

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 31.1.007.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ИМ. И.П. БАРДИНА»,
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 30 сентября 2025 года № 7/25

О присуждении Коновалову Егору Павловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Фазовые и структурные превращения на поверхности нитридных покрытий инструментов для высокоскоростного сухого резания» по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите 29 июля 2025 года (протокол заседания № 5/25) диссертационным советом 31.1.007.01, созданным на базе федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2, приказ о создании диссертационного совета № 673/нк от 18 ноября 2020 года.

Соискатель Коновалов Егор Павлович, «17» января 1997 года рождения.

В 2020 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет» по специальности «28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника» с присуждением квалификации «Магистр», диплом № 107724 4888867. В 2024 году окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА -

Российский технологический университет» по специальности «11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи» с присуждением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь», диплом об окончании аспирантуры № 107732 0048319. Справка № 13-22/12-2025 о сдаче кандидатских экзаменов по иностранному языку (английский) и истории и философии науки выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет» в 2025 году. Справка №5/2025 о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов выдана федеральным государственным унитарным предприятием «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина» в 2025 году.

Работает научным сотрудником в лаборатории физики поверхности Научного центра фундаментальных и экспериментальных исследований федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории физики поверхности Научного центра фундаментальных и экспериментальных исследований федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, Ковалев Анатолий Иванович, федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Научный центр фундаментальных и экспериментальных исследований, директор.

Официальные оппоненты:

Овчинников Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет», кафедра «Материаловедение», заведующий кафедрой

Фёдоров Сергей Вольдемарович – кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», кафедра «Высокоэффективные технологии обработки», доцент дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк в своем положительном отзыве, подписанном Грозовым Виктором Евгеньевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой естественнонаучных дисциплин им. профессора В.М. Финкеля; Мартусевич Еленой Владимировной, кандидатом технических наук, доцентом, ученым секретарем кафедры естественнонаучных дисциплин им. профессора В.М. Финкеля; утвержденным Юрьевым Алексеем Борисовичем, доктором технических наук, профессором, ректором, указала, что диссертация является законченным научным исследованием по актуальному и практически значимому направлению - созданию нового класса износостойких ионно-плазменных покрытий со свойствами адаптации к условиям высокоскоростного сухого резания. Полученные научные и практические результаты вносят весомый вклад в развитие положений металловедения и трибологии. Работа соответствует критериям, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» Постановления правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 с изменениями от 21 апреля 2016 г. № 335, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности, а ее автор Егор Павлович Коновалов заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 13 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 9 работ. Научные публикации посвящены изучению

зависимостей химического состава и структуры покрытий на функциональные свойства режущего инструмента, развитию концепции (самоорганизации) адаптации нитридных покрытий, изучению макро- и микроструктуры покрытий, определению причин радикального изменения физических и тепловых свойств после высокоскоростного сухого резания различных сталей и сплавов, исследованию фазовых и структурных превращений, тонких особенностей атомной и электронной структуры в многослойных покрытиях и трибопленках, физических параметров межатомного взаимодействия на границах раздела. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Общий объем опубликованных статей, в которых отражены основные положения диссертации, составляет 10,51 п.л., а авторский вклад – 2,09 п.л.

Наиболее значимые работы:

1. Fox-Rabinovitch G., Dosbaeva G., Yamamoto K., Paiva J., Kovalev A., **Konovalov E.** et al. «Enhancement of Multi-Scale Self-Organization Processes during Inconel DA 718 Machining through the Optimization of TiAlCrSiN/(TiAlCr)N Bi-Nano-Multilayer Coating Characteristics» // Materials. – 2022. – Т. 15. – № 4. – P. 1329–1344. (1,88 п.л./0,26 п.л.).

2. Kovalev A.I., Vakhrushev V.O., **Konovalov E.P.** et al. «Damage accumulation phenomena in multilayer (TiAlCrSiY)N/(TiAlCr)N, monolayer (TiAlCrSiY)N coatings and silicon upon deformation by cyclic nanoindentation» // Nanomaterials. – 2022. – Т. 12. – № 8. – P. 1312–1320. (1 п.л./0,19 п.л.).

3. Ковалев А.И., Вахрушев В.О., Вайнштейн Д.Л., **Коновалов Е.П.** и др. «Новый уровень развития масс-спектропии вторичных ионов для материаловедения» // Metallurg. – 2022. – № 11. – С. 66–78. (1,5 п.л./0,25 п.л.). (Переводная версия: Kovalev A.I., Vakhrushev V.O., Wainstein D.L., Konovalov E.P. et al. «New Level of Development of Secondary Ion Mass Spectroscopy for Materials Science» // Metallurgist. – 2023. – Т. 66. – № 11. – P. 1412–1429. (2,12 п.л./0,35 п.л.).

4. Kovalev A.I., Vakhrushev V.O., **Konovalov E.P.**, Fox-Rabinovich G.S., Wainstein D.L., Dmitrievskii S.A., Mukhsinova A.D. «Features of the Oxidation of

Multilayer (TiAlCrSiY)N/ (TiAlCr)N Nanolaminated PVD Coating during Temperature Annealing» // Coatings. – 2023. – Т. 13. – № 2. – P. 287–295. (1 п.л./0,22 п.л.).

5. Kovalev A., Wainstein D., **Konovalev E.**, Vakhrushev V., Fox-Rabinovich G., Fox-Rabinovich M., Tomchuk A. et al. «Features of Tribooxidation of the High-Entropy Coating (AlCrZrTiTa)N during Dry High-Speed Cutting» //Coatings. – 2023. – Т. 13. – № 9. – P. 1508– 1516. (1 п.л./0,23 п.л.).

6. Ковалев А.И., Вайнштейн Д.Л., **Коновалов Е.П.** и др. «Термобарьерные и антифрикционные свойства трибокерамик на поверхности режущего инструмента с (TiAlCrSiY)N/(TiAlCr)N покрытием при высокоскоростном сухом резании» // Металлург. – 2024. – № 7. – С. 53–60. (0,88 п.л./0,19 п.л.). (Переводная версия: Kovalev A.I., Wainstein D.L., Konovalev E.P., Vakhrushev V.O., Dmitrievskii S.A., Tomchuk A.A. «Thermobarrier and antifriction properties of triboceramics on the surface of a cutting tool with (TiAlCrSiY)N/(TiAlCr)N coating during high-speed dry cutting» // Metallurgist. – 2024. – № 7. – С. 53–60. (0,88 п.л./0,19 п.л.).

7. Kovalev A.I., Wainstein D.L., **Konovalev E.P.** et al. «The role of interatomic interactions in the tribooxidation and wear of the multilayer Ti_{0.2}Al_{0.55}Cr_{0.2}Si_{0.03}Y_{0.02}N/ Ti_{0.25}Al_{0.65}Cr_{0.1}N coating at severe cutting conditions» // Metallurgist. – 2024. – Т. 68. – № 3. – С. 477–484. (0,88 п.л./0,21 п.л.).

8. Kovalev A.I., Wainstein D.L., **Konovalev E.P.** et al. «Damage Accumulation Phenomena in Multilayer (TiAlCrSiY)N/(TiAlCr)N, Monolayer (TiAlCrSiY)N Coatings and Silicon upon Deformation by Cyclic Nanoindentation» // Nanotechnologies and Nanomaterials: Selected Papers from CCMR—Volume II. – 2024. – С. 28–36. (1 п.л./0,24 п.л.).

9. Ковалев А.И., **Коновалов Е.П.**, Вахрушев В.О., Вайнштейн Д.Л., Дмитриевский С.А. «Износ высокоэнтропийного (НЕС) ионно-плазменного (AlCrZrTiTa)N покрытия при высокоскоростном сухом резании» // Станкоинструмент. – 2025. – Т. 1. – С. 62–68. DOI: 10.22184/2499-9407.2025.38.1.62.68. (0,75 п.л./0,2 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: 5 положительных, из них 4 содержат замечания и пожелания, 1 отзыв – без замечаний. Во всех отзывах

отмечено, что диссертационная работа посвящена актуальной теме повышения износостойкости режущих инструментов и поиску средств модификации поверхности, увеличению их ресурса работы с существенным снижением нагрузки на окружающую среду для усовершенствования различных видов металлообработки.

В диссертационной работе разрабатывается новый класс режущего инструмента, основанный на принципе адаптации износостойких покрытий, которые совершенствуют свои свойства при экстремальных условиях нагружены в виде сухого высокоскоростного резания. Такие защитные покрытия наносятся с применением «чистых» высоких технологий ионно-плазменного напыления многослойных структур с толщиной слоев от десятков до сотни нанометров. Инструменты с такими покрытиями предназначены для высокоскоростного сухого резания без применения смазочно-охлаждающих жидкостей, что существенно повышает производительность металлообработки при радикальном снижении загрязнения окружающей среды. Наилучшим способом повышения свойств металлорежущего инструмента является нанесение на режущую поверхность нитридных покрытий. До настоящего времени в Российской Федерации. Значительная номенклатура режущего инструмента с покрытиями до 70% покрывается импортом. В рамках поставленной цели в работе развиваются научные принципы создания новых композиций тонкопленочных покрытий на основе неравновесных многокомпонентных нитридов и их компоновки в многослойный композит. При этом ставится задача существенного повышения ресурса работы инструментов по сравнению с лучшими импортными образцами приданием покрытиям свойств адаптации к условиям резания. Научная концепция заключается в легировании многокомпонентных нитридов поливалентными элементами, которые в зоне резания при высоких температурах и локальных гигантских нагрузках генерируют пленки трибооксидов, выступающих в роли твердой смазки и теплозащиты. Эти подходы и принципы решения поставленных задач являются весьма актуальными.

Отмечается, что для решения поставленных задач автором применен комплекс современных методов исследования, включая просвечивающую и сканирующую электронную микроскопию, электронную, Рамановскую и масс-спектрометрию вторичных ионов, лабораторные испытания на резание и износ, обеспечило высокую точность, хорошую взаимосвязь и достоверность. Представленные результаты имеют как фундаментальную, так и прикладную ценность. Проведенные исследования структурно-фазового состава и состояния дефектной структуры трибооксидов выполнены на высоком научном уровне и подтверждены современными методами физического материаловедения.

Предложено легирование многокомпонентных нитридов поливалентными элементами с возможностью при окислении формировать широкий спектр оксидов. В работе для теоретически обоснованных составов и структуры покрытий на основе $(\text{TiAlCrSiY})\text{N}$ / $(\text{TiAlCr})\text{N}$, $(\text{TiAlCrSiY})\text{N}$, $(\text{TiAlCrSi})\text{N}$ / WN и высокоэнтропийного (AlCrZrTiTa) глубоко и детально исследовано явление трибоокисления и его роль в повышении антифрикционных и теплозащитных свойств режущего инструмента при механической обработке различных труднообрабатываемых сталей.

Предложенные теоретические подходы подтверждены сложными экспериментами с привлечением самых современных методов исследования и компьютерного моделирования, включая решение задачи теплопереноса, диффузии и квантово-химических расчетов вклада легирующих добавок в свойства сложных нитридов.

Основные научные положения, выводы и рекомендации работы представляются обоснованными и не подлежащими сомнениям.

В отзывах отмечается высокая практическая значимость диссертационной работы Е.П. Коновалова. Диссертация вносит существенный вклад в развитие нанотрибологии, разработку износостойких и термобарьерных покрытий, исследование их структурно-фазовых состояний и свойств при экстремально нагруженных условиях резания.

Замечания, приведенные в отзывах:

1. Блантер Михаил Соломонович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Нанoeлектроника», ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет»:

а) в работе несколько ограничено показана связь между наблюдаемыми осцилляциями фазово-структурных состояний и существующими моделями неравновесной динамики (например, теорией диссипативных структур Пригожина). Более развернутая теоретическая интерпретация и применение математического аппарата усилили бы фундаментальную составляющую работы;

б) следовало бы подробнее рассмотреть возможные обобщения выявленных закономерностей на другие классы покрытий и систем, что расширило бы научный контекст полученных результатов.

2. Головин Игорь Станиславович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры металловедения цветных металлов ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»:

а) автором отмечено, что резкое изменение ширины лунки износа у инструмента классическими нитридными покрытиями приводят к «нежелательным вибрациям и ухудшению качества обрабатываемой поверхности». Однако, в автореферате не приведены данные по измерению вибраций и оценке качества поверхности, что затрудняет их сравнение с изучаемыми покрытиями;

б) в тексте указано, что на поверхности изучаемых нитридных покрытий в процессе резания изменяется коэффициент трения, однако, никаких исследований по его измерению не представлено.

3. Михайлов Алексей Николаевич, кандидат физико-математических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией мемристорной наноэлектроники, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»:

замечаний нет.

4. Наумкин Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несменова Российской академии наук:

а) при подгонке спектров не были соблюдены необходимые условия, относящиеся к характеристическим отношениям $2p_{3/2}/2p_{1/2} = 2/1$, $3d_{5/2}/3d_{3/2} = 3/2$ и $4d_{5/2}/4d_{3/2} = 3/2$ (Рис. 10а, 11б, в, г);

б) на Рис. 10а ширины пиков с энергиями связи 454.0 и 459.2 эВ различаются в пять раз. При этом первый пик описан практически чистой функцией Гаусса, а второй - чистой Лоренца. Энергия связи 454.0 эВ соответствует состоянию Ti^0 , что вызывает вопрос о его происхождении в рассматриваемых условиях. Ни в автореферате, ни в диссертации его появление не обсуждается. На Рис. 10б в области энергий связи около 462 эВ явно проявляется еще один пик, но, почему-то он не рассматривается;

в) почему-то обсуждается образование только оксинитрида хрома, а появление оксинитрида титана игнорируется. Также в текстах отсутствует четкое разграничение между такими понятиями как связь Cr-N, нитрид хрома и оксинитрид хрома - в фотоэлектронных спектрах им будут соответствовать различные энергии связи;

г) на Рис. 10в перепутаны обозначения AlN и Al_2O_3 – из него следует, что в случае Al связь Al-N приводит к большему химическому сдвигу, чем связь Al-O. Пик с энергией связи 117.9 не идентифицирован;

д) химические сдвиги муллита относительно Al_2O_3 на этих рисунках противоположны. По-видимому, это является опечаткой;

е) странным является отсутствие спектров N 1s, которые позволили бы получить важную информацию.

5. Тетельбаум Давид Исаакович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Лаборатории физики и технологии тонких пленок отдела твердотельной электроники и оптоэлектроники Научно-исследовательского физико-технического института (НИФТИ) ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»:

а) в изложении обзорной главы 1 практически не отражено, каким образом основное содержание диссертации связано с современным состоянием разработки

проблем, основанных на указанной выше концепции. В частности, не указано, почему именно Hf и Y были взяты в качестве предмета конкретного моделирования;

б) разделе, касающемся главы 3 сказано: «На рис. 1 видно, что возникновение пленок трибооксидов значительно снижает коэффициент теплопроводности». Между тем, поскольку распространение температурного поля на рис. 1 показано не в пленке, а в обрабатываемом материале, данное утверждение нуждается в некотором пояснении. По-видимому, было целесообразно дополнить приведенный рисунок иллюстрацией, непосредственно показывающей кинетику распространения температурного поля в самих пленках, о которых идет речь, естественно, увеличив масштаб по координате;

г) из текста на с. 19-20 не ясно, что именно иллюстрирует рис. 13. В какой последовательности проводился опыт? Какие операции проводились перед снятием профилей распределения оксидов? Какие были толщины и морфология нанесённых пленок? Не указан размер показанного на рис. 13 кубика;

д) на с. 10 в тексте анализа результатов Главы 4 ошибочно дана ссылка на рис. 2, который демонстрирует электростатическую поляризацию трибооксида. Однако, текст, относящийся к данному рисунку, представлен на странице 13.

Заключение по отзывам:

1. Определены особенности фазово-структурных превращений на поверхности защитных нитридных покрытий для режущего инструмента, работающего в жестких условиях сухого высокоскоростного резания. Проведено исследование износа при резании и показано его преимущество над зарубежными инструментами с широко используемым покрытием при экстремальных условиях эксплуатации.

2. Успешно решены поставленные научные задачи. Результаты имеют важное значение для теоретического и прикладного материаловедения и могут быть использованы на практике для усовершенствования процессов металлообработки различных теплостойких сталей и сплавов.

3. Преимуществом диссертационной работы является комплексный подход к решению поставленных задач; многочисленные эксперименты, посвященные испытанию на резание прототипов защитных покрытий; применение просвечивающей и сканирующей электронных микроскопий; изучение фазово-структурного состояния рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией и времяпролетной масс-спектрометрии вторичных ионов; проведение компьютерных расчетов с целью выбора подходящего химического состава для защитных нитридных покрытий.

4. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных методов физического материаловедения изучения фазово-структурных преобразований на поверхности покрытий.

5. Основные положения и результаты работы достаточно полно освещены в научных публикациях и обсуждены на профильных конференциях, в том числе с международным участием. Автореферат хорошо оформлен, написан компетентным техническим языком, основные научные положения диссертационного исследования подкреплены необходимым иллюстративным материалом.

6. Во всех отзывах отмечается, что диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов и критериям, предъявляемым ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- **Овчинников Виктор Васильевич** – ведущий специалист в области материало- и металловедения, исследования структуры и свойств металлов и сплавов, ионно-плазменных покрытий;

- **Федоров Сергей Вольдемарович** – ведущий специалист в области металловедения, трибологии, функциональных ионно-плазменных покрытий для режущего инструмента;

- **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»** - учебная организация высшего образования, обладающая необходимыми компетенциями, публикациями и специалистами в области физического материаловедения и защитных покрытий, на базе университета действует диссертационный совет по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана концепция легирования и выбора состава нового класса многослойных наноламинатных покрытий из сплавов на основе неравновесных сложных нитридов,

предложен принцип формирования новых химических составов и структуры многослойных покрытий из сплавов на основе неравновесных сложных нитридов в виде однослойного $\text{Ti}_{0.2}\text{Al}_{0.55}\text{Cr}_{0.2}\text{Si}_{0.03}\text{Y}_{0.02}\text{N}$; многослойных $\text{Ti}_{0.2}\text{Al}_{0.55}\text{Cr}_{0.2}\text{Si}_{0.03}\text{Y}_{0.02}\text{N}/\text{Ti}_{0.25}\text{Al}_{0.65}\text{Cr}_{0.1}\text{N}$ и $(\text{TiAl}_{0.55}\text{CrSiY})\text{N}/\text{WN}$ покрытий, и покрытия из сплава на основе высокоэнтропийного нитрида $(\text{AlCrZrTiTa})\text{N}$, формирующих при эксплуатации на своей поверхности защитные трибоструктуры, **доказана** периодичность осцилляций квазиравновесных фазово-структурных состояний в ходе накопления дефектов кристаллического строения в условиях локализованных мегапластических деформаций,

введены основы влияния легирующих добавок в виде Hf и Y на эксплуатационные свойства и на фазово-структурную организацию на поверхности нитридных покрытий.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны особенности физических свойств аморфно-нанокристаллических пленок трибооксидов, близких по составу к Al_2O_3 и $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$: такие как низкий коэффициент теплопроводности и малый коэффициент трения вместе с аномальной сильной электронной поляризацией атомной структуры и присутствия отрицательного электростатического потенциала поверхности пленок. Показано,

что такие свойства благоприятно сказываются на эксплуатационных характеристиках режущего инструмента, увеличивая его время работы в несколько раз по сравнению с серийными аналогами фирмы Oerlikon Balzers,

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы электронной спектроскопии (рентгеновская фотоэлектронная и Оже-спектроскопии), квантово-химические расчеты и метод конечных элементов, времяпролетная масс-спектрометрия вторичных ионов,

изложены новые положения о том, что склонность к окислению нитридных покрытий с микродобавками гафния и иттрия минимальна. Показано, что данные химические элементы являются более инертными по сравнению с хромом и преимущественно участвуют лишь в формировании межатомных связей с металлами в кристаллической решетке нитрида, влияя на механические свойства защитных покрытий,

раскрыты тенденции и предпосылки разработки нового класса износостойких покрытий для высокоэффективного режущего инструмента, работающего в экстремальных условиях сухого высокоскоростного резания,

изучена природа аномального изменения физических и тепловых свойств трибопленок, формирующихся на поверхности нитридных покрытий во время сухого высокоскоростного резания;

проведена модернизация существующих концепций разработки классических защитных покрытий для режущего инструмента, ориентированных на высокие и сверхвысокие показатели твердости.

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

разработаны и внедрены (предложены) новые принципы выбора химического состава и структуры защитных покрытий для режущего инструмента, работающего в экстремальных условиях нагружения без смазочно-охлаждающей жидкости на повышенных скоростях резания,

определены свойства, химический и фазовый составы образующихся на поверхности покрытий трибопленок в виде оксидов Cr_2O_3 , TiO_2 , сапфира Al_2O_3 и муллита $\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2(\text{SiO}_2)$, вносящих основной вклад в улучшение времени работы режущего инструмента,

создана серия прототипов адаптирующихся одно- и многослойных наноламинатных ионно-плазменных покрытий из сплавов на основе неравновесных сложных нитридов с поливалентным элементом в виде вольфрама W и высокоэнтропийного сплава на основе $(\text{AlCrZrTiTa})\text{N}$,

представлена феноменологическая модель самоорганизации (адаптации) наноструктурированных покрытий к условиям резания, демонстрирующая происходящие на поверхности и приповерхностном слое физические процессы структурно-фазовой трансформации нитридных покрытий.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ применялись современные методы исследования микроструктуры, такие как рентгеновская фотоэлектронная и Оже-спектроскопии, времяпролетная масс-спектрометрия вторичных ионов, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия, физических и эксплуатационных свойств, исследования проводились на современном научном оборудовании, обладающим необходимой сертификацией и аттестацией,

теория исследования построена на основных положениях современного металловедения. Основным научным подходом в работе является установление связей между структурным состоянием, уровнем остаточных микронапряжений и склонностью к замедленному хрупкому разрушению высокоуглеродистой рельсовой и колесной стали,

идея базируется на анализе и обобщении собственных экспериментальных данных, опубликованных данных в области структуры и свойств высокоуглеродистой рельсовой и колесной стали и согласуются с основными положениями металловедения, а также подтверждаются результатами успешной реализации технологических решений в промышленных условиях,

использованы методы статистической обработки результатов и современное лицензионное программное обеспечение, большой объем экспериментальных работ, сопоставление полученных результатов с опубликованными данными, комплекс современных методов исследования микроструктуры металла с использованием сканирующей электронной микроскопии, исследование поверхности излома образцов, рентгеноструктурный анализ, а также анализ механических свойств металла, в том числе с записью кривых замедленного хрупкого разрушения,

установлено совпадение результатов исследования, полученных в работе с известными из литературы, результатов лабораторных и промышленных экспериментов и испытаний, показана воспроизводимость и непротиворечивость результатов,

использованы методология и методы исследования, применяемые в металловедении, в частности, комплекс современных методов исследования структуры металла с использованием световой и сканирующей микроскопий, исследования поверхностей разрушения образцов, рентгеноструктурного анализа, а также механических свойств металла.

Личный вклад соискателя состоит в: выполнении анализа литературных данных по теме исследования, выборе методов исследования, проведении основной части экспериментов, обосновании новых химических составов покрытий с использованием Zr, Hf, осуществлении обработки, анализа и интерпретации полученных экспериментальных данных, участии в обсуждениях и написании научных публикаций, популяризации полученных результатов на международных и российских конференциях.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: о причинах постановки изучаемой задачи; о разработанности темы исследования; о методе нанесения покрытий; о структуре, конфигурации и химическом составе нитридных покрытий; об экономической эффективности; об используемом программном обеспечении и достоверности результатов компьютерных расчетов; о целесообразности применения; об использовании

англоязычных терминов; об измерении модуля упругости; о химическом составе покрытий, о марках стали, на которых проводились испытания на резание, об отсутствии данных испытаний покрытия с Hf; о практическом внедрении покрытий, о силе адгезии между слоями и инструментом, о влиянии основы резца.

Соискатель Коновалов Е.П. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию: о причинах постановки задачи по совершенствованию концепции адаптирующихся покрытий; о текущих реалиях и разработанности путей улучшения износостойкости инструмента; об одно- и многослойной конфигурации, аморфно-кристаллической структуре и сложном химическом составе покрытий; об экономической эффективности нитридных покрытий сложного состава, работающих на сверхвысоких скоростях без смазочно-охлаждающих жидкостей; о программном обеспечении для расчета теплостойкости покрытий и квантово-химических расчетов окислительной способности нитрида и их сопоставление с экспериментом; о целесообразности применения разработанных покрытий по сравнению с классическими; об уместности использования англоязычных терминов; об измерении значений модуля упругости; о химическом составе и легирующих компонентах, входящих в состав изучаемых покрытий; о трех марках жаропрочных труднообрабатываемых стали и сплавов, на которых проводили испытания; о причинах отсутствия кривых износа с покрытием с добавкой Hf и целесообразности его введение в состав; о потенциальном практическом внедрении через проект Союзного Государства; о силе межслойной адгезии, о влиянии основы материала резца на функциональные свойства инструмента.

На заседании 30 сентября 2025 года диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, направленной на комплексное изучение взаимосвязи химического и фазового состава с физическими и тепловыми свойствами защитных покрытий на инструментах под влиянием экстремальных воздействий в условиях сухого высокоскоростного резания, присудить Коновалову Е.П. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 14 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель

диссертационного совета

Родионова Ирина Гавриловна

Ученый секретарь

диссертационного совета

Холодный Алексей Андреевич

30 сентября 2025 года

Подпись руки Родионовой И.Г. и Холодного А.А. заверяю:
Ученый секретарь ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»
Москвина Татьяна Павловна

