

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Актуальность темы диссертации

Алюминий и его сплавы имеют ценные технологические и эксплуатационные свойства (низкая плотность, высокая теплопроводность и электропроводность). Их широкое применение в авиастроении, машиностроении и других отраслях требует защиты и модификации поверхности для улучшения ресурса и срока службы. Одним перспективным решением является нанесение оксидных керамических покрытий на алюминий и его сплавы методом микродугового оксидирования. Однако, применение микродугового оксидирования ограничено отсутствием систематизированной связи между свойствами покрытий и параметрами оксидирования. Выбор режима микродугового оксидирования для различных геометрических конфигураций изделий из разных материалов является проблемой. Необходимо линеаризовать зависимость свойств и характеристик оксидных покрытий от изменяемых режимов микродугового оксидирования, параметров импульсов и реактивных характеристик электрической цепи. Кроме того, выявление кинетики накопления повреждений и разрушения алюминия и его сплавов с оксидными покрытиями при различных видах нагружения также является важной задачей, решение которой позволит обеспечить устойчивую теоретическую основу для безопасного и эффективного применения деталей с покрытиями, сформированными методом микродугового оксидирования в промышленности.

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа изложена на 148 страницах, содержит 53 рисунка, 11 таблиц и состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 160 наименований.

Во введении обоснована актуальность научных исследований, сформулирована цель, определены задачи работы, показана научная новизна, практическая и теоретическая значимость и апробация полученных результатов. Целью работы является установление закономерностей влияния режимов, задаваемых при микродуговом оксидировании на характеристики и механические свойства оксидных покрытий, формируемых на алюминиевых сплавах. Кроме того, работа включает результаты научных исследований оценки влияния оксидных покрытий, сформированных при микродуговом окислении, на долговечность при циклической усталости алюминиевых сплавов из класса деформируемых сплавов, что позволит выполнить

мероприятия по повышению показателей эксплуатационных свойств исследуемых сплавов. Исследуемые показатели были определены как оказывающие существенное влияние на характеристики формируемых оксидных покрытий.

В первой главе рассмотрены вопросы оценки состояния современных исследований в области изучения механизмов и окисления металлов вентильной группы и сплавов, где данные металлы являются основой. Выполнен анализ современных достижений в области теоретического описания процесса окисления алюминиевых сплавов, рассмотрены вопросы, связанные с анодным оксидированием, которое является одним из первых методов широкого промышленного применения технологии электрохимического окисления. Проанализирован выбор получаемых при оксидировании технологических свойств материалов с покрытиями и свойств получаемого оксидного слоя. Отдельно рассмотрены вопросы, вызывающие внимание при выборе технологических приемов, использующих метод микродугового воздействия на материалы вентильной группы и в том числе на алюминиевые сплавы. Основываясь на проведенном анализе, были сформулированы цель и основные задачи исследования, были определены методы проведения исследований, включая выбор технологических параметров и режимов микродугового оксидирования, материалы, используемые при проведении исследования и необходимость проведения экспериментальных исследований. Отмечено отсутствие систематизированных данных, позволяющих установить связи между режимами микродугового оксидирования и механическими свойствами покрытий и материалов с оксидными покрытиями, формируемыми на деформируемых алюминиевых сплавах.

Во второй главе представлена методика выполнения исследования оксидных покрытий, получаемых на алюминиевых сплавах класса деформируемых сплавов. При выборе основного материала, результаты исследований которого легли в основу диссертационной работы, показана перспективность применения высокопрочного алюминиевого сплава, которым является сплав 7075, близким российским аналогом которого является сплав В95. В разделе обоснован выбор оборудования, которое было использовано при проведении технологической операции по микродуговому оксидированию образцов, а также при проведении исследований структуры и свойств покрытий. Обоснован выбор исследуемых соискателем технологических свойств получаемого оксидного слоя, к которым отнесены толщина слоя, его микротвердость и шероховатость поверхности. К числу эксплуатационных свойств можно отнести полученную при усталостных испытаниях циклическую долговечность материалов с покрытиями и без покрытий. Положительной стороной методического обеспечения эксперимента является использование полного факторного планирования, которое позволило при сокращенном объеме проводимых исследований охватить широкий круг экспериментальной области, характеризующейся тремя

значащими и независящими друг от друга факторами. Описаны методы и средства управления процессом формирования оксидного слоя, включающие настройку электрических параметров, режим источника питания. Приведено обоснование выбора состава электролита на основе гексаметафосфата натрия. При этом установлены положительные результаты его использования наряду с широко распространенными электролитами на основе силиката натрия, фосфата натрия и другими. В разделе представлено описание методов исследования морфологии и определения параметров получаемого при окислении оксидного слоя, включающие оптическую и сканирующую электронную микроскопию. Приведены методы и оборудование, использованные соискателем при измерении шероховатости, толщины и микротвердости сформированного покрытия. Обосновано применение лабораторной установки для механических усталостных испытаний легких металлов и сплавов. Указано, что лабораторная установка, выполненная специально для проведения испытаний в условиях низкого уровня механических шумов с целью ее использования при одновременной регистрации сигналов акустической эмиссии во время проведения циклических испытаний. Установка имеет бесконтактное электромагнитное нагружение и регистрацию механических напряжений и частоты колебаний, что является информативным при выполнении испытаний. В разделе описаны методы постобработки сигналов акустической эмиссии и проведения многофакторного эксперимента для определения зависимости параметров формируемого оксидного слоя от установленных режимов микродугового оксидирования.

В третьей главе диссертации представлены результаты, направленные на проведение эксперимента по формированию оксидного слоя на алюминиевом сплаве 7075, систематично выполненного в рамках поставленных задач и полного факторного планирования. В эксперименте использованы три управляемых и независимых друг от друга фактора: период окисления, индуктивность электрической цепи и плотность тока электрических импульсов. По результатам проведенного эксперимента получены уравнения линейной регрессии. Был выполнен сравнительный анализ установленных зависимостей между параметрами заданными режимами оксидирования и результирующими характеристиками покрытия: толщина, шероховатость и микротвердость. Соискателем рассмотрены возможные причины отклонения от линейности полученных уравнений и выдвинута гипотеза, объясняющая полученный результат.

По результатам проведенных экспериментов по формированию оксидного слоя на исследуемых сплавах было проведено исследование структуры для различных регулируемых условиями эксперимента параметрах оксидирования.

В четвертой главе соискателем представлены результаты исследования циклической долговечности алюминиевых сплавов класса деформируемых. Для выполнения исследований были использованы образцы специальной

формы, отличающейся от заданных стандартом для испытаний на усталость. Для испытаний соискатель применил установку с электромагнитным нагружением. Одновременно с испытанием была выполнена регистрация акустической эмиссии, что позволило регистрировать энергетические аспекты мгновенного приращения трещин в процессе их зарождения и роста при развитии усталостных повреждений. Один из факторов проявления усталости – циклическая долговечность – являлся основным параметром, используемым соискателем для сравнительной оценки свойств образцов алюминиевого сплава с оксидным покрытием от образцов без покрытия. Для испытаний были выбраны образцы не всех режимов оксидирования, приведенных в главе 3, а образцы, полученные при индуктивности 17,6 мГн. Обоснование этому соискатель изложил в выводах к разделу 3. В выводах автор описал полученные результаты и предложил обоснование влияния оксидных покрытий на появление и развитие трещин и циклическую долговечность алюминиевого деформируемого сплава с оксидным поверхностным слоем различной толщины.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием методов экспериментальных исследований с применением современного технологического и аналитического оборудования, методов планирования эксперимента, статистической обработкой экспериментальных данных, использованием стандартных компьютерных программ. Основные результаты работы основываются на количественном анализе электрических параметров оксидирования, измеренных характеристики сформированного оксидного покрытия, анализе регистрируемых параметров сигналов акустической эмиссии и кинетики повреждения, выполненной с использованием микроструктурного анализа. Полученные данные интерпретируются, исходя из известных положений материаловедения, физики металлических и неметаллических материалов, электрохимии, мезомеханики, физики прочности и пластичности. Выводы, сделанные соискателем по работе, убедительны и последовательно вытекают из полученных результатов экспериментальных исследований.

Научная новизна и значимость работы

Научная новизна и положения, выносимые автором на защиту, не вызывают сомнений, они подтверждены экспериментальными результатами, полученными с привлечением современных, хорошо отработанных методов исследований и современного высокоточного исследовательского оборудования. Научная новизна полученных результатов и выводов заключается в установленных закономерностях монотонного роста толщины и микротвердости оксидных покрытий, формируемых при микродуговом оксидировании алюминиевого сплава 7075 при монотонном увеличении периода оксидирования и индуктивности цепи при условии ее повышения до 17,6 мГн при фиксированной плотности тока и размерах образца. Кроме того,

обладают новизной и большой практической значимостью результаты, свидетельствующие об увеличении циклической долговечности сплава 7075 в широком диапазоне напряжений при формировании на нем оксидных покрытий малой толщины до 20 мкм, а для б=оксидных покрытий толщиной более, чем 36 мкм при максимальной амплитуде механических напряжений более, чем 200 МПа. Полученные результаты соискатель связывает с задержкой развития усталостных повреждений в поверхностных слоях пластичной подложки в инкубационный период развития усталости.

Замечания и вопросы по диссертации

По диссертации и автореферату имеется ряд замечаний и вопросов:

1. Во введении в разделе «Структура и объем диссертационной работы» указано, что диссертация содержит 8 таблиц и 35 рисунков. Однако, подсчет показал, что в диссертации 53 рисунка и 11 таблиц.
2. На рис. 3.11 диссертации приведена электрическая принципиальная схема измерительной ячейки при микродуговом оксидировании. В тексте закономерно отмечено, что приведенные на схеме сопротивления $R_{\text{окс}}$ и $R_{\text{эл}}$ определяются сопротивлением оксидного слоя и электролита. Также цепь содержит введенную индуктивность. Учитывая, это, общее сопротивление цепи будет определяться суммой активного и реактивного сопротивления цепи. Однако, измеренные значения сопротивления в расчетах не приведены. При этом, активное сопротивление будет зависеть от площади поверхности оксидируемой детали или образца. Возникает вопрос о том, будут ли зависеть результаты испытаний от реактивного сопротивления индуктивности при изменении площади детали.
3. В главе 4 приведены результаты анализа сигналов акустической эмиссии, зарегистрированных при усталостных испытаниях образцов деформируемых алюминиевых сплавов. Однако, полученные результаты использования акустической эмиссии не приведены в выводах. В связи с чем возникает вопрос о необходимости использования данного метода в разделе 4.
4. В первой главе, посвященной обзору литературы, проведена информация о результатах применения микродугового оксидирования алюминиевых сплавов. Однако, не содержится информации о вкладе Российских ученых Института химии ДВО РАН, внесших вклад в изучение процесса оксидирования алюминия и его сплавов при потенциалах искрения и пробоя.

Приведенные замечания не затрагивают полученных достижений, приведенных в научной новизне, практической значимости и положениях, представленных на защиту, а также не снижают актуальности представленной работы.

Публикации по работе

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 16 публикациях. Из них 3 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов

диссертаций, одна публикация в зарубежном издании, входящем в наукометрические базы данных, приравненные к журналам Перечня ВАК, один патент на изобретение.

Заключение

По своей актуальности, уровню решенных задач, научной новизне, теоретической и практической значимости, обоснованности научных положений и выводов, достоверности полученных результатов, уровню апробации и опубликованию основных положений в печати диссертационная работа Люй Лань «Закономерности формирования и эволюции усталостного повреждения оксидных покрытий, полученных при микродуговом оксидировании деформируемых алюминиевых сплавов» соответствует требованиям пп. 9-14 положения ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., 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.

Официальный оппонент
Заведующий лабораторией защитных
покрытий и морской коррозии
ФГБУН Институт химии ДВО РАН
доктор технических наук,
специальность 02.00.05 - электрохимия,
профессор по специальности 02.00.04 - физическая химия,
Заслуженный деятель науки РФ

Гордиенко Павел Сергеевич

18.03.25г.

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимые для процедуры защиты диссертации, в том числе размещение их в сети Интернет.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук.

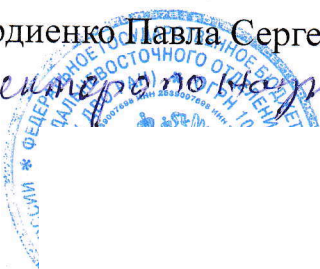
Почтовый адрес организации:

690022, г. Владивосток, Проспект 100-летия Владивостока, д. 159.

Телефон: 8-914-703-77-89, e-mail: pavel.gordienko@mail.ru

Подпись Гордиенко Павла Сергеевича заверяю

зам. директора по науке ИХ ДВО РАН



Машина О.В.