

На правах рукописи

Николаев Илья Викторович

РАЗРАБОТКА КОМПОЗИТНОГО ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНОГО  
ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДИЗАЙН-ОБЪЕКТОВ ИЗ АЛЮМИНИЯ И ЕГО  
СПЛАВОВ

Специальность:  
17.00.06 – Техническая эстетика и дизайн

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург  
2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» на кафедре технологии художественной обработки материалов и ювелирных изделий

Научный руководитель: Жукова Любовь Тимофеевна,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»,  
заведующая кафедрой технологии художественной обработки материалов и ювелирных изделий

Официальные оппоненты: Галанин Сергей Ильич,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», профессор кафедры технологии художественной обработки материалов,  
художественного проектирования  
и технологического сервиса

Пряхин Евгений Иванович,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», заведующий кафедрой материаловедения и технологии художественных изделий

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»

Защита состоится 11 декабря 2018 года в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.04 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18, ауд. 241.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», <http://sutd.ru/>.

Автореферат разослан «   » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Наталья Борисовна Лезунова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Поиск новых дизайнерских решений при создании современных художественных изделий связан, как правило, с применением новых материалов, совершенствованием способов их обработки. Это способствует расширению художественных образов и форм, цветовых и декоративных характеристик, улучшению потребительских свойств выпускаемых изделий.

Алюминиевые сплавы являются одними из основных конструкционных материалов и широко применяются в различных отраслях промышленности, в том числе в производстве художественных изделий. Алюминий - прочный, пластичный и легкий металл. Эти свойства особенно ценны, когда необходимо уменьшить материалоемкость изделия, при этом подчеркнув его декоративные качества.

Воздействие окружающей среды, из-за свойства алюминия к окислению, снижает качество поверхности объектов дизайна. В целях сохранения и увеличения эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов, а также придания поверхности изделий декоративного вида и антикоррозионных свойств, в промышленности применяются защитно-декоративные покрытия.

Одним из перспективных направлений электрохимической обработки алюминия является получение композитных анодных покрытий. Они представляют оксид алюминия, наполненный компонентами различной химической природы. Перспективность использования таких покрытий, с одной стороны, обусловлена относительной простотой технологического процесса, а с другой – возможностью управлять физико-механическими и декоративными свойствами, варьируя технологические режимы и вид наполнителей.

В настоящее время вопросы использования композитных анодных покрытий с применением щавелекислого электролита для объектов дизайна изучены недостаточно. Возникает необходимость в создании научно-методического обеспечения, позволяющего моделировать физико-механические, декоративные и защитные свойства данных покрытий, что и подтверждает актуальность данной работы.

### **Степень теоретической разработанности темы исследования**

В процессе разработки технологии защитно-декоративного покрытия для объектов дизайна из алюминия был проведен анализ следующей литературы:

- по истории художественных изделий из алюминия: Квасов Ф. И., Фриндландер И. Н., Соколова М. Л., Дроздов А. А.;

- по современным технологиям нанесения защитно-декоративных покрытий, гальваностегии, видам, свойствам и классификациям защитно-декоративных покрытий: Аверьянов Е. К., Белов В. Т., Богоявленский А. Ф., Вольфсон А. И., Голубев А. И., Галанин С. И., Грилихес С. Я., Елинек Т. В., Заливалов Ф. П., Томашов Н. Д., Францевич И. Н.;

- по цветовому проектированию и технологическим, декоративным, материаловедческим вопросам при разработке дизайна художественных изделий:

Маккэлэм Г. Л., Логвиненко Г. М., Даглдиян К. Т., Якушева М. С., Васин С. А., Талашук А. Ю.

Область исследования соответствует научной специальности 17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн»

**Целью работы** является разработка технологии нанесения защитно-декоративных покрытий с влагозащитными свойствами для дизайн-объектов из алюминия с использованием пористого оксида алюминия заданной цветовой гаммы в качестве слоя покрытия и углеводородного наполнителя в качестве подслоя.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- проведение комплексного исследования и сравнительного анализа защитно-декоративных покрытий, применяемых для дизайн-объектов из алюминия и его сплавов;

- установление характера влияния концентрации электролита на основе щавелевой кислоты на морфологию покрытия, а также его физико-механические и декоративные свойства;

- проведение сравнительного анализа наполнителей для обеспечения влагозащитных свойств покрытия;

- установление технологических параметров анодирования для получения покрытий с заданной цветовой гаммой и влагозащитными свойствами для изделий из алюминия.

#### **Объект и предмет исследования**

Объектом исследования являются технологические режимы и составы на основе электролита щавелевой кислоты и углеводородных наполнителей, а также образцы композитных защитно-декоративных покрытий.

Предметом исследования являются физико-механические свойства, операции, действия, процессы, обеспечивающие применение композитных защитно-декоративных покрытий для объектов дизайна.

#### **Научная новизна работы**

1. Разработана конструкция композитного защитно-декоративного покрытия, обеспечивающая высокие физико-механические и влагозащитные свойства.

2. Установлен характер влияния концентрации электролита анодирования на физико-механические и декоративные свойства покрытий.

3. Разработаны технологические режимы получения композитных защитно-декоративных покрытий с влагозащитными свойствами с использованием пористого оксида алюминия заданной цветовой гаммы в качестве слоя покрытия и углеводородного наполнителя в качестве подслоя.

4. Определены технологические параметры анодирования, обеспечивающие заданные защитно-декоративные свойства композитных покрытий на изделиях из алюминия и его сплавов.

#### **Практическая значимость работы**

1. Разработанные технологические режимы получения композитных защитно-декоративных покрытий на основе электролита щавелевой кислоты и углеводородных наполнителей позволяют расширить спектр дизайнерских решений при создании объектов дизайна из алюминия.

2. Разработаны рекомендации для внедрения предложенных технологических режимов получения композитного покрытия в рамках предприятия ООО «Инжиниринговый центр».

#### **Методология и методы исследования**

В качестве методологической базы применялся системный подход. Для получения аналитических данных проводился метод сравнительного анализа. В работе использовались основные положения теории спектрофотометрии для получения количественных характеристик цвета анодных покрытий. Микроструктура пленок определялась с применением микроскопа *TESCAN Vega II* при увеличении в 2000 крат.

Исследование микротвердости покрытий производили на автоматическом микротвердомере *Micro-Duromat 4000E ASTM E 92* фирмы *Reichert-Jung*, нагрузка 100 г.

Цветовые характеристики исследуемых покрытий оценивали с помощью методов спектрофотометрии с использованием спектрофотометра фирмы *GretagMacbeth Spectroeye*, в системе *LCh*, определяющей значение цвета по трем параметрам: светлота, насыщенность и цветовой тон. Каждое измерение осуществляли пятикратно на различных участках образца при стандартном источнике излучения *D65*, угол обзора – 2°. Обработка результатов осуществлялась методом математической статистики с использованием стандартных программ.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Технологические режимы получения композитного защитно-декоративного покрытия с влагозащитными свойствами для объектов дизайна из алюминия на основе электролита щавелевой кислоты и углеводородных наполнителей.

2. Технология получения защитно-декоративных покрытий с заданными физико-механическими, декоративными и защитными свойствами.

Достоверность результатов, обоснованность основных положений и выводов диссертационной работы обеспечивается применением современных методов исследования, обработкой экспериментальных и статистических данных по изучаемой проблеме, публикациями и докладами, практическим участием в конференциях и выставках, положительными результатами апробации в производственных условиях в рамках предприятия ООО «Инжиниринговый центр» и использованием в учебном процессе, получением патента на полезную модель.

#### **Апробация работы**

По основным результатам диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 5 статей – в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций.

#### **Личный вклад автора**

Все результаты исследований, изложенные в настоящей диссертации, получены самим автором. Автор участвовал в постановке задач, проведении экспериментов, обработке и анализе результатов. Автору непосредственно принадлежит обобщение полученных данных, разработка методологических подходов и формулирование основных выводов.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников из 141 наименования. Текст работы изложен на 132 страницах, содержит 35 рисунков, 17 таблиц.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обосновываются актуальность работы, цель и задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость результатов диссертационной работы.

В **первой главе «Анализ современной практики совершенствования дизайна изделий из алюминия с использованием электрохимической обработки поверхности»** представлен анализ применения алюминия как конструкционного материала в скульптуре, ювелирном искусстве и декоративно-прикладном искусстве (ДПИ). Описаны эстетические аспекты применения алюминия с точки зрения дизайна, художественного конструирования и проектирования. Изучены основные проблемы, возникающие при использовании алюминиевых сплавов в производстве объектов дизайна.

Рассмотрены основные методы нанесения защитно-декоративных покрытий на алюминий, их виды, декоративные и технологические свойства. Проведен сравнительный анализ защитно-декоративных покрытий для алюминия и его сплавов.

Основой научного подхода являлось решение ряда задач, поставленных в работе: систематизация технологических параметров формирования защитно-декоративного покрытия; установление теоретических связей и экспериментальных зависимостей между технологическими параметрами анодирования, и физико-механическими и декоративными свойствами покрытия. В заключение первой главы на основании перечисленных критериев, поставлена цель и уточнены основные задачи диссертационной работы.

**Вторая глава «Разработка технологии защитно-декоративного покрытия для объектов дизайна из алюминия и его сплавов»** посвящена разработке технологии защитно-декоративных покрытий с заданной цветовой гаммой, физико-механическими и защитными свойствами.

Рассмотрены вопросы технологических, декоративных и эстетических свойств материала при создании художественного образа и моделировании изделий из алюминия и его сплавов. Описывается специфика проектирования объектов дизайна с учетом выбора материала, а также влияния цветовых решений и декоративных свойств покрытия на художественный образ изделия.

Для создания покрытия применяли анодирование алюминия в щавелевом электролите с последующим внедрением наполнителя в поры покрытия.

На рисунке 1 представлена схема решения покрытия из 3 слоев, где: 1 – поверхность алюминия; 2 – слой покрытия; 3 – подслой покрытия; 4 – влагозащитный слой.

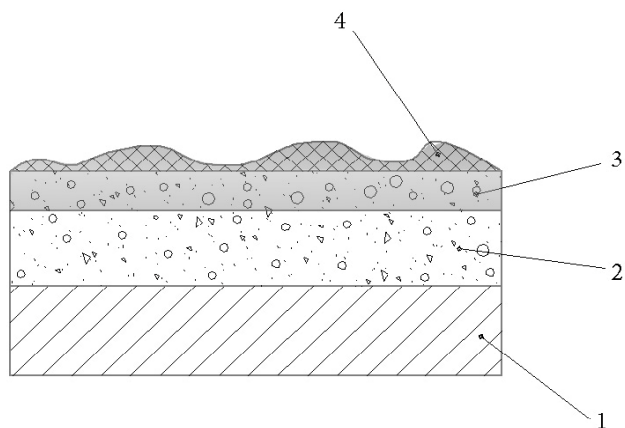


Рисунок 1 – Схема решения покрытия

Слой покрытия получали на поверхности алюминиевых образцов путем анодирования в растворе щавелевой кислоты. Для установления характера влияния концентрации электролита на морфологию покрытия, а также его физико-механические и декоративные свойства были проведены эксперименты по анодированию в растворах, представленных в таблице 1. Были изготовлены образцы размером 60 x 25 мм и толщиной 5 мм из сплава АЛ2. Технологические режимы: температура 25-30° С, плотность тока 2-2,5 А/дм<sup>2</sup>, напряжение 50 В. Время анодирования составляло 30 мин. Шероховатость образцов составляла *Ra* 6,3 мкм.

Таблица 1 – Составы растворов для анодирования алюминия

Номер раствора	Содержание (СООН) <sub>2</sub> в электролите, г/л
1	120 ± 1
2	100 ± 1
3	80 ± 1
4	60 ± 1
5	40 ± 1

**Третья глава «Исследование характера влияния концентрации электролита анодирования на физико-механические свойства покрытия»** посвящена изучению физико-механических свойств покрытий.

Было проведено исследование морфологического типа получаемых пленок для растворов с разным содержанием щавелевой кислоты. Химический состав электролитов представлен в таблице 1.

В течение всего процесса анодирования определяли плотность тока через равные промежутки времени (150 с), с помощью потенциостата марки *P-30J*. Страна производства Россия. Погрешность измерения: ±1 %.

Известно, что изменение плотности тока связано с изменением морфологии пленки. На рисунке 2 представлены экспериментально полученные зависимости плотности тока от времени для электролитов разных концентраций. На протяжении всего процесса анодирования наблюдается непрерывное изменение плотности тока и, как следствие, изменение морфологии пленки.

Анализ полученных результатов дал возможность сделать предположение о морфологических особенностях анодных пленок. Наличие точек минимума на зависимостях плотности тока от времени и последующий рост плотности тока, свидетельствует о том, что при содержании щавелевой кислоты в растворе от 60 до 120 г/л происходит формирование пористых пленок. Практически постоянное убывание плотности тока в течение всего времени анодирования показывает, что содержание щавелевой кислоты в электролите 40 г/л приводит к образованию пленки барьерного типа.

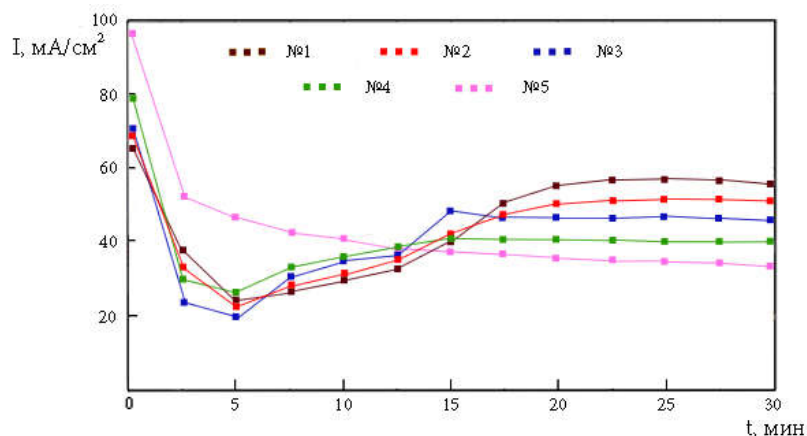


Рисунок 2 – Зависимости плотности тока от времени образцов, анодированных в растворах №1-5

Микроскопия анодной пленки осуществлялась с целью изучения внутренней микроструктуры покрытия образцов, а также характера образований в анодном слое.

Микроструктура пленок определялась с применением микроскопа *TESCAN Vega II* при увеличении в 2000 крат. На рисунке 3 представлены структуры пленок (естественная и полученные после анодной обработки в электролитах с различной концентрацией). Они представляют собой сферические контуры зерен с ярко выраженными границами. На поверхности исходного материала имеется слабо выраженная пористость. Поры (черные пятна) расположены на поверхности зерен. На границах блоков они полностью отсутствуют.

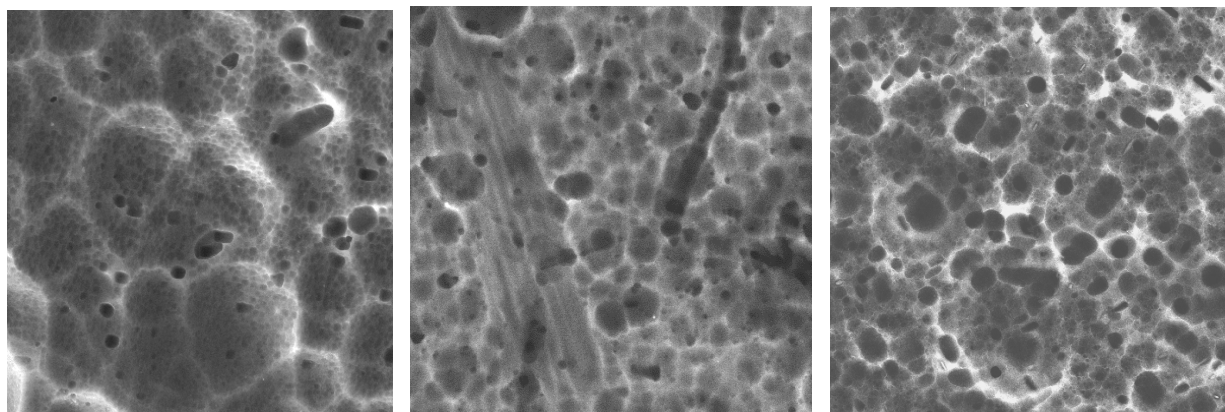


Рисунок 3 – Микроструктура оксидных пленок: 1 – образец алюминия без покрытия; 2 – образец анодированный в растворе 40 г/л; 3 – образец анодированный в растворе 80 г/л



При анодной обработке в растворе с повышенной концентрацией наблюдается уменьшение размеров зерен и увеличение пористости пленки. Это связано с увеличением травящего действия на нее щавелевой кислоты. В случае же анодирования в растворе с наименьшей концентрацией, пленка обладает незначительной пористостью и получается более плотной.

В целях установления значений пористости образцов были проведены измерения в соответствии с ГОСТ 9.302–88. Среднее число пор ( $N_{cp}$ ) вычисляют по формуле:

$$N_{cp} = N_{общ} / S,$$

где  $N_{общ}$  - общее число пор на контролируемой поверхности;

$S$  - площадь контролируемой поверхности,  $см^2$ .

Результаты измерений пористости покрытий представлены в таблице 2 и на рисунке 4.

Таблица 2 – Пористость пленок анодированного алюминия при разных концентрациях раствора анодирования

Номер образца	Число пор $n$ , $см^2$	Пористость, %
1	$2,1 \cdot 10^{10}$	$82 \pm 1$
2	$1,9 \cdot 10^{10}$	$77 \pm 1$
3	$1,5 \cdot 10^{10}$	$63 \pm 1$
4	$1,1 \cdot 10^{10}$	$45 \pm 1$
5	$5,7 \cdot 10^9$	$23 \pm 1$

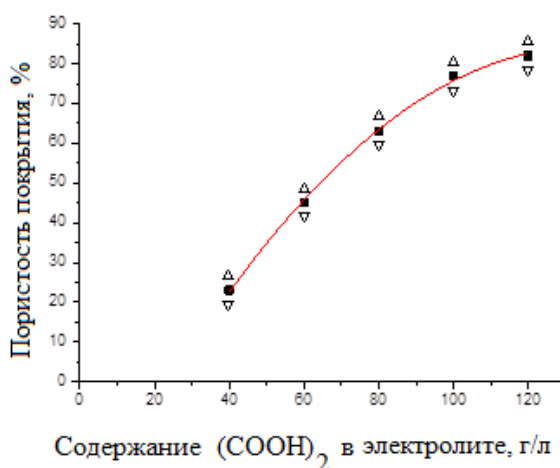


Рисунок 4 – Зависимость пористости покрытий от содержания  $(COOH)_2$  в электролите

Зависимость описывается полиномом второго порядка:

$$y = -40 + 1,84x - 0,0068x^2$$

Пористость слоя оксида алюминия в щавелевом электролите варьируется в пределах от 23 до 82 %.

Исследование микротвёрдости покрытий производилось на автоматическом микротвердомере *Micro-Duromat 4000E ASTM E 92* фирмы *Reichert-Jung* при нагрузке 100 г. результаты измерений показаны в таблице 3 и на рисунке 5.

Зависимость описывается полиномом второго порядка:

$$y = 18.6 - 0.16x + 0.00059x^2$$

Таблица 3 – Микротвердость пленок анодированного алюминия при разных концентрациях раствора анодирования

Номер образца	Содержание $(\text{COOH})_2$ в электролите, г/л	Микротвердость, МПа
1	$120 \pm 1$	$7,6 \pm 0,5$
2	$100 \pm 1$	$8,8 \pm 0,5$
3	$80 \pm 1$	$9,5 \pm 0,5$
4	$60 \pm 1$	$10,3 \pm 0,5$
5	$40 \pm 1$	$13,1 \pm 0,5$

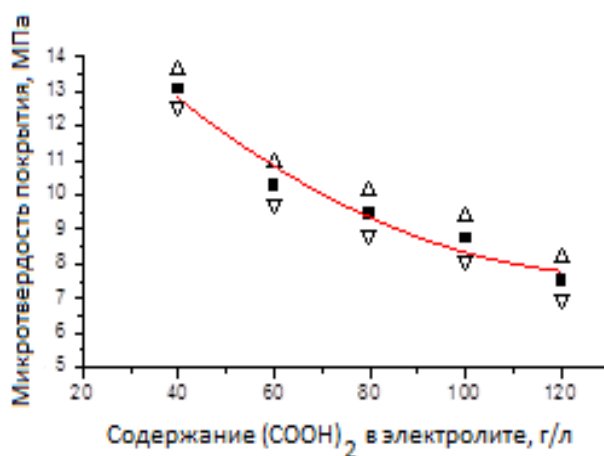


Рисунок 5 – Зависимость микротвердости покрытий от содержания  $(\text{COOH})_2$  в электролите

Анализ результатов измерения микротвердости показал, что средние значения твердости для покрытий составляют 7,6-13,1 МПа. Наименьшая микротвердость наблюдалась у образца №1, полученного в растворе с наибольшей концентрацией. По графику зависимости видно, что микротвердость покрытий уменьшается с увеличением концентрации электролита анодирования. Такая разница в значениях микротвёрдости связана с увеличением пористости анодного слоя в составе покрытия.

Полученные зависимости позволят получать заданные физико-механические свойства анодированной поверхности в зависимости от концентрации электролита, делая процесс, таким образом, управляемым.

В четвёртой главе «Исследование влияния концентрации электролита и времени анодирования на защитно-декоративные свойства покрытия» изучены цветовые характеристики, декоративные и защитные свойства композитного покрытия.

Для исследования микрошероховатости пленок были сняты профилограммы на профилографе типа 252. Этот прибор предназначен для измерений параметра шероховатости с индикацией в цифровом виде. Погрешность измерений:  $\pm 0.1$  мкм. Производство Россия. Была определена величина шероховатости  $Ra$  и класс

чистоты поверхности. До нанесения покрытия поверхность образцов имела шероховатость поверхности  $Ra$  6.3 мкм. В таблице 4 представлены полученные результаты значений параметра шероховатости  $Ra$  и классы чистоты поверхности анодированных алюминиевых образцов.

Таблица 4 - Шероховатость  $Ra$  и классы чистоты поверхности анодированных алюминиевых образцов

Номер образца	Параметр $Ra$ , мкм	Класс чистоты поверхности
1	$5.3 \pm 0.1$	5
2	$4.3 \pm 0.1$	5
3	$2.7 \pm 0.1$	6
4	$2.1 \pm 0.1$	6
5	$2.2 \pm 0.1$	6

Результаты определения шероховатости позволяют утверждать, что при анодировании в растворе, содержащем щавелевой кислоты от 40 до 80 г/л, поверхность образцов получается более гладкая ( $Ra = 2.2-2.7$  мкм), чем при анодировании в растворе, содержащем 100 г/л щавелевой кислоты ( $Ra = 4.3-5.3$  мкм). Это может объясняться большим травящим действием щавелевой кислоты при повышенной концентрации электролита, вследствие чего, анодная пленка имеет “взрыхленную” поверхность. Существенной разницы между шероховатостью пленок, полученных при концентрациях раствора от 40 до 80 г/л, не наблюдается.



Рисунок 6 – Образцы алюминия после нанесения покрытия (слева направо) Образец с параметром шероховатости  $Ra = 5.0$ , образец с параметром шероховатости  $Ra = 4.1$ , образец с параметром шероховатости  $Ra = 2.2$

Степень блеска образцов измеряли на фотоэлектрическом блескомере ФБ-2. Измерения проводили в соответствии с ГОСТ 52663-2006. Полученные результаты значений блеска анодированных алюминиевых образцов представлены в таблице 5.

Результаты определения блеска позволяют утверждать, что при анодировании в растворе, содержащем щавелевой кислоты от 40 до 80 г/л, блеск поверхности образцов в среднем составляет 20-24 %, что соответствует полуматовому классу поверхности в соответствии с ГОСТ 9.032-74. В растворе, содержащем от 100 до 120 г/л щавелевой кислоты, блеск составляет 4-5 %, что соответствует матовому классу поверхности. Известно, что блеск, как пигментированных, так и

непигментированных покрытий, больше всего зависит от шероховатости их поверхности. Существенной разницы между блеском пленок, полученных при концентрациях раствора от 40 до 80 г/л, не наблюдается.

Таблица 5 – Значения блеска анодированных алюминиевых образцов

Номер образца	Блеск, %	Класс поверхности (в соответствии с ГОСТ 9.032—74)
1	$4 \pm 1$	Матовая
2	$5 \pm 1$	Матовая
3	$20 \pm 1$	Полуматовая
4	$24 \pm 1$	Полуматовая
5	$22 \pm 1$	Полуматовая

Таким образом, регулируя концентрацию электролита анодирования, возможно получение защитно-декоративных покрытий с полуматовой и матовой поверхностью 5 и 6 класса чистоты поверхности.

Для получения покрытий с заданными цветовыми характеристиками были проведены эксперименты по анодированию в растворе щавелевой кислоты с концентрацией раствора 80 г/л. Время анодирования образцов представлено в таблице 6. Технологические режимы: температура 25-30 °С, плотность тока 2-2,5 А/дм<sup>2</sup>, напряжение 50 В.

Таблица 6 – Время выдержки при анодировании

Номер образца	Время выдержки, мин
1	10
2	20
3	30
4	40
5	50
6	60

Цветовые характеристики исследуемых покрытий оценивали с помощью методов спектрофотометрии. Для этого использовался спектрофотометр фирмы *GretagMachbeth Spectroeye*. Измерения проводили в системе *LCh*, определяющей значение цвета по трем параметрам: светлота, насыщенность и цветовой тон. Каждое измерение проводилось пятикратно на различных участках образца. Условия эксперимента: стандартный источник излучения D65, угол обзора – 2 °. В таблице 7 приведены значения координат цветности покрытий.

Установлено, что получение заданного тона, светлоты, насыщенности зависит от времени анодирования. В частности, как видно из таблицы 7, с увеличением продолжительности анодирования, светлота покрытий и цветовой тон уменьшается, а насыщенность увеличивается.

Таблица 7 – Изменение цветовых характеристик покрытий в результате анодирования

Координаты цветности ( $\lambda$ , $x$ , $y$ ) и светлоты ( $Y$ )					
Номер образца	$\lambda$ , нм	$x$	$y$	$Y$	Цвет
1	560,4	0,356	0,372	0,820	
2	564,4	0,353	0,370	0,820	
3	568,6	0,356	0,372	0,820	
4	576,5	0,360	0,373	0,790	
5	581,5	0,363	0,370	0,730	
6	580,5	0,361	0,366	0,720	

Таким образом, при разработке покрытия на основе полученных данных, создается возможность управлять цветовыми характеристиками в зависимости от времени анодирования. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при проектировании объектов дизайна. Так, зная временные параметры, можно достаточно достоверно прогнозировать цветовые характеристики покрытия.

Для придания покрытию влагозащитных свойств, применяли подслой покрытия, представляющий собой продукт взаимодействия пористого оксида алюминия и углеводородного наполнителя. В качестве углеводородного наполнителя выбрана церезинсодержащая композиция. Выбор наполнителя производился с учетом обеспечения высокой адгезии и небольшого времени отверждения наполнителя, сохранения защитных свойств, как при нормальной, так и при повышенной температурах, стойкости к воздействию внешней атмосферы и отсутствием влияния наполнителя на цвет покрытия.

Визуальное исследование показало, что покрытие сохраняет сформированный рельеф, имеет лаковый блеск и не смачивается водой.

Толщину анодированного покрытия каждого образца измеряли с использованием прибора «Константа К5». На основании полученных результатов был построен график зависимости толщины анодной пленки от времени.

Проверка защитных способностей заявленного покрытия, согласно ГОСТ 9.302-88, была произведена методом капельной пробы. На поверхность покрытия нанесли каплю раствора: соляная кислота (удельный вес 1,19) – 25 мл; двухромовокислый калий – 3 г; вода дистиллированная – 75 мл. При этом может происходить изменение цвета раствора на зеленый. Покрытие считается качественным, если капля раствора не зеленеет в течение 4-х минут. В таблице 8 представлены результаты для каждого образца. На основании полученных результатов, можно сделать вывод о высоких защитных свойствах полученного покрытия.

Предложенную технологию получения композитных защитно-декоративных покрытий различной цветовой гаммы с влагозащитными свойствами можно применять для защитно-декоративной отделки элементов экстерьера и интерьера, изделий мелкой пластики, изделий ДПИ, и других объектов дизайна, изготовленных из алюминиевых сплавов

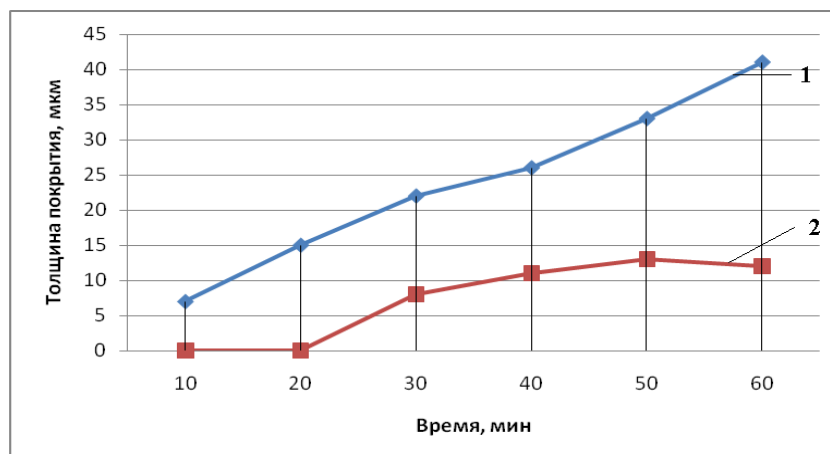


Рисунок 7 – Зависимость толщины анодной пленки от времени: 1 - в щавелекислом электролите 2 – в сернокислом электролите (данные для сернокислого электролита взяты из справочника «Технология поверхностной обработки алюминия и его сплавов» Эйчис А.П., при температуре электролита 18-20 °С, плотности тока 2 А/дм<sup>2</sup>)

Таблица 8 – Защитные свойства покрытий

Номер образца	Толщина слоя покрытия, мкм	Время выдержки капли раствора, мин
1	7	4
2	15	6
3	23	9
4	27	10
5	33	12
6	40	12

## ВЫВОДЫ

1. Определены технологические параметры создания защитно-декоративных композитных покрытий для объектов дизайна, с использованием пористого оксида алюминия заданной цветовой гаммы в качестве слоя и церезин-содержащей композиции в качестве подслоя покрытия.

2. Обоснована эффективность использования покрытия на основе электролита щавелевой кислоты. Установлено, что по сравнению с применяемыми в промышленности покрытиями для дизайн-объектов из алюминия, разработанные покрытия обладают следующими преимуществами:

- не требуют дополнительных операций по окраске покрытия красителями, электрополированию, что значительно упрощает технологический процесс изготовления изделий;

- позволяют создавать поверхности с различной шероховатостью, блеском и цветовой гаммой;

- позволяют создавать поверхности с заданными физико-механическими параметрами;

- электролит на основе щавелевой кислоты менее экологически вреден, по сравнению с электролитами на основе серной и ортофосфорной кислот.

3. Установлена зависимость декоративных и физико-механических свойств от концентрации электролита анодирования.

4. Предложен перечень рекомендаций по внедрению разработанной технологии в процесс производства объектов дизайна. Апробация результатов работы подтвердила эффективность практического применения разработанных композитных защитно-декоративных покрытий, в рамках предприятия ООО «Инжиниринговый центр».

### **Основные результаты диссертации опубликованы в работах:**

#### **Статьи в журналах, входящих в «Перечень...» ВАК РФ**

1. Николаев, И.В. Совершенствование дизайна поверхности алюминиевых изделий анодированием / И.В. Николаев, Л.Т. Жукова // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб. – 2015. – № 3(38). – С. 43 – 45.

2. Николаев, И.В. Наполнение пористых оксидных покрытий алюминия и его сплавов / И.В. Николаев, Л.Т. Жукова // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб. – 2015. – № 4(39). – С. 61 – 64.

3. Николаев, И.В. Совершенствование дизайна поверхности алюминия методом тонирования / И.В. Николаев, Л.Т. Жукова // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – СПб. – 2015. – № 4. – С. 132 – 134.

4. Николаев, И.В. Исследование свойств анодных покрытий алюминия, полученных в растворе щавелевой кислоты / И.В. Николаев, Л.Т. Жукова // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб. – 2016. – № 1(41). – С. 55 – 58.

5. Николаев, И.В. Исследование декоративных и оптических свойств анодных покрытий на поверхности изделий из алюминия / И.В. Николаев, Л.Т. Жукова // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб. – 2016. – № 2(42). – С. 30 – 33.

#### **Статьи, опубликованные в сборниках научных трудов**

6. Николаев, И.В. Чернение алюминиевых чеканных изделий / И. В. Николаев // Технология художественной обработки материалов: сб. тр. XVIII науч.-практ. конф., 12-15 окт. /КГТУ. – Кострома, 2016. – С. 146-150.

7. Николаев, И.В. Текстурированные металлолаковые покрытия / И.В. Николаев, Л.Т. Жукова // Наука и образование в области технической эстетики, дизайна и технологии художественной обработки материалов: материалы VI междунар. науч.-практ. конф. вузов России, 23-29 апр. 2015 г. / СПГУТД. – СПб, 2015. – С.333–337. Режим доступа:

[http://www.publish.sutd.ru/docs/content/st\\_eduindesign\\_2015.pdf](http://www.publish.sutd.ru/docs/content/st_eduindesign_2015.pdf).

8. Николаев, И.В. Технологическая карта термической обработки металлов / И.В. Николаев // Наука и образование в области технической эстетики, дизайна и технологии художественной обработки материалов: материалы VIII междунар.

науч.-практ. конф. вузов России, 19-24 апр. 2016 г. / СПбГУПТД. – СПб, 2016. – С.8–16. Режим доступа:

[http://www.publish.sutd.ru/docs/content/st\\_sci\\_edu\\_2016.pdf](http://www.publish.sutd.ru/docs/content/st_sci_edu_2016.pdf).

9. Николаев, И.В. Исследование коррозионной стойкости алюминиевых сплавов, применяемых в монументальной и станковой скульптуре / И.В. Николаев, Л.Т. Жукова //Технология художественной обработки материалов: сб. науч. тр. XIX Всерос. науч.-практ. конф. В 2 частях. Ч 2, 2-6 окт. 2016 г. / ЛГТУ. – Липецк, 2016. – С. 260-66.

10. Николаев, И.В. Исследование физико-механических и декоративных свойств композитных анодных покрытий алюминия / И.В. Николаев, Л.Т. Жукова / Наука и образование в области технической эстетики, дизайна и технологии художественной обработки материалов: материалы IX междунар. науч.-практ. конф. вузов России, 23-28 апр. 2017 г. / СПбГУПТД. – СПб, 2017. – С.226-233 . Режим доступа: [http://www.publish.sutd.ru/docs/content/sb\\_naukaio braz\\_2017.pdf](http://www.publish.sutd.ru/docs/content/sb_naukaio braz_2017.pdf).

#### **Патенты и свидетельства об интеллектуальной собственности**

11. Пат. РФ 167294 U1, МПК В05D 5/00. Влагозащитное покрытие / И.В. Николаев, Л.Т. Жукова, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО СПбГУПТД. – № 2016113218/05; заявл. 06.04.2016; опубл. 27.12.2016 // Бюл. № 36.