

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО
«Сибирский государственный
индустриальный университет»,
доктор технических наук,
профессор
Юрьев Алексей Борисович



« 08 » 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет» на диссертационную работу Коновалова Егора Павловича «Фазовые и структурные превращения на поверхности нитридных покрытий инструментов для высокоскоростного сухого резания», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы диссертации

Мировая тенденция в разработке износостойких режущих инструментов для изготовления изделий из трудно обрабатываемых высокопрочных, жаропрочных, вязких металлов, сталей и сплавов направлена на поиск средств модификации их поверхности, увеличения ресурса работы с требованием существенного снижения нагрузки на окружающую среду. Диссертация объединяет все эти цели. В ней разрабатывается новый тип адаптирующихся износостойких покрытий, которые улучшают свои свойства при экстремальных нагрузках. 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.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Научная основа диссертационной работы направлена на изучение фазовых и структурных превращений на поверхности покрытий и в пленках этих трибооксидов в зоне резания. Исследование таких тонкопленочных объектов в микрообъемах требует знаний на стыке многих научных направлений и привлечения новейших методов исследования, многие из которых даже в современном металловедении редко используются. Различные методы электронной микроскопии, электронной спектроскопии и времяпролетной масс спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния (Рамановской спектроскопии) эффективно применялись в данной работе, что позволило автору получить уникальные сведения о периодическом изменении химического и фазового состава защитных пленок трибооксидов, их повторяющейся аморфизации и рекристаллизации в ходе износа режущего инструмента при резании, обеспечивая адаптацию инструмента к износу при экстремальных условиях резания. Такие глубокие и комплексные исследования фазово-структурных превращений в зоне резания являются новыми. Они проведены на высоком мировом уровне и позволяют расширить представления в области нанотрибологии.

Для выбора системы и принципов легирования износостойких покрытий на основе многокомпонентных неравновесных нитридов Е.П. Коновалов применил компьютерное моделирование их электронной структуры. Квантово-химические

расчеты, которые обычно используются в квантовой химии органических и неорганических соединений, в данной диссертации позволили охарактеризовать роль Cr, Al, Si и Ti в качестве активных оксидообразующих элементов, а Hf и Y, как элементов пластифицирующих твердый ковалентный нитрид. Подобные компьютерные расчеты позволили автору объяснить антифрикционные свойства оксидных пленок Муллита, который возникает при резании на поверхности разработанных покрытий на основе (TiAlCrSiY)N. Установлено, что такие пленки являются твердой смазкой благодаря сильной электростатической поляризации их атомной структуры. Для объяснения термобарьерных свойств пленок трибооксидов, которые возникают при износе покрытий, Е.П. Коновалов применил компьютерное моделирование теплопередачи в зоне резания. Полученные результаты машинного моделирования являются уникальными и новыми применительно к проблемам износа при резании и разработки составов новых твердых защитных покрытий.

Структура и содержание диссертации

Построение диссертационной работы традиционно: имеется достаточно полный литературный обзор, который заканчивается постановкой задач и цели работы. Целью работы являлось 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. Используемые в работе методики исследования описаны достаточно подробно.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности

Рецензируемая диссертация полностью соответствует специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Соответствие автореферата диссертации её содержанию

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Степень обоснованности и достоверности полученных результатов

Степень достоверности полученных исследований доказана хорошей корреляцией расчетов с полученными экспериментальными результатами, включая сложные и кропотливые исследования износа одно- и многослойных покрытий на

основе сложных нитридов и высокоэнтропийного сплава при резании жаропрочного сплава и штамповой стали.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов

Безусловно представленное диссертационное исследование содержит новые знания, отличается междисциплинарным подходом и развивает представления, которые сложились в области металловедения, физики, химии, термодинамики неравновесных процессов применительно к проблеме износа, как крайне неравновесного явления.

Полученные результаты имеют большую практическую значимость. Выдвинутые и подтвержденные в диссертации новые научные положения формулируют принципы создания адаптирующихся износостойких покрытий на режущих инструментах. Нитридные покрытия, содержащие в составе поливалентные элементы при износе динамически формируют множество различных трибооксидов (трибокерамик), которые в ходе естественного отбора на различных этапах резания (начиная со стадии приработки) выполняют протекторную роль. В зоне резания они благоприятно изменяют фрикционные условия и теплопередачу, выступая в качестве твердой смазки и теплового барьера, рассеивая подводимую энергию в стружку. Диссертация направлена на разработку покрытий в определенном сегменте металлообработки: для сухого высокоскоростного резания (более 500 м/мин), который составляет 20% от всего объема металлообработки. Это очень значимый объем. Покрытия предназначены для экстремальных условий резания труднообрабатываемых материалов обеспечивая лучшее качество поверхности и более жесткие допуски на обрабатываемые детали. Многие операции крупные металлообрабатывающие компании, в первую очередь японские и южнокорейские, выполняют без применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Результаты, полученные в диссертационной работе Е.П. Конвалова, имеют весьма высокую практическую перспективу.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе при исследовании износа покрытия на основе высокоэнтропийного нитрида применяется метод Рамановской спектроскопии. Это метод наиболее

широко используется при анализе органических соединений, для которых существует обширные и выверенные базы данных. Для анализа неорганических соединений метод применяется ограниченно. Автор не указывает, на основании каких данных интерпретировались полученные экспериментальные результаты.

2. Автор неоднократно применяет термин адаптация покрытий при описании их трибоокисления. Для обоснования этого термина при формулировке задач работы по «созданию прототипов адаптирующихся покрытий» требуется детальное объяснение. Действительно, в работе обнаружено, что на установившейся стадии резания атомно-кристаллическая структура как покрытия, так и пленок трибооксидов претерпевает повторяющуюся аморфизацию и кристаллизацию. Действительно эти фазовые и структурные превращения в покрытиях и продуктах износа в зоне резания при экстремальных температурно-силовых воздействиях на режущий инструмент по своей феноменологии отражают переход открытой термодинамической системы в крайне неравновесное состояние, при котором возможна самоорганизация (адаптация) или деградация с разрушением. Также установлено, что для разработанных покрытий продукты их износа радикально изменяют фрикционные условия и теплопередачу в зоне резания. Однако автор не анализирует эти явления как рассеяние энергии по различным каналам с позиций термодинамики неравновесных процессов. Автор не привлекает соответствующий математический аппарат термодинамики неравновесных процессов. Это позволило бы автору подтвердить правомерность применения термина «адаптирующиеся» в отношении покрытий и предсказать в дальнейшем ресурс разрабатываемых покрытий при различных условиях эксплуатации.

3. Очень важные данные по износу разработанных однослойных, многослойных покрытий на основе сложного нестехиометрического нитрида $(\text{TiAlCrSiY})\text{N}$ и высокоэнтропийного $(\text{AlCrZrTiTa})\text{N}$ представлены на графиках без указания доверительного интервала, что несколько затрудняет сопоставление преимуществ того или иного покрытия.

4. В диссертации на страницах 24 и 87 имеются грамматические ошибки.

Общая характеристика работы

Представленные недостатки не умаляют высокие научный и методический уровни выполнения работы. Диссертационная работа посвящена актуальному и практически значимому вопросу создания научных принципов разработки нового класса износостойких покрытий на режущем инструменте со свойствами, превосходящими мировой уровень в данном сегменте металлообработки. Особенно следует отметить высокий мировой методический уровень работы по широкому спектру исследований тонкопленочных объектов толщиной в нанометры. Поставленные цели и задачи выполнены в полном объеме.

Результаты диссертации опубликованы в 9 статьях в рецензируемых российских и международных научных изданиях, входящих в перечень ВАК, Web of Science и Scopus с высокими индексами цитирования Q1 и Q2. Представлены на 4-х конференциях высокого уровня с международным участием.

Заключение

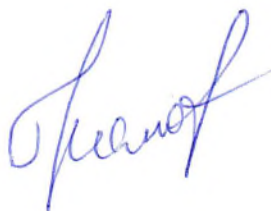
Диссертация Егора Павловича Коновалова является законченным научным исследованием по актуальному и практически значимому направлению – созданию нового класса износостойких ионно-плазменных покрытий со свойствами адаптации к условиям высокоскоростного сухого резания. Полученные научные и практические результаты вносят весомый вклад в развитие положений металловедения и трибологии. Работа имеет хорошую апробацию в виде представлений на различных специализированных конференциях по проблемам металловедения и термообработки и публикациях в научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Работа соответствует критериям, установленным в п. 9 «Положения о присуждении ученых 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. Она является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача установления взаимосвязи химического и фазового состава с физическими и тепловыми свойствами защитных покрытий на инструментах под влиянием экстремальных воздействий в условиях сухого высокоскоростного резания. 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.

Заключение рассмотрено на заседании кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля 28.08.2025 (Протокол № 1).

Заведующий кафедрой
естественнонаучных дисциплин им.
профессора В.М. Финкеля, доктор
физико-математических наук
(специальность 01.04.07 – Физика
конденсированного состояния),
профессор
Тел.: (3843) 46-22-77
e-mail: gromov@physics.sibsiu.ru



Громов Виктор
Евгеньевич

Ученый секретарь кафедры
естественнонаучных дисциплин им.
профессора В.М. Финкеля, кандидат
технических наук (специальность
01.04.07 – Физика
конденсированного состояния),
доцент



Мартусевич Елена
Владимировна

Подписи В.Е. Громова и
Е.В. Мартусевич удостоверяю
Начальник отдела кадров СибГИУ



Миронова
Татьяна Анатольевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет» (СибГИУ)

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42

E-mail: rector@sibsiu.ru; Тел.: +7 (3843) 77-79-79, Факс: +7(3843) 46-57-92