

ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу

**Касымбаева Алексея Валерьевича на тему « Исследование микроструктуры и трибо-механических свойств многокомпонентных нитридных покрытий», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности
«8D05301 – Техническая физика»**

№п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	<p>1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:</p> <p>1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</p> <p>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</p> <p>3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)</p>	<p>Диссертационное исследование соответствует приоритетному направлению «Научные исследования в области естественных наук»</p> <p>Часть работы выполнена в НАО «ВКТУ им. Д.Серикбаева» в рамках проекта Комитета науки Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан на грантовое финансирование фундаментальных и прикладных научных исследований молодых ученых-постдокторантов по проекту «Жас ғалым» на 2024-2026 гг. «Новые высокотвердые, коррозионно- и износостойкие многослойные покрытия TiAlN/Si» ИРН «AP22684071» ,</p> <p>а также программы целевого финансирования «BR24992854 Разработка и реализация конкурентоспособных научно-обоснованных технологий для обеспечения устойчивого развития горно-металлургической отрасли Восточно-Казахстанской области»</p>
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта	Работа вносит существенный вклад в науку, так как исследует влияние второго слоя на свойства многослойных покрытий на основе нитрида вольфрама (WN), что является актуальной задачей в физике твердого тела. Полученные результаты открывают новые

			возможности для создания покрытий с улучшенными механическими и трибологическими характеристиками, что имеет важное значение для промышленных применений в условиях высоких температур и нагрузок. Важность работы хорошо раскрыта через систематическое исследование микроструктуры и свойств покрытий, подкрепленное экспериментальными данными.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий ; 2) Средний; 3) Низкий; 4) Самостоятельности нет	Касымбаев Алексей Валерьевич продемонстрировал высокий уровень самостоятельности в своей работе, что подтверждается его непосредственным участием в проведении ключевых экспериментов по синтезу покрытий и трибологическим испытаниям, активной ролью в анализе и интерпретации данных рентгеновской дифракции и механических свойств, личным вкладом в написание и редактирование текстов научных статей, а также участием в планировании экспериментов и представлении результатов на научных конференциях, что в совокупности демонстрирует его полную авторскую и исполнительскую самостоятельность на всех этапах исследования.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована ; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована	Актуальность диссертационного исследования является обоснованной. В работе четко обозначены фундаментальные проблемы в области физики поверхности, связанные с управлением структурой и свойствами твердых тел на наноуровне в неравновесных условиях, а также дефицит знаний о физических механизмах фазообразования и релаксации напряжений в сложных многокомпонентных системах. Потребность в решении этих проблем аргументирована необходимостью создания научной основы для новых плазменных технологий и соответствием приоритетам развития физико-технических наук и задачам импортозамещения, что в полной мере подтверждает своевременность и востребованность проводимого исследования.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) Отражает ; 2) Частично отражает;	Все разделы аннотации — цели, задачи, методы, объект, предмет и полученные результаты — последовательно и логично раскрывают тему исследования микроструктуры и трибо-механических свойств многокомпонентных нитридных покрытий, синтезированных

		3) Не отражает	методами ионно-плазменного осаждения, без отклонений от заявленного научного направления.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) соответствуют; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют	Цель и задачи исследования полностью соответствуют теме диссертации. Цель работы заключается в изучении влияния второго нанослоя на структуру и свойства композитных покрытий WN/MeN, что непосредственно связано с темой исследования. Задачи работы, такие как синтез многослойных покрытий, анализ их микроструктуры, фазового состава, механических и трибологических свойств, а также оптимизация условий осаждения, четко направлены на достижение этой цели и отражают все ключевые аспекты темы диссертации.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) полностью взаимосвязаны; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует	Все разделы и положения диссертационного исследования, полностью логически взаимосвязаны. Чётко прослеживается единая сквозная цепь исследования: от актуальности и фундаментальных вопросов к цели и задачам, которые решаются с помощью комплекса методов; полученные результаты по установлению взаимосвязей «параметры осаждения – структура – свойства» напрямую вытекают из поставленных задач и подтверждают выносимые на защиту положения, что в совокупности демонстрирует целостность и стройную логику всей работы.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) критический анализ есть; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов	Предложенные автором новые решения аргументированы и подкреплены критическим анализом по сравнению с известными решениями. Автор не просто цитирует литературу, а проводит сравнительное исследование нескольких многослойных систем (WN/ZrN, WN/CrN, WN/MoN, WN/NbN) в идентичных условиях, что является прямым инструментом критического анализа и сравнения. Ключевые выводы о превосходстве системы WN/NbN, синергетическом эффекте её нанокompозитной структуры, оптимальной толщине для покрытий TiAl(Si)N и влиянии потенциала смещения основаны на собственных экспериментальных данных и их интерпретации, что демонстрирует глубокую аргументацию новых решений, а не простое заимствование чужих результатов.

5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Научные результаты и положения являются новыми. Впервые исследованы многослойные покрытия WN/MeN (где Me = Zr, Cr, Mo, Nb), полученные методом катодно-дугового осаждения (CA-PVD). Автор провел расчеты из первых принципов для кубических фаз $WN_{1-y}N_{1-x}$, что обеспечило новое понимание микроструктурных и трибомеханических характеристик покрытий. Также были выявлены новые данные о влиянии второго слоя на структуру и свойства многослойных систем, что является значительным вкладом в физику твердого тела и впервые представлено в данной работе.</p>
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Да, выводы являются новыми. Впервые установлено влияние второго слоя (Me = Zr, Cr, Mo, Nb) на микроструктуру, механические и трибологические свойства многослойных покрытий на основе WN, синтезированных методом катодно-дугового осаждения. Автор показал, что выбор второго слоя может значительно улучшить такие характеристики, как твердость, устойчивость к износу и тепловая стабильность покрытий. Также были проведены новые расчеты для определения стабильных структур WN и выявлена их связь с трибомеханическими свойствами, что делает выводы диссертации оригинальными и новаторскими.</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Технические и технологические решения, являются новыми и обоснованными. Автор впервые применил метод катодно-дугового осаждения (CA-PVD) для синтеза многослойных покрытий WN/MeN и продемонстрировал его преимущества по сравнению с традиционными методами, такими как магнетронное распыление. Это решение обеспечило получение покрытий с улучшенными механическими и трибологическими характеристиками, что является существенным технологическим достижением. Экономические и управленческие аспекты работы напрямую не рассматриваются, однако предложенные технологические улучшения могут способствовать снижению затрат за счет увеличения срока службы инструментов и оборудования, что делает эти решения обоснованными с точки зрения их практической применимости.</p>

6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)	Все основные выводы основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах и хорошо обоснованы. Автор применил современные методы анализа, такие как рентгеновская дифракция, растровая электронная микроскопия и наноиндентация, что позволяет объективно оценить микроструктуру, фазовый состав и механические свойства многослойных покрытий WN/MeN. Выводы подтверждаются результатами экспериментальных данных, сравнения с известными научными работами и расчетами из первых принципов, что делает их научно обоснованными и надежными.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) доказано;</p> <p>2) скорее доказано;</p> <p>3) скорее не доказано;</p> <p>4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>1) да;</p> <p>2) нет</p> <p>7.3 Является ли новым?</p> <p>1) да</p> <p>2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>1) узкий;</p> <p>2) средний;</p> <p>3) <u>широкий</u></p> <p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) да</p> <p>2) нет</p>	<p>№ 1 Исследованы многослойные покрытия WN/MeN (Me = Cr, Zr, Mo, Nb), полученные методом катодно-дугового физического осаждения (CA-PVD). Установлено, что система WN/NbN имеет более низкий показатель скорости износа покрытия ($1.7 \times 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$) по сравнению с системами WN/ZrN, WN/Cr, WN/MoN и превосходит их в ~200, 6.5 и 5 раз, соответственно</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) доказано;</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>2) нет</p> <p>7.3 Является ли новым?</p> <p>1) да</p> <p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>3) широкий</p> <p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) да</p> <p>№2 Выявлено, что увеличение потенциала смещения до -200В приводит к увеличению размера зерен фаз β-W₂N, ϵ-NbN, δ-NbN, а также уменьшению остаточного напряжения покрытий WN/NbN</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) доказано;</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>2) нет</p>

			<p>7.3 Является ли новым? 1) да</p> <p>7.4 Уровень для применения: 3) широкий</p> <p>7.5 Доказано ли в статье? 1) да</p> <p>№ 3 Определено, что увеличение толщины покрытия с градиентным составом TiAl(Si)N до 600 нм имеет влияние на их микроструктуру и увеличивает твердость покрытия до 38 ГПа.</p> <p>7.1 Доказано ли положение? 1) доказано;</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 2) нет</p> <p>7.3 Является ли новым? 1) да</p> <p>7.4 Уровень для применения: 3) широкий</p> <p>7.5 Доказано ли в статье? 1) да</p>
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) да 2) нет</p>	<p>Выбор методологии в диссертации обоснован и подробно описан. Автор использовал метод катодно-дугового осаждения (CA-PVD) для синтеза многослойных покрытий, что оправдано целью работы — исследованием влияния второго слоя на свойства покрытий. Для анализа микроструктуры, фазового состава и механических свойств были применены современные и надежные методы, такие как рентгеновская дифракция (XRD), растровая электронная микроскопия (РЭМ) и наноиндентация, что позволяет всесторонне изучить исследуемые материалы. Описание экспериментальных методик включает детали о параметрах осаждения, используемом оборудовании и условиях проведения экспериментов, что делает методологию исследования хорошо обоснованной и прозрачной.</p>

		<p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:</p> <p>1) Да 2) нет</p>	<p>Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и передовых методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий. Автор применил такие современные методы, как рентгеновская дифракция (XRD) для фазового анализа, растровая электронная микроскопия (РЭМ) для изучения микроструктуры, наноиндентация для оценки механических свойств, а также использовал компьютерные расчеты из первых принципов (DFT) для моделирования кубических фаз WN/MeN. Это подтверждает, что работа основана на актуальных научных подходах, а данные были обработаны с применением компьютерных технологий, что повышает точность и достоверность полученных результатов.</p>
		<p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):</p> <p>1) да 2) нет</p>	<p>Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности в диссертации доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием. Автор разработал теоретические модели на основе расчетов из первых принципов (DFT) для изучения кубических фаз WN/MeN и их влияния на свойства покрытий. Эти модели были сопоставлены с результатами экспериментальных исследований, таких как рентгеновская дифракция, растровая электронная микроскопия и наноиндентация. Экспериментально полученные данные, подтверждающие влияние второго слоя на микроструктуру, твердость и износостойкость покрытий, полностью согласуются с теоретическими предсказаниями, что свидетельствует о надежности и научной обоснованности выводов.</p>
		<p>8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу</p>	<p>Важные утверждения в диссертации подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу. Автор использовал широкий спектр современных источников, включая публикации в международных рецензируемых журналах, таких как базы данных Scopus и Web of Science. Это подтверждается ссылками на работы, относящиеся к исследованиям в области многослойных покрытий и нитридов переходных металлов. Приведенные в работе примеры и результаты опираются на научные исследования, что делает</p>

			утверждения обоснованными и подкрепленными ссылками на соответствующую литературу.
		8.5 Используемые источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора	Используемые источники литературы в диссертации достаточны для проведения полноценного литературного обзора. Автор включает 211 наименований источников, охватывающих как классические работы, так и современные исследования, опубликованные в рецензируемых научных журналах. Обзор охватывает различные аспекты, включая наноструктурированные нитриды, многослойные покрытия, методы их осаждения и свойства, что обеспечивает всестороннее понимание проблемы. Такое количество и разнообразие источников делает обзор актуальным и хорошо обоснованным.
9.	Принципы практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да 2) нет	Диссертация имеет значительное теоретическое значение. В работе впервые исследованы многослойные покрытия на основе WN/MeN (где Me = Zr, Cr, Mo, Nb), что вносит вклад в теорию материаловедения, особенно в области наноструктурированных покрытий. Автор использовал расчеты из первых принципов для моделирования фазовых состояний и структуры этих покрытий, что позволило глубже понять механизмы, влияющие на их механические и трибологические свойства. Выводы и модели, представленные в работе, расширяют научные представления о влиянии состава второго слоя на свойства многослойных покрытий, что может служить основой для дальнейших теоретических исследований в этой области.

		<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:</p> <p>1) да 2) нет</p>	<p>Диссертация имеет значительное практическое значение, и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике. В работе предложены новые многослойные покрытия на основе WN/MeN (где Me = Zr, Cr, Mo, Nb), которые демонстрируют улучшенные механические и трибологические свойства, такие как повышенная твердость, износостойкость и термическая стабильность. Эти покрытия могут быть использованы в промышленности для защиты инструментов, механизмов и оборудования, работающих в экстремальных условиях. Особенно это актуально для таких отраслей, как машиностроение, энергетика, авиация и медицина, где высокие требования к износостойкости и долговечности материалов играют ключевую роль.</p>
		<p>9.3 Предложения для практики являются новыми? полностью новые; частично новые (новыми являются 25-75%); не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Да, предложения для практики, представленные в диссертации, являются новыми. Автор впервые предложил использовать многослойные покрытия на основе WN/MeN (где Me = Zr, Cr, Mo, Nb), полученные методом катодно-дугового осаждения (CA-PVD), что является инновационным подходом в сравнении с традиционными методами магнетронного распыления. Эти покрытия показали улучшенные эксплуатационные характеристики, такие как высокая твердость, износостойкость и термостойкость, что делает их потенциально полезными для применения в высокотехнологичных отраслях. Введение второго слоя MeN для повышения свойств нитрида вольфрама открывает новые возможности для создания защитных покрытий с улучшенными характеристиками, что делает предложения автора оригинальными и новаторскими.</p>
10.	<p>Качество написания и оформления</p>	<p>Качество академического письма:</p> <p>1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.</p>	<p>Качество академического письма в диссертации высокое. Текст изложен ясно, логично и последовательно, с соблюдением научного стиля и точной терминологии. Автор успешно использует структурированный подход к описанию теоретических аспектов, методов исследования и анализа результатов. Аргументы хорошо подкреплены научными доказательствами и ссылками на авторитетные источники. Предложения и выводы изложены чётко и объективно, без лишней сложности, что способствует хорошему</p>

			восприятию материала. В целом, стиль письма соответствует требованиям к академическим работам, обеспечивая высокий уровень научной коммуникации.
11	Замечания к диссертации		<ul style="list-style-type: none"> • Прошу дать пояснение выбора метода осаждения. В чем причина выбора двух различных методов физического осаждения. • Третье научное положение в презентации изложено несколько кратко и требует большего акцента на физической интерпретации изменения твердости с ростом толщины покрытия TiAl(Si)N. • На слайде с выводами можно было бы более чётко структурировать ключевые результаты, выделив их маркированными пунктами для улучшения восприятия.
12	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)		<p>1) Статья в Nanomaterials: исследования WN/MeN (Me = Zr, Cr, Mo, Nb) - Высокий научный уровень Статья опубликована в журнале Q2, что уже подтверждает научную значимость. Работа демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> • комплексный подход: синтез многослойных систем методом CA-PVD, XRD-анализ, SEM, наноиндентацию и трибологию; • системное сравнение четырёх типов многослойных покрытий в идентичных условиях; • чёткое выявление роли второго слоя и доказательство превосходства системы WN/NbN. <p>Особенно ценно, что автор не ограничивается экспериментом, а проводит интерпретацию механизмов упрочнения и износостойкости через анализ нанокompозитной структуры. Статья отражает ключевую научную и является центральным результатом.</p> <p>2) Статья в ACS Omega: моделирование и анализ кубических фаз WN. Были всесторонне исследованы изменения структурных особенностей, механических свойств, фрикционных характеристик и износостойкости покрытий WN/NbN, полученных методом катодно-дугового осаждения при различных энергиях бомбардирующих ионов. Приложение отрицательного напряжения смещения в диапазоне 50–200 В приводило к изменению общей толщины</p>

			<p>покрытия (3,5–5,0 мкм) и периода двухслойной структуры (10–15 нм) осажденных многослойных покрытий. Многослойные покрытия WN/NbN продемонстрировали тенденцию к перерастанию зерен с ориентацией (111) зерен с ориентацией (200) с увеличением толщины покрытия в различной степени.. Научный уровень статьи — высокий</p> <p>3) Статья в Coatings: градиентные покрытия TiAl(Si)N</p> <p>Статья посвящена исследованию покрытий с градиентным составом TiAl(Si)N, что является важной задачей в области высокотемпературных твёрдых покрытий. Отмечаются:</p> <ul style="list-style-type: none"> • корректный выбор экспериментального дизайна (три толщины: 200, 400 и 600 нм); • глубокий анализ микроструктуры (XRD, SEM); • установление связи «толщина градиентного слоя → механические свойства»; • презентация новых данных о достижении твердости 38 ГПа при толщине 600 нм. <p>Статья важна для практических применений, поскольку демонстрирует возможности управляемого градиента структурных параметров. Научный уровень статьи соответствует стандартам международных журналов и разделяет значимую часть третьего научного положения диссертации.</p> <p>4) Статьи в рекомендованных журналах РК (КОКСНВО)</p> <p>Средний–высокий научный уровень, соответствие тематике и формированию научной базы диссертации</p> <p>Эти публикации выполняют несколько функций:</p> <ul style="list-style-type: none"> • фиксируют промежуточные результаты экспериментальной работы; • уточняют влияние параметров осаждения (потенциала смещения, тока дуги, давления) на микроструктуру покрытий; • подтверждают корректность применённой методологии; • демонстрируют способность автора публиковать результаты на этапах выполнения диссертации.
--	--	--	---

			<p>Работы соответствуют требованиям к диссертациям PhD и дополняют основную научную линию.</p> <p>Обобщённая экспертная оценка:</p> <ul style="list-style-type: none"> • полностью соответствуют теме диссертации; • содержат как оригинальные экспериментальные результаты, так и их научную интерпретацию; • опубликованы в авторитетных международных журналах (Q2), что подтверждает их качество; • демонстрируют высокий уровень самостоятельности автора; • формируют единый научный цикл, отражающий все ключевые положения, выносимые на защиту.
13	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)		<p>В целом, диссертационная работа Касымбаев А.В. «Исследование микроструктуры и трибо-механических свойств многокомпонентных нитридных покрытий» полностью соответствует требованиям, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МНВО РК к PhD диссертациям, а его автор Касымбаев Алексей Валерьевич, заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки кадров специальности «8D05301 – Техническая физика».</p>

Официальный рецензент:

Старший научный сотрудник
РГП на ПХВ «Институт ядерной физики»



Алдабергенова Тамара Мустафаевна