

## **АННОТАЦИЯ**

Диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)  
по образовательной программе 8D07203 – «Металлургия»

**Адамова Гульден Хасеновна**

### **«Разработка теоретических основ и технологии производства низкоуглеродистого феррохрома с использованием борсодержащих материалов»**

Диссертационная работа направлена на преодоление негативных последствий вовлечения в производство тугоплавких хромитовых руд, которые вызвали сложности не только в процессах подготовки их к плавке, но и на сами процессы металлургической переработки. Так, высокая температура плавления руд, образование тугоплавких шлаков привели к необходимости повышения теплового уровня процесса и связанным с этим негативным последствиям: высокий улет компонентов шихты, потери металла со шлаком, высокие энергетические затраты.

Результаты исследования по использованию борсодержащих флюсов при выплавке хромистых сплавов подтверждены промышленными испытаниями. При этом было установлено, что при подаче в шихту выплавки низкоуглеродистого феррохрома борсодержащих флюсов в виде оксидных материалов, решая главную задачу по стабилизации шлаков от распада, возникает ряд проблем в выборе способов подачи, равномерного распределения в шихте. При этом вся масса легкоплавких флюсов поступает в шлак до завершения процессов восстановления, требуя принятия специальных мер по регулированию теплового состояния печи.

Все эти проблемы снимаются при подаче бора в шихту в составе силикохрома. Бор в составе силикохрома, участвуя в процессе восстановления, в шлак будет поступать по мере протекания восстановительных процессов и максимальное количество его в виде оксида бора поступит после завершения восстановительных процессов, обеспечивая стабилизацию шлаков от распада и благоприятные условия для их отработки.

#### **Актуальность исследования**

Хром относится к стратегически важным материалам. Поэтому особое значение приобретает эффективное использование хромсодержащих ресурсов путем создания и внедрения новых технологий, а также совершенствования существующих процессов.

Необходимость проведения исследования обусловлена реальными запросами и практическими потребностями промышленных предприятий в данном направлении.

Данная проблема наблюдается и в производственных условиях Актюбинский завод ферросплавов, что определяет необходимость ее научного изучения и разработки эффективных решений.

## **Сведения о предполагаемом научно-техническом уровне разработки, патентных исследованиях и выводах**

Анализ научно-технической и патентной литературы показал наличие аналогичных исследований по совершенствованию технологии производства борсодержащего ферросиликохрома и низкоуглеродистого феррохрома. Имеются исследования по использованию боратовых руд Казахстана в производстве хромовых ферросплавов, а также по разработке и внедрению технологии получения рафинированных марок феррохрома с применением боратовых руд. В данной диссертационной работе бор в составе ферросиликохрома марки ФСХ-48 выполняет роль восстановителя.

### **Цель исследования**

Разработка технологии стабилизации распада шлаков, образующихся при выплавке низкоуглеродистых марок феррохрома, с использованием борсодержащего ферросиликохрома в качестве восстановителя и снижение их негативного воздействия на окружающую среду.

### **Научная новизна**

1. Определены оптимальные технологические параметры выплавки борсодержащего ферросиликохрома: на основе теоретических и экспериментальных исследований установлено, что процесс восстановления протекает в температурном интервале 1650–1700 °С, в частности при 1677 °С. Выявлено, что при повышении температуры от 1650 °С до 1700 °С потери кремния и углерода в виде субоксидов увеличиваются с 10,81 % до 12,455 %.

2. Установлено снижение температуры кристаллизации конечных шлаков низкоуглеродистого феррохрома с борсодержащим силикохромом с 1580 °С до 1380 °С, а также снижение температурного интервала жидких шлаков (вязкость менее 3,0 Па·с) с 1650 °С до 1400 °С.

3. Методом интегрирования уравнения теплового баланса установлено, что при выплавке 1 тонны сплава ФСХ48 с добавлением колеманита расход электроэнергии увеличивается с 5200 до 5217,3 кВт·ч (0,33 %).

4. Разработана технология применения борсодержащего ФСХ-48 в качестве восстановителя, обеспечивающая повышение эффективности выплавки низкоуглеродистого феррохрома и стабилизацию шлака.

5. Установлено, что опытный металл, выплавленный в двухэлектродных печах мощностью 100 кВА, соответствует низкоуглеродистому феррохрому марки ФХ015...010, а содержание 0,42 % В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> в шлаке обеспечивает его надежную стабилизацию от распада.

6. Подтверждена устойчивость шлаков, образующихся при производстве низкоуглеродистого феррохрома, к распаду в соответствии с требованиями ГОСТ 3344-83.

### **Задачи исследования**

- анализ современного состояния производства феррохрома, включая промышленные методы, экологические аспекты производства низкоуглеродистого феррохрома и вопросы стабилизации распада шлаков с использованием бора;

- термодинамическое моделирование процесса выплавки борсодержащего ферросиликохрома с использованием программного комплекса «TERRA»;
- экспериментальные лабораторные исследования по разработке оптимальных технологических параметров выплавки борсодержащего ферросиликохрома;
- экспериментальное исследование влияния бора на процессы восстановления кремния и хрома;
- термодинамическое моделирование и расчетно-теоретический анализ процесса выплавки низкоуглеродистого феррохрома с использованием борсодержащего ферросиликохрома;
- экспериментальные исследования по определению химического состава металла и шлака после выплавки низкоуглеродистого феррохрома с использованием борсодержащего ферросиликохрома;
- оценка влияния опытных шлаков низкоуглеродистого феррохрома на температуру кристаллизации и вязкость;
- проведение опытно-промышленных испытаний технологии выплавки низкоуглеродистых марок феррохрома с использованием борсодержащего ферросиликохрома в двухэлектродных печах мощностью 100 кВА.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Расчетно-теоретический анализ и экспериментальные исследования показали, что введение борсодержащих флюсов позволяет снизить тепловой уровень процесса выплавки борсодержащего силикохрома на 100–200 °С за счет ускорения восстановительных процессов и улучшения физических свойств конечных шлаков (снижения температуры плавления и вязкости).
2. Разработан регламент двухстадийной технологии выплавки борсодержащего силикохрома.
3. Разработана новая технология производства низкоуглеродистого феррохрома с использованием борсодержащего силикохрома в качестве восстановителя. Заданное содержание бора в силикохроме (0,3–0,5 %) обеспечивает не менее 0,3 % оксида бора в высокоосновном конечном шлаке, чего достаточно для решения проблемы его распада при высоких технико-экономических показателях процесса. Согласно новой технологии, бор поступает в шлак после завершения процессов окисления кремния и бора. В связи с этим обеспечиваются благоприятные условия как для окислительных процессов, так и для переработки шлака и разделения продуктов плавки. Содержание 0,3–0,5 % В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> в шлаке снижает его температуру плавления и вязкость, а также расширяет интервал жидкотекучего состояния на 20–25 °С.
4. Получена опытная партия борсодержащего силикохрома (0,3–0,5 %), с использованием которой была выплавлена опытная партия низкоуглеродистого феррохрома с оценкой его физико-химических характеристик. Экспериментально определены температуры плавления опытных сплавов. Опытные шлаки были оценены на устойчивость ко всем видам распада в соответствии с п. 38 ГОСТ 3344-83.

По химическому составу, температуре плавления и плотности опытные сплавы соответствуют низкоуглеродистому феррохрому марок ФХ015...010 согласно ГОСТ 4757-91 (ИСО 5448-81).

**Вклад соискателя** заключается в постановке целей и задач исследования, выборе и обосновании методов исследований, а также разработке научно-технологических подходов к совершенствованию процессов выплавки низкоуглеродистого феррохрома с использованием борсодержащих материалов. При непосредственном участии автора выполнены аналитические и экспериментальные исследования, изучены особенности металлургической переработки тугоплавких хромитовых руд, проведен анализ процессов шлакообразования и восстановления, а также обоснованы рациональные условия применения борсодержащих флюсов и силикохрома в технологии выплавки хромистых сплавов. Автором выполнена обработка и проведена оценка влияния бора на стабилизацию шлаков и тепловое состояние процесса. Результаты исследований подтверждены промышленными испытаниями. В публикациях, выполненных в соавторстве, соискателю принадлежат результаты исследований, их анализ и обобщение, а также подготовка, оформление, подача и сопровождение научных материалов.

**В рамках диссертационной работы:**

- получен АКТ о внедрении результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова;
- опубликована 1 статья в базе Scopus (Metalurgija 62 (2023)), перцентиль — 37;
- опубликованы 3 статьи в базе КОКСНВО («Труды университета» №4 2022, «Труды университета» №4 2024, журнал «Ғылым және техника» №1 2024);
- опубликованы 2 тезиса на международной научно-практической конференции.

**Объем и структура диссертации**

Диссертация состоит из содержания, перечня сокращений и обозначений, введения, основной части из 5 глав, заключения и приложений. Объем диссертации составляет 106 страницы печатного текста, включает 12 рисунков и 47 таблиц, а также библиографический список из 64 источников и 5 приложений.