

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 20 сентября 2022 г., протокол № 22  
о присуждении Малушину Николаю Николаевичу, гражданину РФ,  
ученой степени доктора технических наук

Диссертация «Физические основы комплексной технологии упрочнения  
теплостойких сплавов высокой твердости, сформированных плазмой в среде  
азота» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния при-  
нята к защите 08 апреля 2022 г. (протокол заседания № 8) диссертационным со-  
ветом Д 212.252.04, созданным на базе федерального государственного бюджет-  
ного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государ-  
ственный индустриальный университет», Министерство науки и высшего обра-  
зования РФ, 654007, РФ, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, Цен-  
тральный район, ул. Кирова, стр. 42, приказ № 1060-398 от 21.05.2010 г.

Соискатель Малушин Николай Николаевич, 1953 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук  
«Разработка и исследование способа наплавки закаливаемых сталей» защитил  
в 1979 году в специализированном совете К 063.38.12 Ленинградского ордена  
Ленина политехнического института имени М.И. Калинина.

Работает ведущим инженером кафедры естественнонаучных дисциплин  
имени профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный ин-  
дустриальный университет», Министерство науки и высшего образования Рос-  
сийской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре естественнонаучных дисциплин имени  
профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустри-  
альный университет», Министерство науки и высшего образования Российской  
Федерации.

Научный консультант Громов Виктор Евгеньевич, гражданин Российской  
Федерации, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий ка-

федрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Клименов Василий Александрович – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», заведующий кафедрой – руководитель отделения материаловедения на правах кафедры инженерной школы новых производственных технологий;

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

Прибытков Геннадий Андреевич – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук», главный научный сотрудник лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов,

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ), г. Новосибирск в своем положительном заключении, подписанном доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой материаловедения в машиностроении Батаевым Владимиром Андреевичем и ученым секретарем кандидатом технических наук, доцентом Огневой Татьяной Сергеевной и утвержденном проректором по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» доктором технических наук, профессором Бровановым Сергеем Викторовичем указала, что диссертация Малушина Н.Н. удовлетворяет требованиям пунктов 9 и 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции от 11.09.2021 г.)), предъявляемым к докторским диссертациям. Диссертация явля-

ется завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема установления физической основы комплексной технологии упрочнения теплостойких сплавов высокой твердости, сформированных плазмой в среде азота, имеющая важное хозяйственное значение. Автор диссертации Малушин Николай Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 122 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 122 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 43 работы (30 статей в научных журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК, и 13 статей в зарубежных рецензируемых изданиях), а также 3 монографии, 2 учебных пособия и 15 охранных документов на объекты интеллектуальной собственности.

В публикациях отражены основные научные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы. В публикациях, включенных в список основных по теме диссертации и подготовленных в соавторстве, вклад соискателя оценивается от 50 до 75 %. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем ученой степени.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Малушин Н.Н. Структурно-фазовое состояние теплостойкого сплава высокой твердости, сформированного плазменной наплавкой в среде азота и высокотемпературным отпуском / Н.Н. Малушин, Д.А. Романов, А.П. Ковалев, В.Л. Осетковский, Л.П. Бащенко // Известия вузов. Физика. – 2019. – Т. 62. – № 10 (742). – С. 106 – 111.
2. Малушин Н.Н. Структура быстрорежущего сплава после плазменной наплавки в среде азота и термообработки / Н.Н. Малушин, Д.А. Романов, А.П. Ковалев, Е.А. Будовских, Xi – zhang Chen // Известия вузов. Черная металлургия. – 2020. – Т. 63. – № 9. – С. 707 – 715.
3. Малушин, Н.Н. Эффект кинетической пластичности и его применение при плазменной наплавке теплостойких сплавов с низкотемпературным подогревом [Текст] / Н.Н. Малушин, В.Е. Громов, Д.А. Романов, Л.П. Бащенко, А.П. Ковалев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2021. – Т. 18. – № 2. – С. 180 – 187.
4. Малушин Н.Н. Распределение микротвердости и структуры по слою теплостойкого сплава высокой твердости, сформированного многослойной плазмен-



ной наплавкой в среде азота / Н.Н. Малушин, Д.А. Романов, А.П. Ковалев, Л.П. Башенко, А.П. Семин, В.Е. Громов // Известия вузов. Физика. – 2021. – Т. 64. – № 7. – С. 75 – 80.

5. Малушин Н.Н. Физические основы комплексных технологий упрочнения деталей на базе плазменной наплавки в среде азота / Н.Н. Малушин, В.Е. Громов, Д.А. Романов, Л.П. Башенко, А.П. Ковалев, // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2021. – Т. 18. – № 4. – С. 399 – 407.

6. Малушин, Н.Н. Физическая природа упрочнения теплостойкого металла высокой твердости, сформированного высокотемпературной плазмой в среде азота [Текст] / Н.Н. Малушин, Д.А. Романов // Известия вузов. Черная металлургия. – 2021. – Т. 64. – № 12. – С. 877 – 885.

7. Малушин, Н.Н. Напряженное состояние в наплавленных прокатных валках с высокой твердостью поверхностного слоя, сформированного плазменной наплавкой в среде азота [Текст] / Н.Н. Малушин, Д.А. Романов, А.П. Ковалев, Л.П. Башенко, А.П. Семин // Известия вузов. Физика. – 2021. – Т. 64. – № 12. – С. 11 – 18.

8. Малушин Н.Н. Обеспечение качества деталей металлургического оборудования на всех этапах их жизненного цикла путем применения плазменной наплавки теплостойкими сталями высокой твердости: монография / Н.Н. Малушин, Д.В. Валуев. – Томск: изд. ТПУ, 2013. – 358 с.

На диссертацию и автореферат поступило 13 отзывов. Все отзывы – положительные, отмечена новизна, научная и практическая значимость работы.

*Отзывы без замечаний:* 1) д.т.н., профессора, академика Академии инженерных наук РФ, Заслуженного работника высшей школы РФ, профессора кафедры сопротивления материалов ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» Багмутова Вячеслава Петровича и д.т.н., доцента, заведующего кафедрой сопротивления материалов ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» Захарова Игоря Николаевича; 2) д.ф.-м. н., профессора, профессора кафедры общей и экспериментальной физики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Потекаева Александра Ивановича; 3) д.т.н., доцента, генерального директора ООО «Вест 2002» Райкова Сергея Валентиновича; 4) д.т.н., профессора, главного научного сотрудника управления научно-исследовательской деятельностью ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» Муравьева Василия Илларионовича; 5) д.т.н., профессора, член-корреспондента Национальной академии наук Беларуси, заведующего лабораторией физики металлов ГНУ «Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси» Рубаника Василия Васильевича.

*Отзывы с замечаниями:* 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: Из текста автореферата непонятно как при большом количестве (15 охранных документов на объекты интеллектуальной собственности) 6 из них заявлены в 80-х годах, а опубликованы в 2013 году; 2) д.т.н., профессора, профессора кафедры литейных процессов и материаловедения ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» Емелюшина Алексея Николаевича: 1) в автореферате в разделе «Основные публикации по теме работы» не приведены материалы публикаций апробации работы на научно-технических конференциях; 2) необходимо привести микроструктуры наплавленных слоев до и после высокого отпуска, приводящего к повышению твердости; 3) из автореферата не понятно как может быть проведен «рекристаллизационный отжиг в процессе эксплуатации изделия» (стр.15); 3) д.т.н., профессора, Заслуженного деятеля науки РФ, заведующего кафедрой «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» Муравьева Виталия Васильевича: 1) К сожалению, Малушин Н.Н. не использовал в своей работе метод просвечивающей микроскопии для углубления знаний о структуре полученного наплавленного слоя; 2) Из текста автореферата непонятно как при большом количестве охранных документов на объекты интеллектуальной собственности 6 из них заявлены в 80-х годах, а опубликованы в 2013 году; 4) 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: Восприятие содержания значительно улучшилось бы, если бы были введены дополнительно разделы «Объект исследования» и «Предмет исследования»; 5) д.ф.-м.н. заведующего кафедрой высшей математики, декана общеобразовательного факультета ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет» Старенченко Владимира Александровича и д.ф.-м.н. заведующего кафедрой физики, химии и теоретической механики ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет» Соловьевой Юлии Владимировны: на рисунке 3 следовало бы привести доверительный интервал по оси напряжений; 6) д.т.н., доцента, профессора кафедры материаловедения и технологии обработки материалов Политехнического института ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» Носкова Федора Михайловича: 1) Во второй главе, где приводятся использованное оборудование материалы, не приводятся данных о структурном состоянии исходных наплавляемых компонентах порошковой проволоки. Это важно в свете влияния исходного структурного состояния на структуру после наплавки (есть ли эффект исследования структуры?); 2) В третьей главе исследуется эффект сверхпластичности, выявленный в процессе мартенситного перехода в твердом растворе. Однако представляет интерес вопрос о влиянии формы, размеров и распределения карбидной фазы на это явление, т.к. в исследуемых



теплостойких (быстрорежущих) сталях происходит выделение ледебурита при кристаллизации; 3) В четвертой главе приводятся микроструктуры полученных наплавленных слоев, из которых следует, что карбидная фаза распределяется по границам ячеек аустенита, однако известно, что для стали типа P18 характерно «скелетное» строение с разветвленными дендритами в литом состоянии. Чем объясняется отсутствие «скелетных» карбидов в полученных автором наплавках? 4) Как объяснить, что на рис.8 автореферата заявлены изображения стали P18Ю с явными включениями обогащенных молибденом фаз и отсутствием областей концентрации вольфрама, в то время как указанная сталь вообще не должна содержать молибдена, а в составе карбидной фазы должен содержаться вольфрам. По характеру морфологии карбидов можно предположить, что тут приведены изображения стали подобной молибденсодержащей стали P6M5, но отсутствие вольфрама в карбидах нуждается в пояснении? 7) д.т.н., профессора, главного научного сотрудника ФГУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук» Столярова Владимира Владимировича: 1) Использование термина «сверхпластичность» применительно к процессам наплавки не оправдано, т.к. характерные признаки явления (микроскопические размеры зерен, низкая скорость деформации и самое главное, большая пластическая деформация) в тексте или иллюстрациях отсутствуют; 2) Большое количество охранных документов (15) свидетельствует о практической направленности исследований. Не понятно, почему часть из них заявлено в 80-х годах, опубликовано только 2013 году; 8) 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: К недостатку работы можно отнести следующее: автором показано, что введение азотированного феррохрома и титана в состав шихты увеличивает количество остаточного аустенита и карбонитридной фазы, что увеличивает твердость и износостойкость, однако это направление в диссертационной работе раскрыто недостаточно.

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 металловедения и физики конденсированного состояния, связанных с экспериментальным и теоретическим исследованием различных энергетических воздействий на структуру, фазовый состав и свойства металлических материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

*разработана* научная концепция, раскрывающая физические основы упрочнения теплостойких сплавов высокой твердости, сформированных плазмой в за-

щитно-легирующей среде азота, заключающиеся в формировании мелкозернистой структуры, содержащей твердый раствор  $\alpha$ -железа, карбиды и карбонитриды и создании самоуравновешенных напряжений, препятствующих образованию трещин, пор и дефектов микроструктуры и благоприятном напряженном состоянии.

*предложены* механизмы увеличения твердости и износостойкости теплостойких наплавленных в среде азота сплавов за счет применения комплексной технологии упрочнения, включающей плазменную наплавку в среде азота, высокотемпературный отпуск после наплавки, азотирование, ультразвуковую поверхностную упрочняющую обработку и рекристаллизационный отжиг в процессе эксплуатации изделия.

*доказана* возможность применения эффекта повышенной пластичности (сверхпластичности) и низкотемпературного регулируемого термического цикла наплавки для получения наплавленного металла в закаленном состоянии с низкой склонностью к образованию холодных трещин.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

*доказаны* положения, вносящие вклад в расширение существующих представлений о закономерностях и механизмах образования структурно-фазовых состояний теплостойких сплавов высокой твердости, сформированных при воздействии концентрированных потоков энергии плазмы в среде азота;

*применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)* использованы взаимодополняющие современные методы физики конденсированного состояния и комплексный метод, включающий аналитическую разработку способов наплавки теплостойкими сплавами и экспериментальные исследования методами современного физического материаловедения;

*изложены* механизмы и закономерности формирования структуры и свойств теплостойких сплавов высокой твердости, сформированных плазменной наплавкой в среде азота порошковыми проволоками в зависимости от режимов наплавки и последующей термообработки;

*изучено* влияние режимов плазменной наплавки на обратной полярности нетокующей порошковой проволокой и режимов термообработки, азотирования и ультразвуковой упрочняющей обработки на упрочнение наплавленного слоя и напряженное состояние наплавленных деталей;

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

*разработаны* и реализованы способы многослойной плазменной наплавки теплостойкими сплавами высокой твердости в среде азота, разработаны порошковые проволоки для плазменной наплавки и способы регулирования напряженного состояния в наплавленных деталях на всех этапах их жизненного цикла;

*предложен* комплекс технических решений, позволяющий реализовать разработанные способы многослойной плазменной наплавки и комплексную технологию упрочнения наплавленных деталей;

*представлены* рекомендации по выбору режимов плазменной наплавки тел вращения нетоковедущей порошковой проволокой в защитно-легирующей среде азота на обратной полярности, обеспечивающие высокое качество наплавленного слоя;

*определены* перспективы практического использования комплексных технологий упрочнения наплавленных в среде азота деталей в различных промышленных процессах.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований явились физической основой для разработки новых технических и технологических решений, использование которых на Ленинградском сталепрокатном заводе, заводе «Кулон» НПО «Позитрон», Новосибирском металлургическом заводе, Западно-Сибирском металлургическом комбинате, ООО «Вест 2002» и разрезе «Бунгурский-Северный» обеспечило повышение стойкости наплавленных деталей в 1,5 – 2,0 раза. Общий экономический эффект в ценах 2021 года составил более 80 млн. рублей, вклад автора 40 млн. рублей.

Результаты диссертационной работы используются обучающимися в учебном процессе ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» при подготовке бакалавров, магистрантов и аспирантов по направлениям подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» и 03.06.01 «Физика и астрономия».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:  
*для экспериментальных работ* применялся комплекс стандартных и современных методов физического материаловедения и физики конденсированного состояния; результаты получены на сертифицированном оборудовании и имеют хорошую воспроизводимость;



*теория*, связывающая механизмы и закономерности формирования структуры и свойства теплостойких сплавов высокой твердости, сформированных плазмой в среде азота, построена на основе экспериментальных данных, полученных на сертифицированном оборудовании, ее положения опираются на достижения физики конденсированного состояния и современного физического материаловедения и хорошо согласуются с опубликованными теоретическими положениями и экспериментальными данными других исследователей;

*идея* базируется на классических и современных представлениях о влиянии внешних энергетических воздействий высококонцентрированных источников нагрева на процесс образования структурных состояний 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 сбора и обработки информации с обоснованием выбора объектов изучения и измерения.

Личный вклад соискателя заключается в определении направления и плана всех исследований, представленных в диссертационной работе. Все экспериментальные и теоретические данные были получены лично автором и/или при его непосредственном участии. Соискателем внесен решающий вклад в анализ полученных экспериментальных данных, а также в их представление в научной печати.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: о необходимости более четкого формирования названия диссертационной работы в части применения термина комплексной и промышленной технологии, о необходимости более конкретного определения областей применения комплексной технологии упрочнения (азотирования и ультразвука), о необходимости продолжения исследований методами просвечивающей микроскопии для углубления знаний о структуре полученного наплавленного слоя.

Соискатель Малушин Н.Н. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился с критическими замечаниями, которые будут учтены в дальнейшей работе.

На заседании 20 сентября 2022 г. диссертационный совет принял решение за решение научной проблемы установления физической основы комплексной технологии упрочнения теплостойких сплавов высокой твердости, сформированных плазмой в среде азота, имеющей важное хозяйственное значение, присудить Малушину Н.Н. ученую степень доктора технических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 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 – нет.

Председатель диссертационного совета  
д.т.н., профессор



М.В. Темлянецв

Ученый секретарь диссертационного совета  
д.х.н., профессор

В.Ф. Горюшкин

20.09.2022 г.