

«Утверждаю»

Член Правления — Проректор по
науке и корпоративному
развитию

КазННТУ им. К.И. Сатпаева

Кульдеев Е.И.



ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 3

Расширенного заседания кафедры

«Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

г. Алматы

«19» августа 2025 г.

Председатель: Какимов У.К. – к.т.н., ассоц. профессор, зав. кафедрой МНИИФ.

Секретарь: Кемелбекова А.Е.- доктор PhD, старший преподаватель кафедры МНИИФ.

Присутствовали (в соответствии с Положением о Диссертационном совете, не менее 2/3 членов кафедры): всего 12 членов кафедры, из них присутствовали 9 членов кафедры. Какимов У.К. – к.т.н., зав.кафедрой; Кудайбергенов К.К. – доктор PhD, ассоц. профессор; Смагулов Д.У. – д.т.н., профессор; Сейтхан А. – доктор PhD, профессор; Бейсебаева А.С. – к.ф.-м.н., ассоц. профессор; Кошимбаев Б.Ш. – старший преподаватель; Кемелбекова А.Е. – доктор PhD, старший преподаватель; Ыбырайымқұл Д.Т. – преподаватель; Нұғыманова К.Н. – преподаватель.

Со стороны: Аскарұлы Қ. – доктор PhD, преподаватель кафедры «Общая физика» КазННТУ; Құспанов Ж. – научный сотрудник РГП «Институт ядерной физики» МЭ РК; Идрисов Н.К. – научный сотрудник РГП «Институт ядерной физики» МЭ РК.

ПОВЕСТКА ДНЯ:

Обсуждение диссертационной работы PhD докторанта кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика» Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы на тему «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 - «Материаловедение и инженерия».

Научные консультанты:

- Смагулов Даулетхан Уялович, д.т.н., профессор КазННТУ (Алматы, Казахстан);
- Карстен Блаверт, доктор PhD, руководитель отдела, Институт поверхностных исследований, Гельмгольтц центр, (Гестахт, Германия);

Рецензенты:

- Кудайбергенов К.К. – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика», горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова КазННТУ им. К.И. Сатпаева.
- Сейтхан А. – доктор PhD, профессор кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика», горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова КазННТУ им. К.И. Сатпаева.

СЛУШАЛИ:

Председатель Какимов У.К.: Ешманова Гаухар Бауыржанкызы обучалась в докторантуре по специальности 8D07103 - «Материаловедение и инженерия» в НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева в 2020-2023 гг.

В настоящее время она завершила диссертационную работу на тему: «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов», которая была утверждена на Ученом совете КазННТУ имени К.И.Сатпаева от 18 августа 2025 г. (приказ № 1259-д). Для проведения экспертизы по диссертации Ешмановой Гаухар были назначены рецензенты: Кудайбергенов К.К. - доктор философии (PhD), ассоциированный профессор, горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова КазННТУ им. К.И. Сатпаева; Сейтхан А. – доктор PhD, профессор, горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова КазННТУ им. К.И. Сатпаева, компетентные в соответствующей отрасли, которые подготовили рецензии к рассматриваемой диссертации.

К предзащите представлена диссертационная работа докторанта специальности 8D07103 - «Материаловедение и инженерия» Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы на тему: «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов».

Научные стажировки: Ешманова Г.Б. в 2022 г. прошла научную стажировку в Институте поверхностных исследований, Гельмгольтц центр, (Гестахт, Германия).

Если нет вопросов по повестке дня, слово предоставляется докторанту Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы для доклада. Регламент 20 минут на презентацию доклада.

Ешманова Г.Б.: Уважаемые коллеги! Разрешите представить вашему вниманию основные результаты диссертационной работы на тему: «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов». В

докладе отражены актуальность, цель, задачи работы, содержание, основные положения, выносимые на защиту, научные результаты и выводы диссертации.

Слушали: Слушали Ешманову Г.Б., которая в своем докладе изложила суть диссертационной работы. Доклад был представлен в форме презентации. В ходе доклада были освещены следующие вопросы:

1. актуальность исследуемой проблемы,
2. практическая значимость диссертации,
3. цель и задачи диссертационного исследования,
4. научная новизна,
5. основные положения, выносимые на защиту,
6. методы исследования,
7. результаты исследования,
8. заключение и выводы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Председатель Какимов У.К.: Уважаемые коллеги, теперь переходим к обсуждению диссертации. Пожалуйста, у кого есть вопросы по данной работе?

Председатель Какимов У.К.: На шестом слайде, на рис. 6, вы написали резина. Что это означает? Необходимо дописать корректное слово.

Соискатель: Для изготовления поперечных срезов образцов использовалась эпоксидная смола, которая подразумевается под словом резина на данном рисунке.

Председатель Какимов У.К.: На рис. 7 что за график для разных электролитов/материалов? Для чего вы хотели показать данный график? Объясните почему на пятой стадии снижается напряжение? Так как на первом и втором образце напряжение неуклонно растет и высокие значения, тогда как на третьем образце оно снижается?

Соискатель: На рис. 7 показаны кривые зависимости напряжения от времени обработки для различных покрытий, полученных в разных составах электролитов (с высоким содержанием фосфатов и силикатов, а также при одинаково высоком содержании фосфатов/силикатов). Анализ изменения напряжения является определяющей характеристикой процесса ПЭО при формировании покрытий. Разные конечные напряжения при обработке влияют на процесс формирования и фазообразование в покрытиях, которое является основным выводом и новизной в данном исследовании. Снижение напряжения на пятой стадии в случае образца 2K24Si24P, при визуальном осмотре на поверхности образца наблюдалось образование локальных интенсивных белых искр, что может быть связано с изменением структуры слоя, при котором образуется аморфные слои. Тогда как в случае образца 2K2Si18P и 2K18Si2P основная фаза кристаллическая γ - Al_2O_3 и муллит. А также, впоследствии этих больших искр мы увидели рост вторичного более толстого слоя по углам образца.

Председатель Какимов У.К.: На рис. 8 обозначены слои, внешний пористый слой и внутренний слой, а что дает внутренний слой покрытие? Почему вы делаете на него концентрацию?

Соискатель: ПЭО покрытые материалы привлекают исследователей по данному направлению именно из за роста внутреннего слоя, которое играет ключевую роль. Так как это дает основную твердость, коррозионно-, и износостойкость покрытие. А также во внутреннем слое образуются высокотемпературные фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, которые дают данные свойства покрытие.

Председатель Какимов У.К.: На рис. 8, покрытия показывают разную толщину, с чем это связано?

Соискатель: Как уже было сказано в новизне исследований, в смешанном составе электролитов при достижении низкого значения конечных напряжений состав покрытий состоит из аморфных структур, однако достигается высокий рост покрытий, тогда как при достижении высоких значений конечного напряжения достигается низкая эффективность роста покрытий, в составе покрытий преобладает кристаллическая структура.

Председатель Какимов У.К.: На рис. 8 также показано, что покрытие на рис. 8с обладает меньшей пористостью по сравнению с двумя другими образцами? С чем это связано?

Соискатель: Это может быть связано с образованием разрядов на поверхности образцов. Потому что на данном образце рис. 8с, при достижении определенной толщины покрытий на поверхности образуются высокоинтенсивные разряды вследствие чего образуются большие открытые поры на поверхности. По сравнению например с фосфатным электролитом, при котором наблюдалось более мелкие разряды и наименьший диаметр пор. Также меньшая пористость по толщине может быть связано с составом покрытий, где в случае использования высоконцентрированных силикатов и фосфатов в электролите наблюдаются высокое осаждение соединений из электролита как показано в таблице 3, что способствует уплотнению слоя ПЭО.

Председатель Какимов У.К.: Рис. 12, что вы хотели этим показать?

Соискатель: Рис. 12 показывает распределение фаз по толщине покрытий, которое также напрямую влияет на образование разрядов. Например, на рис. 12б фаза $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ распределено больше в промежуточном слое, что указывает что основные разряды были образованы в основном в промежуточном слое с большей интенсивностью. А также муллитовая фаза (рис.12ж), при котором происходит осаждение соединений из электролита, можно предположить, что разряды сконцентрированы больше в приповерхностном слое, которое указывает на наличие менее интенсивных разрядов.

Председатель Какимов У.К.: Рис. 14, поясните пожалуйста, что вы хотели этим показать? Здесь не совсем видно, необходимо увеличить размер.

Соискатель: На рис. 14 показан рост покрытий (наружу/внутрь) полученных при помощи оптического микроскопа. ПЭО покрытие растет как

во внешнюю сторону так и в сторону подложки/металла. На рис. 14 иллюстрирована линия соответствующая поверхности подложки, чтоб наглядно показать основной рост покрытий. Видно, что покрытие полученное в силикатном электролите, основной рост покрытия во внешнюю сторону, тогда как при фосфатном электролите покрытие наиболее растет в сторону подложки. Это также указывает на различные механизмы образований покрытий. Покрытие, полученное в фосфатном электролите основной механизм образований окисление подложки материала, тогда как в силикатном электролите механизм образования включает и окисление подложки и осаждение компонентов из электролита. Хорошо я увеличу размер рисунки.

Председатель Какимов У.К.: Вы применили разные режимы тока, униполярный и биполярный, какой режим дал лучший результат?

Соискатель: Биполярный режим дает наибольшую энергоэффективность процессу. В случае образца 2K24Si24P при применении плотности тока 50 мА/см² мы получаем экономию энергии до 35%, а при 100 мА/см² до 44% по сравнению при применении фосфатного электролита, где снижения напряжения не наблюдается. А также применение биполярного режима дает уплотнение барьерного слоя, которая дает твердость и коррозионную стойкость при образовании высокотемпературных фаз α -Al₂O₃. В целом применение биполярного источника тока способствует увеличению энергоэффективности процесса и улучшению качества покрытий.

Председатель Какимов У.К.: Анализ микротвердости для чего вы его делали? Твердость по какой шкале мерили?

Соискатель: Чтобы показать какой твердостью обладают покрытия по слоям как на рис. 22. Здесь можно видеть, что на рис. 22а, микротвердость покрытий 2K2Si18P при расстояний измерений между 50 и 70 мкм рассматривается как твердость основного слоя, тогда как микротвердость барьерного слоя показана на рис. 22б при расстояний измерений между 30 и 60 мкм для остальных покрытий, которая была достигнута высокая микротвердость для силикатных электролитов. Однако для 2K24Si24P-50 наблюдается высокая микротвердость во внешнем слое по сравнению с внутренним. Измерения микротвердости проводились с помощью стандартного индентора Виккерса.

Председатель Какимов У.К.: На износостойкость покрытий вы не делали измерения?

Соискатель: Износостойкость покрытий было оценено и показано в диссертации для покрытий при добавлении разных частиц согласно моей второй статье. Из за ограничения времени для защиты и количества презентаций я не могла добавить их в основную презентацию.

Председатель Какимов У.К.: Микротвердость вы приводите хотя на мой взгляд микротвердость дает только локальную оценку, а именно измерение на износ дает конкретный результат при увеличении износостойкости покрытий? Думаю, необходимо добавить анализ износостойкости в презентацию.

Соискатель: Понятно, спасибо.

Председатель Какимов У.К.: Рис. 25 для чего вы его показали? Рисунка не видно в данном виде в презентации.

Соискатель: Рис.25 показывает поверхностную неоднородность образцов при увеличении количества проведенных обработок в составе электролита. Видно, что многократное использование силикатного состава электролита приводит к неоднородности поверхности покрытий, тогда как образец полученное в свежем составе электролитов, наблюдается более однородная поверхность.

Бейсебаева А.С., к.ф.-м.н., ассоц. профессор: Актуальность исследования и сравнение с другими исследованиями?

Соискатель: Актуальность исследований состоит в применении биполярного источника тока, которое мало изучено по данному направлению. Только за последние десятилетие можно увидеть публикационную активность по использованию данного режима тока в процессе ПЭО. А также я оптимизировала параметры обработки и состава электролита при данном режиме при стабилизированном напряжении после его снижения что приводит к увеличению энергоэффективности процесса.

Бейсебаева А.С., к.ф.-м.н., ассоц. профессор: Результаты других исследований? Есть ли схожие результаты?

Соискатель: Результаты других исследований не приводится в презентации, так как целью работы было сравнить и оптимизировать при данных параметрах и режимах обработки ПЭО. При изучении публикации по данному направлению исследований при применении биполярного источника тока при данных составах электролитов и электрических параметрах схожих результатов мы не наблюдали. В результате добились оптимального состава электролита для стабилизированного напряжения после его снижения для увеличения энергоэффективности процесса.

Бейсебаева А.С., к.ф.-м.н., ассоц. профессор: Как замечание: во время доклада не совсем понятно суть изложения, очень быстро говорите, необходимо выделить основные моменты в экспериментах.

Председатель Какимов У.К.: Говорите важные моменты только одним-двумя предложениями не нужно все говорить в презентации.

Соискатель: Понятно. Хорошо. Я старалась максимально успеть рассказать все в регламенте 20 мин. Также основные моменты в виде заключения я также отметила текстом на каждом слайде.

Кемелбекова А.Е., доктор философии (PhD), старший преподаватель: В презентации в таблицах белый текст не виден, замените на черный.

Соискатель: Понятно. Спасибо.

Бейсебаева А.С., к.ф.-м.н., ассоц. профессор: Формулировка заключения в некоторых пунктах не совсем корректно, необходимо переформулировать используя выражения/глаголы как «выявлено», «установлено» и т.д.

Соискатель: Понятно. Спасибо. Замечания будут устранены.

Кудайбергенов К.К. доктор философии (PhD), ассоц. профессор: Рис. 20 изменение электрической энергии, при увеличении концентрации

силикатных электролитов уменьшается электроэнергия системы, с чем это связано?

Соискатель: Это связано со снижением значения напряжения во время процесса при мягком искрении. В случае образца $2K18Si2P$ наблюдается нестабилизированный процесс и напряжение увеличивается, однако это не приводит к существенному снижению энергопотребления. При использовании образца $2K24Si24P$ наблюдается стабилизированное снижение напряжения после его снижения при наступлении мягкого искрения где достигается уменьшение энергопотребления до 35-44 %. Так напряжение играет ключевую роль в механизме образований покрытий.

Кудайбергенов К.К. доктор философии (PhD), ассоц. профессор: У вас только смешанный состав электролитов или есть отдельно для силикатных электролитов?

Соискатель: Да, я использовала только смешанный состав электролитов, так как при применении только силикатных составов электролитов в мире опубликованных работ очень много. Поэтому я старалась подобрать оптимальный состав электролитов при использовании тройных составов электролитов.

Кудайбергенов К.К. доктор философии (PhD), ассоц. профессор: Оксид алюминия вы получаете в двух формах, к чему влияет фазовые трансформации?

Соискатель: Фазовые трансформации приводят к увеличению микротвердости покрытий. Например, покрытие полученные в фосфатном электролите $2K2Si18P$ приводят к образованию наибольшего соотношения фаз $\gamma-Al_2O_3$, что возможно связана с его высокой микротвердостью по сравнению с электролитами образованными с высоким содержанием силикатов в составе электролитов, где образуются фазы муллита и алюминафосфатные фазы в соответствии с аморфной структурой.

Кудайбергенов К.К. доктор философии (PhD), ассоц. профессор: По поводу пористости образцов, которое является основным недостатком покрытий ПЭО. На сколько процентов вы смогли уменьшить пористость покрытий?

Соискатель: В эксперименте полученным при применении униполярного источника тока, в таблице 2 показано поверхностная пористость и по количеству пор для 0.25 мм^2 площади для разных покрытий. Где показано, что применение высоконцентрированных электролитов приводит к уплотнению слоя ПЭО.

Председатель Какимов У.К.: Вы добились уменьшения энергопотребления процесса, а как повлияло это на качество покрытий?

Соискатель: При применении биполярного источника тока покрытия полученные в фосфатных электролитах, тонкие покрытия показывают наибольшую микротвердость, однако это связано не с качеством покрытий а с его составом.

Председатель Какимов У.К.: У кого-нибудь еще есть вопросы? Вопросы нет. Заслушаем рецензентов. Слово предоставляется рецензенту доктору PhD, ассоциированному профессору Кудайбергенову К.К.

Кудайбергенов К.К. доктор PhD, ассоц. профессор: Здравствуйте, уважаемые коллеги. Рецензия на диссертационную работу Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы на тему «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов» представлена на соискание степени доктора PhD по специальности 8D07103 – «Материаловедение и инженерия».

Замечания и предложения по диссертации:

1. Научная новизна: Рекомендуются выделить ключевые научные положения, начиная каждое утверждение с формулировок типа «*впервые установлено*», «*экспериментально подтверждено*» и т.д., подчёркивая тем самым уникальность полученных данных по структуре, фазовому составу, механизму формирования покрытий и их энергоэффективности при различных режимах ПЭО

2. Формулировки положений, выносимых на защиту, носят преимущественно описательный и технологический характер, с преобладанием экспериментальных условий и параметров. Между тем, такие положения должны представлять собой чётко сформулированные научные результаты, подтверждённые экспериментом и обладающие признаками новизны, достоверности и практической значимости.

3. Заключение: раздел требует стилистической переработки с акцентом на научную новизну, значимость и основные выводы, подтверждающие достижение цели исследования.

4. Некоторые рисунки в диссертации оформлены на английском языке, требуется перевести их на русский для соблюдения единого стиля. Рекомендуются также проверить структуру предложений на предмет языковой корректности.

5. Следует обратить внимание на некоторые орфографические и стилистические ошибки при написании диссертации.

Однако, указанные недостатки не имеют принципиального характера и не влияют на достоинство диссертационной работы. Работа обладает научной новизной, теоретической и практической значимостью, содержит основные выводы и рекомендуется на рассмотрение в диссертационный совет к соисканию степени доктора PhD по специальности 8D07103 - «Материаловедение и инженерия».

Председатель Какимов У.К.: Хорошо. Хотел бы спросить, соискатель, Вы согласны с замечаниями?

Ешманова Г.Б.: Да, я согласна. Все замечания будут учтены в процессе доработки диссертации.

Председатель Какимов У.К.: Далее слово предоставляется второму рецензенту, Сейтхан А. - доктор PhD, профессор кафедры МНиИФ.

Сейтхан А. - доктор PhD, профессор кафедры МНИИФ: здравствуйте, уважаемые коллеги.

Актуальность темы исследования. Работа посвящена разработке технологий нанесения защитных покрытий, полученных методом плазменного электролитного оксидирования (ПЭО) на поверхности алюминиевых сплавов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эксплуатационных характеристик алюминиевых сплавов, используемых в авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности. В условиях повышенного износа и агрессивных сред применение ПЭО покрытий позволяет существенно увеличить срок службы деталей. Также важной задачей является повышение энергоэффективности и устойчивости процесса ПЭО при сохранении высоких механических и антикоррозионных свойств покрытий.

Научная новизна и значимость исследования. В диссертации впервые установлена взаимосвязь между составом смешанных электролитов, конечным напряжением и формируемыми фазами покрытий, в том числе аморфных и кристаллических. Проведено детальное исследование режима «мягкого искрения» при биполярной поляризации и его влияния на морфологию, толщину и твёрдость покрытий. Используются современные методы анализа, включая GDOES, XRD, SEM/EDS, микротвёрдость, что подтверждает достоверность полученных результатов. Работа имеет прикладной характер, может быть внедрена в производство и соответствует требованиям, предъявляемым к PhD диссертациям.

Замечания по диссертации

1. Научная новизна требует чёткого разграничения между новыми результатами и обобщёнными выводами.
2. Описание эффекта «мягкого искрения» недостаточно количественно обосновано.
3. Отсутствует статистическая обработка экспериментальных данных (отклонения, доверительные интервалы и т.д.).
4. Не представлены расчёты энергоэффективности покрытия (Вт/ч на м^2).
5. Сравнение между покрытиями Al-Cu и Al-Si неполное — не хватает диаграмм и таблиц.
6. Не приведены результаты долговременной стабильности покрытий (термоциклы, адгезия).
7. Не описаны методы количественного фазового анализа (например, Rietveld-анализ для XRD).
8. Не рассмотрены альтернативные способы повышения твёрдости (например, введение наночастиц).
9. Недостаточно описаны условия коррозионных испытаний (рН, среда, продолжительность).
10. Адгезия покрытий не оценивалась - важный показатель при эксплуатации.
11. Положения на защиту частично дублируют формулировки новизны и выводов.

12. Имеется стилистическая перегрузка текста, повторение и громоздкие предложения.

13. Слабое представительство современных источников за 2022–2024 годы.

14. Список литературы требует структурирования и форматирования по стандарту (ГОСТ/АРА).

15. В ряде таблиц и графиков отсутствуют единицы измерения и обозначения осей.

16. Схемы (например, установка ПЭО) требуют пояснительных подписей и формального оформления.

17. Практическое задание и индустриальная значимость недостаточно конкретизированы.

18. Раздел практической значимости требует примеров внедрения и применения.

19. Таблицы и рисунки оформлены не единообразно, требуется стилистическая унификация.

В заключении, диссертационная работа Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы представляет собой завершённое научное исследование, содержащее теоретические и практические результаты, обладающие научной новизной и прикладной значимостью. После устранения указанных замечаний работа может быть рекомендована к защите на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 – «Материаловедение и инженерия».

Председатель Какимов У.К.: Благодарю за рецензию. Соискатель, Вы согласны с замечаниями?

Ответ: Да согласна, указанные замечания будут учтены при дальнейшей доработке диссертации, а именно будут конкретизированы формулировка новизны, положений, выносимых на защиту, практической значимости работы; список литературы будет обновлен с добавлением публикации последних лет и отформатирован по стандарту; будет добавлена статистическая обработка экспериментальных данных для соответствующих результатов; будут отформатированы подписи и оформления схем, таблиц, рисунков и графиков; будут добавлен в текст соответствующие калькуляции практической и индустриальной значимости работы по данному направлению исследований; а также будет проведена стилистическая унификация текста и т.д.

Вместе с тем хотела бы добавить, следующее:

По **второму вопросу**, количественное обоснование режима «мягкого искрения» подтверждается следующими параметрами: При использовании высокого содержания силикатов в составе смешанных электролитов, в случае покрытия $2K18Si2P$, предполагается, что для достижения процесса мягкого искрения при применении частоты 500 Гц, длины импульсов 0.5 мс: 0.5 мс: 0.5 мс: 0.5 мс, плотностей токов 50 и 100 мА/см² и соотношении к/а токов 0.6 – 1.4 требуется напряжение разряда не менее 400 В. Тогда как в случае образцов $2K24Si24P$ при тех же параметрах процесса требуется напряжение разряда не менее 300 В для достижения мягкого искрения.

А также добавлены описание эффекта «мягкого искрения» и рассчитаны изменение электрической энергии системы для оценки плотности энергии разрядов для разных электролитных систем во время процесса, также в соответствии с замечаниями зарубежного научного руководителя.

По **четвертому вопросу**, изменение электрической энергии системы при применении биполярной поляризации ПЭО были рассчитаны и проанализированы для разных электролитных систем во время процесса, также в соответствии с замечаниями зарубежного научного руководителя.

По **пятому вопросу**, в главу 3.3 будут добавлены дополнительные анализы состава и элементного распределения в покрытиях, полученных с использованием ЭДС и GDOES методов.

По **шестому вопросу**, в рамках задач данного исследования, оценка термоциклической стабильности и прочности сцепления покрытия с подложкой, не проводились. Вместе с тем, как альтернатива, информация о стабильности и функциональности покрытий позволяют получить результаты испытаний на коррозионную стойкость и износостойкость покрытий. При котором была продемонстрирована устойчивость структуры покрытий к агрессивной среде и механическому воздействию при добавлении разных добавок на основе Si в состав фосфатного электролита. Это позволяет предположить, что покрытия обладают достаточной долговременной стабильностью в условиях эксплуатации. Тем не менее, полноценное исследование долговременной стабильности с включением термоциклирования и адгезии планируется в рамках дальнейших работ.

По **седьмому вопросу**, будут добавлены соответствующие информации по количественному фазовому анализу с использованием Rietveld-анализа и RTP метода для XRD.

По **восьмому вопросу**, в рамках задач данного исследования, не были рассмотрены альтернативные способы повышения твердости покрытий (например, введение наночастиц). Однако увеличение механических характеристик покрытий путем введения разных добавок в состав электролита были изучены согласно задаче исследований. А именно, анализ износостойкости покрытий с добавками был проведен при использовании частиц разного размера и типа (SiO_2 и Si_3N_4) в составе электролитов. Результаты показали, что добавление наночастиц SiO_2 в фосфатный электролит показало высокое поглощение и химически активное включение наночастиц SiO_2 в покрытие. Рентгенограмма показывает присутствие смешанных фаз муллита наряду с $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, что возможно обеспечивает высокую несущую способность покрытию с добавками наночастиц SiO_2 , которое выдерживают нагрузку 10 Н на расстояние скольжения 10 000 мм.

По **десятому вопросу**, в рамках задач данного исследования измерения прочности сцепления покрытия с подложкой не проводились напрямую. Однако, в разделе 3.1 была проанализирована морфология и рост покрытий (внутри/наружу), сформированных в электролитах различного состава (гидроксидов, фосфатов и силикатов). Установлено, что при использовании электролитов на основе гидроксидов и фосфатов, рост покрытий происходит

преимущественно в сторону подложки (вглубь), которое свидетельствует что основной механизм формирования покрытий является окисления алюминия. Такой характер формирования покрытий указывает на более прочное включение оксидного слоя в подложку и, следовательно, может свидетельствовать о высокой прочности сцепления. Тогда как, в силикатных электролитах наблюдается внешний (наружный) рост покрытий за счет преобладающего вклада процессов осаждения компонентов из электролита, и окисления Al в процесс формирования слоя.

В целом, на основании анализа механизмов формирования и направленности роста покрытий можно предположить, что внутренний рост оксидного слоя, при окислении алюминия, способствует повышенной адгезии покрытия к подложке.

Председатель Какимов У.К.: Следующее слово предоставляется отечественному научному консультанту д.т.н., профессору КазНУТУ Смагулову Д.У., (положительный отзыв прилагается).

Д.т.н., профессор Смагулов Д.У.:

Диссертационная работа Ешмановой Г.Б. выполнена в рамках международного проекта и в ходе заграничной научно-исследовательской стажировки в Институте поверхностных исследований, Гельмгольтц центр (Гестахт, Германия). Исследование посвящено созданию прочных, износостойких и коррозионностойких защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов. При выполнении НИР по теме диссертации Ешманова Г.Б. освоила современные методики экспериментальных исследований с использованием уникальных установок.

В диссертационной работе определен оптимальный состав электролита для быстрого наращивания покрытий ПЭО на поверхности сплава АА2024 при применении униполярного источника тока при постоянной низкой плотности тока 50 мА/см^2 , с целью обеспечения энергоэффективности процесса. Впервые установлено взаимосвязь образованных фаз и толщины покрытий в зависимости от состава электролитов и конечного напряжения при ПЭО.

Проведены исследования с применением биполярного режима тока при процессе ПЭО на алюминиевых сплавах, который позволили получить толстые и плотные ПЭО покрытия с толщиной около 100 мкм. Применение данного режима позволило увеличить энергоэффективность процесса до 35-44 %.

Уровень научных исследований, выполненных в настоящей работе, отвечает задачам развития научных основ и разработки технологий в области материаловедения и инженерии. Считаю, что полученные в работе результаты по актуальности, научной значимости и практической полезности, достоверности основных положений и выводов отвечает требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией Республики Казахстан.

По содержанию и объему диссертационная работа соответствует требованиям и может быть рекомендована на рассмотрение в

диссертационный совет по специальности 8D07103 – «Материаловедение и инженерия».

Положительный отзыв с замечаниями зарубежного научного консультанта К. Блаверта прилагается.

Ешманова Г.Б.: Диссертационная работа была скорректирована с учетом замечаний зарубежного научного консультанта К. Блаверта.

Председатель Какимов У.К.: На этом обсуждение диссертационной работы PhD-докторанта Ешмановой Г.Б. можно считать завершенным.

Предлагаю принять следующее заключение по обсуждению диссертационной работы Ешмановой Г.Б. на тему «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расширенного заседания научного семинара кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика» КазННТУ им. К.И. Сатпаева от 19 августа 2025 года по рассмотрению диссертации докторанта (PhD) Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы на тему «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 - «Материаловедение и инженерия».

1. Актуальность темы исследования

Новые прогрессивные технологии обработки/модификации поверхности материалов готовых изделий позволяют решать актуальные проблемы в направлении повышения надежности и долговечности деталей машин и механизмов, работающих в условиях трения и агрессивных сред. Так как данные методы позволяют повлиять на фазовый состав и микроструктуру поверхности образца, не влияя на весь объем материала. Среди них наиболее экологически чистым и эффективным является метод плазменного электролитного оксидирования (ПЭО). В результате обработки образцов повышается поверхностная твердость, износо-, и коррозионостойкость обработанных материалов. Однако поверхностная пористость образцов наряду с низким ростом покрытий и высокое потребление энергии ограничивает широкое применение ПЭО в массовом производстве.

Вместе с тем, при всей актуальности и активном развитии технологии ПЭО для обработки алюминиевых сплавов, до сих пор наблюдается нехватка систематизированных экспериментальных исследований. Недостаточно изучены влияния параметров и режимов обработки ПЭО при использовании биполярного режима тока. Фазовые превращения и структурные изменения в покрытиях наиболее перспективных материалов на основе алюминия требуют более детального изучения. Четкое понимание того, как параметры обработки и свойства оксидов влияют на состав, структуру и формирование покрытий, может стать ключом к разработке более эффективных стратегий оптимизации.

Основной научной проблемой, к разработке которой посвящена диссертационная работа, является создание технологических и научных основ обработки поверхности алюминиевых сплавов методом плазменного электролитного оксидирования с целью оптимизации параметров для увеличения энергоэффективности процесса и улучшения качества полученных покрытий. Таким образом, для обеспечения требуемого уровня структурных, механических и физико-химических свойств поверхностно модифицированных алюминиевых сплавов, необходимо проведение комплексных экспериментальных исследований по научно-обоснованному выбору их оптимальных параметров обработки для более точной настройки технологических условий ПЭО.

2. Научные результаты в рамках требований к диссертациям (пп. 2, 5, 6 «Правил присуждения степеней» и паспортов соответствующих специальностей научных работников)

Научные положения диссертации соответствуют требованиям, предъявляемым к работам такого рода. В работе последовательно решаются поставленные соискателем задачи. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников. В главах сделаны научно значимые, экспериментально обоснованные выводы. Основные полученные результаты сводятся к следующему:

1. Оптимизирована технология нанесения защитных покрытий ПЭО на поверхности алюминиевых сплавов с использованием униполярного импульсного источника тока для различных смешанных составах щелочных электролитов (гидроксидов, силикатов и фосфатов). Сочетание низкого содержания гидроксида, высокого содержания силиката с увеличением содержания фосфата в смешанном составе электролитов увеличивает толщину покрытия и улучшает плотность и однородность слоев ПЭО. Экономия энергии в основном связана с электролитами более высокой концентрации.

2. Наступление «мягкого искрения» в биполярном режиме обработки ПЭО приводит наряду с высоким ростом покрытий к увеличению энергоэффективности процесса в условиях стабильно протекающего напряжения после его снижения в электролите с высоким содержанием силикатов и фосфатов (24 г/л).

3. Химическая стабильность силикатных составов электролитов оказывает влияние на процесс ПЭО. С увеличением количества обработок в силикатных электролитах снижается их электропроводность. А также, по мере увеличения числа обработок в составе электролита, фиксируется сокращение времени снижения напряжения при возникновении режима «мягкого искрения» в биполярном импульсном источнике тока.

3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации

Полученные в ходе исследования результаты и основные выводы соответствуют содержанию всех разделов работы, отражая их логическую взаимосвязь. Основные научные положения подтверждены публикациями в отечественных и зарубежных рецензируемых изданиях, а также представлены в виде доклада на международной научной конференции.

4. Степень новизны каждого научного результата (положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации

Научная новизна диссертации соответствуют требованиям, предъявляемым к работам такого рода. Научная новизна заключается в:

1. Впервые установлено взаимосвязь образованных фаз и толщины покрытий в зависимости от состава смешанных электролитов и конечного напряжения при ПЭО. 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 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Однако, при этом достигнута низкая эффективность роста покрытий. В электролитах с высокой концентрацией силикатов, сопровождающейся увеличением концентрации фосфатов, конечное напряжение составляет около 455 В, а в составе покрытий преобладает аморфная фаза в сочетании с кристаллическим муллитом и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Высокое содержание силикатов и фосфатов (18-24 г/л) в смешанных электролитах при низком конечном напряжении около 360 В приводит к образованию полностью аморфного слоя ПЭО и значительному увеличению толщины покрытий.

2. Выявлено, что экономия энергии в основном связана со смешанным составом электролитов с высокой концентрацией силикатов и фосфатов при применении относительно низкой плотности тока (50 мА/см^2) в униполярном режиме обработки ПЭО.

3. Выявлено, что наступление «мягкого искрения» в биполярном режиме обработки ПЭО приводит наряду с высоким ростом покрытий к увеличению энергоэффективности процесса в условиях стабильно протекающего напряжения после его снижения в электролите с высоким содержанием силикатов и фосфатов (24 г/л).

4. Экспериментально установлено, что наиболее высокая средняя микротвердость достигается в тонких покрытиях, сформированных в фосфатсодержащем электролите (2K2Si18P), при отсутствии режима «мягкого искрения», в отличие от толстых покрытий с плотным барьерным слоем, образованных в электролите при высоком содержании силикатов и силикатов/фосфатов (2K18Si2P и 2K24Si24P), полученных в условиях «мягкого искрения» при биполярной поляризации ПЭО.

5. Оценка внутреннего единства полученных результатов

Диссертационная работа представляет собой научно обоснованное и логически завершённое исследование, отличающееся внутренним содержательным единством. Цель и задачи исследования определены с

необходимой степенью конкретности и находят свое теоретическое и методологическое отражение в каждом разделе работы, сформулированы в виде положений, выносимых на защиту. Все полученные результаты, выводы и заключение взаимосвязаны между собой и выстроены в логической последовательности, где каждый последующий вывод опирается на предыдущий, соблюдая принцип движения от общего к частному.

6. Направленность полученных результатов на решение соответствующей актуальной проблемы, теоретической или прикладной задачи

Результаты проведенных исследований могут служить основой для создания энергоэффективных и экологически безопасных технологий упрочнения поверхностей изделий из алюминиевых сплавов, используемых в авиации, машиностроении, медицинском приборостроении и атомной отраслях и т.д. Предложенная методика позволяет достичь не только значительного улучшения эксплуатационных характеристик покрытий, таких как твердость, коррозионная стойкость и износостойкость, но и повышения общей энергоэффективности процесса, что критически важно в условиях современных требований к устойчивому и ресурсосберегающему производству. Внедрение предложенных решений может существенно снизить производственные затраты за счет уменьшения времени обработки, более рационального расходования материалов и электроэнергии, а также повысить качество и долговечность изделий.

7. Подтверждение полноты опубликования основных положений, результатов, выводов и заключения диссертации

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликовано 4 печатных работ, из них 2 статьи в международном рецензируемом научном журнале, **входящем в БД Scopus и Web of Science:**

1. **G. Yeshmanova**, C. Blawert, M. Serdechnova, D.C.F. Wieland, M. Sarykevich, E. Gazenbiller, D. Hoche, D. Smagulov, M.L. Zheludkevich Effect of electrolyte composition on the formation of PEO coatings on AA2024 aluminium alloy, *Surfaces and Interfaces* 44 (2024) 103797 (Q1, *процентиль* 82%), <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2023.103797>.

2. **G. Yeshmanova**, C. Blawert, M. Serdechnova, M. Sarykevich, T. Wu, U. Kakimov, V. Kasneryk, T. Shulha, D. Smagulov, M.L. Zheludkevich Influence of different Si sources on plasma electrolytic oxidation coating formation, morphology and composition, *Journal of Alloys and Compounds* 1036 (2025) 181845 (Q1, *процентиль* 91%) <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.181845>.

1 статья в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, входящий в БД Web of Science:

1. **Ешманова Г.**, Смагулов Д., Блаверт К. Технология плазменного электролитного оксидирования для получения защитных покрытий

алюминиевых сплавов, Комплексное Использование Минерального Сырья
2021 2(317) 78-93. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.21>.

Труды международных научно-практических конференций:

1. **Ешманова Г.**, Смагулов Д., Получение защитных покрытий на поверхности алюминиевых сплавов методом плазменного электролитического оксидирования, Материалы II Международной конференции памяти академика Э.Г. Боос (ICHERMS – 2024), 15-16 февраля 2024, Satbayev University, Алматы.

8. Наименование специальности, паспорту которой соответствует диссертация

Диссертационная работа докторанта Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы на тему «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов» выполнена в полном объеме и отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 - «Материаловедение и инженерия».

9. Соответствие диссертации предъявляемым требованиям «Правил присуждения степеней» Комитета по контролю в сфере Науки и Высшего образования РК. Диссертационная работа докторанта Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы на тему «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов», является самостоятельным, законченным исследованием в области материаловедения и инженерии. Принимая во внимание актуальность и новизну исследования, обоснованность выводов, имеющих теоретическую и практическую значимость, можно считать, что диссертационная работа отвечает всем требованиям «Правил присуждения степеней» Комитета по контролю в сфере Науки и Высшего образования РК.

На основании вышеизложенного, диссертационная работа Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов» рекомендуется к защите на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 - «Материаловедение и инженерия» в диссертационном совете «Металлургия, Обогащение и Материаловедение».

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Диссертационная работа докторанта Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы на тему «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов» выполнена в полном объеме и отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 - «Материаловедение и инженерия».

2. Рекомендовать диссертационную работу докторанта Ешмановой Гаухар Бауыржанкызы на тему «Разработка технологий нанесения защитных покрытий плазменного электролитного оксидирования на поверхности алюминиевых сплавов» к защите на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 - «Материаловедение и инженерия» в диссертационном совете «Металлургия, Обогащение и Материаловедение».

Результаты голосования: «за» - единогласно, «против» - нет, «воздержавшихся» - нет.

**Председатель, к.т.н.,
заведующий кафедрой
МНиИФ**


(подпись)

Какимов У.К.

Секретарь:


(подпись)

Кемелбекова А.Е.