



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

в г. Златоусте

(ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»)

(лицензия серия 90Л01 №0009567, пер. №2495 от 06.12.2016 г.
гос. аккредитация серия 90А01 №0002928, пер. №2791 от 19.03.2018 г.)

456209 г. Златоуст, ул. Тургенева, 16
тел. (3513) 79-06-90; факс (3513) 66-64-03
<http://www.zb.susu.ru>
E-mail: zlat@susu.ru
ОКПО 36926196, ОГРН 1027403857568,
ИНН/КПП 7453019764/740402001

№ 58 19.04.2024

На № _____

Г

Г

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Сайтгараева Альберта Ахметгареевича «**Совершенствование технологических режимов производства электротехнической изотропной стали с особонизким содержанием углерода и серы**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов

Актуальность работы

Согласно статистическим данным, ежегодно растут показатели мировой выработки электроэнергии, увеличиваясь на несколько процентов каждый год. Так, анализируя показатели с 1990 до 2023 года можно увидеть, что общемировая выработка увеличилась почти в три раза. Отрасль энергетики для хранения, передачи и использования электричества активно использует различные материалы, в том числе и электротехнические изотропные стали. Одним из главных требований, предъявляемых к данным сталям, является заданный уровень магнитных свойств, влияние на который оказывают примеси и легирующие элементы. Требуемый уровень свойств возможно достичь за счет снижения содержания элементов до значений 0,003 – 0,002%, что достаточно просто осуществить в лабораторных условиях и весьма затруднительно в условиях производственной цепочки, содержащей несколько металлургических агрегатов. Помимо возникающих теоретических вопросов, в данной ситуации особого внимания требует реализация предлагаемых решений с ограничениями, а именно: использование модификаций металлургических агрегатов, фиксированное время обработки, возможностей вспомогательного

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»
за № _____
Дата регистрации <u>23.04.2024</u>
Фамилия регистратора _____

оборудования и т. д. Таким образом, представленная диссертационная работа, посвященная исследованию теоретических и практических режимов рафинирования металлических расплавов до заданных составов, с использованием цепочки агрегатов ковшевой обработки стали на ПАО «НЛМК», является актуальной.

Научная новизна работы:

1. Установлена приоритетная значимость факторов, влияющих на процесс глубокого обезуглероживания металла при рафинировании в циркуляционном вакууматоре, а именно: начальной окисленности системы (металл-шлак), начальной температуры металла, интенсивности подачи транспортирующего газа (лифт-газа). Показано, что на перечисленные факторы, на основе многомерного регрессионного анализа (МРА), приходится 65 – 75% значимости от всех факторов, обеспечивающих получение углерода в металле менее 0,002%. Установлено, что обезуглероживание металла, при содержании углерода менее 0,005%, контролируется кинетическими параметрами, а именно увеличением поверхности раздела металл-газовая фаза, что достигается переходным режимом истечения аргона от струйного к пузырьковому за счет снижения интенсивности подачи лифт-газа (в рассматриваемых условиях) с $140 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $80 \text{ м}^3/\text{ч}$.

2. Установлен механизм десульфурации металла с использованием одношлакового режима (без смены окислительного и наведения восстановительного шлака) при производстве высококремнистой стали типа ЭИС, при этом снижение окисленности шлака и повышение его сульфидной емкости достигается за счет взаимодействия металлического расплава с высоким содержанием кремния и алюминия со шлаком. В течение всего процесса обработки металла в ковше, включая время разливки окисленность шлака снижается до содержания оксидов железа менее 0,50%, что обеспечивает снижение содержания серы в металле до значений менее 0,002%.

3. На основании регрессионного анализа данных, отражающих совместное влияние углерода и серы (при их содержании в металле менее 0,005% каждого) на изменение магнитных потерь ($P_{1,5/50}$) в конечной продукции – холоднокатаном листе, получена зависимость, позволяющая оценить приоритетную значимость указанных примесей на магнитные свойства ЭИС. Установлено, что при содержании углерода и серы в металле менее 0,005% каждого снижение серы оказывает более значимое влияние на повышение служебных характеристик. Влияние серы на удельные магнитные потери больше в 1,75 раза, чем углерода.

Практическая значимость работы

Разработаны, опробованы и внедрены в производство:

- технологии ковшевой обработки стали, обеспечивающие гомогенизацию стали по химическому составу;

- способ обезуглероживания и десульфурации расплава с работой под одним шлаком;
- технологии производства электротехнической изотропной стали 4—й группы легирования в Конвертерном цехе № 1 ПАО «НЛМК»;
- производство новой марки ЭИС М250-50А с низкими удельными магнитными потерями с увеличением выхода годного в два раза относительно начального состояния.

Помимо этого, значимым является то, что разработанные режимы в работе позволили рассматривать возможность производства марок ЭИС класса High grades (М230-50А, М210-35А) и High frequency (NO).

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложений и изложена на 193 страницах машинописного текста и содержит 81 рисунок, 42 таблицы, библиографический список из 101 наименования.

В первой главе диссертации рассмотрены основные тенденции развития ресурсосберегающей энергетики и, в частности, перспективы производства электротехнических изотропных марок сталей, представлены данные о влиянии химических элементов на уровень магнитных свойств конечного продукта. Подробно рассмотрены результаты исследований, касающиеся удалению серы и углерода в конвертерах, в агрегатах ковшевой обработки, проанализированы факторы влияющие на степень рафинирования примесей.

В результате установлено, что на ПАО «НЛМК» имеется возможность получения низкого содержания углерода и серы для производства ЭИС с заданным уровнем служебных характеристик, а также произведена постановка задач исследования.

Во второй главе диссертации проведено обоснование и выбор марки стали для проведения исследования, определены плавки, выбранные для исследования, прошедшие полный технологический цикл по схеме: выплавка металла в конвертере, обработка металла на установке «Печь-ковш», вакуумная обработка на АЦВ, ковшевая обработка на УДМ, разливка стали на УНРС.

Также в главе описаны аналитическое оборудование, методики и пакеты программных средств, используемые для обработки результатов.

В третьей главе диссертации подробно рассмотрены факторы, влияющие на поступление углерода и серы в процессе производства на каждом агрегате. По результатам анализа делается вывод, что содержание вредных примесей, таких как углерод и сера, в готовой стали характеризуется нестабильностью технологического процесса.

В четвертой главе диссертации проведены теоретические расчеты возможности получения содержания углерода менее 0,003% на существующем оборудовании АЦВ КЦ-1, описаны экспериментальные исследования возможности и глубины обезуглероживания металла за счет вакуум-кислородного рафинирования расплава, проведен многофакторный

регрессионный анализ (МРА) для определения значимости различных факторов на достижение требуемого содержания углерода в металле. Отдельно в главе проведена оценка влияния интенсивности циркуляции на скорость обезуглероживания расплава, проведено сравнение результатов экспериментов эффективности обезуглероживания по существующему режиму и измененной схеме работы.

В результате определены оптимальные условия для достижения содержания углерода, исходя из различных факторов.

Также в главе проведено исследование всей технологической цепочки и изменение содержания серы при производстве динамных марок сталей в конвертерном производстве (маршрут УДЧ-Конвертер-УПК-АЦВ-УДМ-УНРС). Рассмотрено взаимодействие серы со шлаком как весьма эффективный способ, обеспечивающий снижение серы до десятков ppm при обработке специальными шлаками, определены термодинамические условия для проведения глубокой десульфурации ЭИС.

На основе проведенного исследования в работе предложен способ интенсификации процесса десульфурации, а именно применение порошковой проволоки с кальциевым наполнителем, а также показано, что предложенные рекомендации позволяют обеспечить снижение серы в стали до значений, не превышающих 0,0015%.

В результате всего объема проведенных исследований определено, что влияние серы на магнитные свойства в 1,75 раза сильнее, чем углерода.

В пятой главе предложены технологические приемы по снижению степени науглероживания металла и успешно опробованы в условиях действующего производства Конвертерного цеха, проведен сравнительный анализ содержания углерода в готовой стали по существующему и предлагаемому режимам. В результате показана эффективность предложенных технологических приемов, что подтверждается внесением изменения в действующие нормативные документы.

В заключении по диссертации сформулированы основные положения и достигнутые результаты.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В диссертации на стр.14, рис. 1 приведены данные литературных источников о влиянии химических элементов на уровень магнитных свойств, в том числе для углерода и серы, начиная с концентраций 0,0025-0,0030%. В работе проводится регрессионный анализ с применением базы фактических данных и получена совокупная зависимость магнитных потерь от содержания углерода и серы. На основании этих данных в п.3 научной новизны делается вывод о том, что «влияния серы на магнитные свойства в 1,75 раза сильнее», но, собственно,

этот вывод можно было сделать, просто проанализировав литературные данные (при сопоставлении графиков можно наблюдать почти полное их совпадение).

2. В ходе первичной проработки диссертантом были определены более 35 факторов, оказывающих влияние на удаление и поступление углерода в расплав после этапа обезуглероживания. Далее проведена огромная работа по оценке значимости всех факторов, проведены исследования режимов продувки, состава ферросплавов и предложено множество мероприятий по снижению С. Вместе с тем известно, что одной из достаточно простых возможностей получения сверхнизкого содержания углерода является применение газообразного водорода: имеются данные зарубежных исследователей о получении содержания 0,0007% за 25 минут обработки (сопоставимо с временем обработки на АЦВ). Проводилась ли оценка возможности обработки водородом? Возможно, соискателю стоило выбрать принципиально другой, более простой способ снижения углерода?

3. В работе предлагается снижать интенсивность продувки металла с $140 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $80 \text{ м}^3/\text{ч}$ для более полного обезуглероживания. Вместе с этим, известно, что интенсивность перемешивания металла будет влиять и на другие параметры: например, количество неметаллических включений в стали. Проводилась оценка влияния предлагаемых мероприятий на содержание неметаллических включений в стали?

4. На стр. 158 диссертации приведен график, отражающий основные данные процесса десульфурации по серии плавов (рис. 4 автореферата). На графике показано, что начальная и финальная температура плавки I составляет $1615 - 1578^\circ\text{C}$, температуры II-VI плавов $1590 - 1555^\circ\text{C}$.

График содержания серы приведен один и из текста диссертации непонятно:

- приведенные данные – это усредненные данные содержания серы для всех (1-6) плавов?
- чем обусловлена такая разница температур обработки между I и II-VI плавками.

5. В главе 5 делается вывод, что в результате комплекса мероприятий определено «оптимальное количество пробоотборников и термопар» (стр. 16 автореферата), при этом в тексте диссертации указано, что рекомендуется применение «разумного, минимального количества пробоотборников и термопар». Проводился ли расчет максимально допустимого количества отбор проб и замеров?

Общее заключение

Вышеуказанные замечания не снижают ценности представленной работы. В целом, диссертационная работа **Саитгараева Альберта Ахметгареевича** «Совершенствование технологических режимов производства электротехнической изотропной стали с особонизким содержанием углерода и серы» выполнена на современном научно-техническом уровне и

представляет собой законченное исследование, соответствующее отрасли технических наук, а именно паспорту специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Содержание автореферата Саитгараева А.А. соответствует содержанию диссертации.

Основные положения диссертационной работы были представлены на 5 научных конференциях всероссийского и международного уровней. Основное содержание диссертации опубликовано в 7 печатных изданиях, индексируемых в международных базах Scopus и рекомендованных ВАК РФ. Новизна предложенных технических решений защищена одним патентом Российской Федерации.

Считаю, что диссертационная работа «Совершенствование технологических режимов производства электротехнической изотропной стали с особонизким содержанием углерода и серы» полностью удовлетворяет пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор, **Саитгараева Альберт Ахметгареевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент

Аникеев Андрей Николаевич, заместитель директора филиала Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) в г. Златоусте, доцент кафедры «Техника и технологии производства материалов», доцент, кандидат технических наук по специальности 05.16.02 - Metallургия черных, цветных и редких металлов

456209, Челябинская обл., г. Златоуст, ул. Тургенева 16
Тел.: +7 951 791-80-70
E-mail: anikeevan@susu.ru

Я, Аникеев Андрей Николаевич, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе

Подпись Аникеева А.А.
ЗАБЕРЯЮ
Начальник отдела делопроизводства
филиала ЮУрГУ в г. Златоусте
Аликеев А.А.

