

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

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	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: <u>1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</u> <u>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</u> 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	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 алюминиевых сплавов методом плазменного электролитического оксидирования», в рамках которого проводились прикладные исследования в лаборатории инженерного профиля при КазНУ им. К.И. Сатпаева и институте поверхностных исследований в Гельмгольц-центре (Гестахт, Германия). Диссертационная работа соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан: «Энергия, передовые материалы и транспорт».
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта</u> /не раскрыта	Диссертационная работа вносит существенный вклад в развитие науки в области материаловедения и инженерии. В ходе исследования были получены новые данные о взаимосвязи структуры и свойств покрытий в зависимости от параметров обработки. Разработанные оптимальные режимы обработки обеспечивают формирование покрытий с управляемой структурой и фазовым составом, что позволяет достигать требуемого комплекса эксплуатационных характеристик поверхности материалов. Результаты настоящих исследований способствует прогрессу в области получения защитных покрытий на поверхности алюминиевых сплавов и создают основу для дальнейших исследований и расширяют перспективы практического применения в современных технологических

		направлениях.	Диссертационная работа выполнена с соблюдением принципа самостоятельности. Докторант принимал активное участие на всех этапах научной работы, от планирования и проведения экспериментов до обработки, анализа и обобщения полученных результатов. В качестве показателя самостоятельности докторанта можно рассматривать ее научные публикации, в которых является первым автором.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий 2) Средний 3) Низкий 4) Самостоятельности нет	
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) Обоснована; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Получение и изучение свойств защитных покрытий алюминиевых сплавов представляет значительный интерес в связи с широкой областью применения алюминиевых сплавов в легких конструкциях. Повышение эксплуатационных характеристик (износостойкости, коррозионной стойкости и микротвердости) покрытий с помощью метода ПЭО могут способствовать расширению области их применения. Применение перспективных подходов такие как, оптимизация состава электролита и использование специальных импульсных режимов тока позволяют экономить энергию и обеспечивают высокий рост и качество полученных покрытий. Результаты исследования позволяют обосновать целесообразность использования метода ПЭО на алюминиевые сплавы в качестве эффективной альтернативы традиционным технологиям. Актуальность и научная значимость проведенных исследований находят подтверждение в публикациях, представленных в высокорейтинговых научных журналах.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) Отражает; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Содержание диссертационной работы полностью соответствует заявленной теме. Работа состоит из трех разделов, в которых последовательно рассматриваются теоретические основы, экспериментальные исследования и обобщение результатов. Каждая из разделов логически связана с общей целью и способствует раскрытию научной задачи исследования. Первый раздел посвящен обзору известной в литературе информации о методах обработки поверхности алюминиевых сплавов, методу плазменного электролитного оксидирования, также отражаются вопросы влияния разных параметров обработки ПЭО на структурные характеристики и конечные свойства

		покрытий. Во втором разделе изложены методы экспериментальных исследований, приведено описание принципа работы установки ПЭО, а также методы исследования структурно-фазовых характеристик и свойств покрытий. <i>При описании аппаратуры и экспериментальной техники ПЭО недостаточно подробно описан канал поддержки постоянной температуры эксперимента. В связи с этим возникает вопрос:</i> - <i>Каким образом была проведена поддержка постоянной температуры при $20 \pm 1^\circ\text{C}$?</i> - <i>Из диссертации неясно какая точность измерений толщины покрытий с помощью СЭМ и толщиномера?</i> Третий раздел посвящен представлению и анализу результатов экспериментальных исследований, выявлению ключевых закономерностей, определяющих структуру и свойства полученных покрытий, а также обсуждению полученных данных в контексте их интерпретации, сравнении с отечественными и зарубежными литературными источниками. <i>При этом возникает вопрос: какова воспроизводимость полученных результатов?</i>
	4.3 Цель и задачи соответствуют теме диссертации 1) <u>Соответствуют;</u> 2) Частично соответствуют; 3) Не соответствуют.	Цель и задачи, поставленные в работе, полностью соответствуют теме диссертации. Цель исследования достигнута и все задачи решены в полном объеме. Полнота решения задач достигнута путем получения защитных покрытий на поверхности алюминиевых сплавов с комплексом различных составов и характеристик, определением механизмов образования оксидных слоев и изучением электрохимических и механических свойств покрытий.
	4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	Диссертация обладает четкой внутренней структурой, в которой все разделы и научные положения логически связаны между собой. В работе сделан обширный анализ литературных данных, получены покрытия на поверхности алюминиевых сплавов с последующим исследованием их структурных характеристик, электрохимических и механических свойств, и сформулированы соответствующие положения, выносимые на защиту.
	4.5. Предложенные автором новые решения	В работе представлен критический анализ традиционных методов

	(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. 4) анализ отсутствует.	и технологий, используемых для получения защитных покрытий на поверхности легких сплавов. Предложенные подходы по оптимизации параметров обработки для получения высоких эксплуатационных характеристик и технологических показателей рассматриваются как одни из наиболее эффективных решений, обеспечивающих значительное снижение энергозатрат при сохранении высоких эксплуатационных характеристик покрытий. В ходе исследования подробно рассмотрены преимущества примененных подходов по сравнению с существующими методами, которые подтверждается высокими показателями, достигнутыми в рамках настоящей работы.
5.	Принцип научной новизны	Научные результаты и выведенные положения диссертационной работы обладают новизной. Результатом данного исследования является разработка экономически выгодных и оптимизированных условий обработки, обеспечивающий комплекс заданных структурных и эксплуатационных характеристик поверхности алюминиевых сплавов. Разработка альтернативного экономически эффективного метода, основанного на оптимизации состава электролита, для получения покрытий на поверхности алюминиевых сплавов является хорошей альтернативой в тех случаях, когда мягкое искрение трудно добиться. Дополнительно установлено повышение износостойкости и коррозионной стойкости покрытий за счет введения в электролит кремнийсодержащих частиц и их последующего включения в оксидный слой. Такой подход служит подтверждением эффективности предложенной стратегии улучшения функциональных свойств поверхности алюминиевых сплавов с покрытием. Дополнительно корректность полученных данных подтверждается сопоставлением с литературными источниками и результатами аналогичных исследований, что свидетельствует о высокой степени научной-практической значимостью работы.
	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Научные результаты и выведенные положения диссертационной работы обладают новизной. Результатом данного исследования является разработка экономически выгодных и оптимизированных условий обработки, обеспечивающий комплекс заданных структурных и эксплуатационных характеристик поверхности алюминиевых сплавов. Разработка альтернативного экономически эффективного метода, основанного на оптимизации состава электролита, для получения покрытий на поверхности алюминиевых сплавов является хорошей альтернативой в тех случаях, когда мягкое искрение трудно добиться. Дополнительно установлено повышение износостойкости и коррозионной стойкости покрытий за счет введения в электролит кремнийсодержащих частиц и их последующего включения в оксидный слой. Такой подход служит подтверждением эффективности предложенной стратегии улучшения функциональных свойств поверхности алюминиевых сплавов с покрытием. Дополнительно корректность полученных данных подтверждается сопоставлением с литературными источниками и результатами аналогичных исследований, что свидетельствует о высокой степени научной-практической значимостью работы.
	5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Выводы, сделанные в диссертационной работе, являются полностью новыми и представляют собой значительный вклад в область разработки технологий получения защитных покрытий. 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 мА/см²).

2. Выявлено, что включение частиц кремния различного размера и типа в процесс 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 обоснованными: <u>1) полностью новые:</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Предложенные в диссертации технические, технологические и экономические решения являются полностью новыми и обоснованными. Повышение общей энергоэффективности и производительности процесса ПЭО достигается за счет использования высококонцентрированных щелочных электролитов и при применении импульсных режимов тока ПЭО, которая рассматривается как наиболее перспективный подход к энергосбережению в технологии плазменного электролитного оксидирования. Улучшение механических характеристик покрытий (износостойкости и микротвердости), достигаемое благодаря введению кремниевых частиц в электролит и применению биполярного режима тока, способствует сокращению производственных расходов и повышению технико-экономической эффективности внедрения технологии. Результаты исследования позволяют обосновать целесообразность использования метода ПЭО на алюминиевые сплавы в качестве

			эффективной альтернативы традиционным технологиям, расширяя возможности его практического применения в различных отраслях.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы <u>основаны</u> /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (куолигатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Основные выводы, сделанные в диссертационной работе, основаны на научных доказательствах, полученных в ходе экспериментальных исследований и не противоречат теоретическим и практическим закономерностям в материаловедении.
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 новым? 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?	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 биполярной 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;

		1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	4) уровень его применения широкий; 5) доказано в статье.
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и представляемой 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 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 закономерности 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 литературного обзора.	Методология исследования была выбрана с учетом закономерностей формирования оксидных слоев. Был использован перспективный метод плазменного электролитного оксидирования для получения покрытий. Результаты диссертационной работы получены с использованием современных оборудований, методов исследований, а также обработки полученных данных проводился с использованием новейших программных обеспечений. Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальными исследованиями, полученными при комплексном применении современных новейших методов, оборудований и программных обеспечений. Важные утверждения, представленные в диссертации, подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу. Докторант ссылается на современные исследования и публикации в области материаловедения и поверхностной инженерии, что свидетельствует о глубоком знании научного контекста и современного состояния вопроса. Использованные источники литературы, количество которых составляет 182, являются достаточными для формирования полноценного литературного обзора.
9.	Принцип практической	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение	Диссертационная работа не имеет основного теоретического назначения.

	ценности	1) да 2) нет 9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u> 2) нет	Диссертационная работа имеет значительное практическое значение, поскольку полученные результаты могут быть использованы для разработки технологий получения защитных покрытий на поверхности алюминиевых сплавов. Результаты работ способствуют повышению эффективности формирования оксидных слоев, улучшения качества покрытий, обеспечения высоких эксплуатационных свойств поверхности материалов, а также снижению энергопотребления процесса ПЭО. Практическое применение результатов исследования возможно в областях машиностроения, авиации, медицинского приборостроения, электроники и т.д.
		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Предложения для практики, представленные в диссертации являются новыми и имеют большую практическую ценность. Результаты работ указывают, что оксидные покрытия могут быть рекомендованы к применению в качестве защитных покрытий на поверхности алюминиевых сплавов.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое</u>; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество академического письма в диссертации высокое. Текст написан понятно, логично и последовательно, что позволяет легко воспринимать представленные научные идеи и выводы. Диссертационная работа соответствует академическим стандартам, что повышает ее научную ценность и доступность для читателей. <i>Незначительное количество опечаток не снижает качество диссертационной работы.</i>
11.	Замечания к диссертации	Во втором разделе, при описании аппаратуры и экспериментальной техники ПЭО недостаточно подробно описан канал поддержки постоянной температуры эксперимента. В связи с этим возникает вопрос: - Каким образом была проведена поддержка постоянной температуры при $20 \pm 1^\circ\text{C}$? - Из диссертации неясно какая точность измерений толщин покрытий с помощью СЭМ и толщиномера? Третий раздел посвящен представлению и анализу результатов экспериментальных исследований, выявлению ключевых закономерностей, определяющих структуру и свойства полученных покрытий, а также обсуждению полученных данных в контексте их интерпретации, сравнении с отечественными и зарубежными литературными источниками.	ПЭО недостаточно подробно вопрос: СЭМ и толщиномера? исследований, выявлению покрытий, а также обсуждению и зарубежными литературными

При этом возникает вопрос: какова воспроизводимость полученных результатов?

	Незначительное количество опечаток не снижает качество диссертационной работы.
12.	Научный уровень статей докторанта соответствует требованиям, предъявляемым к публикациям по теме диссертационного исследования. Статьи опубликованы в рецензируемых изданиях, включая журналы из баз Scopus, Web of Science и перечня КОКНВО РК. В публикациях отражены основные теоретические положения, методологические подходы и результаты исследования, что свидетельствует о самостоятельности научного подхода, актуальности и новизне полученных выводов.
13.	Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD), и Ешманова Гаухар Бауыржанқызы заслуживает присуждения степени PhD по образовательной программе 8D07103 – Материаловедение и инженерия.

Официальный рецензент

Доктор физико-математических наук,
профессор каф. физики твердого тела и технологии новых материалов,
Казахского национального университета имени аль-Фараби

С.С. Фармак

Яр-Мухамедова Г.Ш.



«Ал-Фараби» атындағы Қазақ ұлттық университетінің қалпына келтірілген
дәйірлеу және аттестаттау басқармасының басшысы
ЗАВЕРЯЮ
Начальник управления подготовки и аттестации
научных кадров КазНУ им. аль-Фараби
Б.С. Фармак
« 02 » 16 20 ж.ж.