

Письменный отзыв официального рецензента
на диссертационную работу Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы
на тему «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности
алюминиевых сплавов» предоставления степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе 8D07103 – Материаловедение и инженерия

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответов)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственными программам	1.1 Соответствие направлениям развития науки или государственным программам: 1) <u>Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы);</u> 2) <u>Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы);</u> 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Диссертационная работа соответствует приоритетному направлению развития науки: «Энергия, передовые материалы и транспорт». Исследования, приведенные в настоящей диссертации, были выполнены в рамках следующих программ и проектов: - Международный проект FUNCOAT (функциональные покрытия) Горизонт H2020-MSCA-RISE-2018 («Разработка и дизайн новых многофункциональных покрытий ПЭО», 823942); - Проект «Жас ғалым» AP25795409 (2025-2027 гг.) по теме «Исследование модификации поверхности алюминевых сплавов методом плазменного электролитического оксидирования», в рамках которого проводились прикладные исследования в КазНУТУ им. К.И. Сатпаева (Лаборатория инженерного профиля) и в Гельмгольц центре (Институт поверхностных исследований, Гестахт, Германия).
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта</u> /не раскрыта.	Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, вносят существенный вклад в развитие фундаментальных и прикладных аспектов разработки технологий получения защитных покрытий. В работе представлены новые подходы к управлению фазовым составом и структурой покрытий за счет варьирования параметров обработки. Предложенные оптимальные режимы обработки позволяют формировать покрытия с контролируемой структурой и фазовым составом, обеспечивающие заданный комплекс эксплуатационных характеристик (улучшенная микротвердость и износостойкость). Повышение общей энергоэффективности и производительности процесса позволяют обосновать целесообразность использования метода ПЭО на алюминиевые сплавы в качестве эффективной альтернативы

			традиционным технологиям, расширяя возможности его практического применения в различных отраслях.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) высокий; 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Автор данной диссертационной работы внес существенный вклад в выполнении аналитического обзора литературных данных, в разработку методик экспериментальных исследований, в постановку задач, и самостоятельно занимался обработкой и анализом полученных данных. Высокорейтинговые опубликованные работы свидетельствуют о самостоятельности докторанта.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) обоснована; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Перспективность и значимость метода ПЭО обусловлены его способностью заменить ряд известных технологических методов, которые не обеспечивают необходимый уровень качества обработки и/или сопряженными с неблагоприятными производственными условиями и/или негативным воздействием на окружающую среду. В современных условиях, когда экологические и экономические факторы приобретают особую значимость, ключевой задачей становится развитие и совершенствование технологий получения покрытий плазменного электролитного оксидирования. Актуальность диссертационной работы имеет высокую степень обоснованности и обусловлена высоким энергопотреблением процесса ПЭО и низкой производительностью оксидирования, ограничивающие широкий диапазон применения данного метода в массовом производстве. Диссертационная работа посвящена разработке энергоэффективных технологий получения защитных покрытий ПЭО с целью обеспечения оптимальных структурных характеристик на поверхности алюминиевых сплавов. Предложенные оптимизированные условия обработки, обеспечивающие комплекс заданных структурных и эксплуатационных характеристик поверхности алюминиевых сплавов, демонстрируют высокий потенциал с точки зрения повышения эффективности технологических процессов. Результаты исследования позволяют обосновать целесообразность использования метода ПЭО на алюминиевые сплавы в качестве эффективной альтернативы традиционным технологиям и являются актуальными.

4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) отражает; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Диссертационная работа состоит из трех логически взаимосвязанных глав, каждая из которых последовательно раскрывает поставленные цели и задачи исследования. Работа представляет собой завершённый научный труд, обладающий внутренней целостностью и полнотой. В ней всесторонне рассмотрены вопросы влияния составов электролитов, влияния химического состава исходных сплавов, а также изучение влияния разных режимов тока на формирование структуры и механизм роста покрытий. Оптимизированы состав электролита и электрические параметры обработки, исследованы механизм роста покрытий в зависимости от различных условий обработки. Представлены результаты экспериментальных исследований с применением оптимизированных условий обработки, которые подтверждают эффективность предложенных решений.
4.3 Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) соответствуют; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют.	Поставленные в диссертационной работе цели и задачи полностью соответствуют ее теме и решены в полном объеме. Полнота решения обеспечена за счет комплексного подхода к разработке технологий получения защитных покрытий ПЭО на поверхности алюминиевых сплавов. Задачи исследований: 1) Проведение систематического и углубленного исследования с целью определения оптимального состава электролита для быстрого роста покрытий на поверхности сплава AA2024 при применении униполярного источника тока ПЭО. 2) Изучение роли различных кремнийсодержащих частиц разного размера и типа (SiO_2 и Si_3N_4) в фосфатном электролите на формирование и состав покрытий. Изучение коррозионной стойкости и износостойкости покрытий. 3) Получение покрытий на поверхности алюминиевых сплавов Al-Cu и Al-Si. Изучение влияния химического состава исходных сплавов на формирование структуры и состав покрытий. 4) Оптимизация параметров обработки в биполярном режиме ПЭО. Изучение микротвердости полученных покрытий. 5) Изучение влияния химической стабильности силикатного электролита на технологический процесс в режиме биполярного тока ПЭО.

	4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны</u>; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	Разделы и научные положения между собой логически взаимосвязаны и обладают единством, прослеживается единая линия экспериментальных данных, направленных на достижение цели работы.
	4.5. Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть</u>; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	Автором проведен обширный критический анализ литературных и патентных источников. Проанализированы современные технологии модификации поверхности алюминиевых сплавов, влияние разных параметров обработки на рост покрытий, рассмотрены свойства и применение покрытий. Особое внимание уделено способам восстановления покрытий после разрушительных разрядов на поверхности образца. Автором предложены новые принципы и методы по использованию специальных импульсных режимов электролиза и новых сложных тройных составов щелочных электролитов в процессе ПЭО, которые обеспечивают увеличения производительности оксидирования и улучшения качества покрытий при одновременном улучшении структурных характеристик покрытий. Данный подход рассматривается как оптимальный вариант с точки зрения увеличения энергоэффективности процесса в современных условиях рационализации.
5. Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Научные результаты диссертационной работы обладают новизной. Предложенные составы электролитов и специальные условия обработки, направленные на улучшения качества покрытий и увеличения технологических характеристик процесса отличаются высокой степенью оригинальности. Приведенные результаты расширяют существующие представления о механизмах формирования оксидных слоев, демонстрируют возможность управления их структурой и фазовым составом, а также подтверждают перспективность разработанных подходов для практического применения в промышленности.
	5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Выводы диссертационной работы являются полностью новыми и обладают высокой прикладной значимостью. 1. Оптимизирован состав электролита с низким содержанием гидроксида (2 г/л), с содержанием силиката и фосфата при 12-24 г/л, который увеличивает скорость роста покрытий и улучшает плотность и однородность слоев ПЭО. Установлена взаимосвязь

образующихся фаз, толщины покрытий и конечного напряжения при ПЭО в зависимости от состава электролита. При высоких конечных напряжениях (более 470 В) для покрытий, полученных в смешанных электролитах с низкой концентрацией гидроксида, силиката или фосфата (2 и 6 г/л), в составе слоя ПЭО преобладает кристаллическая фаза γ - Al_2O_3 . При этом достигнута низкая эффективность роста покрытий. Содержание силикатов и фосфатов, равным 18-24 г/л в электролитах приводит к образованию полностью аморфного слоя ПЭО при низком конечном напряжении около 360 В и значительному увеличению толщины покрытий. Выявлено, что экономия энергии в униполярном режиме обработки ПЭО связана со смешанным составом электролитов с концентрацией силикатов и фосфатов, равным 18-24 г/л при применении относительно низкой плотности тока (50 mA/cm^2).

2. Выявлено, что включение частиц кремния различного размера и типа в процессе формирования покрытий связано с локально высокими температурами разрядов. Добавление наночастиц SiO_2 в фосфатный электролит показало высокое поглощение и химически активное включение частиц в покрытие, с образованием смешанных фаз муллита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2$) наряду с γ - Al_2O_3 . Однако, при использовании микроразмерных частиц SiO_2 и наночастиц Si_3N_4 в электролит, локальная температура разрядов во время ПЭО (конечное напряжение 485 В) было недостаточным для образования силикатных фаз из-за их большого размера или химической стабильности.

3. Показано, что формирование покрытий на разных подложках (Al-Cu и Al-Si) способствует получению покрытий с различными составами и характеристиками. Обнаружено, что покрытие, полученное на поверхности сплава Al-Cu обладает высокой скоростью роста. Процесс ПЭО характеризовался меньшей скоростью формирования покрытий на поверхности Al-Si . Выявлено, что достижение конечного напряжения более 480 В является существенным из-за важности высоких локальных температур и эффективной энергии разрядов во время обработки ПЭО для формирования кремнийсодержащих фаз на различных подложках.

4. Выявлено, что режим мягкого искрения в биполярной

		обработке ПЭО приводит наряду с высокой скоростью роста покрытий к увеличению энергоэффективности процесса. Высокая экономия энергии достигается в условиях мягкого искрения при стабильном напряжении после его снижения в электролите с концентрацией силикатов и фосфатов, равным 24 г/л. Выявлено, что в случае покрытий, полученном в силикатном электролите (18 г/л) для перехода в режим мягкого искрения требуется напряжение разряда не менее 400 В, тогда как для покрытий, полученном в силикатно-фосфатном электролите (24 г/л) требуется напряжение разряда не менее 300 В при применении плотностей токов 50 и 100 мА/см². Экспериментально установлено, что покрытия, полученные в фосфатном электролите (18 г/л) с преобладанием фазы γ-Al₂O₃, обладают высокой микротвердостью по сравнению с покрытиями, полученными в условиях мягкого искрения в электролите с содержанием силикатов и силикатов-фосфатов (18-24 г/л). 5. Установлено, что химическая стабильность силикатных составов электролитов оказывает влияние на процесс ПЭО. Выявлено, что с увеличением количества обработок снижается электропроводность, изменяется химический и фазовый состав электролита.
	5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обособованными: 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Диссертационная работа направлена на решение важных технологических проблем в области поверхностного упрочнения алюминевых сплавов. Результаты могут служить основой для создания энергоэффективных и экологически безопасных технологий упрочнения поверхностей изделий из алюминевых сплавов, используемых в машиностроении, авиационной и атомной отраслях и т.д. Предложенные решения при использовании не дорогостоящих материалов и применение специальных режимов электролиза имеют экономическое преимущество перед ранее разработанными режимами ПЭО.
6. Обособованность основных выводов	Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения показателях либо достаточно хорошо обособованы (для qualitative research (квалитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Выводы, приведенные в диссертационной работе, сделаны на основе результатов проведенного комплекса экспериментальных физико-химических исследований и не противоречат теоретическим и практическим закономерностям в области материаловедения и инженерии.

7. Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новыми? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	Положение 1: Предложенный состав электролита с содержанием гидроксидов, силикатов и фосфатов приводит к увеличению скорости роста покрытий и улучшению плотности и однородности слоев ПЭО на поверхности сплава AA2024. Использование оптимального состава электролита способствует экономии энергии при применении низкой плотности тока 50 мА/см² во время процесса: 1) доказано; 2) оно не является тривиальным; 3) является новым; 4) уровень его применения широкий; 5) доказано в статье. Положение 2: Покрытия, полученные в фосфатном электролите, обладают высокой микротвердостью по сравнению с покрытиями, полученными в силикатном и силикатно-фосфатном электролите в условиях мягкого искрения при биополярной обработке ПЭО, что определяется фазовым составом и структурой слоев: 1) доказано; 2) оно не является тривиальным; 3) является новым; 4) уровень его применения широкий; 5) доказано в статье. Положение 3: Химическая стабильность силикатных электролитов влияет на электропроводность, химический и фазовый состав электролита: 1) доказано; 2) оно не является тривиальным; 3) является новым; 4) уровень его применения широкий; 5) доказано в статье. Примененные методы исследования позволили в полном объеме решить все поставленные задачи и достичь цели диссертационной работы. Элементы тривиальности отсутствуют. Все полученные результаты получены с использованием современного оборудования, на поверенных установках, в аккредитованных лабораториях. Научная новизна подтверждается тем, что ранее подобные положения и полученные данные по изучаемой теме не были
---	--	---

		опубликованы в научной литературе. По теме диссертационной работы опубликованы 3 научных статей в рецензируемых отечественных и международных изданиях, входящих в перечень КОКНВО РК, а также индексируемых в международных базах данных. В том числе: – в базе Web of Science - 2 статьи (журналы Q1); – в журналах, рекомендованных КОКНВО РК - 1 статья; А также, результаты диссертационной работы представлены на международной научной конференции. Список опубликованных работ приведен в приложении А.
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: <u>1) да;</u> 2) нет. 8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: <u>1) да;</u> 2) нет. 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): <u>1) да;</u> 2) нет. 8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u>/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу. 8.5 Использованные источники литературы <u>достаточно</u>/не достаточно для
		В работе приведены список литературы из 182 наименований. Приведенные источники более чем достаточны для формирования Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальными исследованиями, полученными при комплексном исследовании методами: рентгеновской дифракции, сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионным спектроскопическим анализом, лазерной сканирующей конфокальной микроскопии, а также методами исследования механических свойств. Вместе с тем, были использованы ряд передовых методов, такие как синхротронный рентгеновский анализ PETRA III (DESY) и оптическая эмиссионная спектроскопия тлеющего разряда. Полученные в ходе исследования результаты и выводы отражают содержание всех разделов и представлены в публикациях в рецензируемых международных и отечественных научных изданиях. Достоверность научных выводов не вызывает сомнений и согласуется с выводами, полученными ранее исследованиями.

	литературного обзора.	литературного обзора диссертационной работы.
9.	Принцип практической ценности	Диссертационная работа не имеет основного теоретического назначения.
	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да; 2) нет.	
	9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) да; 2) нет.	Совокупность полученных результатов доказывает, что диссертационная работа имеет прикладной характер и направлена на решение практических производственных задач в области модификации поверхности алюминиевых сплавов. Разработанные технологические подходы способствуют повышению эффективности формирования оксидных слоев, улучшения качества покрытий, обеспечения высоких эксплуатационных свойств поверхности материалов, а также снижению энергопотребления процесса ПЭО.
	9.3 Предложения для практики являются новыми: 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Практические рекомендации являются новыми и имеют большую практическую ценность. Результаты экспериментальных исследований указывают, что оксидные покрытия могут быть рекомендованы к применению в области поверхности модификации алюминиевых сплавов.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма высокое. Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к таким работам и отличается внутренним единством. Разделы диссертационной работы логически объединены и направлены на решение поставленных задач.
11.	Замечания к диссертации	1. Следует обратить внимание на некоторые орфографические и стилистические ошибки при написании диссертации, которые не умаляют качество работы. 2. В работе покрытия разной толщины, какова оптимальная толщина покрытий на поверхности алюминиевых сплавов? 3. В чем заключается связь между параметрами обработки и структурой покрытий?
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные	Научный уровень статей докторанта по теме диссертации соответствует требованиям: публикации представлены в высокорейтинговых изданиях (Web of Science, Scopus, КОКНВО РК), отражают ключевые результаты исследования, подтверждая актуальность, новизну исследования и вносят значимый вклад в развитие научных представлений в области защитных ПЭО покрытий алюминиевых сплавов.

	рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Диссертационная работа Ешмановой Г.Б. на тему «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов» выполнена в полном объеме, соответствует всем требованиям, предъявляемым к PhD диссертациям, обладает научной новизной, актуальностью и высокой практической значимостью. Ешманова Гаухар Бауыржанкызы заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 – Материаловедение и инженерия.

Официальный рецензент

Кандидат физико-математических наук,
заведующий лабораторией ионно-плазменных технологий,
РГП на ПХВ «Институт ядерной физики»



Жаканбаев Елдар Асхатович

Подпись Жаканбаева Е.А. заверяю

PhD, заместитель генерального директора по
научной работе Института ядерной физики



Садуаев Нуржан Орынбасарович