

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.252.04,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»,  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 06 сентября 2022 г., протокол № 20  
о присуждении Крюкову Роману Евгеньевичу, гражданину РФ,  
ученой степени доктора технических наук

Диссертация «Физическая природа и закономерности формирования структуры, свойств стальных сварных соединений и электродуговых покрытий, получаемых с применением углеродфторсодержащих материалов» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 30 мая 2022 г. (протокол заседания № 16) диссертационным советом Д 212.252.04, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 654007, РФ, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, Центральный район, ул. Кирова, стр. 42, приказ № 1060-398 от 21.05.2010 г.

Соискатель Крюков Роман Евгеньевич, 1989 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Обоснование применения углеродфторсодержащей флюсовой добавки при сварке стальных металлоконструкций, эксплуатируемых при отрицательных температурах» защитил в 2016 г. в диссертационном совете Д 003.038.02, созданном на базе Института физики прочности и материаловедения СО РАН.

Работает доцентом кафедры металлургии черных металлов в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет».

Диссертация выполнена на кафедре естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Министерства науки и высшего образования.

Научный консультант – гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, профессор Громов Виктор Евгеньевич, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет».

Официальные оппоненты:

Колубаев Евгений Александрович – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, директор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук»;

Смирнов Александр Николаевич – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии машиностроения», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева»;

Зайцев Александр Иванович – гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, профессор, директор научного центра физико-химических основ и технологий металлургии Государственного научного центра, федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина»,

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск в своем положительном заключении, подписанном заведующим лабораторией «инновационный технологический центр» Сибирского физико-технического института имени академика В.Д. Кузнецова, доктором химических наук, доцентом Сачковым Виктором Ивановичем, доцентом кафедры неорганической химии, кандидатом технических наук Лютовой Екатериной Сергеевной и утвержденном проректором по научной и инновационной деятельности, доктором физико-математических наук, профессором Ворожцовым Александром Борисовичем указала, что диссертация Р.Е. Крюкова является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное

хозяйственное значение для физики конденсированного состояния и заключающаяся в выявлении физической природы и установлении закономерностей формирования макро-, микроструктуры, структурно-фазовых состояний и свойств стальных сварных соединений и электродуговых покрытий, получаемых с применением углеродфторсодержащих материалов, эксплуатирующихся в особых условиях. Работа удовлетворяет требованиям пунктов 9-11, 13, 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Крюков Роман Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

Основное содержание диссертации опубликовано в 171 печатной работе, в том числе в 48 статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов диссертаций, 32 статьях, индексируемых в изданиях Scopus и Web of Science, а также 2 монографиях. Новизна предложенных технических решений защищена 20 патентами Российской Федерации.

В публикациях, включенных в список основных по теме диссертации и подготовленных в соавторстве, вклад соискателя оценивается от 50 до 70 %. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем ученой степени.

Наиболее значимые работы по теме диссертации: 1. Структурно-фазовое состояние, дефектная субструктура и поверхность разрушения наплавки / Ю. Ф. Иванов, Р. Е. Крюков, В. Е. Громов, Н. А. Козырев, Ю. А. Рубанникова // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2021. – Т. 18 № 3. – С. 265–272. 2. Структурно-фазовое состояние и особенности разрушения наплавленного покрытия из низкоуглеродистой стали / Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев, В. Е. Громов, А. М. Глезер, Ю. Ф. Иванов, Ю. А. Рубанникова // Деформация и разрушение материалов. – 2021. – № 11. – С. 10–14. 3. Структурно-фазовое состояние и дефектная субструктура сварных швов из низкоуглеродистой стали / Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, Ю. А. Рубанникова // Вопросы материаловедения. – 2021. – № 4. – С. 74–82. 4. Структурно-фазовое состояние и поверхность разрушения сварных швов из низкоуглеродистой стали / Р. Е. Крюков, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, Н. А. Козырев, Ю. А. Рубанникова // Известия высших учебных заведений. Физика.



– 2022. – № 2. – С. 126-130. 5. Structure, defect substructure and fracture surface of low-carbon alloy steel welds / N. A. Kozyrev, R. V. Kryukov, V. E. Gromov, Yu. A. Shliarova // CIS Iron and Steel Review. – 2022. – Vol. 23. 6. Роль углерод-фтор содержащей добавки в формировании структуры, дефектной субструктуры и поверхности разрушения электродугового покрытия / Р. Е. Крюков, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов, Н. А. Козырев, Ю. А. Шлярова // Деформация и разрушение материалов. — 2022. — № 4. — С. 13–18. 7. Структура, дислокационное упрочнение и поверхность разрушения электродуговой наплавки из низкоуглеродистой стали / Ю. Ф. Иванов, Р. Е. Крюков, В. Е. Громов, Н. А. Козырев, Ю. А. Шлярова // Металлы. – 2022. – № 2. – С. 60–66. 8. Структурно-фазовые состояния и поверхность разрушения электродуговой наплавки и сварных швов: монография / Р. Е. Крюков, В. Е. Громов, Н. А. Козырев, Ю. Ф. Иванов, Ю. А. Шлярова. – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2022. – 136 с.

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов. Все отзывы – положительные, отмечена новизна и научно-практическая значимость работы.

Отзывы без замечаний: 1) д.ф.-м.н., профессора, Заслуженного деятеля науки РФ, главного научного сотрудника, профессора кафедры физики ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» Старостенкова Михаила Дмитриевича; 2) д.т.н., профессора, директора Научно-учебного центра СВС МИСиС-ИСМАН, заведующего кафедрой порошковой металлургии и функциональных покрытий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»» Левашова Евгения Александровича; 3) д.т.н., профессора, главного научного сотрудника управления научно-исследовательской деятельностью ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» Муравьева Василия Илларионовича; 4) д.т.н., профессора, главного научного сотрудника ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН» Столярова Владимира Владимировича; 5) д.ф.-м.н., профессора, директора научно-исследовательского института прогрессивных технологий, профессора кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика» ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» Мерсона Дмитрия Львовича; 6) д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой информатики и вычислительной

техники им. В.К. Буторина Кузбасского гуманитарно-педагогического института ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» Маркидонова Артема Владимировича.

Отзывы с замечаниями: 1) д.т.н., ведущего научного сотрудника Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Гынгазова Сергея Анатольевича: 1. В работе отсутствует информация о влиянии основного металла при сварке и наплавке на структуру и физико-механические свойства металла сварного шва и наплавленного слоя; 2. Существуют ли трудности при проведении механической обработки после наплавки, так как твердость, получаемая с использованием разработанных углеродфторсодержащих материалов некоторых образцов, достигает 70 HRC? 2) д.т.н., профессора, Заслуженного деятеля науки РФ, заведующего кафедрой «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова» Муравьева Виталия Васильевича: 1. При характеристике химического состава углеродфторсодержащего материала автор не объясняет широкий диапазон изменения компонентов. Например, для оксида алюминия указан диапазон значений от 21 до 46 масс. %. Непонятно, как был установлен диапазон  $F = 18-27$ , ведь фтор – это газ, в отличие от других компонентов. Почему сумма всех компонентов не равна 100 %? Правомерно ли вообще говорить о химическом составе, в случае, когда речь идет не о химических элементах (за исключением фтора), а о химических соединениях? 3) д.т.н., профессора, заведующего кафедрой – руководителя отделения материаловедения на правах кафедры инженерной школы новых производственных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Клименова Василия Александровича: 1. Непонятна необходимость такого развёрнутого положения под № 4; 2. При обсуждении результатов, изложенные в Главе 3, приводятся зависимости износа от твердости наплавленных слоев (рис. 4 и 5) и говорится от том, что вид зависимостей обусловлен одинаковыми механизмами упрочнения, вместе с тем виды зависимостей существенно отличаются, требуются дополнительные комментарии. 4) д.т.н., доцента, профессора кафедры физики ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» Капуткина Дмитрия Ефимовича: 1. В автореферате не содержится объяснений, каковы физико-химические причины того, что добавление углеродфторсодержащего материала в разные флюсы приводит к различным эффектам в свойствах сварных швов и наплавки (стр. 12-13); 2. На стр. 11 в описании химического состава углеродфторсодержащего материала для добавки во флюс перечислены многочисленные оксиды и атомарный фтор, углерод,

фосфор и сера. По-моему, надо придерживаться единого подхода: либо элементный состав, либо перечисление химических соединений. 5) д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника кафедры обработки металлов давлением ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» Прокошкина Сергея Дмитриевича: 1. К сожалению, в автореферате не просматривается роль и влияние углеродфторсодержащих добавок на упрочнение наплавленного металла; 2. Рассматривая порошковые проволоки системы Fe–C–Si–Mn–Cr–Mo–Ni–V–Co, следовало бы указать диапазоны исследуемых значений. 6) д.т.н., профессора, члена-корреспондента Национальной академии наук Беларуси, заведующего лабораторией физики металлов ГНУ «Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси» Рубаника Василия Васильевича: 1. Почему вводится именно 6 % ФД-УФС? Это оптимальное количество добавки? И почему исследуется влияние введения добавки в данном случае именно во флюс из шлака силикомарганца?

В отзывах отмечены актуальность, большой объем проведенной научной работы, значимость полученных результатов. Отмечается, что замечания не снижают общего положительного впечатления о работе.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области физического материаловедения и физики конденсированного состояния, связанных с исследованием структурно-фазовых состояний и свойств стальных сварных соединений и покрытий.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

*разработана* новая научная концепция повышения комплекса физико-механических свойств швов и покрытий за счет введения углеродфторсодержащих материалов во флюсы и порошковые проволоки при электродуговой сварке и наплавке;

*предложен* механизм влияния углеродфторсодержащих материалов на свойства металла сварных швов, наплавленных слоев и покрытий, полученных электродуговым способом, основанный на рафинирующем и газозащитном эффекте соединений фтора и углерода;

*доказана* возможность получения стальных сварных соединений и электродуговых покрытий повышенного качества, работающих в особых условиях, за счет применения углеродфторсодержащих материалов;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:



*доказаны* положения, вносящие вклад в расширение существующих представлений о физической природе, механизмах и закономерностях формирования макро-, микроструктуры, структурно-фазовых состояний и свойств стальных сварных соединений и электродуговых покрытий, работающих в особых условиях, получаемых с применением углеродфторсодержащих материалов;

*применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)* использован комплекс взаимодополняющих методов современного физического материаловедения: сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии для исследования и выявления закономерностей влияния углеродфторсодержащих материалов на структурно-фазовые состояния, дефектную субструктуру, морфологию поверхности разрушения сварных швов, электродуговых наплавов и покрытий из низкоуглеродистой стали;

*изложены* механизмы и закономерности влияния химического состава углеродфторсодержащих флюсовых материалов на макро- и микроструктуру, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, ударную вязкость при отрицательных температурах и твердость стальных сварных швов и наплавленных слоев, полученных электродуговым способом и влияния химического состава электродуговых покрытий на их твердость и абразивную износостойкость;

*раскрыты* физические основы промышленных технологий электродуговой сварки и наплавки с применением углеродфторсодержащих материалов, на основе которых созданы новые сварочные флюсы и порошковые проволоки;

*изучены* структурно-фазовые состояния, дислокационная субструктура и морфология поверхности разрушения сварных швов и наплавов из низкоуглеродистой стали, полученных с применением углеродфторсодержащих материалов;

*проведена модернизация* количественных данных о влиянии химического состава электродуговых покрытий систем Fe-C-Si-Mn-Cr-V-Mo, Fe-C-Si-Mn-Cr-W-V, Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-V, Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V на их функциональные показатели.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

*разработаны* физические основы промышленных технологий электродуговой сварки и наплавки с применением углеродфторсодержащих материалов. *Апробированы и внедрены* в условиях АО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций», ООО «Элсиб», ООО «Вест-2002» с экономическим эффектом 8,64 млн. рублей. Результаты диссертационного исследования используются в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» в учебном процессе подготовки бакалавров, магистров, обучающихся по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» направленность (профиль) «Материаловедение и технология конструкционных и функциональных материалов», 22.03.02 «Металлургия», направленность (профиль) «Металлургия сварочного производства», 22.04.02 «Металлургия», а также аспирантов по специальности 03.06.01 Физика и астрономия, направленность (профиль) «Физика конденсированного состояния», 15.06.01 Машиностроение, направленность (профиль) «Сварка, родственные процессы и технологии»;

*определены* перспективы практического использования концепции повышения комплекса физико-механических свойств швов и покрытий за счет введения углеродфторсодержащих материалов во флюсы и порошковые проволоки в промышленных технологиях электродуговой сварки и наплавки;

*созданы* технологии сварки резервуаров для нефтепродуктов в северном исполнении; углеродфторсодержащие флюсы для сварки и наплавки; порошковые проволоки для наплавки изделий, эксплуатируемых при высоких температурах и в условиях высокого абразивного износа; наплавочные проволоки на основе принципов прямого легирования; наплавочные проволоки для ремонта горношахтного оборудования;

*представлены* предложения по дальнейшему совершенствованию технологий получения стальных сварных соединений и электродуговых покрытий, работающих в особых условиях;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:



*для экспериментальных работ* применялся комплекс стандартных и современных методов исследования характерных для современной физики конденсированного состояния и физического материаловедения, результаты получены на сертифицированном оборудовании и имеют хорошую воспроизводимость;

*теория* построена на известных проверяемых данных, согласуется с собственными и опубликованными данными;

*идея* базируется на сравнительном анализе и обобщении данных о влиянии химического состава сварочных материалов на формирование макро-, микроструктуры, структурно-фазовые состояния и свойства стальных сварных соединений и электродуговых покрытий, работающих в условиях высокого абразивного износа, низких и высоких температур, получаемых с применением углеродфторсодержащих материалов;

*использовано* сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по тематике диссертации;

*установлена* качественная и количественная согласованность авторских результатов с основными результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным;

*использованы* современные методики получения и обработки экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке цели, постановке задач исследования, анализе и систематизации литературных данных, планировании и проведении экспериментов по исследованию влияния углеродфторсодержащих материалов на структуру и свойства металла сварных швов, наплавленных слоев и покрытий, полученных электродуговым способом, обработке и анализе результатов экспериментальных исследований, установлении зависимостей и закономерностей, научном обосновании физической природы и механизмов формирования свойств металла, проведении экспериментов по практическому апробированию разработанных физических основ промышленных технологий, написании публикаций и патентов по теме диссертации, формулировании выводов, заключения и положений, выносимых на защиту.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: о механизмах влияния изменения структуры на упрочнение наплавленных слоев, о том, что в некоторых местах необходимо заменить «предел прочности» на «временное сопротивление разрыву», о механизмах износа некоторых образцов наплавленного металла, где показатели твердости не коррелируют с показателями скорости износа, об определении содержания фтора в составе углеродфторсодержащего материала.

Соискатель Крюков Р.Е. ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился с критическими замечаниями, которые будут учтены в дальнейшей работе.

На заседании 06 сентября 2022 г. диссертационный совет принял решение за решение научной проблемы выявления физической природы и установления закономерностей формирования макро-, микроструктуры, структурно-фазовых состояний и свойств стальных сварных соединений и электродуговых покрытий, получаемых с применением углеродфторсодержащих материалов, эксплуатирующихся в особых условиях, имеющей важное хозяйственное значение, присудить Крюкову Р.Е. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.07, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 1, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель диссертационного совета  
д-р техн. наук, профессор

Темлянцев  
Михаил Викторович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д-р хим. наук, профессор

Горюшкин  
Владимир Федорович

08.09.2022 г.