
3.5.2.1. Определение насыпной плотности ОПВА .....	161
3.5.2.2. Определение удельной поверхности ОПВА, необходимого для определения относительного (в % от массы ОПВА) расхода связующего в смеситель .....	162
3.5.2.3. Определение расхода связки для изготовления брикетов..	165
3.5.3. Пример расчета количества необходимого связующего ....	166
4. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ФЛЮСООБРАЗУЮЩЕЙ ДОБАВКИ.....	169
4.1. Промышленные испытания флюсообразующей добавки на ОАО «ММК».....	169
4.2. Промышленные испытания флюсообразующей добавки на предприятиях полного цикла на этапе восстановительного периода выплавки стали в дуговых печах .....	172
4.2.1. Промышленные испытания флюсообразующей добавки на ЗАО «МРК».....	172
4.2.2. Промышленные испытания флюсообразующей добавки на ОАО «СЗВЦМ».....	173
4.3. Промышленные испытания флюсообразующей добавки на ОАО «НСММЗ».....	175
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	 179
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	181
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Пример расчета вязкости и рафинировочных свойств шлаков по шлаку с АКП на ОАО «МЗ им. А. К. СЕРОВА».....	197