



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

**Институт новых материалов
и технологий**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ).
Институт новых материалов и технологий.

ул. Мира, 28, Екатеринбург, Россия, 620002,
тел./факс: +7 (343) 374-53-35, 375-44-39
e-mail: inmt@urfu.ru, www.urfu.ru

22.05.2023 № 13.20-32/124
На № _____ от _____

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Габдулхакова Рената Раилевича «Разработка технологии графитированных электродов для дуговых сталеплавильных печей при полимерной модификации сырья игольчатых коксов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов

Основной и наиболее ответственной стадией работы ДСП является этап плавки шихтового материала, поскольку плавление протекает при максимальной мощности трансформатора и напряжении на дуге. Интенсификация данного этапа посредством снижения времени плавки позволяет существенно увеличить производительность печи по выпуску стали. Опыт реконструкции и повышения мощности дуговых сталеплавильных печей на металлургических предприятиях показал, что повысить эффективность работы ДСП возможно только при одновременном повышении качества применяемых графитированных электродов.

Актуальность работы.

Графитированные электроды и ниппели являются основным расходным элементом ДСП, которые на 85 % состоят из игольчатого кокса. На сегодняшний день в мировой практике не существует альтернативного промышленно применяемого материала, способного заменить игольчатый кокс в производстве графитированных электродов. Непрерывный рост производства электростали создает потребность и в увеличении производственных мощностей электродов. Основным препятствием для развития рынка графитированных электродов в России является отсутствие отечественного производства игольчатого кокса – основного компонента электродов больших сечений. Мировыми странами-лицензиарами технологий получения игольчатого кокса на установках замедленного коксования являются США, Япония и Китай, а весь потребляемый в России игольчатый кокс (около 40 тыс. тонн в год), импортируется из этих и ряда других стран. Наличие сырьевой базы в Российской Федерации позволяет наладить отечественное производство игольчатого кокса не только для внутреннего потребления, но и для отправки на экспорт. Таким образом, представленная диссертационная работа, посвященная повышению эффективности работы дуговых сталеплавильных печей с применением графитированных электродов

тродов премиальных марок из игольчатого кокса повышенной степени структурированности, несомненно **является актуальной**.

К научной новизне диссертационной работы следует отнести следующее:

1. Установлены требования к качеству и составу сырья, обеспечивающие формирование структурированного игольчатого кокса для графитированных электродов, повышающих эффективность работы ДСП; все применяемые модифицирующие добавки к сырью игольчатого кокса классифицированы на 4 группы по механизму действия.

2. Установлено модифицирующее влияние полистирола в качестве полимерной мезогенной добавки к высокоароматизированному сырью при формировании анизотропной структуры нефтяного игольчатого кокса и показателей качества углекоксового электрода на его основе для графитированных электродов ДСП. Обнаружен экстремальный характер зависимости показателей качества игольчатого кокса от содержания полистирола в базовом сырье коксования, обоснованный изменением вязкостных характеристик системы.

3. Разработана методология исследования игольчатого кокса для экспертизы и сравнительной оценки качества игольчатых коксов, включающая оценку по двум группам методов: спектральный анализ (сканирующая электронная и оптическая микроскопии, порошковая рентгеновская дифрактография, Рамановская спектроскопия) и анализ физико-химических свойств (КТЛР, действительная плотность, содержание серы, зольность, влажность, удельное электропроводление).

Практическая значимость работы

1. Разработаны требования к качеству и составу сырья, обеспечивающие формирование структурированного игольчатого кокса, и технология получения игольчатого кокса повышенной степени структурированности для графитированных электродов премиальных марок, позволяющих повысить эффективность работы дуговых сталеплавильных печей (заявка на патент РФ № 20221269327/04).

2. Разработана комплексная методология исследования состава, структуры и морфологии игольчатого кокса для графитированных электродов ДСП спектральными и физико-химическими методами анализа. Получен акт о внедрении результатов диссертационного исследования от 24.11.2022 ООО «ЭКСПЕРТАЛ» г. Санкт-Петербург.

Достоверность теоретических практических положений диссертации основывается на применении стандартизированных методов определения показателей качества. Используемые для проведения диссертационных исследований аналитические приборы поверены с применением ГСО. Сходимость результатов анализов по исследовательским методикам испытаний оценивалась при двукратной повторяемости экспериментов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения, содержит 154 страницы машинописного текста, 54 рисунка, 43 таблицы и список литературы из 181 наименований.

В первой главе представлен анализ влияния качества графитированных электродов на эффективность работы дуговой сталеплавильной печи, обзор состояния производства игольчатого кокса и графитированных электродов ДСП. Установлены требования к качеству и составу нефтяного и угольного сырья, обеспечивающие формирование анизотропной структуры игольчатого кокса для графитированных электродов ДСП. Классифицированы по механизму действия модифицирующие добавки сырья процесса коксования игольчатого кокса. На основании проведенного анализа были определены цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе диссертации представлены материалы, применяемые в ходе выполнения работы; методы исследования состава и качества сырья процесса коксования, получения и прокалики игольчатого кокса, а также комплекс физико-химических методов исследования прокаленных игольчатых коксов. Описаны методы дозирования, формовки и обжига углекоксовых электродов, полученных на основе прокаленного игольчатого кокса и методы исследования качества электродов. В качестве базового сырья для получения игольчатого кокса исследовались два вида декантированного тяжелого газойля каталитического крекинга различного состава (Г1 и Г2), а также два вида тяжелой смолы пиролиза, полученные в ходе пиролиза бензиновой фракции (СБ) и газо-бензиновой фракции (СГБ).

Но главное, что разработана методология исследования игольчатого кокса для экспертизы и сравнительной оценки качества игольчатых коксов, включающая оценку по двум группам методов: спектральный анализ (сканирующая электронная и оптическая микроскопии, порошковая рентгеновская дифрактография, Рамановская спектроскопия) и анализ физико-химических свойств (КТЛР, действительная плотность, содержание серы, зольность, влажность, удельное электросопротивление).

В третьей главе диссертации приведены результаты экспериментальных исследований по установлению состава и качества четырех различных видов базового сырья игольчатого кокса. Представлены результаты экспериментальных исследований получения игольчатого кокса с улучшенной морфологией на базе полимер-модифицированного сырья.

Обнаружена экстремальная зависимость формирования структуры игольчатого кокса от количества добавляемого полистирола с максимумом при концентрации полистирола в смеси 10 % масс. Данная зависимость также подтверждается такими показателями качества игольчатых коксов как балл микроструктуры, результатами рентгеноструктурного анализа и морфологией поверхности, оцененной сканирующей электронной микроскопией.

В четвертой главе диссертации выполнена оценка влияния качества модифицированного игольчатого кокса на эффективность работы ДСП. В соответствии с этим приведены результаты исследований по сравнительному анализу лучшего лабораторного образца игольчатого кокса, полученного из полимер-модифицированного сырья при установленных оптимальных условиях с зарубежными промышленно применяемыми прокаленными игольчатыми коксами для оценки его качества. Представлены сравнительные результаты исследований по получению углекоксовых электродов, полученных с применением в шихте игольчатого кокса из полимер-модифицированного сырья и луч-

шего промышленного образца игольчатого кокса. Проведена dilatометрическая оценка обожжённых углекоксовых электродов.

Показано, что игольчатый кокс, полученный из полимер-модифицированного сырья, имеет более развитую анизотропию, по сравнению с не модифицированным сырьем и может быть использован для производства премиальных марок крупногабаритных графитированных электродов дуговых сталеплавильных печей.

Улучшение качества электрода посредством использования премиальных сортов игольчатого кокса и производство из них UHP и SHP электродов позволяет повысить эффективность работы и улучшить технико-экономические показатели работы дуговой сталеплавильной печи, снизив время расплавления металла на 20-30 %, тем самым, увеличив производительность печи ДСП.

В пятой главе диссертации описана разработанная принципиальная технологическая схема оформления полного цикла получения графитированных электродов ДСП на основе прокаленного игольчатого кокса из полимер-модифицированного высокоароматизированного сырья в рамках металлургического комбината. Выполнена экономическая оценка получения игольчатого кокса из полимер-модифицированного сырья и графитированных электродов на его основе для повышения эффективности работы ДСП.

Обоснована целесообразность размещения разработанной технологической линии полного цикла получения графитированных электродов на территории металлургического предприятия по производству стали. Это обусловлено потребностью металлургических комбинатов в графитированных электродах, фактором удаленности предприятий графитированной продукции от сталеплавильного производства и возможностью полезной утилизации хвостов технологии получения игольчатого кокса, графитированных электродов и электростали. Внедрение дополнительных блоков на металлургическом предприятии будет задействовать незначительную долю коксохимического производства.

В заключении по диссертации сформулированы основные научные положения и изложены достигнутые практические результаты работы.

Результаты работы достаточно полно обсуждены на региональных, Всероссийских и Международных конференциях и семинарах. В целом, следует отметить хороший уровень и разнообразие экспериментальных и расчетных методов исследования, представленных и использованных автором, квалифицированное обсуждение результатов.

По результатам работы опубликовано в 5 печатных работ, в том числе 2 статьи в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), 2 статьи в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Подана 1 заявка на патент на изобретение, с получением положительного решения о выдаче патента.

Рассмотренный материал автореферата диссертации соответствует паспорту специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Наряду с несомненными достоинствами, по работе следует сделать некоторые замечания:

1. По оформлению:

1.1. «Подина» - это жаргон, желательно в диссертационной работе использовать термин «под».

1.2. По ГОСТ обозначение рисунков в тексте действительно делается следующим образом «на рисунке 1.2», в скобках не «(рисунок 1.3)», а «(рис. 1.3)».

1.3. Разное обозначение, так на стр. 14 - 1800 °С, а на стр. 16 - 2800 К. Необходимо все показатели представлять в одних единицах.

1.4. Представлено следующее обозначение: «КТЛР $0,25 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ». Видимо нужно представить в виде: «КТЛР $0,25 \cdot 10^{-6}/\text{град.}$ ».

1.5. В таблице 3.3 на стр. 76 не указаны единицы, в которых представлены результаты.

1.6. На стр. 11 представлена таблица 4.7, на которую нет ссылки в тексте.

1.7. Также можно отметить значительное количество орфографических ошибок.

2. К научной новизне работы следует добавить: Разработана методология исследования игольчатого кокса для экспертизы и сравнительной оценки качества игольчатых коксов, включающая оценку по двум группам методов: спектральный анализ (сканирующая электронная и оптическая микроскопии, порошковая рентгеновская дифрактография, Рамановская спектроскопия) и анализ физико-химических свойств (КТЛР, действительная плотность, содержание серы, зольность, влажность, удельное электросопротивление).

3. В работе указано, что «Цикл работы дуговой сталеплавильной печи (можно временные промежутки от производительности) складывается из нескольких основных этапов, к которым относят: заправку печи; загрузку шихты; период плавления; окислительный период, восстановительный период». Такая классификация относится к старым печам, работающим по классической технологии. Современные сверхмощные печи работают в другом режиме.

4. Автор ссылается на работы и исследования ВАМИ, при этом не учитывает многолетний опыт Украинских ученых и ученых УрФУ (кафедра химической технологии топлива и промышленной экологии), ВУХИН.

5. На стр. 21 автор указывает: «При производстве стали электролитическим способом на одну тонну стали расходуется около 2,5 кг электрода». Откуда такие данные и что такое «производство стали электролитическим способом»?

6. В пункте 12 заключения автореферата и на страницах 117 и 118 текста диссертации указано: «Улучшение качества электрода путем использования премиальных сортов игольчатого кокса и производство из них UHP и SHP электродов позволяет снизить время расплавления металла на 20-30 %, тем самым, увеличить производительность печи, а также снизить расход электроэнергии.». Фраза идет во всех трех местах без изменения, но не приводится никаких данных в поддержку такого предположения, хотя значения весьма и весьма большие по сокращению времени плавления металла. Есть

фраза о связи времени расплавления металла t_2 и допустимой номинальной плотности тока на электроде. Повышая плотность тока на электроде, мы повышаем подаваемую в дуговой промежуток мощность. Возникает вопрос: Не увеличит ли это угар металла? Но судя по всему, промышленных испытаний не было и подтвердить 20-30 % снижение времени расплавления не получится.

7. При экономической оценке предлагаемой технологической схемы приведен только один литературный источник - Графитированные электроды UHP, HP, RP: [Электронный ресурс]. Остальные цифры не понятно откуда взяты. Желательно, чтобы автор это пояснил.

8. Желательно, чтобы автор оценил работы АО «Эл б» (Новосибирский электродный завод) по подбору модифицирующих добавок, в этой области проведены исследования и установлены модифицирующие добавки.

Сделанные замечания носят частный характер, и не меняют общего положительного мнения о рецензируемой работе. Автореферат диссертации отражает её содержание.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи – повышение эффективности работы дуговых сталеплавильных печей с применением игольчатого кокса повышенной степени структурированности для графитированных электродов премиальных марок. Считаю, что диссертационная работа **Габдулхакова Рената Раилевича** полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Габдулхаков Ренат Раилевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент



620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 28.
Тел.: (343)3754439
E-mail: o.j.sheshukov@urfu.ru

Шешуков Олег Юрьевич, директор Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор, доктор технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

Шешуков О.Ю.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРОЗОВ Р.А.

Морозов Р.А.

Я, Шешуков Олег Юрьевич, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе *Шешуков О.Ю.*