

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.437.01 (Д 212.298.01),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 01.12.2021 г. № 43

О присуждении Бакину Игорю Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Рафинирование и модифицирование стали комплексными стронцийсодержащими сплавами» по специальности 2.6.2 (05.16.02) "Металлургия черных, цветных и редких металлов" принята к защите 28.09.2021 (протокол № 43П) диссертационным советом 24.2.437.01 (Д 212.298.01), созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)») Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76, утвержденный приказом № 105/НК от 11.04.2012 г.

Соискатель Бакин Игорь Валерьевич, 28 августа 1965 года рождения. В 1987 г. окончил Челябинский политехнический институт им. Ленинского комсомола по специальности «Физико-химические исследования металлургических процессов», в 2020 г. окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» на кафедре материаловедения и физико-химии материалов по направлению подготовки 22.06.01 «Технологии материалов».

В настоящее время работает начальником отдела научно-технического развития в ООО «Центр исследований и разработок «НПП» г. Челябинск.

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения и физико-химии материалов федерального государственного автономного образовательного

учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник кафедры материаловедения физико-химии материалов ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» Михайлов Геннадий Георгиевич.

Официальные оппоненты:

Шешуков Олег Юрьевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»), директор Института новых материалов и технологий, г. Екатеринбург.

Житенев Андрей Игоревич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник научного центра мирового уровня «Передовые цифровые технологии», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский Политехнический университет», г. Санкт-Петербург.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой металлургии и химических технологий, доктором технических наук, доцентом Харченко Александром Сергеевичем и профессором кафедры металлургии и химических технологий, доктором технических наук, профессором Бигеевым Вахитом Абдрашитовичем, утверждённом проректором по научной работе, доктором технических наук Тулуповым Олегом Николаевичем указала, что диссертационная работа Бакина И.В. представляет собой законченное научное исследование, позволившее разработать рациональные составы сплавов с ЦЗМ для внепечной обработки стали, обеспечивающие повышение механических и эксплуатационных свойств металлоизделий, имеющее достаточный уровень научной новизны и практической значимости. Так же в отзыве отмечено, что диссертационная работа Бакина И.В. соответствует требованиям п. 9, Положения о присуждении учёных

степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 (05.16.02) – металлургия чёрных, цветных и редких металлов.

Соискатель имеет 33 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 26 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 16 работ, 6 работ в изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных Scopus.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

Статьи, опубликованные в изданиях, определенных ВАК:

1. Бакин И.В. Восстановление бария и стронция из сульфатов углеродом чугуна/ И.В. Бакин, Г.Г. Михайлов, И.В. Рябчиков// Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2018. Т. 18, № 2. С. 14–20 (авт. - 6 стр. из 7).
2. Самойлова О.В. Термодинамическое моделирование фазовых равновесий в оксидной системе FeO-SrO-SiO₂ / О.В. Самойлова, Л.А. Макровец, И.В. Бакин// Вестник ЮУрГУ. Серия: Металлургия. 2019. Т. 19. № 4. С. 10-18 (авт. - 4 стр. из 9).
3. Голубцов В.А. Оценка эффективности физико-химических методов улучшения качества стали/ В.А. Голубцов, И.В. Бакин, А.А. Токарев, И.В. Рябчиков, Г.Г. Михайлов// Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 6. С. 695-705 (авт. - 8 стр. из 11).
4. Михайлов Г.Г. Термодинамический анализ раскислительной способности стронция в жидком железе: диаграмма стабильности фаз в системах Fe-Sr-O и Fe-Mg-Sr-O/ Г.Г. Михайлов, Л.А. Макровец, О.В. Самойлова, И.В. Бакин// Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 12. С. 1366-1372 (авт. - 2 стр. из 7).
5. Михайлов Г.Г. Термодинамический анализ процессов взаимодействия компонентов в системе Fe-Sr-Ca-O-C в условиях существования металлического расплава/ Г.Г. Михайлов, Г.П. Вяткин, Л.А. Макровец, О.В. Самойлова, И.В. Бакин// Вестник ЮУрГУ. Серия: Металлургия. 2020. Т. 20. № 4. С. 5-13 (авт. - 4 стр. из 9).
6. Голубцов В.А. Применение микрокристаллических комплексных модификаторов для внепечной обработки стали. Часть 1. Роль неметаллических включений в формировании качества стали/ В.А. Голубцов, И.В. Рябчиков, И.В. Бакин, А.Я. Дынин, О.Н. Романов и др. всего 6 авторов// Черная металлургия. Бюллетень научно-

технической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 3. С. 295-309 (авт. - 8 стр. из 15).

7. Голубцов В.А. Применение микрокристаллических комплексных модификаторов для внепечной обработки стали. Часть 2. Результаты разработки технологии обработки стали широкого сортамента/ В.А. Голубцов, И.В. Рябчиков, И.В. Бакин, А.Я. Дынин, О.Н. Романов и др. всего 6 авторов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 4. С. 418-431 (авт. - 8 стр. из 14).

8. Рябчиков И.В. Внепечная обработка комплексными сплавами с ЩЗМ – экономичный способ улучшения качества стали / И.В. Рябчиков, И.В. Бакин, В.Г. Мизин, В.В. Новокрещенов, В.А. Голубцов // Сталь. 2021. № 5. С. 11-15 (авт. - 3 стр. из 5). 7).

Статьи, опубликованные в научных журналах и изданиях, индексируемых в базе данных Scopus:

9 Bakin I.V. Methods for improving the efficiency of steel modifying/ I.V. Bakin, G.G. Mikhailov, V.A. Golubtsov, I.V. Ryabchikov, L.E. Dresvyankina// Materials Science Forum. 2019. V. 946 MSF. P. 215-222 (авт. - 6 стр. из 8).

10. Bakin I.V. Experimental study of refining and modification of steel with Si-Ca, Si-Sr, and Si-Ba alloys/ I.V. Bakin, N.A. Shaburova, I.V. Ryabchikov, V.G. Mizin, B.F. Belov and others 7 authors in total // Steel In Translation. 2019. V.49. № 8. P. 543-547 (авт. - 4 стр. из 5).

11. Bakin I.V. Industrial Tests of Microcrystalline Complex Alkaline Earth Metal Alloys when Casting Pipe Steel/ I.V. Bakin, A.N. Shapovalov, M.S. Kuznetsov, N.A. Shaburova, R.G. Usmanov and others 9 authors in total // Steel In Translation. 2020. V.50. № 11. P. 795-800 (авт. - 5 стр. из 6).

На диссертацию и автореферат поступили 9 отзывов. Все отзывы положительные, в некоторых имеются замечания:

1. От доцента кафедры металлургических технологий и оборудования Новотроицкого филиала ФГАОУ ВО «МИСиС», кандидата технических наук, доцента Братковского Евгения Владимировича. Замечания / вопросы: не понятно каким образом и в какой степени автор использовал результаты термодинамических расчетов для оптимизации процессов рафинирования стали при проведении лабораторных и промышленных экспериментов.

2. От доцента кафедры «Металлургические технологии и оборудование» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», кандидата технических наук, доцента Беляева Сергея Владимировича. Замечания / вопросы: коррозионные испытания проводились в углекислой среде - почему была выбрана такая среда и как себя ведут образцы в других коррозионных средах.

3. От начальника управления технического развития продаж ПАО «НЛМК», кандидата технических наук Дегтева Сергея Сергеевича и руководителя направления управления технического развития продаж ПАО «НЛМК», кандидата технических наук Колетвинова Константина Федоровича. Замечания / вопросы: результаты применения модификаторов Ca-Ba и Ca-Ba-Sr близки по ряду параметров, какой тип модификатора предпочтителен и почему.

4. От главного научного сотрудника кафедры технологии и сервиса ФГБОУ ВО «Тулский государственный педагогический университет им Л.Н.Толстого», доктора технических наук, профессора Гвоздева Александра Евгеньевича. Замечания / вопросы: 1) автором не раскрыта степень разработанности темы представителями ведущих металлургических школ; 2) авторскую методику построения диаграмм состояния металлических систем, используемую в диссертационной работе, желательно было бы защитить документами Роспатента РФ, например, Свидетельствами на регистрацию программ для ЭВМ.

5. От заместителя генерального директора, начальника научно-производственного комплекса №3 «Конструкционные стали и функциональные материалы для морской техники» ФГУП НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», доктора технических наук, доцента Ильина Алексея Витальевича и начальника сектора №372 НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», кандидата технических наук Мушниковой Светланы Юрьевны. Вопросы и замечания отсутствуют.

6. От начальника лаборатории №31 ФГУП НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», доктора технических наук, профессора Цуканова Виктора Владимировича. Замечания / вопросы: предложение после таблицы 5 написано некорректно – отсутствует концовка предложения.

7. От профессора кафедры «Технология материалов» ФГБОУ ВО «Волгоградский технический университет», доктора технических наук Зюбана Николая Алек-

сандровича. Замечания / вопросы: на рисунке 8 (странице 18) приведен вид НВ, полученных при использовании опытных сплавов с указанием состава спектра, приведенные изображения не выявляют послойной структуры рассматриваемых включений, что затрудняет восприятие механизма формирования включений при использовании стронция, описанного в текстовой части.

8. От руководителя направления по технологии и качеству дирекции по реализации проектов ООО «Эколант», кандидата технических наук Ботникова Сергея Анатольевича. Замечания / вопросы: 1) В исследуемых системах следовало также рассмотреть влияние серы (п.2 научной новизны); 2) В разделе «методология и методы исследования» необходимо перечислить какие методы были использованы в работе; 3) На странице 7 в последнем абзаце необходимо объяснить параметр – степень окисленности кальцийсодержащего материала; 4) На странице 9 «...применение позволяет предотвратить окисление Се и La» не понятен механизм предотвращения окисления церия и лантана, следует пояснить; 5) В четвертой главе представлены результаты проведенных экспериментов в печи Таммана и получения однородной и измельченной структуры металла за счет использования сплавов Si-Sr и Si-Ba, полученные результаты были сопоставимы с промышленным опробованием на АО «Уральская Сталь» или нет? 6) Не понятен пункт 6 выводов (стр.21) про брикетирование шихты, в автореферате ничего не было представлено; 7) В работе не рассмотрено вредное влияние соединений бария на организм человека.

9. От главного научного сотрудника лаборатории стали и ферросплавов ФГБУН «ИМет» УрОРАН, доктора технических наук, профессора Жучкова Владимира Ивановича. Замечания / вопросы: 1) В автореферате упомянуто о разработке рационального состава модификаторов со ЩЗМ, что подразумевает рассмотрение целого ряда составов и технологий получения сплавов, их потребительских свойств и воздействия на обрабатываемый металл, в работе этого нет; 2) Поскольку стронциевые сплавы пока не нашли широкого распространения, следовало хотя бы дать предварительную экономическую оценку целесообразности их применения, конкурентоспособности по сравнению с другими модификаторами; 3) В тексте автореферата имеются в значительном количестве грамматические ошибки.

10. От генерального директора Администрации ООО НПП «Вулкан-ТМ», доктора технических наук Золотухина Владимира Ивановича и директора по ис-

следованиям и развитию отдела продажи и развития предприятия ООО «НПП «Вулкан-ТМ», почетного металлурга РФ Мурат Сергея Гавриловича. Замечания / вопросы: Автором недостаточно отражено использование в процессе рафинирования и модифицирования перспективных технологий использования порошковой проволоки со стронцийсодержащим наполнителем. Не отражено состояние сырьевой базы и технологии производства стронцийсодержащих модификаторов. Наличие такой информации безусловно способствует широкому внедрению предложенного процесса в производство.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием темы диссертационной работы соискателя профилю их научной деятельности и области научных компетенций. Оппоненты и ведущая организация широко известны своими достижениями в данной области науки, имеют публикации по исследованиям, близким к проблеме работы соискателя. Благодаря этому они способны определить научную новизну и практическую ценность диссертации соискателя.

Диссертационный совет отмечает, что в ходе выполненных соискателем исследований: получены термодинамические данные, позволяющие прогнозировать поведение комплекса щелочноземельных элементов в процессах рафинирования и модифицирования стали; показано, что при использовании комплексных сплавов реализуется комплексный механизм раскисления; показано, что при крайне малой растворимости ЩЗМ в жидком железе, активные элементы могут участвовать в рафинировании как в виде разбавленных растворов, так и по границе расплав/активный элемент (для Ca и Sr – газ, для Ba – жидкость); предложено классифицировать проявления рафинирующей способности ЩЗМ как физическую активность, характеризующуюся значением потенциала ионизации элемента, и химическую активность, характеризующуюся термодинамической прочностью образующихся соединений, заключено, что комплексные сплавы, содержащие элементы с максимальной химической и физической активностью могут быть наиболее эффективны; в ходе экспериментов получены данные, позволяющие оценить различия в модифицирующем воздействии щелочноземельных элементов (Ca, Sr, Ba) в процессе рафинирования и модифицирования расплава; разработаны и испытаны в промышленных условиях рациональные составы комплексных сплавов с ЩЗМ для внепечной обработки стали, а также шихта для получения стронцийсодержащих

сплавов в рудовосстановительной печи; в ходе промышленных испытаний доказана более высокая эффективность комплексных модификаторов в сравнении с силикокальцием СК40, при обработке стали комплексными сплавами со стронцием отмечено снижение уровня загрязненности стали по НВ, уменьшение средних размеров НВ более чем в 2,5 раза, получена более однородная и мелкозернистая структуры металла, повышена холодо- и коррозионная стойкость образцов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: применительно к изучаемым системам результативно, то есть с получением обладающих новизной результатов, применен метод построения поверхностей растворимости компонентов в жидком железе (ПРКМ); изучены фазовые равновесия в системах, характерных для процессов рафинирования стали комплексными стронцийсодержащими сплавами; - впервые построены диаграммы состояния двойных ($\text{SrO-Al}_2\text{O}_3$, FeO-SrO , SrO-BaO , SrO-SiO_2) и тройных (FeO-SrO-BaO , FeO-SrO-SiO_2 , $\text{FeO-SrO-Al}_2\text{O}_3$) систем; впервые рассчитаны изотермы растворимости кислорода в расплавах исследуемых систем (Fe-Sr-O ; Fe-Mg-Sr-O ; Fe-Sr-Al-O ; Fe-Sr-Ba-O ; Fe-Sr-Al-O-C ; Fe-Sr-Si-O-C ; Fe-Sr-Ca-O-C ; Fe-Sr-Ba-O-C ; Fe-Sr-Ca-Al-O-C); изложены данные для прогнозирования состава и морфологии НВ, образующихся в процессе рафинирования и модифицирования стали стронцийсодержащими сплавами, а также изложена концепция физической и химической активности элементов применительно к процессу рафинирования стали.

Значения полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждаются тем, что: разработаны и внедрены рациональные составы модифицирующих сплавов с ЩЗМ, которые в ходе промышленных испытаний позволили повысить механические и эксплуатационные свойства металлоизделий; разработаны и внедрены технические решения по улучшению технико-экономических показателей получения комплексных сплавов углетермическим методом; определены перспективы применения комплексных сплавов с ЩЗМ вместо силикокальция; представлены данные термодинамического моделирования в металлических и сопряженных с ними стронцийсодержащих оксидных системах, позволяющие прогнозировать состав и свойства неметаллических включений при раскислении и модифицировании стали комплексными сплавами, содержащими Ca, Sr, Ba. Практическую значимость работы подтверждают акт промышленных испы-

таний модификаторов предложенных составов на АО «Уральская сталь», акт внедрения результатов диссертации предприятием ООО НПП Технология.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: для экспериментальных работ – работы выполнены с использованием современного оборудования и сертифицированных методов анализа полученных данных, показана воспроизводимость результатов; теория построена на известной и многократно апробированной методике, широко представленной в научной литературе, в частности в работах Михайлова Г.Г, Кузнецова Ю.С. и др.; *идеи разработки базируются* на различных источниках, анализе теоретических исследований, представленных в научной литературе и обобщения передового промышленного опыта; *использовано* сравнение полученных автором результатов, с данными из отечественных и зарубежных источников; *установлено*, что полученные данные, выводы и рекомендации подтверждаются согласованностью с результатами, приведенными в независимых источниках.

Личный вклад соискателя состоит в том, что автор принимал участие в определении актуальности, цели и постановке задач исследования, разработке методик, организации и проведении исследований по производству и применению комплексных сплавов с ЦЗМ; непосредственно участвовал в проведении экспериментов; обработке, анализе и обобщении результатов исследований; в формулировании выводов; в апробации результатов работы на конференциях; в написании и подготовке статей к публикации.

В ходе защиты были высказаны критические замечания и заданы вопросы:

1. Как обстоит дело с сырьевой базой по производству стронцийсодержащих модификаторов? Проводился ли экономический анализ?
2. Что такое раскислительная и рафинирующая способность? В работе рафинирующую способность предложено характеризовать как физическую и химическую активность, поясните, в чем разница?
3. В работе указано, что скорость коррозии при модифицировании. Можно ли получить нержавеющую сталь из рядовой с помощью обработки модификатором? Необходимо пояснить, за счет чего снижается скорость коррозии после обработки модификатором?
4. Все щелочноземельные металлы модификаторы и раскислители одновременно. Стронций больше раскисляет или модифицирует? Проводилась ли оцен-

ка, сколько стронция расходуется на модифицирование, то есть, на взаимодействие с Al_2O_3 , а сколько на дальнейшее раскисление, то есть на взаимодействие с условным FeO . После обработки алюминием, насколько еще снижается кислород при обработке стронцием?

Соискатель Бакин И.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привёл собственную аргументацию:

1. Что касается сырьевой базы — то, с сожалением, можно отметить, что стронций и силикостронций, это импортное сырье. При этом мы знаем, что стронцийсодержащие рудные материалы в стране существуют и очень обидно, что на данный момент им не уделяется достаточного внимания.

Важные моменты, которые мы внесли в расчет экономики, это расходы щелочноземельных металлов, которые необходимы для рафинирования. Исходя из тех объемов, которые необходимо расходовать для внепечной обработки, мы, в зависимости от меняющихся рыночных условий, можем прогнозировать, какой вариант сплава будет в данный момент выгоднее. Так, на момент начала работы было выгоднее использовать стронцийсодержащие материалы, потом стало выгоднее использовать кальций. На данный момент из представленных сплавов наиболее интересны, в смысле себестоимости, результаты по обработке стали сплавами силикокальцийбария. То есть, ситуация меняется, и мы имеем возможность диверсификации.

2. Рафинирующая способность, это способность модифицировать и удалять неметаллические включения. Да, это не раскислительная способность. Мы хотели подчеркнуть разные проявления (поведения) щелочноземельных металлов в процессе рафинирования стали, а именно: химическая активность характеризуется термодинамической прочностью образующихся соединений, а физическая активность (готовность элемента вступить в реакцию) характеризуется потенциалом ионизации и показывает, что существует минимальный энергетический барьер, который необходимо преодолеть, чтобы металл перешел в активное состояние.

3. Конечно, нержавеющую сталь получить из рядовой с помощью обработки модификатором нельзя. Что касается исследований на скорость коррозии, то перед нами не стояло задачи получить нержавеющую стали или резко снизить скорость коррозии. Мы проверили, каким образом обработка комплексом ЩЗМ может влиять на скорость коррозии. Мы можем предположить, что отмеченное улучше-

ние коррозионных свойств получилось в связи с тем, что образующиеся неметаллические включения после обработки комплексом щелочноземельных металлов менее активно себя ведут в углекислой среде. То есть мы не говорим об общем снижении коррозии, но для углекислой среды — так. Для других сред, возможно, иначе.

4. Я считаю, что в большей степени щелочноземельные металлы работают именно как модификаторы. На АО «Уральская сталь» мы измеряли с помощью зондов фирмы Хераус Электро-Найт активный кислород перед обработкой стронцийсодержащими материалами и после, и мы видели, что содержание активного кислорода перед обработкой сплавами с ЩЗМ - в районе 3-3,5 ppm, а после обработки стронцийсодержащими материалами в районе 2,5-3 ppm. То есть немного кислорода мы, конечно, подсаживаем, но в основном мы видим существенное снижение загрязненности по включениям.

На заседании 01.12.2021 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития металлургии черных металлов, новые научно-обоснованные технологические решения, внедрение которых позволит повысить эффективность рафинирования и модифицирования сталей, присудить Бакину И.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 16, против - 0.

Председатель
диссертационного совета



И.В. Чуманов
Чуманов Илья Валерьевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Н.А. Шабурова
Шабурова Наталия Александровна

Дата оформления заключения

01.12.2021 г.