

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИФПМ СО РАН
Профессор РАН, д.т.н.

___ Е.А. Колубаев

13 марта 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Люй Лань «Закономерности формирования и эволюции усталостного повреждения оксидных покрытий, полученных при микродуговом оксидировании деформируемых алюминиевых сплавов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – «Материаловедение»

Рассмотрев и обсудив диссертационную работу Люй Лань «Закономерности формирования и эволюции усталостного повреждения оксидных покрытий, полученных при микродуговом оксидировании деформируемых алюминиевых сплавов», отмечаем следующее.

Актуальность темы диссертационной работы. Использование метода микродугового оксидирования позволяет создавать защитное покрытие на поверхности алюминиевых деталей, которое обеспечивает надежную защиту от воздействия внешних факторов и процессов, как агрессивные среды, коррозия, трение и износ. Однако, важно отметить, что наличие покрытия также может оказать влияние на механическое поведение и прочностные характеристики конструкций и изделий, выполненных из алюминиевых сплавов. Это означает, что необходимо проводить исследования, чтобы понять, как влияет такое покрытие на поведение и разрушение алюминиевых деталей и изделий. Таким образом, установление влияния микродугового оксидирования на механические свойства и поведение алюминиевых сплавов является актуальной задачей. Понимание этих взаимосвязей позволит разработать более эффективные методы и технологии обработки, а также повысить надежность и долговечность алюминиевых компонентов, используемых в сложных рабочих условиях.

В этой связи диссертационная работа Люй Лань, посвященная установлению закономерностей влияния технологических режимов микродугового оксидирования на свойства оксидных покрытий, формируемых на деформируемых алюминиевых сплавах, и оценке этого влияния на характер усталостного разрушения, является актуальной.

Содержание диссертационной работы. Диссертационная работа изложена на 148 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 160

литературных источников, 2-х приложений, содержит 8 таблиц и 35 рисунков.

Во введении подробно обосновывается актуальность научных исследований, представляющих значимость и важность их практического применения. Приведена цель и определены задачи, которые преследуются при выполнении данной работы. Особое внимание уделяется научной новизне представленных исследований, подчеркивая их оригинальность и вклад в область науки, занимающуюся изучением взаимосвязи структуры и свойств материалов. Кроме того, показаны практическая и теоретическая значимость полученных результатов, их потенциальное применение и влияние на современные знания и технологии. Во введении также приведена апробация полученных результатов, т. е. процесс проверки и подтверждения их достоверности и применимости через эксперименты, испытания или другие методы. В целом, введение предоставляет четкую основу и обоснование для дальнейшего изложения результатов исследования.

В первой главе представлен обзор литературных сведений, связанных с исследованием функциональных покрытий. Рассмотрено текущее состояние исследований, выполненных в области изучения метода микродугового оксидирования и других методов формирования оксидных покрытий, электрохимическое анодное оксидирование. Рассмотрены вопросы, различающие два электрохимических механизма оксидирования: анодирование при постоянном токе и оксидирование при действии импульсов высокого напряжения (микродуговое оксидирование). Далее рассмотрены в литературе вопросы о влиянии состава электролитов на характер формирования оксидных пленок и образования пор в структуре оксидного слоя. Подробно рассмотрены известные в литературе и теоретически обоснованные факты, описывающие температурный и фазовый механизм формирования оксидного слоя на поверхности образцов при оксидировании алюминия. Показана история развития метода микродугового оксидирования. Выполнен анализ ранее полученных другими авторами результатов по определению стойкости полученных оксидных покрытий к повышенным температурам, воздействию агрессивных сред, показывающие их высокую электрическую стойкость, высокую адгезию с подложкой. Представлен сравнительный анализ оксидных пленок, полученных на алюминиевых сплавах различными методами. В литературном обзоре также рассмотрены вопросы использования различных методов исследования полученных оксидных покрытий, исходя из анализа требуемых к определению свойств и потребительских характеристик формируемого оксидного слоя.

Во второй главе описаны материалы, приведено обоснование их выбора. Основным объектом исследования являлся зарубежный алюминиевый сплав марки 7075, являющийся близким аналогом высокопрочного деформируемого алюминиевого сплава В95. В разделе выполнено многофакторное планирование исследований на основе 3-х факторов управления режимами оксидирования: плотность тока, индуктивность электрической цепи, период оксидирования. Все три фактора являются независимыми и могут быть заданы до начала оксидирования. Автор показал значимость выбора плотности тока в сравнении с амплитудой напряжения импульсов. Индуктивность цепи по представленной автором

информации со ссылкой на ранее полученные результаты других исследователей позволит получить неизвестный ранее, однако предполагаемый автором, эффект влияния на структуру и свойства оксидных покрытий. Представлены особенности настройки оборудования для формирования оксидных покрытий, включая настройку параметров, режимов источника питания и подбор состава электролита. В разделе приведены особенности методики проведения исследований покрытий, включая измерение шероховатости, микротвердости и толщины сформированного оксидного слоя. Кроме того, в разделе представлена методика проведения усталостных испытаний образцов с покрытиями и без них, целью которых является определение влияния характеристик сформированных оксидных покрытий на циклическую долговечность образцов. Одновременно с выполнением механических испытаний на усталость выполнялась регистрация акустической эмиссии. Описаны методы обработки сигналов и проведения экспериментов для определения зависимости между характеристиками покрытий, параметрами развивающихся трещин, режимами оксидирования и параметрами сигналов акустической эмиссии. Таким образом, данное исследование выполнено с использованием современных физических методов исследования и методов механических испытаний, что обеспечивает достоверность полученных результатов.

В третьей главе представлены результаты исследования влияния режимов микродугового оксидирования, а именно, 3-х факторов оксидирования, заданных планом эксперимента, на характеристики формируемых оксидных покрытий. Полученные результаты показали, что рост толщины оксидного слоя происходит до повышения значения индуктивности 28 мГн, последующее увеличение индуктивности снижает толщину слоя. При этом, наибольшее значение микротвердости при наименьшем значении шероховатости R_a было достигнуто при значении индуктивности цепи 17,6 мГн. Автор объясняет полученные результаты характером влияния реактивного сопротивления, заданного введенной в электрическую цепь индуктивностью, на изменение длительности тока разряда, что способствует увеличению времени жизни микродугового разряда при снижении энергии импульса.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния различных по толщине оксидных покрытий на циклическую долговечность образцов, которая получена по результатам усталостных испытаний. Толщина слоя регулировалась периодом оксидирования при постоянном значении индуктивности и плотности тока оксидирования. Полученные результаты усталостных испытаний, а также результаты регистрации сигналов акустической эмиссии, сравнивались с результатами испытаний образцов без нанесения оксидных покрытий. В числе полученных результатов можно отметить установление закономерности роста усталостных магистральных трещин от изменения частоты резонансных автоколебаний, а также от периода роста трещин по отношению к долговечности для образцов сплава 7075. Кроме того, было установлено, что для образцов с оксидными покрытиями, сформированными на алюминиевом сплаве 7075 в течение 30-90 мин, в сравнении с образцами без покрытий, наблюдается увеличение долговечности при амплитуде напряжения цикла превышающей 200 МПа, когда как увеличение периода

оксидирования, а также микротвердости сформированного оксидного покрытия, приводит к снижению циклической долговечности.

В заключении автор провел обобщение данных, полученных в процессе исследования, а также сформулировал основные научные результаты работы, их практическую значимость и перспективы для дальнейшей разработки темы исследования. В приложении представлены 2 акта внедрения, один из которых: акт внедрения в учебный процесс, другой – акт об использовании результатов научной работы на предприятии ООО «ЭСКО».

Содержание диссертационной работы написано хорошим научным языком, изложено грамотно и логично. Автореферат диссертации и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертационной работы. Рукопись и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК. Полученные соискателем результаты обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью.

Научная новизна и научная значимость работы заключается в следующем. 1. Установлены закономерности, показывающие монотонный рост толщины и микротвердости оксидных покрытий на алюминиевом сплаве 7075 при увеличении периода оксидирования и индуктивности цепи до 17,6 мГн при фиксированной плотности тока. 2. Установлено увеличение циклической долговечности в широком диапазоне напряжений при изгибе деформируемого алюминиевого сплава 7075 с оксидным покрытием до 20 мкм, формируемым при МДО в электролите на основе гексаметафосфата, силиката и гидроксида натрия, а с оксидным покрытием до 36 мкм при условии нагружения с амплитудой цикла напряжения более 200 МПа. 3. Обосновано увеличение циклической долговечности деформируемых алюминиевых сплавов с оксидными покрытиями и показано, что это связано с наличием барьерного оксидного слоя, препятствующего развитию усталостных повреждений в поверхностных слоях пластичной подложки в инкубационный период развития циклической усталости.

Обоснованность и достоверность полученных результатов. Корректность постановки задачи, использование аттестованного оборудования, поверенных средств измерений и апробированных методик исследований обеспечивают достоверность и обоснованность полученных в работе экспериментальных результатов, выводов и рекомендаций. Основное содержание диссертационной работы отражены в 16-ти публикациях, из них 3 статьи опубликованы в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, одна публикация - в издании, входящем в перечни Web of Science и Scopus, получен один патент на изобретение. Есть публикации в единоличном авторстве.

Практическая значимость полученных результатов. Практическая значимость данной диссертации проявляется в нескольких аспектах.

1. Получены результаты экспериментов, устанавливающие влияние параметров микродугового оксидирования на технологические характеристики и механические свойства оксидных покрытий, формируемых на деформируемом алюминиевом сплаве 7075;
2. Установлено экспериментальные зависимости, определяющих влияние

формируемых оксидных покрытий на долговечность деформируемых алюминиевых сплавов и их эксплуатационные характеристики.

3. Полученные результаты внедрены для использования в учебном процессе и на малом предприятии ООО «ЭСКО», где используются для повышения эффективности технологического процесса.

Имеются замечания по диссертационной работе. 1. В работе не представлено четкого обоснования выбора исследуемых материалов – деформируемых алюминиевых сплавов различных марок. При этом в разделе 2 не приведены данные на материалы Д16АТ и 1163. 2. В работе предложен новый параметр и критерий для использования метода акустической эмиссии по оценке характера развития усталостных повреждений, однако не приведены границы его применимости. Не приведено сравнение эффективности применения предложенной методики с существующими. 3. Как указано в подписи к рисунку 2.1, на рисунке приведена схема установки для микродугового оксидирования. В тексте указано, что «Структурная схема стенда для проведения исследований приведена на рисунке 2.1» И далее текст «Фото установки приведено на рисунке 2.2 [134].» Но рис. 2.2 приведено фотоизображение ванны с образцом. Не ясно, автор работы использовал стенд или установку. Не ясен изготовитель стенда или установки. Ссылка 134 указывает на патент, где автором является руководитель соискателя. Но в патенте речь идет не об установке и стенде для микродугового оксидирования, а о «способе мониторинга и управления процессом микродугового оксидирования с использованием метода акустической эмиссии». Отсутствуют сведения о параметрах установки, как величина напряжения, частота следования импульсов, скважность импульсов или коэффициент заполнения импульсов, какие режимы могут быть реализованы.

Заключение. Диссертационная работа Люй Лань «Закономерности формирования и эволюции усталостного повреждения оксидных покрытий, полученных при микродуговом оксидировании деформируемых алюминиевых сплавов» по актуальности темы исследования, научной новизне, практической значимости и достоверности достигнутых результатов, а так же по объему выполненных исследований, уровню публикаций и личному вкладу представляет собой законченное, самостоятельно проведенное, научно-квалификационное исследование, в котором решена важная научно-практическая задача разработки методики управления качеством оксидных покрытий на алюминиевых сплавах в процессе микродугового оксидирования. Представленная работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 14 сентября 2013 г. № 842 (ред. От 11.09.2021), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Люй Лань заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – Материаловедение (технические науки).

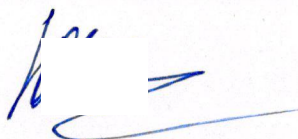
Отзыв подготовлен **Шаркеевым Юрием Петровичем**, главный научный сотрудник лаборатории физики наноструктурных биоконпозитов ИФПМ СО РАН, доктор физико-математических наук, 01.04.07 – «Физика конденсированного

состояния», и **Комаровой Екатериной Александровной**, научный сотрудник лаборатории физики наноструктурных биокompозитов ИФПМ СО РАН, кандидат технических наук, 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Диссертация, автореферат диссертации и отзыв обсуждены 07.03.2025 г. на научном семинаре лаборатории физики наноструктурных биокompозитов ИФПМ СО РАН, протокол № 1/25 от 07 марта 2025 г.

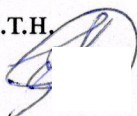
Согласны на обработку персональных данных.

Председатель семинара, г.н.с. лаборатории физики наноструктурных биокompозитов ИФПМ СО РАН, д. ф.-м. н., профессор



Шаркеев Юрий Петрович

Секретарь семинара, научный сотрудник лаборатории физики наноструктурных биокompозитов ИФПМ СО РАН, к.т.н.



Комарова Екатерина Геннадьевна

13.03.2025

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4.

Телефон: +7 (3822) 286-941. Факс: +7 (3822) 49-25-76

E-mail: root@ispms.tomsk.ru, вебсайт: <http://www.ispms.ru>

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4.

Телефон: +7 (3822) 286-941. Факс: +7 (3822) 49-25-76

E-mail: root@ispms.tomsk.ru, вебсайт: <http://www.ispms.ru>