ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.347.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 30.06.22 г. № 2

О присуждении Бушуевой Евдокии Геннадьевне, гражданство Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Поверхностное упрочнение хромоникелевой аустенитной стали 12Х18Н9Т методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей «аморфный бор - Me (Cr, Fe, Ni)»» **по специальности** 2.6.17 – Материаловедение принята к защите 5 апреля 2022 г., протокол № 6 диссертационным советом 24.2.347.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки России, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, Приказ 717/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель Бушуева Евдокия Геннадьевна 28 апреля 1980 года рождения. В 2003 году с отличием окончила «Новосибирский государственный технический университет». В 2021 г. окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Работает в должности младшего научного сотрудника центра технологического превосходства, а также по совместительству инженером на кафедре материаловедения в машиностроении Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения в машиностроении Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Батаев Владимир Андреевич, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», заведующий кафедрой материаловедения в машиностроении.

Официальные оппоненты:

Прибытков Геннадий Андреевич, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук.

Быкова Татьяна Михайловна, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории микромеханики материалов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет» (СибГИУ), г. Новокузнецк, **в своем положительном отзыве,** подписанном Осколковой Татьяной Николаевной, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры обработки металлов давлением и металловедения ЕВРАЗ ЗСМК; Фёдоровым Александром Андреевичем, кандидатом технических наук, доцентом, ученым секретарем кафедры и утвержденном проректором по научной и инновационной деятельности ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», доктором технических наук, профессором Коноваловым Сергеем Валерьевичем, указали, что диссертация Е.Г. Бушуевой представляет собой самостоятельную, законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую критериям Положения о присуждении ученых степеней (п. 9). Автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы, рекомендованные ВАК, 11 публикаций представлены в изданиях, индексируемых в базах *Web of Science* и *Scopus*. Другие публикации по теме диссертационной работы представлены в виде трудов и материалов международных и всероссийских научных конференций. Недостоверные сведения о неопубликованных работах отсутствуют. Общий объем опубликованных работ – 11,25 п.л., авторский вклад – 4,3 п.л. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Коррозионная стойкость материалов, полученных электронно-лучевой наплавкой порошковых Fe - Cr - Ni - Ti-смесей / Е.А. Дробяз, М.Г. Голковский, И.К. Чакин, Е.Г. Бушуева, Д.С. Волков // Металловедение и термическая обработка металлов.– 2021. № 12.– С. 48-53. (Из перечня ВАК, переводная версия представлена в Scopus и Web of Science)

2. Повышение износостойкости хромоникелевой стали при гидроабразивном воздействии методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки бора / Е.Г. Бушуева, Б.Е. Гринберг, В.А. Батаев, Е.А Дробяз. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2018. – №. 10. – С. 26-30. (Из перечня ВАК, переводная версия представлена в Scopus и Web of Science)

3. Структурные особенности и износостойкость слоев, сформированных наплавкой самофлюсующегося никелевого сплава и бора электронным лучом, выведенным в воздушную атмосферу / Т. А. Зимоглядова, Е. Г. Бушуева, А. А. Штерцер, Б. Е. Гринберг, Н. Н. Соболева, Е. Коллманнсбергер, Д. Э. Сафарова, и др. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22. – №. 2. – С. 89-103. (Из перечня ВАК, переводная версия представлена в Scopus и Web of Science).

4. Influence of chromium concentration on corrosion resistance of surface layers of stainless steel / E.G. Bushueva, Y. M. Turlo, G. V.Khamgushkeeva // MATEC Web of Conferences. – 2021. – Vol. 340.– P. 01022-01027. (Scopus и Web of Science).

На диссертацию и автореферат поступило 24 отзыва, все они положительные: отзыв от директора производственного внедренческого комплекса прикладных

исследований и разработок ФГБОУ ВО Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, доктора технических наук, профессора **Ситникова А.А.** (замечания о причине выбора в качестве основного материала хромоникелевой стали 12Х18Н9Т и об уровне механических свойств эталона для оценки относительной износостойкости); отзыв от заведующего кафедрой машиностроения и материаловедения ФГБОУ ВО Поволжского государственного технологического университета, доктора технических наук, профессора **Алибекова С.Я.** (без замечаний); отзыв от заведующего кафедрой естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля ФГБОУ ВО Сибирского государственного индустриального университета, доктора технических наук, профессора **Громова В.Е.** и доцента кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства Сибирского государственного индустриального университета, кандидата технических наук, доцента **Крюкова Р.Е.** (без замечаний); отзыв от заведующего кафедрой «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики» ФГБОУ ВО Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова, доктора технических наук, профессора **Муравьева В.В**. (замечание об исследовании анизотропии наплавленных слоёв); отзыв от заведующего лабораторией ионики твёрдого тела, ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, доктора химических наук, профессора **Уварова Н.Ф.** (замечание о реакциях развития коррозии в борированных слоях и об особенностях выбора среды для проведения коррозионных испытаний); отзыв от старшего научного сотрудник ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, кандидата физико-математических наук **Федосеевой Ю.В.** (без замечаний); отзыв от заведующего лабораторией покрытий и ремонтных технологий отделения технической диагностики и ремонтных технологий ОАО Всероссийского дважды Ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнического научно-исследовательский института, кандидата технических наук, доцента **Белякова А.В.** (замечания о подаче заявки на изобретение, скачкообразном изменении значений микротвердости по глубине модифицированного слоя и обосновании выбора тока электронного пучка и смачивающего компонента); отзыв от заведующего кафедрой материаловедения и композиционных материалов ФГБОУ ВО Волгоградского государственного технического университета, доктора технических наук, доцента **Гуревича Л.М.** (замечания об отсутствии причин выбора технологии вневакуумной

электронно-лучевой наплавки, значении диаметра пятна электронного луча и максимальных габаритах и форме обрабатываемых изделий); отзыв от заведующего кафедрой материалов и технологии ФГБОУ ВО Тамбовского государственного технического университета, доктора технических наук, профессора **Мордасова Д.М.** (замечание об отсутствии сравнения свойств стали 12Х18Н9Т с наплавленным борсодержащим слоем и известных композитов триботехнического назначения); отзыв от проректора по учебной и методической работе БУ ВО Сургутского государственного университета доктора физико-математических наук, доцента **Коноваловой Е.В.** (без замечаний); отзыв от заведующего лабораторией физического материаловедения, ФГБУН Институт физического материаловедения СО РАН, кандидата технических наук **Мишигдоржийна У.Л.** (замечания о способе доставки легирующих компонентов на поверхность стали, противодействии окислению и взаимодействии с атмосферой легирующих компонентов, обеспечении качества поверхности после вневакуумной электронно-лучевой наплавки); отзыв от профессора кафедры металловедения, термической и лазерной обработки металлов ФГБОУ ВО Пермского национального исследовательского политехнического университета, доктора технических наук **Шацова А.А.** (замечания о недостатках и преимуществах электронно-лучевой наплавки перед другими методами защиты поверхности, об отсутствии связи между структурой и свойствами в виде математических выражений); отзыв от главного научного сотрудника ФГБУН Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, доктора технических наук **Куксанова Н.К.** (замечания о составе агрессивных сред, выбранных для коррозионных испытаний, методе оценки магнитной проницаемости и об особенностях подготовки исследуемых образцов, обосновании величины тока, принятой для проведения экспериментальных исследований); отзыв от заведующего кафедрой «Строительная механика», ФГБОУ ВО Сибирского государственного университета путей сообщения, доктора технических наук, профессора **Герасимова С.И.** (замечание о целесообразности получения патента РФ на предлагаемые технологии); отзыв от ведущего научного сотрудника ФГБУН Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, доктора технических наук, **Валитова В.А.** (без замечаний); отзыв от профессора кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева,

доктора технических наук, профессора **Смирнова А.Н.** и доцента кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева, кандидата технических наук, доцента **Абабкова Н.В.** (без замечаний); отзыв от главного научного сотрудника управления научно-исследовательской деятельностью, ФГБОУ ВО Комсомольского-на-Амуре государственного университета, доктора технических наук, профессора **Муравьева В.И.** (без замечаний); отзыв от заведующего лабораторией лазерных технологий, ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника **Маликова А.Г.** (замечания об использовании инертных газов и режимах наплавки); отзыв от главного научного сотрудника лаборатории физики упрочнения поверхности, ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, доктора технических наук, профессора **Сизовой О.В.** (замечания о перегруженности текста автореферата сведениями о выступлениях на научных конференциях разного уровня); отзыв от научного сотрудника лаборатории технической диагностики Института машиноведения имени Э.С. Горкунова УрО РАН, кандидата технических наук, доцента **Худорожковой Ю.В.** (замечание об обосновании выбора тока наплавки); отзыв от старшего научного сотрудника лаборатории статической прочности ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, кандидата физико-математических наук **Ларичкина А.И.** (замечание о сравнении прочностных параметров образцов с различными покрытиями); отзыв от профессора кафедры технологии металлов ФГБОУ ВО Национального исследовательского университета "МЭИ", доктора технических наук, профессора **Матюнина В.М.** и доцента кафедры технологии металлов ФГБОУ ВО Национального исследовательского университета "МЭИ", кандидата технических наук, доцента **Волкова П.В.** (замечание о понятии относительной износостойкости и ее максимальном уровняе; отзыв от профессора кафедры природных соединений, фармацевтической и медицинской химии Химического факультета ФГАОУ ВО Национального исследовательского Томского государственного университета, доктора физико-математических наук, доцента **Курзиной И. А.** (без замечаний); отзыв от доцента кафедры материаловедения, сварочных и аддитивных технологий ФГБОУ ВО Иркутского национального исследовательского технического

университета, кандидата технических наук, доцента **Гусевой Е.А.** и заведующего кафедрой материаловедения, сварочных и аддитивных технологий, ФГБОУ ВО Иркутского национального исследовательского технического университета, кандидата технических наук, доцента **Балановского А.Е.** (замечание об образовании карбидов хрома).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близостью решаемых ими научных задач к тематике диссертационной работы Бушуевой Е.Г., компетентностью специалистов в области современного материаловедения, наличием публикаций по проблемам формирования защитных слоев с использованием высокоэнергетических источников нагрева.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана экспериментальная методика наплавки борсодержащих порошковых смесей электронным пучком, выведенным в воздушную атмосферу, на заготовках из хромоникелевой аустенитной стали, обогащающая научную концепцию о формировании защитных многофункциональных слоев на поверхности металлических материалов при высокоэнергетическом воздействии;

предложены оригинальные суждения о структурно-фазовых преобразованиях, протекающих в поверхностных слоях хромоникелевой аустенитной стали в процессе вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых борсодержащих смесей, позволяющие прогнозировать уровень твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и магнитной проницаемости поверхностно-упрочненных материалов;

доказана перспективность использования в наплавляемой порошковой смеси смачивающего компонента Me (Fe,Cr,Ni) для формирования на хромоникелевой аустенитной стали поверхностных слоев, обладающих высоким уровнем эксплуатационные свойств.

введены – новые понятия и термины не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения о возможности формирования многофункциональных защитных слоев повышенной толщины (до 3 мм) путем наплавки электронным пучком в воздушной атмосфере порошковых смесей, содержащих в качестве смачивающего компонента частицы Me (Fe,Cr,Ni), вносящие вклад в расширение

представлений о применении высококонцентрированных источников энергии в технологии обработки материалов;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс базовых методов исследования в области материаловедения, в том числе методы световой, растровой электронной микроскопии, рентгеновской дифрактометрии, испытания по оценке уровня износостойкости, определению коррозионной стойкости и оценке уровня магнитной проницаемости;

изложена оценка износостойкости, коррозионной стойкости, механических и физических свойств слоев, полученных наплавкой высококонцентрированным электронным пучком порошковых смесей, содержащих аморфный бор и смачивающий компонент Me (Fe, Cr, Ni);

раскрыты условия процессов формирования высокопрочных частиц Me_2B (боридов хрома и легированных хромом боридов железа) при наплавке смесей аморфного бора и смачивающих компонентов (Fe, Cr, Ni) на заготовки из хромоникелевой аустенитной стали;

изучено влияние состава наплавляемой порошковой смеси на строение поверхностно модифицированной хромоникелевой аустенитной стали, определяющее комплекс свойств материалов в условиях воздействия агрессивных сред, а также в условиях абразивного изнашивания;

модернизация существующих математических моделей, алгоритмов и/или численных методов не проводилась.

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

с использованием технологии электронно-лучевой наплавки порошковых смесей системы «аморфный бор + Me (Fe, Cr, Ni)» **разработаны** композиции «основной материал - покрытие», обладающие высоким уровнем стойкости к воздействию агрессивной среды и абразивных частиц и характеризующиеся магнитной проницаемостью на уровне $\mu \leq 1{,}01$; результаты исследований **внедрены** в учебный процесс при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Материаловедение и технологии новых материалов» в НГТУ; **определены** перспективы практического применения результатов исследования при производстве

оборудования для нефтехимической промышленности и геологоразведки, работающего в условиях абразивного изнашивания; **создана** система практических рекомендаций по выбору технологических режимов вневакуумной электронно-лучевой наплавки борсодержащих порошковых композиций, обеспечивающих повышение твердости и износостойкости поверхности хромоникелевой аустенитной стали 12Х18Н9Т при сохранении коррозионной стойкости и магнитных характеристик;

представлены перспективные решения, позволяющие повысить уровень твердости и износостойкости поверхностно легированной хромоникелевой аустенитной стали при сохранении ею магнитной проницаемости μ на уровне ≤1, в том числе в ООО «Центр технологий литья» при разработке экспериментальной пресс-формы; в ООО «ЭкспертНефтеГаз» при упрочнении корпусов клапанов телеметрической системы; в АО НЗР «Оксид» для повышения коррозионной стойкости материала гальванических ванн.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ: результаты получены с использованием аналитического и испытательного оборудования, уровень которого соответствует современным исследованиям в области материаловедения, обеспечена воспроизводимость результатов исследования в различных условиях, использованы методы статистической обработки результатов экспериментальных измерений;

теория построена на проверяемых данных и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея формирования многофункциональных защитных слоев на поверхности заготовок из хромоникелевых аустенитных сталей **базируется** на обобщении передового отечественного и зарубежного опыта в области повышения эксплуатационных свойств поверхности при использовании концентрированных источников нагрева;

использованы результаты экспериментальных исследований в сравнении с литературными данными о структуре и физико-механических свойствах поверхностных слоев металлических материалов, легированных бором, с применением иных методов наплавки и химико-термической обработки, в том числе методов высокоэнергетического воздействия;

установлено отсутствие противоречий авторских результатов, полученных при исследовании структуры и свойств поверхностных слоев, сформированных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей системы «аморфный бор - Me (Fe, Cr, Ni)», с результатами, представленными в независимых литературных источниках по проблеме повышения износостойкости и коррозионной стойкости сталей;

использованы база данных ICDD PDF-4+ при анализе рентгеновских дифрактограмм; программные пакеты Python 2.7 и ImageJ для статистической обработки результатов измерений.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследования, проведении и обсуждении экспериментов, анализе полученных данных, формулировке выводов, оптимизации режимов и проведении экспериментов по вневакуумной электронно-лучевой наплавке (совместно с к.ф.-м.н., старшим научным сотрудником Голковским М.Г.), проведении структурных исследований, испытаниях по оценке износостойкости, коррозионной стойкости и уровня механических свойств материалов (совместно с к.т.н. доцентом Дробяз Е.А. и к.п.н. доцентом Турло Е.М.), измерении магнитной проницаемости полученных материалов (совместно с д.ф.-м.н., доцентом Костюченко В.Я. и старшим преподавателем Марковым А.В.), обобщении экспериментальных результатов и сопоставлении их с известными литературными данными, формулировании выводов по результатам исследований и положений, выносимых на защиту.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- отсутствуют данные о количественном содержании двух обнаруженных боридов, а также о соотношении феррита и аустенита в наплавленных покрытиях, что не позволяет понять и обсудить влияние фазового состава на износостойкость материалов при различной интенсивности воздействия абразива, а также на коррозионную стойкость и магнитные свойства;

- для лучшего понимания морфологических особенностей структуры на свойства целесообразно идентифицировать боридные включения в структуре покрытия; в совокупности с результатами рентгенофазового анализа это позволило

бы более качественно и убедительно обсудить связь структуры, фазового состава и свойств.

Соискатель Бушуева Е.Г. согласилась с замечаниями, ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и относительно содержания фаз привела собственную аргументацию, в соответствии с которой точная оценка содержания фаз затруднена присутствием в модифицированных слоях явно выраженной текстуры.

На заседании 30 июня 2022 г. диссертационный совет принял решение - **за** решение научной задачи, связанной с формированием многофункциональных износостойких слоев на хромоникелевой стали методом вневакуумной электронной наплавки борсодержащих порошковых смесей, имеющей значение для развития материаловедения присудить Бушуевой Е.Г. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за 18, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационного совета Пустовой Николай Васильевич

Ученый секретарь
диссертационного совета Тюрин Андрей Геннадиевич
«30» июня 2022 г.