ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.135.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28.02.2025, № 196

О присуждении Семенчук Наталье Валерьевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Структура и свойства многокомпонентных ионно-плазменных покрытий, нанесенных на поверхность медно-бериллиевого сплава вакуумно-дуговым методом», по специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки), принята к защите 13.12.2024 (протокол № 191) диссертационным советом 24.1.135.02 (ранее Д 003.038.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4; приказ Рособрнадзора о создании диссертационного совета № 1-32 от 18.01.2008; приказ о продлении работы № 2059-2733 от 26.10.2009; приказ о переименовании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012; приказ о внесении изменения в составы советов № 327/нк от 17.09.2019; приказ Минобрнауки России № 1211/нк от 12 октября 2022 г. «О возобновлении деятельности совета».

Соискатель Семенчук Наталья Валерьевна (до брака Терюкалова), 06.04.1997 г. рождения, в 2020 году окончила магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов. В период с 1 октября 2020 года по 30 сентября 2024 года обучалась в очной аспирантуре Института физики прочности и материаловедения СО РАН по направлению подготовки 22.06.01 Технологии материалов по специальности 05.16.09 Материаловедение (машиностроение). Диплом об окончании аспирантуры выдан отделом аспирантуры ИФПМ СО РАН 12.07.2024 (107024 1466842, регистрационный № 31). Диссертационная работа выполнена в лаборатории физики упрочнения поверхности (ЛФУП)

ИФПМ СО РАН. В настоящее время Семенчук Н.В. работает в должности младшего научного сотрудника ЛФУП ИФПМ СО РАН.

Научный руководитель – **Колубаев Александр Викторович**, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник ЛФУП ИФПМ СО РАН (скончался 22.08.2024).

Официальные оппоненты: **Гренадёров Александр Сергеевич** – доктор технических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук; **Сыртанов Максим Сергеевич** – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории перспективных материалов и обеспечения безопасности водородных энергосистем Инженерной школы ядерных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» - дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук** (ИМАШ УрО РАН), г. Екатеринбург, в своем положительном отзыве, подписанном кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, заведующим сектором новых материалов и технологий, заместителем директора по научной работе ИМАШ УрО РАН **Каманцевым Иваном Сергеевичем** и утвержденном директором ИМАШ УрО РАН, доктором технических наук **Швейкиным Владимиром Павловичем**, указала, что диссертационная работа выполнена на актуальную тему, результаты имеют научную новизну, достоверность результатов и выводов вполне обоснована; подчеркнула теоретическую и практическую значимость результатов; проанализировала структуру и содержание работы и подтвердила соответствие автореферата тексту диссертации; сделала замечания, не снижающие общую положительную оценку основных результатов работы и имеющие дискуссионный характер; указала, что диссертация соответствует всем требованиям ВАК РФ (п. II.9 Положения о присуждении ученых степеней) и является законченным научным исследованием, результаты которого могут быть применены для упрочнения поверхностей деталей токосъемных колец, изготовленных из сплава БрБ2, в узлах космической техники.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются признанными специалистами в области материаловедения, имеют публикации, близкие к теме диссертационной работы, являются сотрудниками

различных организаций и не имеют совместных публикаций с соискателем. Ведущая организация известна своими научными достижениями в области материаловедения. Соискатель и научный руководитель соискателя не работают в данной организации и не являются участниками научно-исследовательских работ, ведущихся в организации.

Основное содержание диссертационной работы изложено в 5 научных публикациях, посвященных исследованию структур и свойств твердых ионно-плазменных покрытий, нанесенных на бериллиевую бронзу, а также изучению трибологического поведения бериллиевой бронзы в разных структурных состояниях (2 – в рецензируемых изданиях из перечня ВАК, 3 – в изданиях, включенных в библиографические базы цитирования Web of Science и Scopus).

Наиболее значимые работы:

1) Колубаев А. В. и др. Многофазные покрытия Cu-Ti, нанесенные плазменным вакуумно-дуговым напылением на Cu-Be сплав C17200 /А.В. Колубаев, О.В. Сизова, Ю.А. Денисова, А.А. Леонов, **Н.В. Терюкалова,** А.В. Белый //Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2020. – Т. 22. – №. 4. – С. 137−150. В статье приводится оценка фазового состава и трибологических свойств сплавов CuBe, модифицированных плазменно-активированными PVD-покрытиями на основе титана, с последующей разработкой эффективной технологии поверхностного инжиниринга и улучшения механических свойств сплавов CuBe.

2) Kolubaev A. V. et al. Wear of Quenched and Aged Cu–Be Alloy at Current Transfer /A.V. Kolubaev, O.V. Sizova, **N.V. Teryukalova**, Yu.A. Denisova //Journal of Friction and Wear. – 2020. – Т. 41. – С. 559−564. В работе приведены результаты исследования процесса трения скольжения на закаленных и состаренных образцах бериллиевой бронзы C17200 с пропусканием тока через фрикционный контакт и без него. Показано, что закаленные образцы подвергаются коррозионно-механическому износу за счет окисления поверхности трения с последующим выделением частиц износа в виде ультрадисперсных оксидов.

3) Колубаев А. В. и др. Структура и свойства многослойных покрытий CrN/TiN на меди и медно-бериллиевом сплаве, нанесенных методом вакуумно-дугового плазменно-ассистированного осаждения. /А.В. Колубаев, О.В. Сизова, Ю.А. Денисова, А.А. Леонов, **Н.В. Терюкалова,** О.С. Новицкая, А.В. Белый //Физическая мезомеханика. – 2022. – Т. 25, № 2. – С. 35−46. Статья посвящена исследованию структуры и трибологических свойств многослойных нанокомпозитных покрытий состава CrN/TiN, нанесенных на медь и медно-бериллиевый сплав C17200 вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом в газометаллической плазме разрядов низкого

давления.

4) Semenchuk N. V. et al. Structure and Properties of Multilayer CrN/TiN Coatings Obtained by Vacuum-Arc Plasma-Assisted Deposition on Copper and Beryllium Bronze /**N.V. Semenchuk,** A.V. Kolubaev, O.V. Sizova, Yu.A. Denisova, A.A. Leonov //Russian Physics Journal. – 2023. – Т. 66. – №. 10. – С. 1077−1086. Статья посвящена анализу структура и свойства многослойных покрытий, состоящих из чередующихся слоев CrN/TiN на меди С11000 и состаренном сплаве С17200.

5) Sizova O. V. et al. The effect of microstructure on a beryllium bronze wear / O.V. Sizova, A. V. Kolubaev, A.V. Filippov, **N.V. Teryukalova,** Y.A. Denisova //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2019. – Т. 2167. – №. 1. В статье приведены трибологические характеристики бериллиевой меди в зависимости от ее структурного состояния по схеме «штифт-диск» в условиях сухого трения скольжения.

На автореферат диссертации прислали положительные отзывы с замечаниями: доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии и геохимии **Лычагин Д.В.** (ФГАОУ ВО НИ ТГУ, г. Томск) с замечаниями об излишне подробном описании методик и конкретных цифр измерения твердости, о низкой читабельности рисунков 3 и 6, о наличии разрыва перехода в месте контакта с подложкой; доктор физико-математических наук, профессор, начальник Центра структурных исследований и трибо-механических испытаний материалов и изделий машиностроения **Кукареко В.А.** (Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск) с замечаниями об отсутствии ясности в причинах пониженной износостойкости состаренной бронзы и отсутствии библиографических сведений в работе 5 списка публикаций; доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Физико-химические технологии и функциональные материалы» **Батаев И.А.** (ФГБОУ НГТУ, г. Новосибирск) с вопросами об отсутствии данных о составе оксидов между подложкой и TiN и проведении триботехнических испытаний покрытий; доктор технических наук, профессор, профессор кафедры материаловедения в машиностроении **Буров В.Г.** (ФГБОУ НГТУ, г. Новосибирск) с замечанием о названии образца подложкой; доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии машиностроения» **Смирнов А.Н.** (ФГБОУ ВО КузГТУ, г. Кемерово) с замечанием об отсутствие логического перехода между смежными областями; доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией перспективных материалов и обеспечения безопасности водородных энергосистем **Кашкаров Е.Б.** (ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск) с замечаниями

о низком качестве отдельных рисунков и отсутствии средних значений коэффициента трения; доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности **Коновалов С.В.** и младший научный сотрудник управления научных исследований **Шуберт А.В.** (ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк) с замечаниями и рекомендациями о необходимости проведения анализа влияния температуры при трении и длинном, перегруженном описании рисунков; доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологии машиностроения» **Рамазанов К.Н.** (ФГБОУ ВО УУНиТ, г. Уфа) с замечаниями о размере шрифта на рисунках и отсутствии режимов нанесения покрытий и состава газовой смеси; доктор технических наук, заведующий лабораторией нанотехнологий металлургии **Жуков И.А.** и младший научный сотрудник лаборатории нанотехнологий металлургии **Ткачев Д.А.** (ФГАОУ ВО НИ ТГУ, г. Томск) с замечаниями о корректности индентирования различных типов покрытий с одинаковой нагрузкой и отсутствии конкретных значений в выводах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: ***разработаны*** научно-обоснованные рекомендации по модификации и упрочнению поверхности пластичных материалов, включая медные сплавы, посредством нанесения функциональных ионно-плазменных покрытий, обеспечивающих повышение их эксплуатационных характеристик за счет формирования адгезионно-прочных слоев с улучшенными трибологическими и механическими свойствами; ***предложена и реализована*** идея эффективности неоднородности структуры покрытий, получаемых путем создания разных по фазовому составу слоев, для погашения упругих возбуждений, возникающих в процессе трения; ***установлено***, что многослойная архитектура покрытий с чередующимися слоями CrN и TiN на сплаве БрБ2 обеспечивает высокую адгезионную прочность, твёрдость и износостойкость; ***доказано***, что повышение адгезионной прочности покрытий из TiN и CrN достигается путём нанесения подслоя Cu-Ti и приводит к повышению износостойкости, в том числе в условиях пропускания электрического тока; новые понятия и термины ***не вводились***.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что: ***доказаны*** положения, вносящие вклад в расширение представлений о модификации и упрочнении поверхности пластичных материалов, включая медные сплавы, посредством нанесения функциональных ионно-плазменных покрытий; ***применительно к проблематике диссертации результативно использован*** комплекс современных экспериментальных методик, позволяющих рекомендовать оптимальную толщину, состав и комбинацию

свойств покрытий, полученных вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом, для работы в условиях трения; ***изложены*** доказательства того, что повышение адгезионной прочности покрытий из TiN и CrN достигается путём нанесения подслоя Cu-Ti и приводит к повышению износостойкости медного сплава, в том числе в условиях пропускания электрического тока; ***раскрыты*** перспективы применения ионно-плазменных технологий для синтеза износостойких покрытий на поверхности бериллиевой бронзы; ***изучено*** влияние наличия промежуточного слоя между покрытием и подложкой на адгезионную прочность и износостойкость, в том числе в условиях пропускания электрического тока.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: ***определены*** параметры и режимы нанесения покрытий, получаемых вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом, обеспечивающие удовлетворительную величину контактной электропроводности при наложении электрического тока плотностью более 100 А/см²; ***созданы*** предпосылки для практического применения полученных ионно-плазменных покрытий, обладающих низким коэффициентом трения и высокой адгезионной прочностью для повышения износостойкости контактных колец в токосъемных устройствах, изготовленных из бериллиевой бронзы; ***результаты*** проведенных исследований были использованы в ООО «Пучково-плазменные технологии» для анализа и оценки перспектив внедрения технологии плазменно-ассистированного вакуумно-дугового нанесения покрытий на основе нитридов титана и хрома с целью упрочнения поверхности деталей токосъемных колец, используемых в узлах космической техники; ***внедрение*** технологии в производство не осуществлялось.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: результаты работы получены с использованием современных методов экспериментальных исследований и современного сертифицированного оборудования; ***теория*** построена на воспроизводимых научных экспериментальных данных; ***идея базируется*** на анализе и обобщении данных современных литературных источников, посвященных исследованиям повышения износостойкости меди и медных сплавов путем нанесения покрытий; ***использовано*** сравнение результатов, полученных в диссертационной работе, с результатами других авторов по тематике диссертации; ***установлено*** качественное соответствие основных авторских результатов с результатами, приведенными в других источниках по тематике диссертации; ***использованы*** проверенные современные методы статистического анализа и обработки экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя заключается в совместной с научным руководителем постановке цели и задач исследования, в подготовке образцов для проведения структурных и триботехнических исследований, проведении испытаний и анализе полученных результатов, написании статей по теме диссертации, формулировке основных положений и выводов диссертационной работы.

В ходе защиты были высказаны критические замечания о важности оценки механических свойств подложки, влияния состаривания бронзы и необходимости большей детализации конструкции экспериментальной установки.

На заседании 14.02.2025 диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи по разработке твёрдых ионно-плазменных покрытий для эффективного повышения трибологических свойств бериллиевой бронзы путём применения последних достижений науки в области физических методов исследований и испытаний, внедрение которой имеет существенное значение для создания деталей узлов трения в токосъёмных устройствах с повышенными эксплуатационными характеристиками — присудить Семенчук Наталье Валерьевне учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет, в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвующих в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета (дополнительные члены совета не вводились) проголосовали: «за» – 15, «против» – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета Буякова С.П.

Ученый секретарь
диссертационного совета Бакина О.В.

«28» февраля 2025 г.