МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет: промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта (наименование)

Кафедра: Сварочное, литейное производство и материаловедение (наименование)

Направление подготовки: 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов» (код и наименование)

Профиль: «Материаловедение и технология новых материалов» (наименование)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
на тему
«Исследование микроструктуры и свойств оксидных покрытий на алюминии АД1, полученных микродуговым оксидированием»

Студент _____ 25.06.23 (подпись, дата) *Журавлев Никита Александрович* (фио полностью)

Научный руководитель
к.т.н., доцент _____ 25.06.23 (подпись, дата) *Кривенков А.О.* (фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр
к.т.н., доцент _____ 25.06.23 (подпись, дата) *Хорин А.В.* (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от 07.06.2023 № 10)

Заведующий кафедрой _____ 26.06.23 (подпись, дата) *Логинов О.Н.* (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой отлично (протокол заседания ГЭК от 27.06.23 № 3)

Секретарь ГЭК _____ 27.06.23 (подпись, дата) *Гуськов М.С.* (фамилия, инициалы)
к.т.н., доцент

Пенза 2023

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТРАНСПОРТА
КАФЕДРА «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой СЛПиМ
к.т.н., доцент _____ О.Н. Логинов
подпись
«30» декабря 2022 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Студенту гр. 19МТ1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, очной формы обучения по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов»

Журавлева Никиты Александровича.
Научный руководитель работы: *к.т.н., доцент Кривенков А.О.*
Время выполнения ВКР: *с 30.12.2022 г. по 27.06.2023 г.*
Место преддипломной практики: *кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение» ПГУ.*
Тема работы: *«Исследование микроструктуры и свойств оксидных покрытий на алюминии АД1, полученных микродуговым оксидированием».*
Тема утверждена приказом ректора ПГУ *№ 1184/О от 30.12.2022 г.*

Техническое задание на работу (назначение устройства, условия применения, внешние воздействия, специальные требования и т.п.): *выполнить литературное и патентное исследование влияние режимов микродугового оксидирования на свойства материалов, провести исследования толщины и пористости получаемого оксидного покрытия.*

Объём и содержание основной части работы
Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, расчетов, обоснований, описаний):
- введение с обоснованием актуальности темы исследования, установления объекта и предмета, постановкой цели и задач исследования;
- патентное исследование, механизм образования покрытий и методы получения покрытий;
- экспериментальный раздел – описание результатов исследования влияния микродугового оксидирования на получаемое покрытие, исследования коррозионной стойкости, толщины и пористости;
- заключение – выводы и обоснования по теме работы и полученным результатам.

Презентация бакалаврской работы (перечень и содержание плакатов)

- тема ВКР *1л А4;*
- цели и задачи выпускной работы *1л А4;*
- структура МДО - покрытий, полученных на алюминиевых сплавах *1л А4;*
- материал экспериментальных образцов *1л А4;*
- эксперименты по получению МДО композиционных оксидокерамических материалов на основе алюминиевого сплава АД1 *1л А4;*
- технологические особенности микродугового оксидирования *1л А4;*
- микроскопический анализ композиционных материалов на основе алюминия АД1, полученных МДО *1л А4;*
- толщина и пористость покрытий композиционных металлических материалов на основе алюминия АД1 *2л А4;*
- электролиты для получения экспериментальных образцов композиционных материалов на основе алюминия АД1 микродуговым оксидированием *1л А4;*
- режимы оксидирования композиционных материалов на основе алюминия АД1 *1л А4;*
- зависимости толщины и пористости оксидного слоя от параметров оксидирования *1л А4;*
- исследования коррозионной стойкости *1л А4;*
- результаты исследования коррозионной стойкости оксидных покрытий на сплаве АД1 *1л А4;*
- заключение *1л А4.*

Рекомендуемая литература:

1. **Францевич, И.Н. Анодные окисные покрытия на легких сплавах** [Текст]: учеб. – метод, пособие / И.Н. Францевич, В.А. Лавренко Киев.: Наук. Думка, 1977. – 259 с.: ил.;
2. **Аверьянов, Е.Е. Справочник по анодированию** [Текст]: Справочник специалиста / Аверьянов Е.Е. М.: Машиностроение, 1988. – 224 с.
3. **Вайнер, Я.В. Технология электрохимических покрытий** [Текст]: [Учебник для учащихся техникумов] / Я. В. Вайнер, М. А. Дасоян. – Москва; Ленинград: Машгиз. [Ленингр. отд–ние], 1962. – 468 с.: ил.

Дата выдачи задания: 30.12.2022 г.

Руководитель ВКР:
к.т.н, доцент _____ А.О. Кривенков
Задание к исполнению принял студент
гр. 19МТ1 _____ Н.А. Журавлев
30 декабря 2022 г.

Выпускную квалификационную работу к защите допустить
Декан факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта ПИ ПГУ С.Ю. Киреев

ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой аттестации допустить

ФГБОУ ВО «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
кафедра «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

«Утверждаю»
Руководитель ВКР
к.т.н., доцент _____ А.О. Кривенков
подпись
«30» декабря 2022 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН
на выпускную квалификационную работу

Студента гр. 19МТ1 Факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Политехнического института ПГУ, направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», профиль «Материаловедение и технологии новых материалов»

Журавлева Никиты Александровича

Тема работы: *Исследование микроструктуры и свойств оксидных покрытий на алюминии АД1, полученных микродуговым оксидированием*

Наименование этапа работы	Срок исполнения		Отметка о выполнении
	начало	окончание	
1 Получение задания, его уяснение, беседа с руководителем. Подготовка к выполнению магистерской диссертации.	30.12.22	10.01.23	
2 Подбор и изучение рекомендованной литературы.	11.01.23	26.01.23	
3 Изучение объекта исследования, постановка цели и задачи работы. Написание введения.	27.01.23	04.02.23	
4 Литературный и патентный поиск по теме исследования. Теоретический анализ особенностей материалов. Анализ существующих технологий получения пористого алюминия. Написание первого раздела работы.	05.02.23	15.02.23	
5 Уточнение технологии получения покрытий с помощью микродугового оксидирования.	16.02.23	05.03.23	
6 Подготовка алюминия АД1 к нанесению покрытий.	30.12.22	10.01.23	
7 Завершение оформления пояснительной записки, схем и рисунков.	06.03.23	01.04.23	

8 Представление завершенной ВКР нормоконтролеру	02.04.23	06.05.23	
9 Представление ВКР руководителю на просмотр и проверку на плагиат.	07.05.23	17.05.23	
10 Предварительная защита ВКР	18.05.23	27.05.23	
11 Полное завершение всех работ и представление зав. кафедрой на подпись пояснительной записки (совместно с графической частью, протоколом проверки на плагиат и отзывом руководителя)	05.06.23	06.06.23	
12 Защита ВКР	07.06.23	27.06.23	

Прохождение каждого этапа подготовки магистерской диссертации подтверждается подписью руководителя.

Студент учебной группы 19МТ1 _____ Н.А. Журавлев

"20" декабря 2022 г.

Ректору Пензенского
государственного университета
А.Д. Гулякову
студента 4 курса Факультета
промышленных технологий,
электроэнергетики и транспорта
Журавлева Никиты Александровича
(фамилия, имя, отчество)

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Журавлев Никита Александрович, студент 4 курса ФПТЭТ направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», профиль «Материаловедение и технологии новых материалов», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» выпускной квалификационной работы на тему: «Исследование микроструктуры и свойств оксидных покрытий на алюминии АД1, полученных микродуговым оксидированием», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.

(подпись студента)

19.06.2023
(дата)

ВКР представлена на проверку 19.06.2023 год

Руководитель ВКР _____ / А.О. Кривенков /
Подпись И.О.Фамилия

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Исследование микроструктуры и свойств оксидных покрытий на алюминии АД1, полученных микродуговым оксидированием» студента 4 курса Журавлева Никиты Александровича направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», профиль «Материаловедение и технологии новых материалов».

Руководитель ВКР **Кривенков Алексей Олегович, к.т.н., доцент каф. «Сварочное, литейное производство и материаловедение».**

Результат проверки на плагиат бакалаврской работы Журавлева Никиты Александровича составляет 52,83 % оригинальности, что соответствует существующим требованиям стандарта СТО ПГУ 3.12-2018. Выпускная квалификационная работа может быть рекомендована к защите.

АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Журавлев Никита Александрович
Самоцитирование рассчитано для: Журавлев Никита Александрович
Название работы: Журавлев Никита Александрович_ПЗ_ВКР_19МТ1
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: ПГУ, кафедра "СЛПиМ", гр. 19МТ1

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ: НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	46.39%	СОВПАДЕНИЯ	46.39%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	52.83%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	52.83%
ЦИТИРОВАНИЯ	0.78%	ЦИТИРОВАНИЯ	0.78%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 19.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 19.06.2023 13:24

Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley ; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Кривенков А. О.

ФИО проверяющего

Дата подписи:

Подпись проверяющего

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

Руководитель ВКР _____/А.О. Кривенков/

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Пензенский государственный университет»

ОТЗЫВ

РУКОВОДИТЕЛЯ О ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
БАКАЛАВРА

Студента группы 19МТ1 Журавлева Никиты Александровича.

Тема: «Исследование микроструктуры и свойств оксидных покрытий на алюминии АД1, полученных микродуговым оксидированием».

Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технология материалов», профиль подготовки – «Материаловедение и технология материалов».

Выпускная квалификационная работа Журавлева Н.А. состоит из расчетно-пояснительной записки и презентации на 15 слайдах. Выпускная квалификационная работа выполнена в соответствии с заданием. Пояснительная записка содержит 58 стр., 13 рис., 9 таб., 34 использованных источников, 1 прил. и включает следующие разделы: аннотацию; аналитическую часть; теоретическую часть; экспериментальную часть; заключение.

Во время подготовки выпускной квалификационной работы Журавлев Н.А. проводил свою работу в соответствии с календарным графиком, проявил творческую самостоятельность и высокие инженерно-технические знания, зарекомендовал себя с положительной стороны. Работа проводилась планомерно, в требуемом объеме, возникающие по работе замечания исправлялись в срок.

При работе над теоретической и экспериментальной частями работы Журавлев Н.А. зарекомендовал себя как будущий специалист в области материаловедения, обладающий требуемой квалификацией и профессиональными навыками, умеющий на качественном уровне самостоятельно решать сложные конструкторские и технологические задачи в области материаловедения, использовать техническую и нормативную документацию.

Считаю, что выпускная квалификационная работа заслуживает оценки «отлично», а ее автор Журавлев Н.А. заслуживает присвоения квалификации бакалавра по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», по профилю «Материаловедение и технологии новых материалов».

Руководитель ВКР
к.т.н., доцент каф. "Сварочное, литейное
производство и материаловедение" ПГУ _____ Кривенков А.О.

Аннотация

Выпускная квалификационная работа содержит 58 с., 13 рис., 9 таб., 34 использованных источников, 1 прил.

МИКРОДУГОВОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ, ОКСИДНАЯ ПЛЁНКА, БАРЬЕРНАЯ ОКСИДНАЯ ПЛЕНКА, ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ, ЭЛЕКТРОЛИТ

Объектом исследования являются КМ на основе алюминиевого сплава АД1, полученные оксидированием.

Предметом исследования – структура и коррозионная стойкость полученных КМ.

Целью данной работы является изучение влияния параметров микродугового оксидирования на толщину, пористость и коррозионную стойкость композиционных материалов на основе алюминия.

Задачами являются:

– изучить механизм образования оксидного слоя на алюминии в процессе МДО;

– рассмотреть основные технологические схемы МДО;

– исследовать толщину и пористость получаемого оксидного слоя;

– провести испытания по коррозионной стойкости.

Структура выпускной квалификационной работы состоит из введения, трех глав и заключения. Введение дает краткое описание объекта исследования, комплекса методик и структуры работы. В первой части работы приводятся сведения о классификации, механизмах образования покрытий и методах получения этих самых покрытий. Во второй части описаны растворы, при которых образуется оксидная пленка. В третьей части описаны исследования влияниях микродугового оксидирования на получаемое покрытие, исследования коррозионной стойкости и толщины.

Эффективность полученных результатов выражается в определении более коррозионностойкого материала с малой потерей массы относительно других покрытий.

Содержание

Введение 7
1 Литературно – патентный обзор 9
1.1 Патентное исследование 9
1.2 Предприятия и институты 13
1.3 Модельные представления о механизме формирования МДО покрытий 16
1.4 Процессы происходящие при МДО 23
1.5 Основные технологические схемы МДО 27
2 Исследование принципов формирования структуры и свойств композиционных материалов при воздействии микродуги в электролитах 35
2.1 Электролиты для формирования оксидной пленки на алюминии 35
3 Методы исследования свойств композиционных материалов 41
3.1 Определение толщины и пористости 41
3.2 Определение коррозионной стойкости покрытий 44
3.3 Исследование влияния параметров оксидирования на толщину и пористость оксидных слоев 45
3.4 Определение коррозионной стойкости полученного покрытия 49
Заключение 52
Список используемой литературы 54
Приложение 57

Введение

Совершенствование промышленного производства, требует создание новых конструкционных материалов, но в тоже время регулируется результатами получения этих материалов. Образуемые в ходе естественного развития существующих конструкций, новые материалы дают простор для изобретения новых конструкторских решений и технологических процессов [1]. В настоящее время пути развития промышленности в основном завязаны на разработке и широком применении композиционных материалов в создаваемых сооружениях.

Композиты имеют широкий спектр отличительных свойств и характеристик относительно стандартных строительных материалов, и при различных компоновках этих параметров открываются огромный простор для модернизации уже имеющихся конструкций различного назначения, так и для создания новых сооружения и технологических процессов. Удачное применение большого потенциала замыслов композиционного материала, в частности, регулируется знаниями конструктора об этих возможностях, законах проектирования и принципах расчета [2].

Микродуговое оксидирование – один из многообещающих видов электрохимической обработки верхнего слоя металлических материалов, получаемых в ходе привычного анодирования. Микродуговое оксидирование дает возможность получать универсальные композиционные материалы с большим выбором характеристик, таких как износостойкость, коррозионная стойкость, термостойкость, электроизоляционные характеристики, декоративность и их уникальное сочетание [3].

Одной из наиболее актуальных задач науки и техники на данный момент является разработка технологий получения высококачественных покрытий для упрочнения и защиты металлических изделий, эксплуатируемых в агрессивных средах, а также являющихся экологически чистыми. Микродуговое оксидирование на данном этапе развития является одним из перспективных методов упрочнения деталей машин, с помощью которого можно получить

многофункциональные керамические покрытия с разнообразным комплексом свойств, в том числе износостойкими, коррозионностойкими, теплостойкими, декоративными и электротехническими изоляторами высокой производительностью. Можно выделить определенные институты, а именно московский МАТИ и тольяттинский государственный институт. Суть процесса заключается в возникновении микродуговых разрядов на поверхности детали, в результате чего формируется высокопрочное износостойкое покрытие (МДО – покрытие) [4]. Данный метод покрытия материалов используется различными институтами и поддерживает портнерские отношения с такими предприятиями как: ЗАО «Лада-Флект», ЗАО «Суперавто и ООО «Мекапром ТССС А Р».

Особенностью выпускной квалификационной работы (ВКР) является попытка последовательно реализовать подход «от свойств материала к свойствам изделия, конструкции». Приведенные зависимости свойств композиционных материалов от технологических параметров их производства, а также характеристик материалов могут быть непосредственно использованы в расчетах.

1 Литературно – патентный обзор

В выпускной квалификационной работе рассматривается технологический процесс получения композиционных материалов из алюминия МДО.

Для определения технического уровня предлагаемой технологии производства композиционных материалов необходимо провести обзор литературы и патентов.

Обзор литературы и патентов проводится с целью выяснения современного состояния научно–исследовательских и опытно – конструкторских работ по рассматриваемой проблеме. Тематика обзора должна соответствовать решению основных задач проекта и должна быть направлена на изучение передовых достижений отечественной и зарубежной техники.

1.1 Патентное исследование

Патентные исследования – это исследования технического уровня и тенденций развития объектов техники, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности на основе патентной и другой информации.

Цель исследования – влияние режимов микродугового оксидирования на свойства материалов.

Регламент патентного поиска – это план поиска. Он состоит из определения вида исследований, вида поиска, его глубины и широты. В регламент входит выбор источников информации, по которым будет вестись поиск аналогов объекта, а также индекс международная патентная классификация. Источники информации выбирают исходя из установленных областей поиска, учитывая при этом реальную доступность этих источников.

Выбранные элементы регламента приведены в таблице 1.1. В ней записаны индексы МПК, в заголовке таблицы регламента указано общее название исследуемого объекта.

Исследуемый объект – использование МДО для получения покрытий металлов с заданными свойствами.

Предмет поиска – Получение оксидного слоя на основе алюминия.

Вид исследований и вид поиска – патентные исследования, тематический поиск.

Наименование информационной базы (фонда) – Патентные фонды Федерального института промышленной собственности (ФИПС).

Таблица 1.1 – Регламент поиска

Предмет поиска	Индекс МПК	Широта поиска	Глубина поиска	Источник информации
Коррозионно стойкое покрытие	*C*25*D* 11/30	Россия	7 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
МДО	*C*23*C* 28/00	Россия	7 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Керамическое покрытие	*C*25*D* 11/02 *C*25*D* 15/00	Россия	7 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Термостойкое покрытие	*C*23*C* 28/02	Россия	7 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС
Высокотемпературное покрытие	*C*23*C* 28/04 *C*23*C* 14/16 *C*23*C* 14/22 B23B 27/14	Россия	7 лет	Реестр изобретений РФ ФИПС

*C*25*D* 11/30 – электролитическое нанесение покрытий с помощью химических реакций на поверхности, например формирование преобразованных слоев магния и его сплавов.

*C*23*C* 28/00 – способы получения по крайней мере двух совмещенных покрытий либо путем комбинации способов покрытий из металлического материала или неорганического неметаллического материала.

*C*25*D* 11/02 – электролитическое нанесение покрытий с помощью химических реакций на поверхности, например формирование преобразованных слоев. Анодирование.

*C*25*D* 15/00 – покрытия с включенными в них материалами, например частицами, спиральными пружинами, проволокой, получаемые электролитическим способом или способом электрофореза.

*C*23*C* 28/02 – способы получения по крайней мере двух совмещённых покрытий из металлического материала.

*C*23*C* 28/04 – способы получения по крайней мере двух совмещённых покрытий из неорганического неметаллического материала.

*C*23*C* 14/16 – покрытие вакуумным испарением, распылением металлов или ионным внедрением материала на металлическую подложку или на подложку из бора или кремния.

*C*23*C* 14/22 – покрытие вакуумным испарением, распылением металлов или ионным внедрением материала характеризуемые способом покрытия.

*B*23*B* 27/14 – резцы с режущими пластинками или наконечниками из специальных материалов.

Результаты патентного обзора приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 ─ Результаты патентного обзора

Предмет поиска (объект исследования, его составные части)	Страна выдачи, вид и номер охранного документа. Классификационный индекс МПК	Заявитель (патентообладатель) номер заявки, страна, дата публикации	Название изобретения (полной модели, образца)
1	2	3	4
Использование микродугового оксидирования с целью защиты сплавов от коррозии	Россия, патент, *RU* 2 757 642 *C*1. *C*25*D* 11/30	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН) (*RU*), № 2021103730, Россия, 19.10.2021	Покрытие для защиты магния и его сплавов от коррозии и способ его получения [5]

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4
Способ нанесения покрытий	Россия, патент, *RU* 2 615 941 *C*1. *C*23*C* 28/00	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (*RU*) № 2015154796, Россия, 11.04.2017	Способ нанесения покрытий на твердые сплавы [6]
Получение беспористого покрытия	Россия, патент, *RU* 2 713 763 *C*1. *C*25*D* 11/02 *C*25*D* 15/00	Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно–исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей») (*RU*) № 2019120716, Россия, 07.02.2020	Способ получения беспористого композиционного покрытия [7]
Получение покрытия для эксплуатации с при высоких температурных средах	Россия, патент, *RU* 2 678 045 *C*1. *C*23*C* 28/02	Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно–исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей») (*RU*) № 2018100983, Россия,	Способ получения керамоматричного покрытия на стали, работающего в высокотемпературных агрессивных средах [8]

		22.01.2019	

Продолжение таблицы 1.2

Способ нанесения высокотемпературного покрытия	Россия, патент, *RU* 2 679 857 *C*1. *C*23*C* 28/04 *C*23*C* 14/16 *C*23*C* 14/22 *B*23*B* 27/14	Общество с ограниченной ответственностью «ВПТ–НН» (*RU*) № 2018102158, Россия, 13.02.2019	Способ нанесения высокотемпературного покрытия на режущий инструмент [9]

Проведенные патентные исследования позволили выявить патенты и научно–технические документы по интересующей нас теме, а последующий их анализ – основные направления, по которым идет в настоящее время проходит эксплуатация режимов МДО с целью получения защитных покрытий с различными свойствами.

Согласно изученным патентам, можно сделать вывод, что МДО является широко распространённым методом упрочнения поверхности. Недостатком данного метода является дороговизна установок и ограниченное методом применения. Не каждый металл можно покрыть таким образом, исключительно металлы вентильной группы. Используя данный метод можно добиться различных параметров покрытия, такие как износостойких, так и коррозионно устойчивых.

1.2 Предприятия и институты

Компания «ЛАДА - ФЛЕКТ» основана в 1993 году. «ЛАДА - ФЛЕКТ» является лидером по производству качественного промышленного вентиляционного оборудования на территории России и стран ближнего зарубежья. Обладает парком современного оборудования, автоматической системой управления производственным процессом и мощным инженерным потенциалом.

Технология нанесения покрытия перед поступлением изделия из металла на линию *PRIMA ART* производится удаление (при необходимости) остатков застаревшей краски, грязи и пыли под воздействием воздушно-абразивной струи.

Этапы на линии *PRIMA ART*:

– подготовка поверхности деталей;

– нанесение циркониевого покрытия;

– нанесение катафорезного покрытия;

– нанесение полимерной краски.

Производится подготовка поверхности детали в семи ваннах с активными реагентами, в которых удаляется грязь, пыль, масла и поверхностная коррозия. По окончании очистки остатки растворов смываются деминерализованной водой.

Нанесение циркониевого покрытия – это один из этапов антикоррозийной обработки поверхности детали. Цирконий насыщает поверхность электронами, восстанавливает кристаллическую решетку верхнего слоя детали, которая повреждается при термической и механической обработке. Наличие свободных электронов на поверхности металла улучшает адгезию со следующим слоем покрытия катафорезным грунтом.

Толщина циркониевого покрытия составляет от 3 до 5 микрон.

Нанесение катафорезного покрытия - этап грунтования изделия из металла для защиты от образования ржавчины. Покрытие обладает высокой прочностью и износостойкостью за счет проникновения в труднодоступные места, грани и поры.

Выполнив на первом этапе очистку от ржавчины, в дальнейшем можно забыть о рисках подобного поражения изделия, находящегося в среде с высокой относительной влажностью и с содержанием морской соли.

Технология нанесения покрытия — деталь погружается в ванну с коллоидными (жирными) растворами, при подаче напряжения осуществляется заряд катафорезного грунта с последующим формированием защитного слоя. Перед сушкой катафорезного грунта деталь проходит ванну с ультрафиолетом. Сушка производится в печи при температуре от 140 до 200 °С.

Равномерность полученного катафорезного покрытия на плоскости и острых кромках колеблется в пределах от 25 до 45 микрон.

Применяемые типы красок: полиуретан, полиэфир, эпоксиполиэфир, полиэтилен.

Технология нанесения покрытия – полимерная краска наносится методом электростатического осаждения в покрасочной камере. Полимеризация электроосаждаемой краски происходит в печи при температуре от 140 до 200 °С.

Получаемое полимерное покрытие обладает коррозионной стойкостью и придает изделию декоративный внешний вид. Толщина полимерного покрытия на плоскости и острых кромках колеблется в пределах от 100 до 120 микрон.

ЗАО «Суперавто» основным видом деятельности предприятия является изготовление специальных автомобилей на базе сборочных авто комплектов, получаемых с ОАО «АВТОВАЗ», и их реализация. Предприятие тесно сотрудничает с ОАО «АВ-ТОВАЗ» в совместных разработках и постановке на производство новых модификаций автомобилей.

С самого начала работы компании «Супер - Авто» совместно с Департаментом технического развития ОАО «АВТОВАЗ» была произведена разработка нескольких новых моделей автомобилей для их мелкосерийного выпуска.

АО «Супер - Авто Холдинг» ведет свою деятельность с 1997 года в городе Тольятти, в непосредственной близости от легендарного «АВТОВАЗА».

За эти годы наше предприятие реализовало массу автомобильных проектов, многие из которых стали серийным продуктами основного производства.

Предприятие использует микродуговое оксидирование для покрытий изделий двигателя, патрубков отбора охлаждающей жидкости и т.д.

Тольяттинский государственный университет научно-исследовательский отдел «Оксидные слои, плёнки и покрытия» сформировался в ТГУ под руководством доктора физико-математических наук, профессора М.М. Криштала с целью развития прикладных задач технологии микродугового оксидирования (МДО) алюминиевых, титановых и магниевых сплавов.

1.3 Модельные представления о механизме формирования МДО покрытий

При стандартных параметрах окружающей среды алюминий окутан оксидным слоем толщиной около от 4 до 5 нм. Данный слой придает металлу пассивность. Высокая пористость, малая толщина и низкая механическая прочность все это в совокупности не может обеспечить устойчивую защиту подложки от неблагоприятного внешнего воздействия. Слабое место алюминия можно убрать. Благодаря нанесению на поверхность искусственного оксидных слоев значительной толщины, нивелируются недостатки металла.

Алюминий, титан, цирконий – легко подвергающиеся пассивированию металлы, в подавляющем большинстве кислых и нейтральных электролитов их поверхность сразу покрывается тонким и плотным слоем оксидов.

Было сделано и проведено достаточное количество опытов и исследований, построенных на данных электронной микроскопии. Выявлено, что анодно–оксидные покрытия, в основном, состоят из двух слоев. Первый это сплошной тонкий слой, толщина его варьируется примерно около 0,01 мкм, его еще называют барьерным, так же он имеет плотное строение. Второй, внешний пористый слой. Толщина его от нескольких микрометров. [2, 3]. На основе этого были описаны так называемые физико–геометрические представления об идеальной модели пористого оксидного покрытия рисунок 1.1.

Можно разделить на три стадии трудный процесс анодного окисления алюминия, титана и циркония:

– протекание реакции переноса кислорода от анионов или молекул раствора к окисляемому металлу и возникновение первичного соединения алюминия, титана, циркония с кислородом;

– формирование сплошной тонкой окисной пленки (барьерного типа);

– рост утолщенных оксидных слоев пористого типа.

Электролит является источником кислорода. Он очень важен для покрытия. И необходим в первую очередь для окисления металла в оксидном процессе.

Донорами кислорода являются любые кислородсодержащие ионы в окисляющем растворе. Примеры кислосодержащих ионов можно привести следующие: ионы сульфатов, гидросульфатов, фосфатов, оксалатов, а также недиссоциированные молекулы растворенных веществ, и многие другие.

На первый взгляд, доказательством существования некоторого количества доноров является способность протекания процесса окисления в неводных электролитах (например, в расплавах солей $NaHSO_4$, NH_4HSO_4 и др.). Одновременно с этим, существование способа проведения процесса анодного оксидирования и приобретение оксидного покрытия на поверхности металлов в разведенных растворах кислот, в составе которых иона не содержат кислорода (галоидоводородные кислоты).

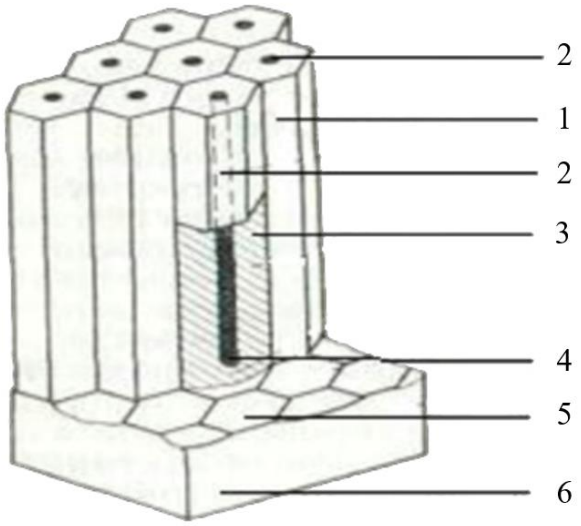


Рисунок 1.1 – Схема модели утолщения оксидных покрытий: 1 – пора; 2 – оксидная ячейка; 3 – стенка оксидной ячейки; 4 – беспористый оксидный слой барьерного типа; 5 – алюминий; 6 – отпечатки оснований оксидных ячеек на поверхности алюминия

Авторы работ [4, 10, 11], о приведенных в ИАЭ. Курчатова, на конкретном примере получения оксидных слоев на металлах вентильной группы в процессе электроискровой эрозии в концентрированной серной кислоте со всеми подробностями рассмотрено устройство формирования оксидной пленки. Они

обнаружили, что этот процесс управляется реакциями, проходящими в плотной химически активной плазме на аноде. Он характеризуется сравнительно низкой температурой и относится к виду плазмохимических процессов. Мы считаем, что эта модель применима к МДО, к композиционным материалам, изготовленным из таких материалов, как алюминий, титан, цирконий и их сплавы.

Процесс микродугового оксидирования заключается в систематическом проскальзывании нескольких фаз, показанных на рисунке 1.2.

– в безискровом режиме образуется диэлектрическая пленка, аналогично процессу, происходящему при традиционном анодировании металлов в водных электролитах (область 1), эту область часто называют «областью Фарадея»;

– в искровом режиме (область 2) на поверхности детали (анод) наблюдается свечение мелких искр, движущихся вдоль детали;

– в микродуговом режиме (область 3) происходит движение более крупных желто– красных разрядов;

– в дуговом режиме (область 4) происходит частичное разрушение покрытий.

Процесс переход от этой одной ступени процесса оксидирования металла к другой возникает в процессе изменения строения покрытия. Процесс МДО происходит в несколько стадий, важно остановиться именно на микродуговой стадии, чтобы получить лучшие свойства. А конкретно в этом участке огромного заряда электрических, а также тепловых характеристик.

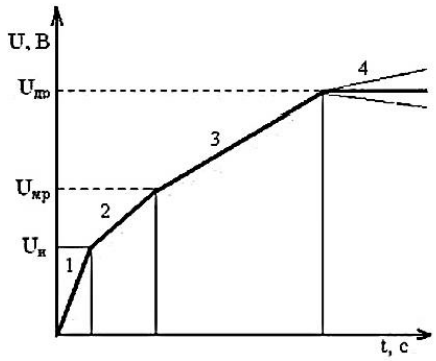


Рисунок 1.2 – Полная формовочная кривая процесса МДО: 1 – анодирование, 2 – искрение, 3 – микродуговой разряд, 4 – дуговой разряд

Процесс протекает достаточно быстро, если сравнить его с тем же анодированием. У анодирования процесс протекает достаточно долго, при этом покрытия получаются не очень толстыми. Взгляды о времени и процессе искры МДО и участках быстрому микроплазменных вакуумных нарушений отделения в системе «металл – оксидная пленка – парогазовая фаза – электролит» неоднозначны, значительное количество предложенных вариантов пробоя и искр можно разбить на две основные группы:

– ионный пробой, причиной которого считают внедрение в оксид ионов электролита и соответственно локальный рост его ионной проводимости;

– электронный пробой, причиной которого считают «инжектирование» электронов в зону проводимости оксида и электронную лавину, возникающую вследствие ударной ионизации.

По мнению ряда исследователей, рост покрытия происходит в результате развития следующих процессов:

– взаимодействие расплавленного вещества пленки в каналах разряда с компонентами электролита, с последующем наплавлением и встраиванием анионов;

– плазмохимический синтез, термические или термоэлектрохимические превращения компонентов плазмы в каналах разряда;

– электрохимический механизм (анодирование и электрофорез).

О механизме протекания процесса МДО можно подчеркнуть, модельные представления, в основных принципах которых лежат следующие положения:

– пробой парогазовой фазы, сформированной в сквозных порах покрытия;

– вынос плазмы на поверхность каналов микро–разрядов;

– параллельно протекающие процессы: экзотермическое взаимодействие окислителей с ювенильной поверхностью дна каналов микроразрядов с последующим окислением испаряющихся атомов металлических компонентов сплава;

– оседание на поверхности покрытия или втягивание в каналы микроразрядов оксидов после плазмо– и термохимических преобразований составляющих электролита.

Модели, которые лучше понимают процесс, могут стать инструментом, позволяющим контролировать процесс и получать МДО-покрытия с необходимыми характеристиками.

В связи со значительной сложностью протекающих физико–химических процессов до сих пор нет общепринятой модели формирования МДО–покрытий. Данная сложность заключается в описание роста оксидных покрытий при МДО алюминиевых сплавов основано на классический электрохимических методах или концепции. В связи с большой сложностью проходящих физико–химических процессов, получаем отсутствие отсутствует общепризнанной модели формирования МДО – покрытий.

Формулу реакции анодного окисления, например, алюминия можно записать в общем виде:

$$2\mathrm{Al} + 3\mathrm{H_2O} = \mathrm{A}l_2O_3 + 6H^+ + e^-, \qquad (1.1)$$

Реакция 1.1 представляет собой сумму нескольких отельных процессов. Процесс, происходящий на границе раздела металла и барьерной оксидной пленки. Возникающие в ходе реакции 1.1 электроны, путем перехода во внешнюю цепь позволят образовываться току окисления.

Процесс формирование ионов кислорода в ходе МДО алюминия необходимо представлять как оксидный процесс. Все это связано с выделением кислорода. Процесс происходит от того, что при окислении алюминия отсутствует яркое освобождение кислорода на границе металл-электролит. Очень важную часть в процессе МДО играет кислород, ведь благодаря ему как раз и происходит процесс наращивания искусственного слоя. Из вышесказанного следует, что процесс перехода кислорода получается к алюминию, следует описывать согласно реакции:

$$H_2O = 2H^+ + O^2, \qquad (1.2)$$

Ион кислорода, образующийся на поверхности барьерного слоя по реакции 1.2, может мигрировать через барьерный слой в электрическом поле по направлению к металлу по направлению к иону Al^{3+}.

Эмпирически установлено, что при определенных условиях в оксиде также образуется незначительное количество водорода. В ходе окисления алюминия происходит формирование водорода. Это предопределено наличием локальных разрывов, и возможностью химического взаимодействия алюминия с водой согласно реакции:

$$2Al + 3H_2O = Al_2O_3 + 3H_2 \uparrow, \quad (1.3)$$

Образование сплошной оксидной пленки происходит в результате встречной миграции ионов Al^{3+} и O^{2-}. Это происходит за счет высокой напряженности электрического поля, создаваемой в процессе анодного оксидирования. Утолщение оксидной пленки прекращается, когда градиент потенциала становится очень мал. Это влечет за собой невозможность ионов свободно проходить через пленку [4].

Процесс миграции иона металла через оксидную пленку довольно сложен. В соответствии с этой моделью, в первые секунды окисления на поверхности алюминии возникает непористый барьерный слой. Его образование можно объяснить определенными активными центрами окисления на поверхности металла. Из таких ядер появляются полушарообразные, чечевице подобные микроячейки. Сперва обособленные, а в последствии сливающиеся и заполняющие металлическую поверхность с возникновением сплошного барьерного слоя [12–14]. В барьерном слое происходит образование пор в ходе взаимодействия точечных ударов электролита. Количество которых зависит от величины напряжения, создаваемого оксидом.

Оксидное покрытие не представляет собой единый оксид, пронзённый хаотичными каналами – порами. Оно состоит из плотно уложенных оксидных ячеек, имеющих форму шестиугольной призмы, представленных на рисунке 1.1. Данные призмы, направленны перпендикулярно к поверхности оксидного покрытия и объединённых по боковым поверхностям.

Каждая такая ячейка складывается из оксидных стенок, центрально расположенной поры и основания – компактного барьерного оксидного слоя. Толщина пористого участка оксидного слоя в первую очередь зависит от величины электричества прошедшего через оксид. Но при условии, что она пока не достигла удельного значения толщины. Толщина барьерного слоя зависит от формовочного напряжения и является константой в ходе окисления. Таким образом, можно сказать, что компактный барьерный оксидный слой растет по закону фарадея.

Через несколько секунд после начала процесса, на границе металл электролит, происходит образование барьерной оксидной пленки. Непосредственно в месте соприкосновения электролита и металла происходит постепенное и непрерывное образование пористого оксидного покрытия. При этом сохраняется возможность роста оксидного слоя. Это связанно с продолжением подступа электролита к барьерному слою при помощи возникших пор. Таким образом можно сделать вывод, что пористый слой оксидной пленки продолжает расти над барьерным слоем и преодолевает барьерный слой. При этом нет зависимости от его толщины.

В то же время с формированием пор начинается рост оксидной клетки. Она является базовым «строительным материалом» пористых оксидных покрытий. Процесс образования гексагональных оксидных ячеек (в поперечном сечении) более подробно описан в работе Аверьянова Е.Е. [2]. По мнению этого автора, гексагональные оксидные ячейки, образующихся вокруг каждой поры, возникают при росте анодной оксидной пленки из компактных оксидных цилиндров. В ходе преобразования идеальных цилиндрических ячеек к шестиугольным должно происходить изменения и формы пор. Окисление трехгранных металлических «столбов», расположенных между каждым из трех соседних оксидных цилиндров, приведет к локальному нагреву электролита внутри поры. Данный эффект вызывается неравномерным распределением тока по периметру поры.

На первый взгляд представление процесса МДО выглядит очень сложно, но при изучении, процесс становится очень прост и понятен. Исходя из текста выше

можно сделать вывод что оксидный слой образуется очень быстро, и время влияет только на толщину получаемого слоя.

1.4 Процессы происходящие при МДО

Более углубленное изучение процесса оксидирования, которое также называют анодным оксидированием, позволило разделить его на следующие стадии [1, 2, 9]:

– анодное оксидирование в безыскровом режиме;

– анодное оксидирование в искровом режиме;

– анодное оксидирование в микродуговом режиме;

– анодное оксидирование в дуговом режиме.

Увеличение межэлектродоного потенциала происходит параллельно с ростом покрытия. При конкретных значении напряжения на аноде возникает искровой разряд, пробивающий оксидный слой в ‹‹слабых›› местах (дефектных). Искровой разряд приводит к частичному нарушению оксидного слоя. Процесс переходит в искровой режим.

Благодаря разрыву покрытия в получившимся углублении образуется плазма. Это происходит под действием электрического микроразряда и характеризуется сравнительно низкой температурой. Оксид образуется в ходе реакции металла с атомарным кислородом. Высокая концентрация тока из–за низкого сопротивления электролита в углублении позволяет происходить более быстрому образованию более толстого оксида, высокое сопротивление которого исключает повторный разрыв на тех же самых местах, где он уже произошел. Некая часть образуемой при разряде энергии тратится на нагрев ближайших областей оксидного слоя, что увеличивает проводимость последнего, способствуя образованию нового пробоя. Это явление увеличивает проводимость полученного слоя. Процесс оксидирования сопровождается звуковыми эффектами. Это происходит из-за обилия «слабых» мест, пробои происходят почти одновременно по всей поверхности оксидируемого образца.

Авторы работы [10], исследовав параметры одиночной искры при формировании покрытий на алюминии из 0,2 н. раствора метаалюмината натрия – $NaAlO_2$ установили, что за время существования разряда (t = 2·10^{-6} с) объем микро расплава достигает 4·10^{-9} см^3. Скорость закалки расплавленного микрообъема в электролите можно рассчитать по формуле [11]:

$$\theta = \frac{(Ti - Tэ)}{t}, \quad (1.4)$$

где – θ скорость закалки град/с

– Tι и Tэ – температуры искры и электролита.

– t время закалки

Настолько быстрое снижение температуры вызывает появление на поверхности КМ микровыступов высотой порядка 1 мкм из–за интенсивного выделения тепла через стенки пробойных каналов.

В ходе роста толщины оксидного слоя объемный заряд все сильнее проникает в покрытие. В конечном итоге это провоцирует то, что микроразряды уже не способны добраться до границы раздела металл–оксид. С этого момента образование новых оксидных слоев происходит за счет распространения ионов металлов через оксидные слои в зону пространственного заряда и противополодного движения анионов, что вызывает уменьшения количетсва электрических разрядов на поверхности изделия, а искры в местах излома заменяются микродугами, что увеличивает интенсивность оксидообразования и микроплазменных процессов. Количество разрядов уменьшается по мере увеличения шумовых эффектов.

При длительном времени оксидирования, процесс переходит в дуговой режим, что четко выражается в образовании устойчивых дуговых разрядов, что порождает за собой формирование термического пробоя, в последствии влекущее за собой как повреждению полученного покрытия, так и основного материала. Это происходит из-за больших значений толщины получаемого покрытия в ходе чего уменьшается интенсивность отделения тепла электрическими разрядами.

Грасс и Макнейл предложили интенсицировать процесс путем увеличения плотности тока. Данное предложение исходило из предположения что скорость роста оксидных слоев сильно зависит от количества электричества. Все из за того что оно является произведением времени окисления и плотности тока. Их предположение позволило перейти на микрудоговой режим, сократить время обработки в безискровом и искровом режимах и получать покрытия за меньшее время. С тех пор впервые микродуговое оксидирование было описано как самостоятельный процесс [11, 16, 17].

В институте неорганической химии был разработан метод МДО, который представлял из себя электрохимическое окисление в сочетании с разрядным явлением в электролите. Он позволял формировать на поверхности вентильных металлов оксидные покрытия, обладающие повышенными механическими, электроизоляционными и защитными свойствами [16–19]. Данный метод является сложным многофакторным процессом, отличающийся от технологии традиционного анодного оксидирования вентильных металлов повышенными значениями формирующего напряжения (до 600 В) и поляризующего тока (до 40 А/дм^2), и зависящим как от влияния отдельных факторов, таких как химический состав электролита [10, 12], токовый режим (вид, частота и форма поляризующих импульсов) [20, 21], состав оксидируемого сплава [22], так и их совокупности

Сплавление и спекание оксидного слоя приводит значительный нагрев материала, что показано на рисунке 1.3. Данное явление происходит в ходе образования микродуговых разрядов в результате действия электрических полей высокой напряженности. Есть возможность получать толстые покрытия с отличными механическими и физико-химическими свойствами. Такие покрытия получаются путем изменения параметров поляризации, состава электролита и режима процесса микродугового оксидирования.

Рисунок 1.3 – Пример процесса микродугового оксидирования.

МДО можно считать самостоятельным процессом очень условно. Если только по причине того, что микродуговая стадия является самой продолжительной нежели остальные. Это вызвано тем, что без предварительной обработки в искровом и безыскровом режимах микродуговое оксидирование, как третья стадия протекать не может.

Ранее процесс оксидирования останавливали до начала процесса искрообразования, так как считали, что полученные в ходе искрового и микродугового этапа покрытия имеют худшие электрические и механические свойства. Такому заблуждению подверглись многие исследователи, что в последствии, повлекло к замедлению изучения и использования МДО [1, 2].

Появление первых патентов положило начало широкому применению метода МДО в промышленности. В результате было показано [23], что обработка, например, алюминия и его сплавов в режиме МДО способствует образованию толстослойных оксидных покрытий, превосходящих по твердости,

износостойкости и другим свойствам КМ, полученные в режиме традиционного безыскрового оксидирования.

Исходя их текста выше можно сделать вывод, что процесс микродугового оксидирования до сих не до конца изучен. Это огромный неизученный пласт науки получения защитных покрытий.

1.5 Основные технологические схемы МДО

Характеристики установки микродугового оксидирования сильно влияют на свойства изделий из металлов вентильной группы. В состав установки обычно входит регулировка тока и напряжения, ванна для электролита, система перемешивания и охлаждения этого электролита [1, 2].

Повышение производительности от 2-х до 3-х раз можно добиться путем замены переменного тока на постоянный. В настоящее время эксплуатируются установки, работающие с любым током. Преимуществом постоянного тока перед переменным, состоит в том, что окисление происходит в более низких плотностях тока. Помимо этого, требуется в разы меньше энергии для образования оксидных покрытий необходимой толщины. В свою очередь переменный ток имеет весомые преимущество. Главным из них является обширное использование в промышленности за счет способности эксплуатировать энергию из домашней сети. Но как описано выше это компенсируется низкой производительностью и эксплуатационными затратами.

При достаточно больших объемах производства рекомендуется применение вагонных линий с программным управлением. При обработке большого количества продукции есть вариант использования специальных ванн для окисления [2].

Для единичного производства ванны могут быть изготовлены из коррозионностойкой стали (хромокислотный электролит). Для остальных электролитов рекомендуется использовать внутреннее виниловое или свинцовое

покрытие [2]. Ванна также может быть изготовлена из керамического и кислотоупорного бетона.

В мире существуют точки зрения [1, 2], которые считают, что необходимо соблюдение конкретных соотношений анода и катода, хотя существует ряд установок, катодом в которых является сама ванна. Согласно данным взглядам, существуют установки, в которых анод и катод представлены в виде отдельных съемных пластин определённых размеров. По данному принципу создаются установки, в которых ванна изготовлена из диэлектрического материала [2].

Автор [1] считает, что использование стенок ванны в качестве катода неприемлемо. Данное мнение от аргументирует тем, что в процессе взаимодействия электролита и элекрического тока она может разрушаться, что приводит к процессу восстановления металла на самой ванне.

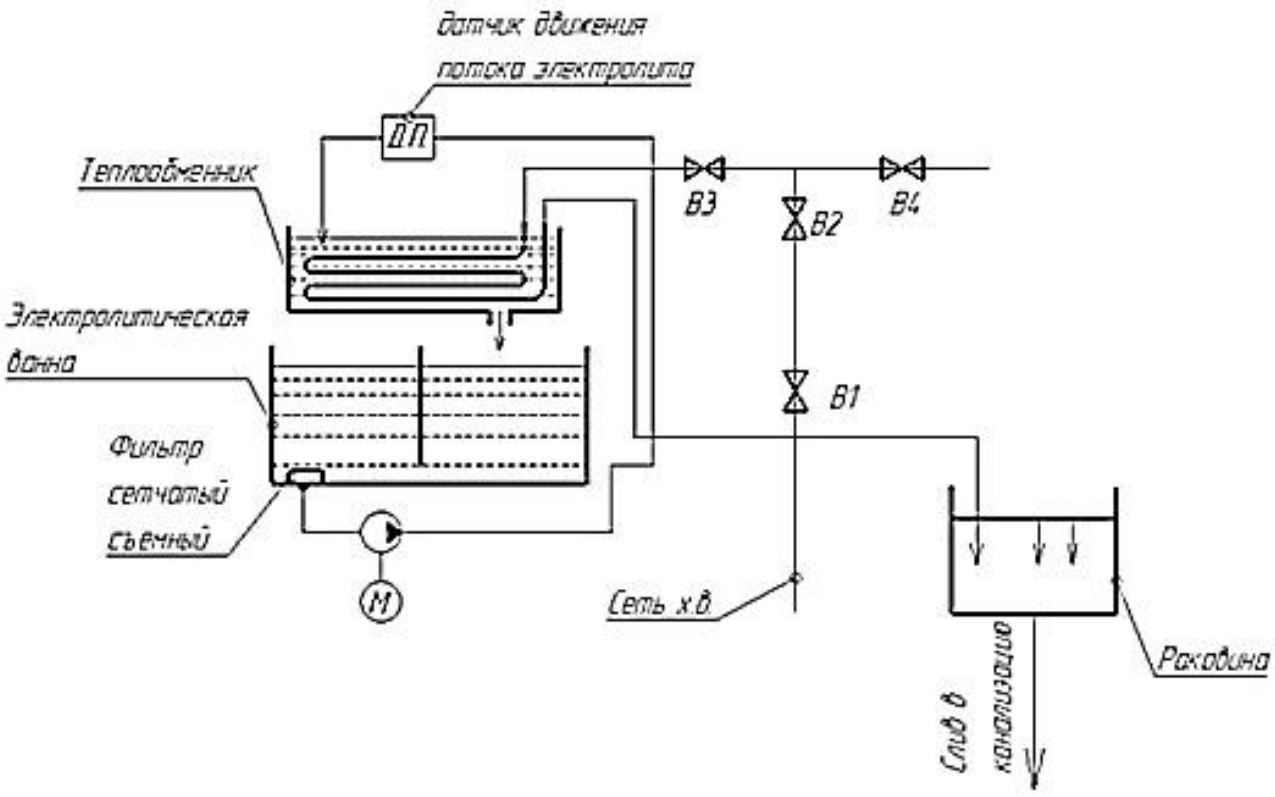


Рисунок 1.4 – Схема системы охлаждения установки МДО; М – насос системы охлаждения электролита; В1, В2, В3, В4 – вентили сети холодной воды

Ванна в микродуговых установках нуждается в наличии системы охлаждения, так как в процессе обработки электролит нагревается рисунок 1.3. Если в качестве электрода используется корпус ванны, то в этом случае ванна изготавливается из нержавеющей стали с двойными стенками, между которыми циркулирует холодная вода.

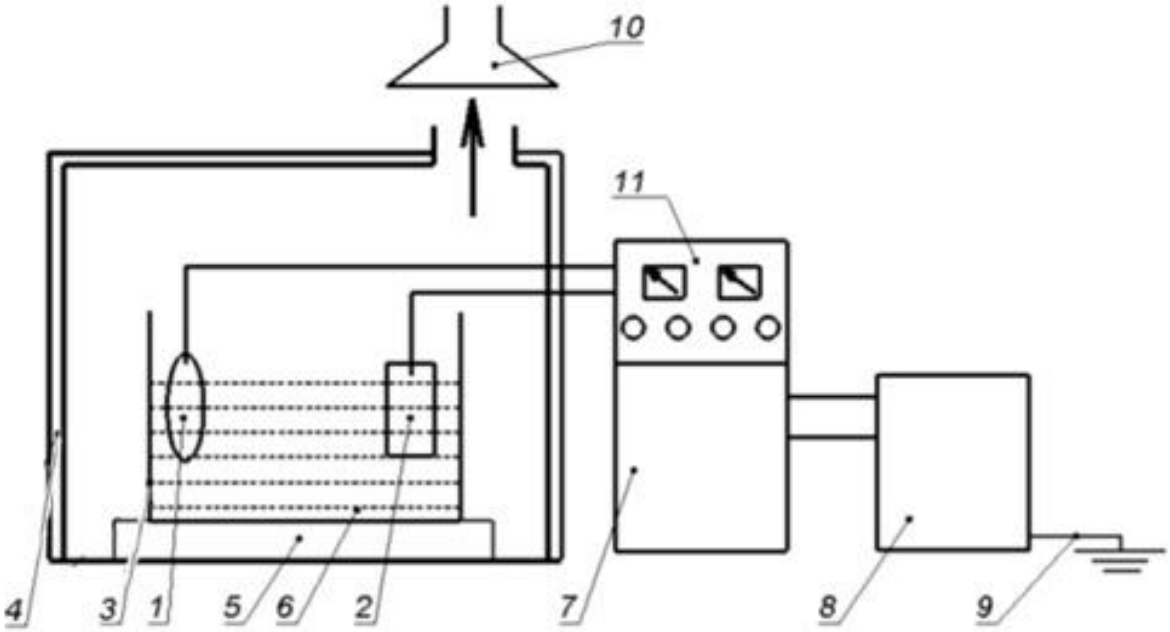
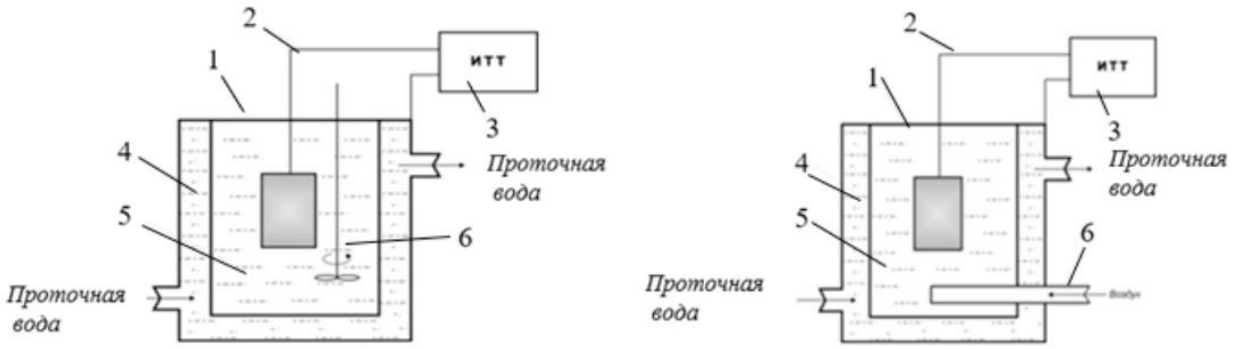


Рисунок 1.5 – Типовое расположение оборудования для установки МДО: 1 – деталь (заготовка); 2 – электрод; 3 – электролитическая ванна; 4 – вытяжной шкаф; 5 – подставка; 6 – электролит; 7 – источник технологического тока; 8 – трансформатор; 9 – заземление; 10 – вытяжная вентиляция; 11 – пульт управления

Деталь и электрод необходимо подключить к источнику питания, а пере этим установить его в электролитической ванне. Параметры режима МДО контролируются с пульта управления, так же на нем осуществляется контроль за ходом процесса. Пульт управления и источник технологического тока могут быть выполнены в виде единого блока рисунок 1.4.

Перемешивание и охлаждение электролита неотъемлемая часть установок МДО. Перемешивание необходимо для создания постоянной циркуляции охлажденной воды в ванне. это необходимо для отвода тепла, которое выделяется

в процессе обработки, с поверхности анода. Данное мероприятие исключает локальный перегрев. Обычно электролит перемешивают механической мешалкой или струей сжатого воздуха.



а) б)

Рисунок 1.6 – Схемы перемешивания и охлаждения 1 –ванна, 2 – токопроводящая шина, 3 – источник тока, 4 – система охлаждения, 5 – электролит, 6 – система перемешивания, а – перемешивание механической мешалкой, б – перемешивание сжатым воздухом

На качество покрытия влияет температура электролита, поэтому требуется система охлаждения. Она позволяет поддерживать температуру электролита в нужном диапазоне. Более подробно будет рассмотрено в следующих главах.

Отвод выделяющегося при электролизе тепла и охлаждение электролита можно осуществить несколькими способами:

– использованием двойных стенок ванн с проточной водой;

– применением катодов–карманов, наполненных льдом;

– добавлением непосредственно в электролит твердой углекислоты;

– пропусканием холодной воды через полые детали (змеевик);

– с помощью холодильных установок.

Обоснование выбора материала для создания металлокерамического композиционного материала на основе алюминиевого сплава АД1.

МДО обеспечивает направленное формирование структуры и свойств оксидокерамического покрытия обрабатываемого материала на основе сплава алюминия АД1

Суть МДО заключается в том, что под действием разности потенциалов, прикладываемого между находящейся в растворе электролита деталью (анодом) и электродом (катодом), на поверхности детали возникают мигрирующие точечные микродуговые разряды, под термическим, плазмохимическим и гидродинамическим воздействием которых на поверхности композиционного материала формируется оксидокерамическое покрытие, прочносцепленное с основой. В связи с тем, какой был применен вид электролита и режимы МДО, покрытия придают композиционному материалу требуемые свойства, например, износостойкость, теплофизические характеристики, диэлектрические свойства, коррозионную стойкость, декоративный вид, что способствует возможности широкого использования этих покрытий в машиностроении, нефтегазодобывающей промышленности, на транспорте, в приборостроении, радиоэлектронике, авиационной, космической и других отраслях [7, 13 - 19].

Возможность и характеристики оборудования для МДО, состав и вид электролита, насколько качественно была подготовлена поверхность композиционно материала перед МДО, правильность подбора режима МДО все это сказывается на уровне физико-механических, эксплуатационных свойств и качестве оксидокерамических покрытий.

Метод МДО позволяет наносить керамикоподобные покрытия на металлы вентильной группы и их сплавы, такие как Al, Mg, Ti, Ta, Nb, Zr, Be и другие т.е. на металлы, чьи оксидные плёнки, формируемые электрохимическим путём, обладают униполярной проводимостью в системе металл-оксид-электролит [4, 20].

Обоснование выбора материала подложки (детали). Сплавы на основе алюминия:

– широко распространены и являются перспективными конструкционными материалами в авиа- и автомобилестроении иприборостроения;

– имеют низкую плотность;

– имеют высокие механические и технологические свойства;

– подвергаются обработке МДО;

– широко применяются в ответственных узлах конструкций.

Алюминий и его сплавы широко применяются как конструкционный материал. Он обладает сравнительно небольшой стоимостью по сравнению с такими металлами как титан, цирконий, магний и их сплавы. Основные достоинства алюминия — лёгкость, хорошая обрабатываемость, податливость штамповке, коррозионная стойкость, высокая тепло- и электропроводность, не ядовитость его соединений. Характеристики основных физико-механических свойств алюминия представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Основные физико-механические свойства алюминия

Характеристика металла	Значение
Плотность, ρ, кг/м^3×10^{-3}	2,7
Температура плавления, $T_{пл}$, °С	658
Теплопроводность l, Вт/м·К (при 293 К)	16,76
Теплоемкость $C_р$, Дж/кг·К (при 273–373 К)	880
Удельное электросопротивление R × 108, Ом·мм²/м (при 293 К)	от 0,0262 до 0,0295
Предел прочности, $б_в$, МПа	от 300 до 450
Относительное удлинение, %	от 35 до 50
Твердость по Бринеллю, НВ	от 24 до 32
Модуль нормальной упругости, Е, ГПа	70

Высокий уровень свойств сделали алюминий основным сырьем в авиационной и авиакосмической промышленности, автомобилестроении. При нормальных условиях алюминий покрыт тонкой и прочной оксидной плёнкой и потому не реагирует с классическими окислителями: с H_2O (t°), O_2, HNO_3 (без нагревания). Благодаря этому коррозия практически не страшна и поэтому имеется большой спрос в современной промышленности. Часто применяют алюминий именно в сплавах, так как в чистом виде о обладает низкими механическими и технологическими свойствами. Наиболее известны сплавы с

медью и магнием (дюралюминий) и кремнием (силумин) [21]. Все сплавы алюминия можно разделить на деформируемые (предназначены для получения полуфабрикатов), и литейные (предназначены для фасонного литья). Кроме того, алюминиевые сплавы делятся на упрочняемые термической обработкой и не упрочняемые термической обработкой.

К деформируемым алюминиевым по ГОСТ 4784–97 сплавам относят сплавы систем:

– *Al-Mn* (АМц);

– *Al*-Mg (АМг);

– *Al-Ag-Si* (АД31);

– *Al-Cu-Mg* (Д1);

– *Al-Cu-Si-Mg-Mn* (АК6, АК8).

Двойные сплавы на основе *Al-Mg* обладают значительной коррозионной стойкостью. Данные сплавы хорошо поддаются сварке и не упрочняются термической обработкой.

Сплавы *Al-Mg-Si* обладают отличной коррозинной стойкостью. А так же имеют высокий эффект старения.

Тройные *Al-Zn-Mg* сплавы имеют высокую прочность, хорошо свариваются. Однако при значительной концентрации *Zn* и *Mg* может произойти самопроизвольное коррозионное растрескивание. Сплавы будут надежными при средней концентрации.

Четверные сплавы *Al-Mg-Si-Cu* сильно упрочняются в результате старения, но имеют пониженную (из-за *Cu*) коррозионную стойкость; из них изготовляют силовые узлы (детали), выдерживающие большие нагрузки. Четверные сплавы *Al-Zn-Mg-Cu* обладают самой высокой прочностью (до 750 Мн/м^2 или до 75 кгс/мм^2) и удовлетворительно сопротивляются коррозионному растрескиванию; они значительно более чувствительны к концентрации напряжений и повторным нагрузкам, чем дуралюмины (сплавы *Al-Cu-Mg*), разупрочняются при нагреве свыше 100°С. Наиболее прочные из них охрупчиваются при температурах

жидкого кислорода и водорода. Эти сплавы широко используют в самолётных и ракетных конструкциях [22].

Алюминиевый сплав АД1 является техническим сплавом с повышенной пластичностью и сопротивляемостью коррозии, который упрочняется давлением. Из-за недостаточной прочности используется главным образом в качестве полуфабриката.

Химический состав сплава АД1 регламентирован ГОСТ 4784-97 и приведен в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Химический состав сплава АД1, % (ГОСТ 4784-97)

Массовая доля элементов, %								
Fe	*Si*	*Mn*	*Ti*	*Al*	*Cu*	*Mg*	*Zn*	Примесей
до 0.3	до 0.3	до 0.025	до 0.15	*Min* 99.3	до 0.05	до 0.05	до 0.1	0,05

Механические свойства АД1 представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Механические свойства сплава АД1 (ГОСТ 4784-97)

Сортамент	Предел прочности при растяжении $б_в$, МПа	Относительное удлинение при разрыве δ, %
Трубы, ГОСТ 18482-79	60	20
Пруток, ГОСТ 21488-97	60	25
Лента, ГОСТ 13726-97	135-145	3-5
Профили, ГОСТ 8617-81	59	20
Плита, ГОСТ 17322	98	-

Таким образом, выполнено обоснование выбора материала для создания металлокерамических композиционных материалов в рамках ВКР. Изучены особенности, назначение, области применения и свойства алюминиевого сплава АД1.

Необходимо заметить, что в ряде случаев, например при эксплуатации в особо агрессивных средах, при повышенных температурах или при наличии электрического тока алюминий, не-смотря на естественную коррозионную стойкость нуждается в ее повышении. Хоть алюминий считается активным металлом, но при этом отличается хорошими коррозионными свойствами, но при

этом его оксидная пленка очень тонкая и в агрессивных средах она разрушается в разы быстрее. Помимо внешних факторов, мощным разрушителем является наличие примисей в сплаве, а именно фтор, калий и натрий. Алюминий и его сплавы корродируют при воздействии химических соединений брома и хлора, растворов извести и цемента.

2 Исследование принципов формирования структуры и свойств композиционных материалов при воздействии микродуги в электролитах

В МДО используются электролиты с «особыми» функциями они перемешаны водным раствором. Таким образом, получаются электролиты возможно образование большого количества электрических разрядов с дальнейштм ростом оксидного слоя. В работе [13] она предлагает следующую классификацию водных растворов электролитов в зависимости от их состава и свойств:

– электролиты, не содержащие элементов, способных образовывать нерастворимые окислы;

– электролиты, содержащие катионы, способные образовывать нерастворимые окислы (последние входят в состав оксидных слоев);

– электролиты, содержащие простые и комплексные анионы на основе металлов и неметаллов, способных образовывать нерастворимые окислы (последние входят в состав оксидных слоев в соотношении, зависящем от их концентрации в электролите);

– электролиты, содержащие мелкодисперсные порошки, например, окислы металлов (последние являются основным компонентом формируемых слоев).

2.1 Электролиты для формирования оксидной пленки на алюминии

Анодное оксидирование алюминия проводят в различных электролитах. В нашей стране наиболее популярен сернокислотный метод анодирования.

Анодирование в смесях сурьмяной, селеновой, теллуровой, мышьяковой и всевозможных иных фосфорных кислот ещё больше экзотично, но есть некоторые сведения о смысле данных анодных оксидов алюминия, однако при анодном окислении алюминия используют многие органические кислоты, а так же фосфорную и уксусную.

Множественные результаты использования анодирования и МДО указали на нужду кропотливого подбора пары металл–электролит. По [19] нельзя однозначно определить пригодность электролита для успешного осуществления процесса по показателю pH водорода, электропроводности, удельной теплоемкости и вязкости. Однако существуют классификации электролитов, применяемых для анодирования, по характеру их действия на оксид алюминия:

– растворы борной кислоты, бура, бикарбонаты, фосфаты, нитраты объединены в I группу – не растворяют или почти не растворяют оксид – в этих электролитах можно получить плотные оксидные пенки;

– щавелевая, серная, фосфорная, хромовая, сульфатная, квасцы относятся ко II группе, так как их растворы характеризуются умеренным растворением оксида алюминия – в электролитах этой группы можно получать оксиды в широком диапазоне толщин от 1 до 300 мкм;

– растворы соляной кислоты, хлоридов, едких щелочей, сильно растворяющих оксид алюминия, отнесены к III группе – возможно получение тонких пленок до 1 мкм.

На производстве, анодирование в растворах серной кислоты применялось в основном для получения плотных покрытий с высокими физико–механическими свойствами. При этом опускается факт высоких эксплуатационных расходов и ущерб здоровью рабочих. Для получения диэлектрических покрытий использовали растворы щавелевой кислоты и растворы борной кислоты [20, 24].

Первая группа электролитов, при окислении в растворах кислот (щавелевой, серной, борной, хромовой и др.) различной концентрации процесс образования и роста пленок протекает по описанному выше механизму.

Вторая группа электролитов представлена растворами на основе едких оснований с различными добавками, в качестве которых часто используют некоторые органические кислоты, соли фосфорной кислоты, жидкое стекло. В работе авторов [22] исследованы химические реакции, протекающие в растворах второй группы, и их влияние на качество получаемых покрытий.

Третья группа, к которой относятся электролиты на основе солей кремниевой кислоты (силикаты)

Для повышения коррозионной и термической стойкости алюминиевых сплавов применяют керамические покрытия, полученные из водных растворов силикатов щелочных металлов в режиме МДО.

Микродуговое оксидирование предоставляет широкие выбор формируемых многофункциональных композитных материалов, в отличии от широко распространённых электрохимических процессов получения оксидных пленок на металлы и сплавы.

Метод МДО – перспективен, он открывает широкие возможности в формировании многофункциональных КМ на основе различных металлов и сплавов. В отличие от известных электрохимических процессов нанесения оксидных пленок на металлы и сплавы, таких как анодирование, процесс МДО позволяет получать слои оксидов, в состав которых входят не только самородные оксиды металлов, но и химические соединения из электролитических компонентов. В результате получаемые слои имеют свойства, близкие к свойствам керамики, а в некоторых случаях даже превосходящие их.

На практике видно, что традиционное анодирование уступает по свойствам МДО [25]. К ним относятся коррозионная стойкость в различных средах, микротвердость, толщина, диэлектрические характеристики, прочность сцепления с основанием (высокое сцепление с основанием) и износостойкость.

Область применения материалов, входящих в состав вентильной группы можно увеличить. Для этого необходимо сделать правильный выбор состава электролита и параметров процесса МДО. Помимо этого, можно совмещать комплекс свойств, а так получать КМ со свойствами под определенные задачи.

Разработка технологии получения защитных оксидных слоев на алюминии в условиях электрохимической обработки включает подбор электролита, не беря в расчет параметры или режимы МДО. Природа и состав электролитов, в которых можно получить качественные оксидные слои, во многом зависят от свойств обрабатываемого металла.

При изучении технологий МДО алюминия одним из условий выбора электролитов является требование экологической безопасности, а также доступность и ее стоимость, и низкий уровень их эксплуатации и закупки химикатов. При условии не что требования по способности образовывать КМ с высокими физико–механическими и эксплуатационными характеристиками является первостепенной задачей. Наиболее перспективными с этой точки зрения являются силикатные электролиты, не содержащие вредных для здоровья добавок, таких как соли тяжелых металлов [27]. В процессе МДО можно менять свойства КМ. Достаточно изменить режим МДО. Силикатные электролиты обычно имеют pH около 10, поэтому сбрасываемые отработанные растворы должны быть достаточно разбавлены, чтобы соответствовать требованиям санитарных норм. При этом одновременно снижается концентрация примесей, перешедших в ванну с катода.

Используемые в выпускной квалификационной работе электролиты представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Электролиты для оксидирования

Электролит	Концентрация компонентов электролита, г/л		
	Na_2SiO_3	$NaOH$	H_2SO_4
Силикатно–щелочной	10-15	2-3	-
Сернокислотный	-	-	4—5

При использовании именно этого соотношения компонентов в электролите, получаются покрытия с рациональными сочетания пористости и толщины. Для

эксперимента использовались режимы оксидирования, представленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Режимы оксидирования образцов электролитах

№ варианта обработки / № образца		1	2	3	4
Na_2SiO_3 NaOH	j, А/дм^2 ± 1	15	15	15	15
	T, ºC ± 5	20	20	20	20
	τ, мин	10	20	30	40
H_2SO_4	j, А/дм^2 ± 1	5	5	5	5
	T, ºC ± 5	20	20	20	20
	τ, мин	30	60	90	120

Изходя из задач, а именно обеспечения целостности оксидного слоя, был выбран диапазон исследуемых параметров процесса МДО во всех экспериментах. Чтобы исключить кипение и парообразования электролита была выбрана высокая плотность.

Исходя из выше приведенной информации можно сделать вывод, что использовании электролитов на основе Na_2SiO_3 и H_2SO_4 можно получить достаточно толстый слой с минимальной пористостью. Задачей ВКР является исследование влияния времени оксидирования на толщину, пористость и коррозионную стойкость оксидных покрытий на сплаве АД1 при постоянной (рациональной) плотности тока и температуре электролита.

3 Методы исследования свойств композиционных материалов

3.1 Определение толщины и пористости

Определение толщины оксидного слоя на образцах определяют прямым измерением на поперечных шлифах, на световом микроскопе (АЛЬТАМИ МЕТ 6С) с помощью окуляр микрометра.

Пористость оксидных плёнок определяют следующим способом. Оксидированные образцы погружают на 20 минут в нагретое до 105 °С авиационное масло. После стекания масла с поверхности образца, поверхность досуха протирают фильтровальной бумагой. По массе тела, содержащегося в порах, определяют их объём по формуле:

$$\beta = \frac{m \times 10^6}{p \times h \times s}, \quad (3.1)$$

где – β – отношение объема пористой части пленки к общему объему, %;

– m – масса масла, адсорбированной порами пленки, г;

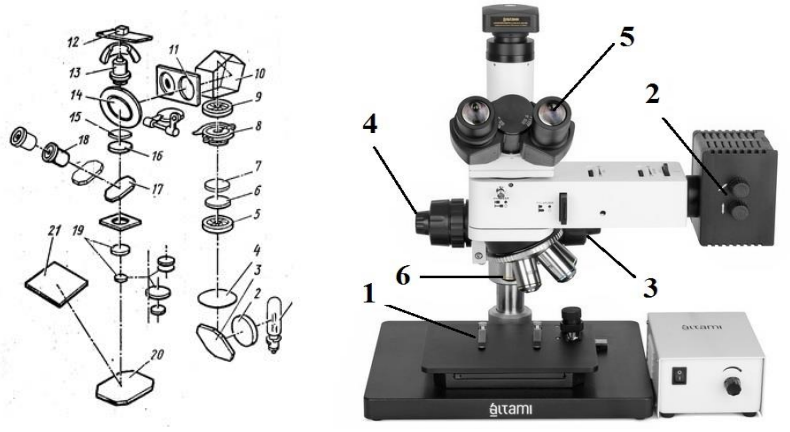
– ρ – плотность масла, равна 0,9 г/см^3;

– S – площадь поверхности образца, см^2.

– h – толщина покрытия, мкм.

Исследование микроструктуры и толщины покрытий на образцах композиционных материалов на основе АД1 проводили на прямом металлографическом микроскопе модульной конструкции с цифровой камерой, с планахроматической оптикой «на бесконечность» АЛЬТАМИ МЕТ 6С представленном на рисунке 3.1.

Микроскоп укомплектован программным обеспечением «*AltamiStudio*» для управления цифровыми камерами, проведения измерений и автоматического анализа изображений с выводом на персональный компьютер.



а) б)

Рисунок 3.1 – Металлографический микроскоп АЛЬТАМИ МЕТ 6С. а) схема хода световых лучей: 1 – лампа; 2 – коллектор; 3, 18 – зеркала; 4 – светофильтр; 5 – апертурнаядиафрагма; 6 – линза; 7 – фотозатвор; 8 – полеваядиафрагма; 9 – пентапризма; 10 – линза; 11 – отражательная пластинка; 12 – объектив; 13 – предметный столик ; 14 – линза; 15 – фотоокуляр; 16 – зеркало; 17 – матовая пластинка; 18 – призма; 19 – окуляр; 20 – анализатор; 21 – поляризатор; 22 – диафрагма; б) общий вид: 1 – предметный столик; 2 – винты для перемещения предметного столика; 3 – макровинт; 4 – микровинт; 5 – окуляр; 6 – объектив.

Технические характеристики металлографического микроскопа АЛЬТАМИ МЕТ 6С представлены в таблице 3.1 [26]

Таблица 3.1 – Технические характеристики металлографического микроскопа АЛЬТАМИ МЕТ 6С

Параметр	Значение
Методы исследований	В отраженном свете: светлое поле и поляризация
Увеличения, крат	25, 50, 62, 100, 125, 200, 250, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1250, 1500, 1600, 2000, 2500
Дополнительная комплектация	Цифровая камера с программным обеспечением «*AltamiStudio*»

Внешний вид обоймы с микрошлифами композиционных металлокерамических материалов на основе сплава АД1, полученных МДО, приведен на рисунке 3.2.

Рисунок 3.2 - Микрошлифы композиционных металлокерамических материалов на основе сплава АД1, полученных МДО

За результат измерения толщины покрытия принимали среднее арифметическое значение не менее трех измерений на поверхности одного образца.

Таким образом, изучена методика изготовления микрошлифов с дальнейшим анализом микроструктуры и толщины покрытий на металлографическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 6С

3.2 Определение коррозионной стойкости покрытий

Композиционные материалы испытывают на коррозионную стойкость согласно ГОСТ 9.040-74 и ГОСТ 13819-68. Испытаниям подвергались образцы - пластины толщиной 2,0 мм, размером 30×30 мм с оксидными слоями и без. Подготовка образцов, выбор реактивов и условий проведения испытаний проводились согласно ГОСТ 9.905-82. Скорость коррозии КМ оценивали количественно по стандартной методике по убыли массы единицы поверхности материала в единицу времени – весовой показатель скорости коррозии в г/м^2·ч (К):

$$K=\Delta m/S\cdot\tau\ , \qquad (3.2)$$

где – Δm – убыль (или прибыль) массы материала за время испытания, г;

– S – общая поверхность испытуемого образца, м^2;

– τ – продолжительность испытания, ч;

Для определения потери массы образцов в ходе испытния использовались весы ВМ510Д.

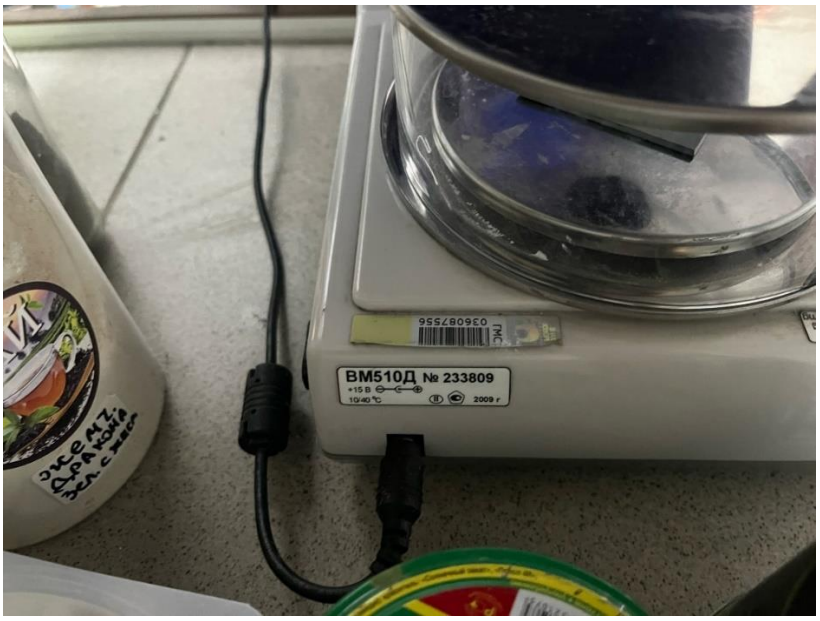


Рисунок 3.3 – Используемые весы ВМ510Д

На рисунке 3.3 представлены лабораторные весы с классом точности II. Точность взвешивания равна 0,001г., а максимальная масса равна 510 граммам.

3.3 Исследование влияния параметров оксидирования на толщину и пористость оксидных слоев

Пористость и толщина – параметры, определяющие свойства окисленных поверхностей. Они определяют коррозионную стойкость.

Различают структурную макропористость оксида и микропористость, прерывистая и постоянная пористость соответственно.

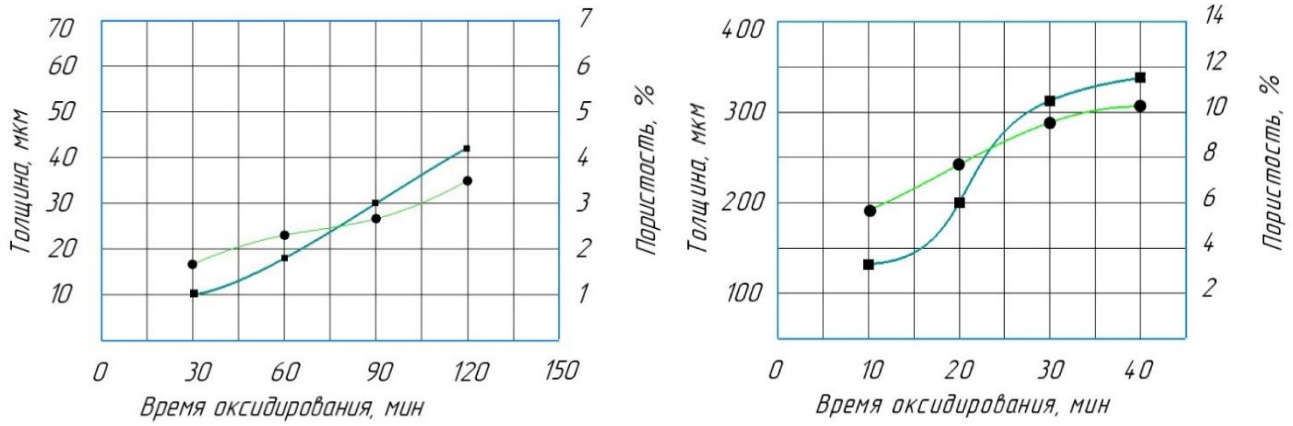
На микропористость оказывает влияние шероховатость поверхности образца и чистота поверхности. Чем больше последнее, тем ниже пористость и, следовательно, тем выше микротвердость оксидных слоев.

Макропористость обусловлена наличием дефектных участков в окисленном металле или сплаве, окраской и растворением структурных составляющих сплава или отклонением режима окисления от оптимального (локальным расходом оксида в поврежденных участках)

В проводимых экспериментах по получению оксидных слоев методом МДО и анодирования в качестве электролитов использовали сернокислый и силикатно-щелочной.

Эксперименты были направленные на установление влияния разных значений базовых характеристик МДО. Исследования проводили на алюминии АД1.

На рисунке 3.4 представлены кривые зависимости толщины и пористости от плотности тока. После оксидирования измеряли толщину и пористость покрытий.



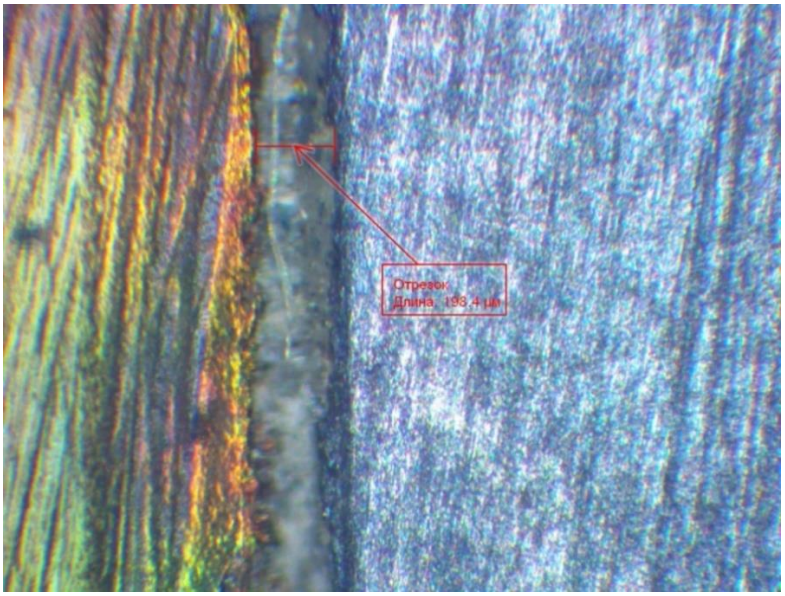
а) б)

Рисунок 3.4 – Зависимости толщины и пористости от параметров оксидирования различных электролитах ●——●—— – толщина, ■—■—■ – пористость

а) сернокислый б) силикатно-щелочной

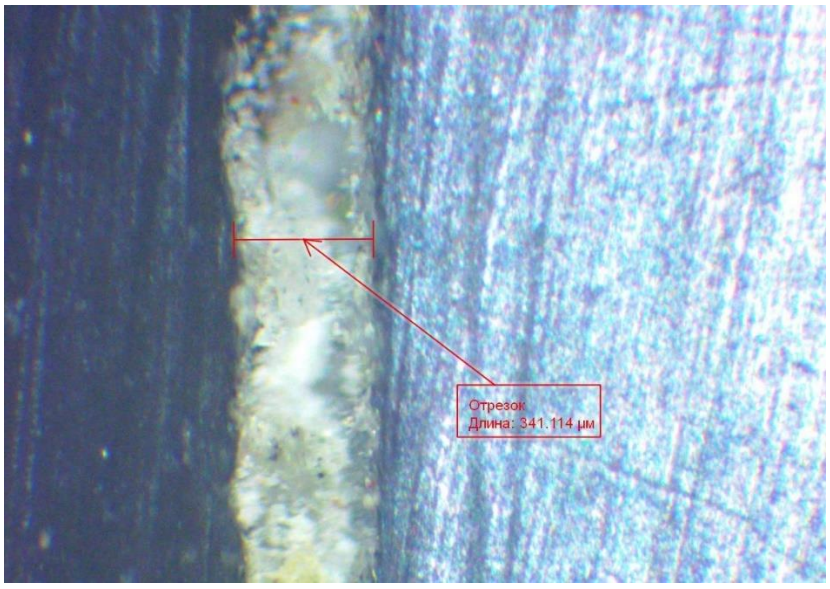
В случае изменения толщины слоя с течением времени эта зависимость экспоненциальна. По мере увеличения толщины оксидного слоя скорость роста толщины покрытия постепенно уменьшается. В то же время пористость также со временем увеличивается. Увеличение пористости покрытия связано с тем, что с увеличением толщины покрытия увеличивается энергия, необходимая для

разрушения оксидного слоя, в сочетании с тенденцией к увеличению толщины оксидных слоев при разрыве, напряжение увеличивается.



×100

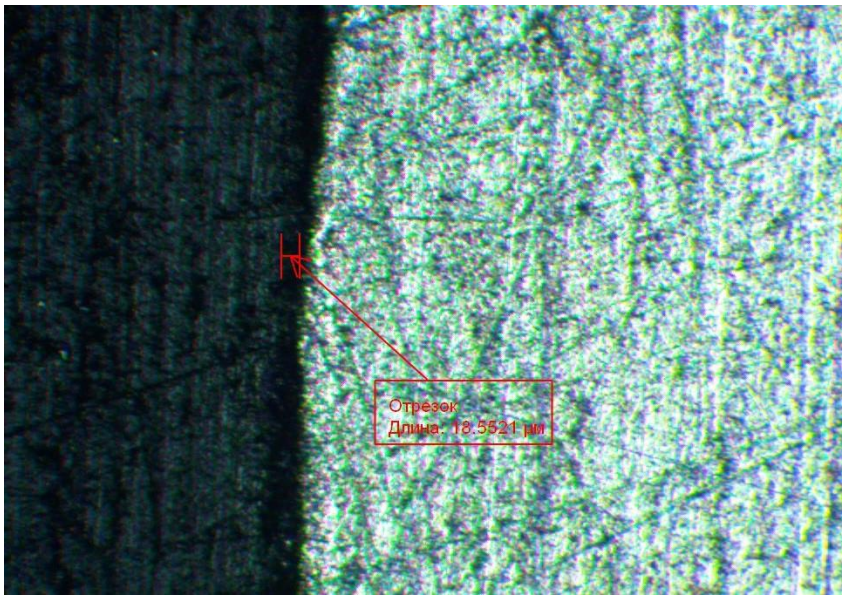
а)



×100

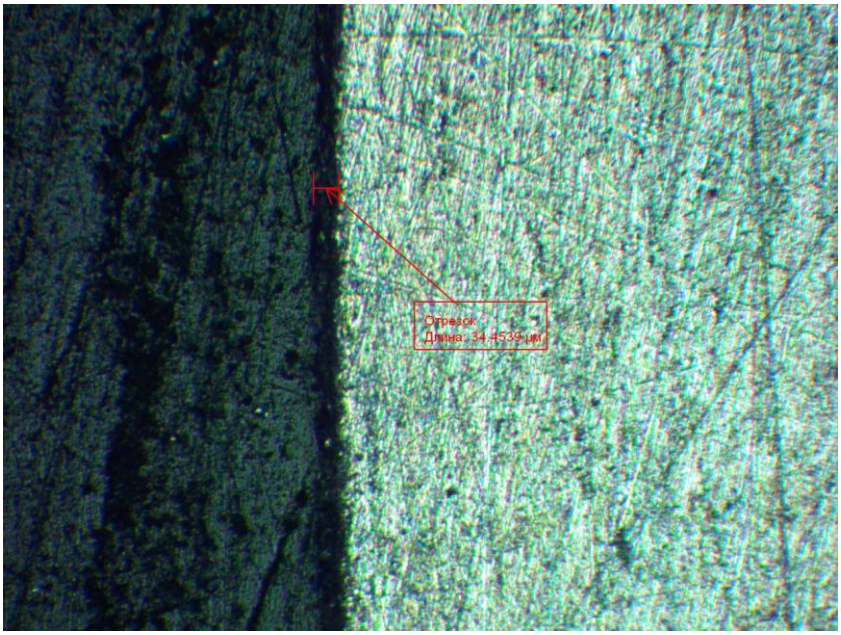
б)

Рисунок 3. 5 – Толщина оксидного слоя, полученного в силикатно – щелочном электролите при различном времени обработки: а – время 10 минут, б – время 40 минут



×200

а)



×200

б)

Рисунок 3.6 – Толщина оксидного слоя, полученного в электролите на основе H_2SO_4 при различном времени обработки: а – время 30 минут, б – время 120 минут

На рисунке 3.3 представлены образцы после обычного анодирования. Как видно из графика рисунка 3.1, при обычном анодировании необходимо в разы больше времени для образования оксидного слоя.

В случае изменения толщины слоя с течением времени эта зависимость экспоненциальна. По мере увеличения толщины оксидного слоя скорость роста толщины покрытия постепенно уменьшается. В то же время пористость также со временем увеличивается. Увеличение пористости покрытия связано с тем, что с увеличением толщины покрытия увеличивается энергия, необходимая для разрушения оксидного слоя, в сочетании с тенденцией к увеличению толщины оксидных слоев при разрыве, напряжение увеличивается.

Использование МДО для получения оксидной пленки в разы лучше стандартного анодирования. В ходе микродуговой обработки можно получить очень толстые покрытия с лучшими коррозионными свойствами.

3.4 Определение коррозионной стойкости полученного покрытия

Алюминий и его сплавы в естественных условиях покрыто активной пленкой толщиной порядка от 4 до 5 микрометров. Эта пленка сообщает металлу некоторую пассивность, однако в следствии малой толщины высокой пористости она не в состоянии обеспечить надежную защиту основы от внешних неблагоприятных воздействий. Этот недостаток может быть в той или иной мере устранен созданием на поверхности алюминия искусственных активных пленок, нанесенный при помощи метода МДО.

В данной работе были проведены эксперименты, направленные на установление влияние вида электролита на коррозионную стойкость покрытий.

Испытание коррозионной стойкости проводили в водном растворе: гидроксида натрия (NaOH) концентрацией 5…6 г/л.

Были созданы искусственные, лабораторные условия, чтобы провести испытания на коррозионную стойкость. Испытания состояли из эксперимента и его оценки. Эксперимент длился 100 часов. В емкость с коррозионной средой были помещены образцы. Далее выдерживались в течении указанного времени, а

после чего промывались водой. Следующим шагом была сушка образцов и прохождение стадии оценки результатов коррозионных испытаний.

Рисунок3.7 – Весы ВМ510Д с испытуемым образцом

На рисунке 3.7 представлены испытуемые образцы. Данные пластинки алюминия АД1 помещались в водный раствор гидроксида натрия и оставлялись на длительное время. Согласно эксперименту, каждые несколько часов образцы доставались, просушивались и взвешивались для определения потери массы.

Согласно указанной в работе [31] методике, проводились испытания на коррозионную стойкость, предварительно измерив массу образцов до и после испытаний, определив тем самым коррозионные потери. В таблице 3.2 приставные значение скорости к коррозии для различных образцов, а именно: МДО, анодирование и без покрытия.

Таблица 3.2 – Скорость коррозии образцов в различных средах

Вид испытуемого раствора	Масса до испытаний, г	Потеря массы после испытаний, г				Масса после испытаний, г	Скорость коррозии К	Потеря, %
		25 часов	50 часов	75 часов	100 часов			
Без покрытия	1,818	0,284	0,566	0,851	1,134	0,684	12,6	66,0
Анодирование	1,995	0,157	0,403	0,512	0,838	1,157	9,3	44,0
МДО	2,013	0,083	0,255	0383,	0,510	1,503	5,6	25,5

Как видно из таблицы 3.2, процент потери массы в ходе коррозии образцов подвергнутых МДО составляет 25,5 процентов, в то время как при андировании составляет 44 процента, а без покрытия потеря массы от изначальной составляет 66 процентов. Это указывает на то, что использование оксидных покрытий, в качестве защиты металла основы от неблагоприятных влияний окружающей среды, является весьма эффективным и перспективным.

Для наглядности, потери массы представим в виде графика. На нем хорошо видно, что при МДО происходит почти в 2,5 раза меньшая потеря массы при воздействии коррозии нежели без покрытия. Данный факт обусловлен тем что защитный оксидный слой имеет большие значения толщины и плохо поддается коррозии.

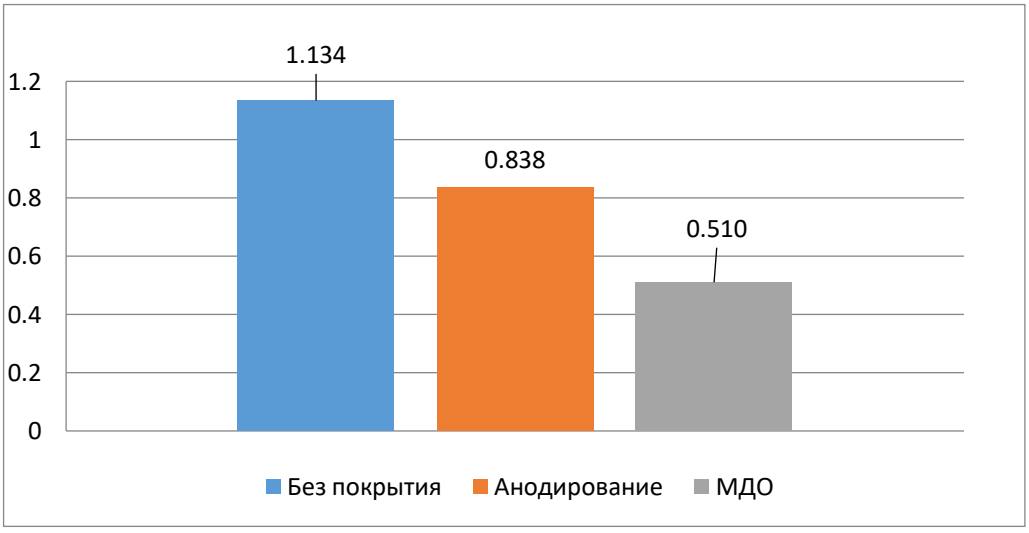


График 3.1 – Общая потеря массы после испытания на коррозионную стойкость

Заключение

В выпускной квалификационной работе рассмотрен эффективный способ получения защитных покрытий микродуговым оксидированием. Данный метод является прогрессивным, т.к. позволяет получить покрытия с высоким комплексом физико–механических и эксплуатационных свойств. Выявлены основные преимущества и недостатки МДО. В рамках работы были рассмотрены различные электролиты, а именно сернокислый и силикатно-щелочной.

Исследования структуры оксидных слоев позволило установить взаимосвязь между временем обработки. толщиной и пористостью оксидного слоя. Установлено, что повышение времени оксидирования ведёт увеличения толщины получаемого слоя и увеличивает его пористость.

Выбрано технологическое оборудование для проведения коррозионных испытаний.

Исследования на толщину и пористость полученных оксидных слоев проводились на лабораторных установках университета. Результаты показали что селикатно щелочной электролит способствует быстрому росту оксидной пленки. За 40 обработки толщина выросла в 5 раз, а именно с 50 мкм до 340 мкм. Также по результатам эксперимента пористость слоя так же увеличилась в два с половиной раза, с 4 процентов до 10 процентов. В сравнении с серникослотным электролитом получаемый результат лучше почти в 5 раз по толщине слоя, в 2 раза по пористости и 3 раза быстрее протекает реакция.

На исследуемых образцах также проводились испытания на коррозионную стойкость. Они показали, что композиционный материал, полученный методом МДО, превосходит базовый образец почти в 3 раз по эффективному защиты от коррозии. Анодирование проигрывает из-за сквозной пористости покрытия что влечет за собой увеличение коррозионной стойкости всего лишь в 1.5 раза. Таким образом, МДО является менее энергозаратным и более эффективным, в плане защиты от коррозии, способом нанесения покрытий на сплав АД1. Рационально подобранные режимы микродугового оксидирования позволяет получить

качественные стекловидные покрытия, которые находят применение в различных агрессивных отраслях, таких как нефте–газодобыча и переработка, трубопроводы.

Были проведены экспериментальные исследования на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет». Полученные покрытия методом МДО исследованы на коррозионную стойкость, на толщину и качество полученного покрытия. Установлено, что при правильном подборе времени микродугового оксидирования получается функциональное и бездефектное стекловидное покрытие с заданными свойствами.

Список используемой литературы

1. **Францевич, И.Н. Анодные окисные покрытия на легких сплавах** [Текст]: учеб. – метод, пособие / И.Н. Францевич, В.А. Лавренко Киев.: Наук. Думка, 1977. – 259 с.: ил.;

2. **Аверьянов, Е.Е. Справочник по анодированию** [Текст]: Справочник специалиста / Аверьянов Е.Е. М.: Машиностроение, 1988. – 224 с.

3. **Вайнер, Я.В. Технология электрохимических покрытий** [Текст]: [Учебник для учащихся техникумов] / Я. В. Вайнер, М. А. Дасоян. – Москва; Ленинград: Машгиз. [Ленингр. отд–ние], 1962. – 468 с.: ил.;

4. **Тепловой пробой диэлектрических анодных пленок** [Текст]: Учебное пособие/Костров Д.В., Мирзоев, Р.А. Электрохимия. 1987. Т. 23. 5. С.595 – 605.

5. **Покрытие для защиты магния и его сплавов от коррозии и способ его получения** [Электронный ресурс]: пат. 2757642 Рос. Федерация: МПК *C25D* 11/30/ Герасимов М.В., Жуликов В.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН).2021103730; заявл. 15.02.2021; опубл. 19.10.2021, Бюл. 29 – 3 с. [сайт]: *URL: https://www1.fips.ru/* (дата обращения: 17.04.2022).

6. **Способ нанесения покрытий на твердые сплавы** [Электронный ресурс]: пат. 2615941 Рос. Федерация: МПК C23C 28/00/ Аникин В.Н., Аникин Г.В., Блинков И.В., [и др]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».; заявл. 21.12.2015; опубл. 11.04.2017, Бюл. 11 – 5 с. [сайт]: *URL: https://www1.fips.ru/* (дата обращения: 17.04.2022).

7. **Получение беспористого покрытия** [Электронный ресурс]: пат. 2713763 Рос. Федерация: МПК *C25D* 11/02, *C25D* 15/00/ Марков М.А., Красиков А.В., [и др]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное

предприятие «Центральный научно–исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»). – 2019120716; заявл. 01.07.2019; опубл. 07.02.2020, Бюл. 4 – 4 с. [сайт]: *URL: https://www1.fips.ru/* (дата обращения: 17.04.2022).

8. **Получение покрытия для эксплуатации с при высоких температурных средах** [Электронный ресурс]: пат. 2757642 Рос. Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно–исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»). – 2018100983; заявл. 10.01.2018; опубл. 22.01.2019, Бюл. 3 – 2 с. [сайт]: *URL: https://www1.fips.ru/* (дата обращения: 17.04.2022).

9. **Способ нанесения высокотемпературного покрытия** [Электронный ресурс]: пат. 2679857 Рос. Федерация: МПК C23C 28/04, C23C 14/16, C23C 14/22, B23B 27/14/ Кужненков А.А., Пьянов А.И., Монастырский В.З. заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ВПТ–НН». – 2018102158; заявл. 19.01.2018; опубл. 13.02.2019, Бюл. 5 – 4 с. [сайт]: *URL: https://www1.fips.ru/* (дата обращения: 17.04.2022).

10. **Артемова, С.Ю. Формирование микроплазменными методами защитных оксидных покрытий из водных электролитов различного химического состава и степени дисперсности** [Текст]: автореферат дис. кандидата технических наук / 05.17.14 / Моск. ин–т стали и сплавов. – Москва, 1996. – 22 с.

11. **Холодов, Ю. А. Микродуговое оксидирование. Наука и человечество** [Текст]: Международный ежегодник/ М.: Знание, 1981, с. 341 – 342.

12. **Хрисанфова, О.А. Влияние ионного состава электролита и режима оксидирования на фазовый и элементный состав покрытий, полученных на**

металлах [Текст]: ДВО АН СССР. Ин–т химии / Гордиенко П. С., – Владивосток. 1989. 70 с. Рук. деп. в ВИНИТИ 6.05.89. 2986–889.

13. **Ханина, Е.Я. Физика окисных пленок** [Текст]: / Одынец Л.Л., Петрозаводск: Изд-во ПГУ, 1979. Ч.I – 80 с. 1981. Ч.II – 74 с.

14. **Снежко, Л.А. Получение анодных покрытий в условиях искрового разряда и механизм их образования** [Текст]: Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. хим. наук. /Снежко, Л.А. – Днепропетровск, 1982. – 16 с.

15. **Томашев, Н.Д. Анодная защита металлов** [Текст]:/ Н. Д. Томашов, Г. П. Чернова; Акад. наук СССР. Ин–т физ. химии. – Москва: Наука, 1965. – 208 с.: черт.;

16. **Тимошенко, А.В. Исследование свойств оксидных покрытий, сформированных на алюминиевых сплавах методом микродугового оксидирования** [Текст]: Материалы республ. научн. –техн. конф. / А.В. Тимошенко, Б.К. Опара, Анод–88: – Казань, 1988. – С. 43–45.

17. **Баковец, В.В. Оксидные покрытия, полученные микродуговой обработкой титанового сплава в кислых электролитах** [Текст]: Диссертация кандидата химических наук /Баковец, В.В. Неорганические материалы. 1987. Т. 23, 7. – С.1226 – 1228.

18. **Чернышев, Б.Н. Формирование износостойких покрытий на титане** [Текст]: Гордиенко П.С., Гнеденков С.В., Хрисанфова О.А., Коньшин В.В., Вострикова Н.Г., Электронная обработка материалов. – 1990. – 5 (155). – С.

19. **Казанцев, И.А. Перспективы применения технологии микродугового оксидирования для деталей автомобиле и тракторостроения** [Текст]: учеб. – метод, пособие /Кривенков А.О., Косолапов А.И., Труды Всероссийской научно–технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона». – Новосибирск, 2005. – С.

20. **Казанцев, И.А. Влияние параметров микродугового оксидирования на фазовый состав и свойства покрытий алюминия** [Текст]: учеб. – метод,

пособие/И.А. Казанцев, О.Е. Чуфистов, Н.В. Голованова, А.А. Уткин, В.В. Симцов4–е собрания металловедов России: Сб. материалов. – Пенза. – 1998. – ч. 1. – С. 105–107.

21. **Кривенков, А.О. Влияние параметров микродугового оксидирования на свойства многофункциональных композиционных материалов на основе титановых и циркониевых сплавов** [Текст]: учеб. – метод, пособие/ V Всеросс. научн. – техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука XXI века». – Красноярск, 2004. – С. 309 – 310 с.

22. **Казанцев, И.А**. **Влияние состава алюминиевого сплава на характеристики покрытий, формируемых микродуговым оксидированием** [Текст]: учеб. –метод,пособие/Скачков В.С.,Чуфистов О.Е. Сб. статей Всероссийской научн.–практ. Конф»Инновации в машиностроении–2002». Пенза. – 2002. –С.85–88.

23. **Томашов, Н.Д. Получение и свойства толстослойных анодных окисных пленок на алюминии и его сплавах** [Текст]: учеб. – метод, пособие / Н.Д. Томашов, М.Н. Тюкина, Ф.П. Заливалов, Н.Н. Игнатов// М.: ВИНИТИ, 1959. – 252 с.

24. **Горелик, С.С. Рентгенографический и электронноoптический анализ** [Текст]: учеб. – метод, пособие / С.С. Горелик, Л.Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков, Практическое руководство. – М.: Металлургия, 1970. – 234 с.

25. **Гуляев, А.П. Металловедение** [Текст]: учеб. – метод, пособие / М.: Металлургия, 1978. – 648 с.

26. **Иванкин, Ю.Н. Статистические законы случайных величин в технологии машиностроения** [Текст]: учеб. пособие/ Иванкин Ю.Н. Петров Э. Н., Пермь, 1982. – 127 с.

27. **Мирзоев, Р.А.** [Текст]: Электрохимия. 1987. Т. 23. 5. С. 676 – 679.

28. **Ваграмян, Т. А. Лабораторный практикум по технологии электрохимических покрытий** [Текст]: учеб. – метод, пособие /Цупак Т.Е., Новиков В.Т., Начинов Г.Н., под ред. Т.Е. Цупак. М.: Химия, 1980. С. 178.

29. **Миркин, Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов** [Текст]: учеб. – метод, пособие /М.: Физматгиз, 1961. – 235 с.

30. **Порай–Кошиц, М.А. Основы структурного анализа химических соединений** [Текст]: учеб. – метод, пособие / М.:Высшая школа,1989. – 344 с.

31. **Ваграмян, Т. А. Лабораторный практикум по технологии электрохимических покрытий** [Текст]: учеб. – метод, пособие /Цупак Т.Е., Новиков В.Т., Начинов Г.Н., под ред. Т.Е. Цупак. М.: Химия, 1980. С. 178.

32. **Баранова, Л.В. Металлографическое травление металлов и сплавов** [Текст]: учеб. – метод, пособие /Справ. изд. Демина Э.Л. М.: Металлургия, 1986. 256 с.

33. **Чуфистов, О.Е. Разработка технологии микродугового оксидирования изделий из алюминиевых сплавов на основе исследования структуры и свойств получаемых покрытий** [Текст]: Дисс. канд. техн. наук. /Пенза, 1999.–162 с.

34. **Получение композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов различного функционального назначения микродуговым оксидированием** [Текст]: Дисс. канд. техн. наук. /Изд. Симцов, В.В.– Пенза, 2001. – 187 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

Кафедра « Сварочное, литейное производство и материаловедение »

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

«ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИИ АД1, ПОЛУЧЕННЫХ МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ»

Выполнил: ст. гр. 19МТ1 Журавлев Н.А.

Руководитель: к.т.н., доцент Кривенков А.О.

Пенза, 2023 г.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является изучение влияния параметров микродугового оксидирования (МДО) на толщину, пористость и коррозионную стойкость композиционного материала на основе алюминия.

Задачами являются:

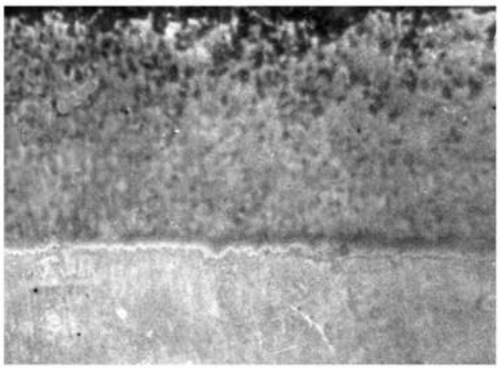
- изучить механизм образования оксидного слоя на алюминии в процессе МДО;
- рассмотреть основные технологические схемы МДО;
- исследовать толщину и пористость получаемого оксидного слоя;
- провести испытания покрытий на коррозионную стойкость.

Объектом исследования являются КМ на основе алюминиевого сплава АД1, полученные оксидированием, а **предметом исследования** – структура и коррозионная стойкость полученных КМ.

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

3

СТРУКТУРА МДО-ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ



Микрофотография оксидного покрытия (поперечный срез), сформированного МДО на сплаве АД1 в силикатно-щелочном в электролите

1-материал подложки; 2-переходный слой; 3-основной рабочий слой; 4-наружный (технологический) слой

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

МАТЕРИАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Химический состав сплава АД1, % (ГОСТ 4784-97)

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примесей
До 0.3	До 0.3	До 0.025	До 0.15	Min 99.3	До 0.05	До 0.05	До 0.1	До 0.05

Механические свойства сплава АД1 (ГОСТ 4784-97)

Сортамент	Предел прочности при растяжении $б_в$, МПа	Относительное удлинение при разрыве δ, %
Трубы, ГОСТ 18482-79	60	20
Пруток, ГОСТ 21488-97	60	25
Лента, ГОСТ 13726-97	135-145	3-5
Профили, ГОСТ 8617-81	59	20

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ПОЛУЧЕНИЮ МДО КОМПОЗИЦИОННЫХ ОКСИДОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АД1

5

Установка для микродугового оксидирования металлов и сплавов

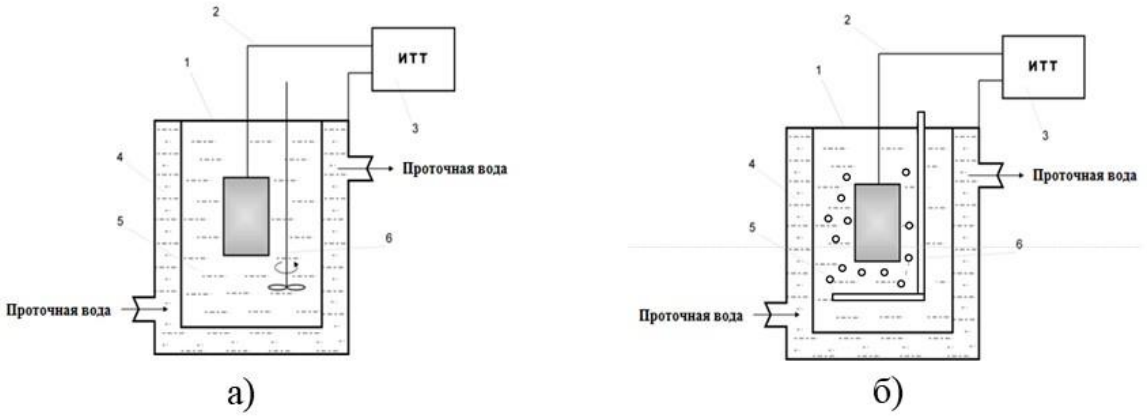
1 – переключатели системы охлаждения, 2 – вольтметр, 3 – амперметр, 4 - переключатель режима МДО переменный/постоянный ток, 5 – кнопка пуска и остановки процесса оксидирования, 6 – переключатель тока оксидирования.

Электролитическая ванна с водяным охлаждением для эксперимента.

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

6



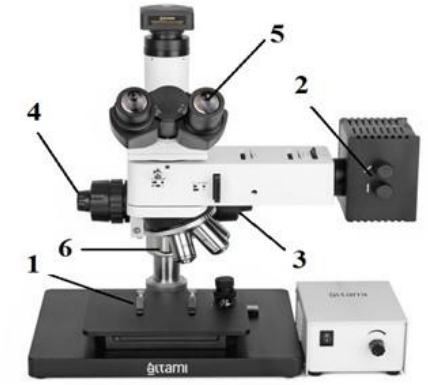
Схемы перемешивания и охлаждения электролита

1 –ванна; 2 – токопроводящая шина; 3 – источник тока; 4 – система охлаждения; 5 – электролит; 6 – система перемешивания.

а – перемешивание механической мешалкой; б – перемешивание сжатым воздухом.

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ АД1, ПОЛУЧЕННЫХ МДО



Металлографический микроскоп АЛЬТАМИ МЕТ 6С

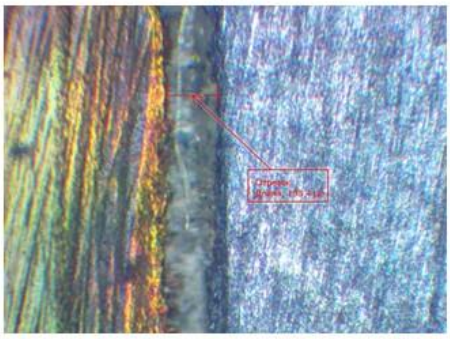
1 - предметный столик; 2 - винты для перемещения предметного столика; 3 - макровинт; 4 - микровинт; 5 – окуляр; 6 – объектив.

Исследование микрошлифов экспериментальных образцов КМ, полученных оксидированием

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

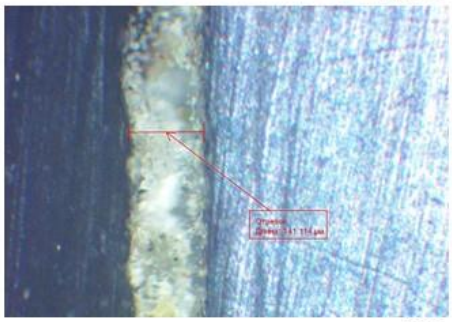
ТОЛЩИНА И ПОРИСТОСТЬ ПОКРЫТИЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ АД1

Установлено, что толщина покрытий, полученных в силикатно-щелочном электролите в зависимости от режимов МДО составляет 190-200 мкм , пористость покрытия – 4…5 % (τ=10 мин)



x100

Установлено, что толщина покрытий, полученных в силикатно-щелочном электролите в зависимости от режимов МДО составляет 335-345 мкм , пористость покрытия – 10…12 % (τ=40 мин)

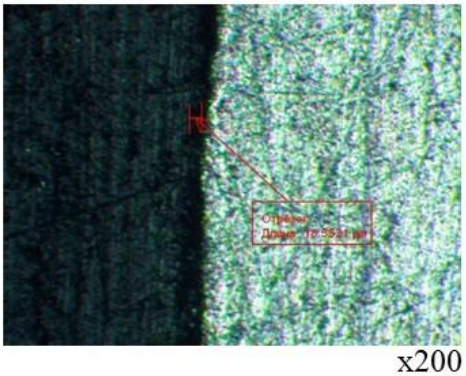


x100

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

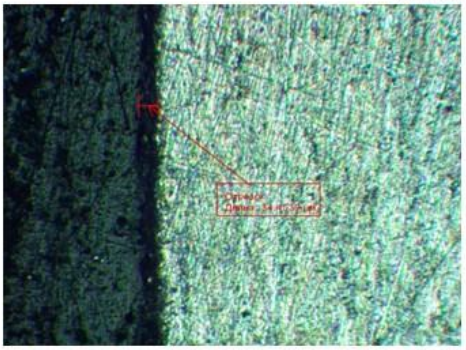
ТОЛЩИНА И ПОРИСТОСТЬ ПОКРЫТИЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ АД1

Установлено, что толщина покрытий, полученных в силикатно-щелочном электролите в зависимости от режимов МДО составляет 15-20 мкм , пористость покрытия – 1…2 % (τ=30 мин)



x200

Установлено, что толщина покрытий, полученных в силикатно-щелочном электролите в зависимости от режимов МДО составляет 30-35 мкм , пористость покрытия – 3…4 % (τ=120 мин)



x200

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

ЭЛЕКТРОЛИТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ АД1 МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ

Электролиты для получения покрытий

Электролит	Концентрация компонентов электролита, г/л		
	Na_2SiO_3	NaOH	H_2SO_4
Силикатно-щелочной	10-12	2-3	-
Сернокислый	-	-	4-5

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

РЕЖИМЫ ОКСИДИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ АД1

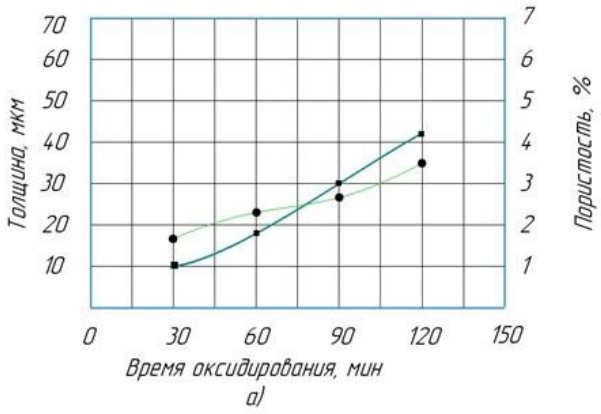
Режимы оксидирования образцов в электролитах

№ образца / № варианта обработки		1	2	3	4
Na_2SiO_3 NaOH	j, А/дм^2 ± 1	15	15	15	15
	T, °C ± 5	20	20	20	20
	τ, мин	10	20	30	40
H_2SO_4	j, А/дм^2 ± 1	5	5	5	5
	T, °C ± 5	20	20	20	20
	τ, мин	30	60	90	120

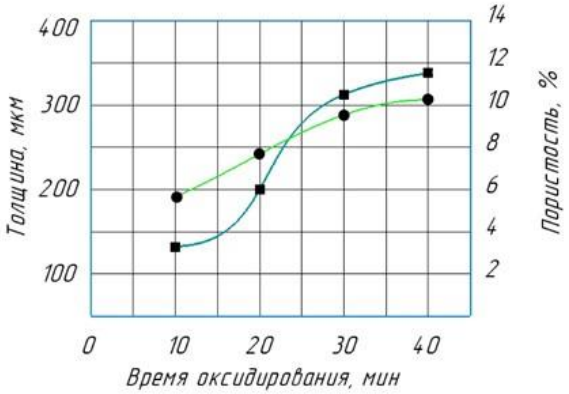
Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

ЗАВИСИМОСТИ ТОЛЩИНЫ И ПОРИСТОСТИ ОКСИДНОГО СЛОЯ ОТ ПАРАМЕТРОВ ОКСИДИРОВАНИЯ

12



а)



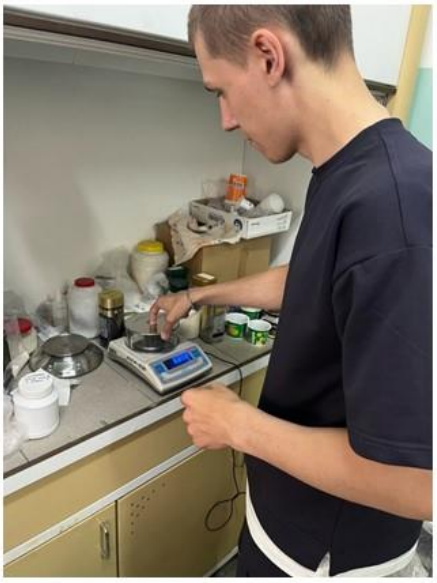
Зависимость толщины и пористости от параметров оксидирования различных электролитах — толщина, — пористость

а) сернокислый б) силикатно-щелочной

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

13

ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ



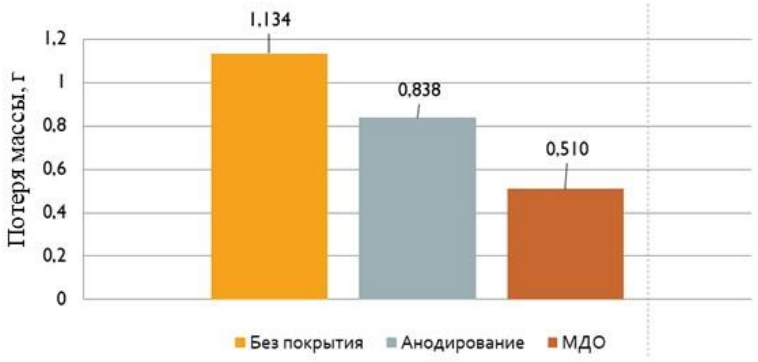
Взвешивание экспериментальных образцов КМ
на измерительных весах ВМ510Д

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Крищенков А.О.	гр. 19МТ1

14

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВЕ АД1

№ образца	Масса до испытаний, г	Потеря массы после испытаний, г				Масса после испытаний, г	Скорость коррозии г/м^2·ч	Потеря, %
		25 часов	50 часов	75 часов	100 часов			
Без покрытия	1,818	0,284	0,566	0,851	1,134	0,684	12,6	66,0
Анодирование	1,995	0,157	0,403	0,512	0,838	1,157	9,3	44,0
МДО	2,013	0,083	0,255	0383,	0,510	1,503	5,6	25,5



Общая потеря массы образцов после испытания на коррозионную стойкость.

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения ВКР изучен механизм образования оксидного слоя на алюминии в процессе МДО, рассмотрены основные технологические схемы МДО, исследована толщина и пористость получаемого оксидного слоя, проведены испытания покрытий на коррозионную стойкость.

Формирование оксидных покрытий на алюминии АД1 выполняли в силикатно-щелочном и сернокислом электролитах.

Исследования толщины и пористости оксидных покрытий, полученных в выбранных электролитах установили, что при времени оксидирования 10 – 40 минут в силикатно-щелочном электролите мы получили увеличении толщины с 200 до 340 мкм и пористости с 4% до 12%. В сернокислом электролите при времени оксидирования 30 – 120 минут увеличение толщины с 20 до 35 мкм и пористости с 1% до 4%.

Выявлено, что коррозионная стойкость композиционных материалов, сформированных в силикатно-щелочном электролите, возросла примерно в 2,2 раз по сравнению с образцами без покрытий и в 1,3 раза по сравнению с образцами в сернокислом электролите.

Проведенные исследования подтвердили эффективность применения МДО для повышения коррозионной стойкости изделий из алюминия и его сплавов.

Таким образом, **цель ВКР достигнута**, все поставленные **задачи выполнены в полном объеме**.

Разработал	Журавлев Н.А.	Каф. «СПиМ»
Руководитель	Кривенков А.О.	гр. 19МТ1

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!