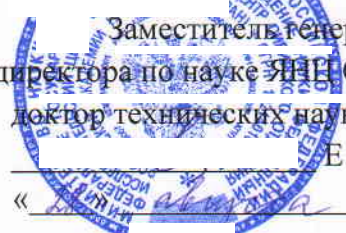


УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального
директора по науке ЯНН СО РАН,
доктор технических наук, доцент
Е.Ю. Шиц
« 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» – на диссертационную работу Старцева Егора Андреевича на тему **«Структура и свойства неразъёмных соединений из низкоуглеродистой стали, полученных электродуговым воздействием под слоем флюса, приготовленного из шлака электросталеплавильного производства»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Актуальность темы диссертационной работы

В современных условиях при создании новых материалов наряду с обеспечением их требуемых качеств первостепенное значение приобретают вопросы ресурсосбережения, экологической безопасности, импортозамещения. Разработка сварочных материалов, в частности флюсов, позволяет решать еще одну важную проблему – проблему снижения экологической нагрузки на окружающую среду за счёт переработки металлургических отходов или отходов горнорудного производства. Кроме того, поскольку в настоящее время основным и весьма дорогостоящим сырьём для производства сварочных флюсов являются различные виды природных руд и получаемые из них обогащенные концентраты, применение техногенных отходов в качестве исходного сырья сокращает себестоимость продукции.

Диссертация Старцева Егора Андреевича посвящена получению плавленного флюса из шлака электросталеплавильного производства без введения дополнительных дорогостоящих добавок и направлена на решение комплекса задач: сокращение себестоимости сварочных материалов, снижение экологической нагрузки за счёт утилизации металлургических шлаков, а также обеспечение стабильного качества неразъёмных соединений, получаемых с применением экспериментальных флюсов. Это особенно значимо в контексте развития энергетического машиностроения, транспортного и строительного комплекса, других отраслей промышленности, где используются сварные конструкции, работающие в условиях повышенных нагрузок. В связи с этим несомненна актуальность рецензируемой работы как с научной, так и с практической точек зрения.

Научная новизна и значимость диссертационной работы

Содержание диссертационной работы условно можно разделить на две основные части. Первая состоит в создании технологии переработки электросталеплавильного шлака для получения флюса с заданными свойствами. Поскольку сварочные флюсы используются для улучшения качества выполняемых плавящимися электродами неразъёмных соединений, очевидна необходимость второй части, посвященной изучению

эффективности применения экспериментальных флюсов при электродуговой сварке низкоуглеродистой стали. Новизна обеих частей работы обусловлена малой изученностью электросталеплавильного шлака как источника сырья для электродных материалов и, соответственно, процессов и факторов при проведении сварки этими материалами.

Получены новые и значимые результаты, которые могут быть обобщены следующим образом:

- термодинамическими расчетами изменения энергии Гиббса и тепловых эффектов окислительно-восстановительных реакций в электросталеплавильном шлаке обоснована возможность использования этих шлаков в качестве основы для приготовления сварочных флюсов и установлены их теплофизические и физико-химические характеристики, определяющие процесс формирования структуры и свойств неразъемных соединений;
- выявлены закономерности влияния экспериментального флюса на химический состав, структуру и механические характеристики сварных швов стали ВСтЗсп при разных параметрах электродугового воздействия, что позволило рекомендовать оптимальный химический состав флюса и рациональные значения технологических режимов и погонной энергии сварки, обеспечивающие сближение свойств сварных швов и основного металла.

Научную значимость диссертационной работы можно определить как вклад в развитие минералогического материаловедения в части изучения взаимосвязей по известной схеме «состав-структура-свойства-технология» в целях получения функциональных материалов из минерального сырья и отходов металлургического производства.

Практическая значимость полученных результатов

Шлаки электросталеплавильного производства относятся к типу наиболее сложных для переработки металлургических шлаков, так как характеризуются высокой нестабильностью по составу и загрязненностью, многокомпонентностью, а также являются наиболее твердыми и абразивными по сравнению с другими шлаками. В связи с этим практическая значимость диссертации определяется разработкой научно-обоснованных технических решений по получению плавных флюсов из электросталеплавильных шлаков с одновременным снижением их себестоимости и повышением уровня технологической доступности. Создание и использование такого флюса способствует решению актуальных задач ресурсосбережения и экологически рациональной переработки металлургических отходов,

Практическую значимость имеют также результаты работы, которые можно рассматривать как технологические основы управления качеством сварных соединений, позволяющие достигать требуемого комплекса механических и эксплуатационных характеристик в процессе использования экспериментальных флюсов при электродуговой сварке низкоуглеродистых сталей.

Проведённые автором промышленные испытания подтвердили работоспособность предложенного материала и возможность его широкого использования в условиях реального производства. Результаты исследования внедрены на предприятии ООО «КЭМ», что свидетельствует о значении результатов для применения в производстве. Дополнительно практическая ценность работы подтверждается наличием патентной защиты на разработанный состав флюса и способ сварки тонкостенных листовых деталей

под флюсом, а также внедрением полученных результатов в процесс подготовки инженерных кадров.

Обоснованность и достоверность научных результатов диссертационной работы базируются на значительном объеме экспериментальных данных, полученных с применением современных методов исследований с использованием современного сертифицированного оборудования, а также соответствием полученных данных известным данным из литературных источников.

Основное содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 163 наименований. Работа содержит 216 страниц, 82 рисунка, 58 таблиц и 6 приложений.

Во введении обоснована актуальность исследования, определены цель и задачи работы, объект и предмет исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, а также отмечены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен аналитический обзор современного состояния проблемы переработки техногенных отходов металлургического производства и перспектив их использования для получения сварочных материалов. Особое внимание уделено вопросам утилизации электросталеплавильных шлаков и возможности их применения в качестве основы для изготовления флюсов. Проведённый анализ подтвердил целесообразность и актуальность выбранного направления исследований.

Во второй главе описаны материалы и методы, применённые при выполнении диссертационной работы. Автором использован широкий комплекс современных исследовательских методик: спектральный анализ, рентгенография и рентгеновская дифрактометрия, металлографические исследования, механические испытания на растяжение и ударный изгиб, а также методы определения теплофизических свойств. Такая методологическая база обеспечила достоверность и полноту полученных данных.

В третьей главе изложены результаты разработки и получения сварочного флюса на основе электросталеплавильного шлака. Проведены термодинамические расчёты процессов восстановления основных оксидов, определены теплофизические свойства полученных флюсов, а также исследованы характеристики шлаковых корок. Установлены свойства флюсов, обеспечивающие формирование неразъёмных соединений.

Четвёртая глава посвящена исследованию состава, структуры и свойств неразъёмных соединений, выполненных с использованием разработанного флюса. Рассмотрены особенности формирования корня шва, кратеров, микроструктуры и фазового состава металла шва, выявлены закономерности распределения легирующих элементов и внутренних напряжений, определены физико-механические свойства соединений. Проведено сопоставление данных, полученных различными методами контроля, в том числе рентгенографического и магнитной памяти металла. На основе методов планирования эксперимента разработаны рекомендации по оптимизации режимов электродугового воздействия.

В заключении обобщены результаты исследования, сформулированы основные выводы, подтверждающие достижение поставленной цели и решение задач диссертационной работы.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы, полностью и правильно отражает его.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Диссертационная работа соответствует пунктам 1, 14 научной специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки):

Пункт 1 – «Разработка новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, в том числе капиллярно-пористых, с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния дисперсности, состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и иных факторов на функциональные свойства материалов...»

Пункт 14 - «Развитие научных основ комплексного использования сырья, местных сырьевых ресурсов и техногенных отходов для получения металлических, неметаллических и композиционных материалов для деталей, изделий, машин и конструкций.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Полученные научно-технические результаты целесообразно использовать в НИР по созданию новых сварочных материалов, в том числе на основе переработки техногенных отходов металлургического производства, и в программах обучения дисциплинам материаловедческого направления в таких научно-исследовательских центрах и ВУЗах, как ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», ФГАОУ ВО СВФУ им. М.К. Аммосова, НИ ТПУ, СибГИУ, ЦНИИ КМ «Прометей» и др., а также на специализированных предприятиях металлургической и химической промышленности, заводах-изготовителях сварочных материалов.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

1. В диссертации представлен значительный объем разнообразного фактического материала по изучению весьма обширного количества факторов с применением комплекса различных методов. Хотя такая детализация подчеркивает тщательность изучения вопроса, обилие информации осложняет восприятие. Целесообразно было бы дополнить работу описанием алгоритма и обобщающей схемой проведенных исследований, что повысило бы удобство восприятия, наглядность и связность представленных данных.

2. В дополнение к предыдущему замечанию следует отметить, что нет достаточно четкой формулировки критериев, по которым проводилась оптимизация состава флюса, режимов сварки, оценивалось качество полученных сварных соединений. Это может быть проиллюстрировано, к примеру, выводом 4, в котором после фразы «самым оптимальным является образец с $W = 1,85$ кДж/мм, так как содержание основных легирующих элементов... соответствуют содержанию этих элементов в основном металле» несколько противоречиво утверждается, что наилучшие показатели

механических свойств (на уровне свойств основного металла) обеспечиваются в экспериментальных соединениях, полученных с совсем другими значениями погонной энергии – 1,35 кДж/мм и 1,50 кДж/мм.

3. Отмечаются определенные недочеты в оформлении:

- при представлении данных по ударной вязкости (таблица 4.6 диссертации, рис. 8 автореферата) автором не поясняется место ее определения (локализация надреза – в металле шва, ЗТВ или в зоне сплавления); также не указана температура испытания;

- на рис. 4.26 диссертации и рис. 11 автореферата представлен график распределения микротвердости, где по оси абсцисс вместо привязки к зонам сварного соединения даны номера точек измерения;

- не приведена площадь анализируемого дифрактометром участка, на котором определялись остаточные сварочные напряжения;

- в п.3. практической значимости следовало указать, что сварка по рекомендуемым режимам предусматривает использование разработанного флюса.

4. Несколько вопросов, возникших по содержанию диссертации:

- наиболее высокий уровень растягивающих напряжений обнаружен при погонной энергии сварки 1,5 кДж/мм (рис. 4.21 диссертации); почему уровень растягивающих напряжений при повышении погонной энергии сварки уменьшается?

- при анализе химического состава образцов (п. 4.3 диссертации) выявлено достаточно высокое содержание никеля – до 1,65% в шве, – но в составе стали ВСтЗсп, флюса и сварочной проволоки Св08А его мало; вследствие чего возможно получение высоких концентраций Ni в шве?

Приведенные замечания и вопросы не затрагивают сути выносимых на защиту выводов и положений диссертационной работы, не снижают ее ценности и общей положительной оценки.

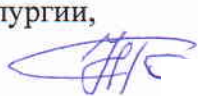
Заключение

Диссертация Старцева Егора Андреевича «Структура и свойства неразъёмных соединений из низкоуглеродистой стали, полученных электродуговым воздействием под слоем флюса, приготовленного из шлака электросталеплавильного производства» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных фундаментальных исследований решена актуальная научно-прикладная задача разработки и применения новых сварочных материалов, полученных из вторичных металлургических ресурсов. Результаты исследований расширяют представления о возможностях применения техногенного сырья для создания новых поколений сварочных материалов. Научная новизна и значительная практическая ценность результатов подтверждаются патентной защитой, публикациями в рецензируемых изданиях, промышленными испытаниями и внедрением в образовательный процесс.

По своей актуальности, научной новизне, уровню выполнения, объему, научной и практической значимости диссертационная работа полностью соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 16.10.2024 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Старцев Егор Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Диссертационная работа рассмотрена и одобрена на научном семинаре ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» в обособленном подразделении Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук от 20.08.2025 г.

Главный научный сотрудник отдела
технологий сварки и металлургии,
доктор технических наук



Голиков Николай Иннокентьевич

Главный научный сотрудник
отдела материаловедения,
доктор технических наук, профессор



Яковлева Софья Петровна

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ЯНЦ СО РАН)

Адрес: 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Петровского, дом 2.

Тел.: +74112390500; e-mail: prezidium@prez.ysn.ru