

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Материаловедения и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.И. Темных  
подпись  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Использование цветного анодирования при изготовлении декоративных  
изделий из алюминия

22.04.01 – Материаловедение и технологии материалов

22.04.01.04 – Синтез и литье новых металлических материалов

Научный руководитель	_____	<u>к. т. н, доцент</u>	<u>В.И. Темных</u>
	подпись, дата	должность , ученая степень	инициалы, фамилия
Консультант	_____	<u>к. т. н, доцент</u>	<u>И.А. Капошко</u>
	подпись, дата	должность , ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Ч.А. Деликей</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>директор ИП</u>	<u>П.К. Боярчик</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2020 г.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Материаловедения и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.И. Темных  
подпись  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ г.

**ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме магистерской диссертации**

Студенту Деликей Чечек Артуровне

Группа МТ 18-01М Направление 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема выпускной квалификационной работы: «Использование цветного анодирования при изготовлении декоративного изделия из алюминия»

Утверждена приказом по университету № 17235/с от 09.11.2018

Руководитель ВКР канд.техн.наук, доцент В. И. Темных

Исходные данные для ВКР:

- литературный обзор;
- технология цветного анодирования в мелкосерийных производствах;
- технология изготовления цветного анодирования декоративных изделий.

Перечень разделов ВКР:

1. Декоративные изделия
2. Алюминий. Общие сведения
3. Цветное анодирование алюминиевых сплавов
4. Оборудование и приспособления
5. Электролиты для анодирования
6. Технология изготовления декоративных изделий и их дальнейшее цветное анодирование
7. Технология цветного анодирования в мелкосерийных производствах

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ к.т.н, доцент  
должность, ученая степень

В. И. Темных  
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Ч.А. Деликей  
инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Использование цветного анодирования при изготовлении декоративных изделий из алюминия» содержит 58 листов, 32 рисунков, 2 таблицы и 42 используемых источников.

Цель работы: изучить технологию цветного анодирования при изготовлении декоративных изделий из алюминия.

Задачи:

- изучить виды декоративных изделий;
- изучить алюминий, алюминиевые сплавы и их свойства;
- изучить сплавы, используемые при цветном анодировании;
- изучить технологию изготовления цветного анодирования при изготовлении декоративных изделий из алюминия.

В результате проделанной работы были получены необходимые знания по заданной теме. В ходе изучения был изучен технология цветного анодирования в мелкосерийных производствах.

## АННОТАЦИЯ

Цветные декоративные покрытия повсеместно входят в обиход. Они служат не только для защиты от коррозии, но и имеют эмоционально-эстетическое восприятие.

Цветное анодирование алюминия – один из самых экологически чистых процессов обработки металла. В процессе используются только очень небольшие количества тяжелых металлов, галогенов или органических соединений. Процесс окрашивания не приводит к образованию ЛОС или тяжелых металлов. Возможность вторичной переработки анодированного и окрашенного алюминия эквивалентна стандартному алюминию с точки зрения воздействия на окружающую среду. Отходы процесса анодирования легко перерабатываются для производства квасцов, разрыхлителя, газетной бумаги и косметики. Отходы могут также использоваться для удобрения и в промышленных очистных сооружениях.

Главной задачей данной магистерской диссертации является использование цветного анодирования при изготовлении декоративных изделий из алюминия. На сегодняшний день существует много видов и технологий изготовления декоративных изделий. В данной работе приведен один из распространенных технологий изготовления изделий.

В ходе работы были изучены алюминиевые сплавы, которые хорошо подошли бы для цветного анодирования и их особенности.

В данной работе представлена технология изготовления декоративных изделий в мелкосерийных производствах и оборудования.

Ключевые слова: ЦВЕТНОЕ АНОДИРОВАНИЕ, АНОДИРОВАНИЕ, АЛЮМИНИЙ, АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ, ДЕКОРАТИВНЫЕ ИЗДЕЛИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦВЕТНОГО АНОДИРОВАНИЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Декоративные изделия .....	8
1.1 Виды обработки ДПИ.....	10
2 Алюминий. Общие сведения .....	13
2.1 Алюминий в ДПИ.....	13
2.2 Сплавы на основе алюминия используемые в ДПИ.....	14
2.2.1 Алюминиево-кремниевые сплавы (силумины).....	15
2.2.2 Сплавы на основе алюминия используемые при цветном анодировании .....	17
2.3 Декоративная отделка алюминия .....	18
3 Цветное анодирование алюминиевых сплавов.....	19
3.1 История анодирования .....	19
3.2 Разновидности цветного анодирования .....	20
3.3 Другие методы цветного анодирования алюминиевых сплавов .....	25
4 Оборудование и приспособления .....	28
5 Электролиты для анодирования .....	34
6 Технология изготовления декоративных изделий .....	36
6.1 Разработка эскиза изделия .....	36
6.2 Изготовление модели .....	39
6.3 Технология литья декоративного изделия .....	40
7 Технология цветного анодирования в мелкосерийных производствах .....	45
7.1 Холодное наполнение .....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	54

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день существует много видов и технологий изготовления декоративных изделий. В первой части данной работы, описываются декоративные изделия, виды декоративных изделий и какие бывают декоративные изделия по способу их изготовления.

Был подробно изучен алюминий. Алюминий – элемент 13-й группы периодической таблицы химических элементов Д. И. Менделеева. Данный металл был выбран в качестве материала, так как является наиболее распространенным. Алюминий и сплавы на его основе по своему химическому составу значительно отличаются от других металлов и сплавов. Этот металл сейчас настолько распространен, что его перестали воспринимать как поделочный. А между тем примерно сто лет назад он ценился наряду с драгоценными металлами. Сплавы на основе алюминия выделяются высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и высокой коррозионной стойкостью.

В данной работе был изучен анодирование алюминия. В процессе анодирования, на поверхности анодируемого изделия создается оксидная пленка путём их анодной поляризации в проводящей среде. На сегодня существуют различные виды анодирования, в том числе электрохимическое анодирование. С технологией электрохимического анодирования и других видов анодирования можно ознакомиться в данной работе. Например, цветное анодирование алюминия. Данное окрашивание – это технология изменения цвета анодированной детали. Производится как до, так и после расположения детали в электролите. Уже известные виды цветного окрашивания – это электролитическое окрашивание, адсорбционное окрашивание, интегральное окрашивание и интерференционное окрашивание.

Цветные декоративные покрытия повсеместно входят в обиход. Они служат не только для защиты от коррозии, но и имеют эмоционально-

эстетическое восприятие. Данная научно-исследовательская работа содержит в себе разные статьи, исследования и изобретения про декоративному анодированию алюминия и его сплавов.

Целью данной научно-исследовательской работы является изучение технологии цветного анодирования при изготовлении декоративных изделий из алюминия.

Задачей является: изучить виды декоративных изделий, алюминий, алюминиевые сплавы и их свойства, изучить сплавы, используемые при цветном анодировании и технологию изготовления цветного анодирования при изготовлении декоративных изделий из алюминия.



## 1 Декоративные изделия

Декоративные изделия относятся к области декоративно-прикладного искусства (ДПИ). Декоративно-прикладное искусство в переводе от латинского означает – украшаю. ДПИ – это вид изобразительного искусства, охватывающий создание художественных изделий, имеющих утилитарное назначение [1].

Произведения ДПИ обладают эстетическим качеством. Предметы ДПИ создаются для художественного эффекта, служат для оформления быта и интерьера. К ДПИ относят произведения, выполненные из самых различных материалов, такие как дерево, глина, камень, ткани, стекла, различные металлы и сплавы на их основе. Самым древним видом украшения считается орнаменты и узоры в ритмическом повторе наносимый на изделия или являющиеся его структурной основой (рис. 1).

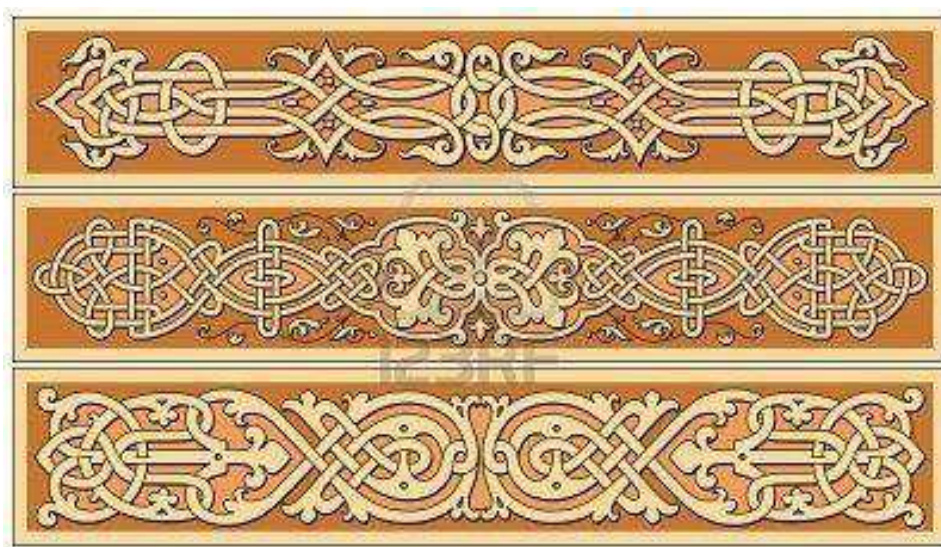


Рисунок 1 – Древние узоры, орнаменты

На сегодня в мире существует огромное множество разновидностей декоративных изделий. Это художественные изделия, такие как письменные принадлежности. К ним относят ручки, письменные приборы, карандашные стаканчики. Туалетные вещи – всевозможные коробочки, туалетные лоточки, пудреницы. Столовые принадлежности – ложки, вилки, ножи, рюмки, винные приборы, подстаканники, конфетницы, хлебницы, сахарницы,

кофейники. Оружейные украшения и предметы интерьера, мелкая скульптура из бронзы или латуни, бюсты, декоративные тарелки и блюда, барельефы. Различные украшения и подарки, и многое другое. И почти все эти изделия можно изготовить из металла [2].

## 1.2 Виды обработки ДПИ

Художественная обработка металла представляет собой в некотором роде работу творческого направления. По способу изготовления, художественные изделия бывают: литые, кованные, чеканные, штампованные и др.

### Литье

Литьем или литейным производством называют метод производства, при котором изготавливают фасонные заготовки деталей путём заливки расплавленного металла в заранее приготовленные литейные формы, полость которых могут иметь конфигурацию заготовки детали. После затвердевания и охлаждения жидкого металла в форме получают отливку-заготовку детали. Основной задачей литейного производства является изготовление литейных сплавов отливок, имеющих разнообразную конфигурацию с максимальным приближением их формы и размеров к форме и размерам детали (при литье невозможно получить отливку, форма и размеры которой соответствует форме и размерам детали)[3].



Рисунок 2 – Художественное литье. Декоративные литые изделия

## **Ковка**

Ковка – это, как правило, высокотемпературная обработка давлением различных металлов, нагретых до ковочной температуры. Особым видом ковки является холодная ковка. Данный вид осуществляется без нагрева деформируемого металла[4].

Для каждого металла существует своя ковочная температура. Он зависит от физических и химических свойств, такие как: температура плавления, кристаллизация, наличия легирующих элементов и др. Для железа температурный интервал 1250–800°C, для меди 1000–650°C, для титана 1600–900°C, для алюминиевых сплавов 480–400°C [5, 6].

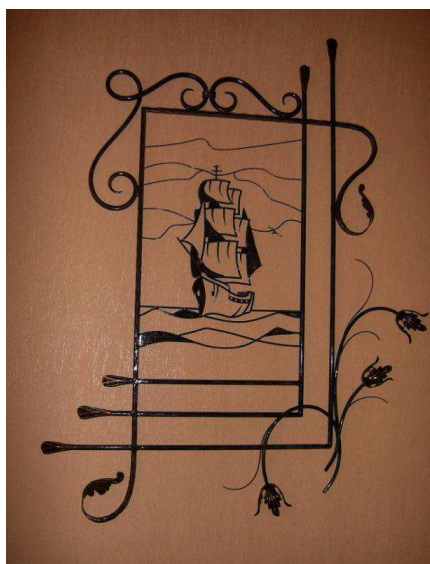


Рисунок 3 – Кованное декоративное изделие

## **Чеканка**

Чеканка – это технологический процесс изготовления рисунка, надписи, изображения, заключающийся в выбивании на пластине определённого рельефа. Рельеф на листовом металле создают с помощью специально изготовленных инструментов – чеканов и выколоточных молотков, которые изготавливают как из металла, так и древесины.

Для чеканных работ применяют такие металлы как латунь, медь, алюминий и сталь толщиной от 0,2 до 1 мм, в некоторых случаях золото и серебро [4].



Рисунок 4 – Чеканка по металлу

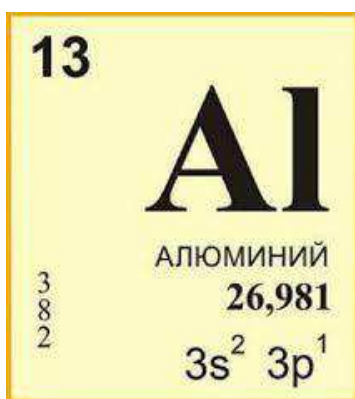
### **Штамповка**

Штамповка (штампование) – это процесс пластической деформации материала с изменением формы и размеров тела. Чаще всего штамповке подвергаются металлы или пластмассы. На сегодня существуют два основных вида штамповки – листовая и объёмная. Листовая штамповка подразумевает в исходном виде тело, одно из измерений которого пренебрежимо мало по сравнению с двумя другими (лист до 6 мм). Примером листовой штамповки является процесс пробивания листового металла, в результате которого получают перфорированный металл (перфолист). В противном случае штамповка называется объёмной. Для процесса штамповки используются прессы – устройства, позволяющие деформировать материалы с помощью механического воздействия[7].



Рисунок 5 – Декоративная штампованная накладка

## 2 Алюминий. Общие сведения



Алюминий – элемент 13-й группы периодической таблицы химических элементов Д. И. Менделеева. Относится к группе легких металлов. Имеет серебристо-белый цвет, мягкий, пластичный, хорошо тянется и прокатывается в холодном состоянии. Его удельный вес  $2,7 \text{ г/см}^3$  – он в три раза легче меди и в четыре раза легче серебра [8].

Температура плавления –  $660^\circ\text{C}$ . Имеет гранцентрированную кубическую решетку. Не имеет полиморфных превращений. Обладает высокой тепло- и электропроводностью.

Этот металл открыт в 1827 году и является самым распространенным металлом в природе, составляя около 7,5 процента всей земной коры. В количественном отношении уступает только кислороду (49,5 процента) и кремнию (25,7 процентов), однако до сих пор не нашли в самородном состоянии. Его добывают из боксита – руды, представляющей собой глину, содержащую до 70 процентов окиси алюминия. Он входит в состав глины, полевых шпатов, слюды и многих других минералов.

Алюминий – простое вещество, легко поддающийся формовке, литью и механической обработке. Алюминий обладает высокой теплопроводностью, электропроводностью и стойкостью к коррозии за счёт быстрого образования прочных оксидных плёнок, защищающих его поверхность от дальнейшего разрушения.

### 2.1 Алюминий в ДПИ

Алюминий является исключительно декоративным и универсальным материалом. Этот металл охватил европейское и американское искусство в конце XIX – начало XX века [9]. Один из основоположников архитектуры

модерна Отто Вагнер, спроектировал из алюминия кресло для интерьера агентства «Die Zeit». Нижние части ножек и тонкая пластина, обрамляющая его спинку, были выполнены из алюминия. Позже «Алюминиевый дизайн» охватил и другие страны мира.

В 1930 году Роберт Малле-Стивенс сделал стойку и столик из алюминия для бара на Парижской улице Ваграм. Позже он же спроектировал алюминиевую мебель.

В 1933 году стали популярны мебель из алюминия созданный Уорреном Макартур. К 1936 году в каталоге его фирмы было около 600 моделей из анодированного алюминия.

На сегодня алюминий широко используется для изготовления радных декоративных изделий и не только. Из этого металла делают различные предметы от чайника до самолетов. Кроме того, алюминий все больше применяется в ювелирном производстве в качестве замены серебра и золота.

Художественные изделия из алюминиевых сплавов полируются до зеркального блеска, напоминающего никелированные поверхности. Они устойчивы и декоративны в полированном состоянии.

## **2.2 Сплавы на основе алюминия используемые в ДПИ**

Алюминий в качестве конструкционного материала не используется в чистом виде, а используют разные сплавы на его основе. В России давно создан основные стандарты ГОСТ 1583-93 «Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия»[10]. Сплавы из ГОСТ применяются для изготовления предметов народного хозяйства и экспорта. Один из распространенных алюминиевых сплавов является – это силумины.



## 2.2.1 Алюминиево-кремниевые сплавы (силумины)

Алюминиево-кремниевые сплавы, по другому называют силумины, относятся к группе литейных сплавов. Имеют малую усадку при кристаллизации расплава. Их применяют для отливок корпусов разных механизмов, корпусов приборов, деталей бытовых приборов, художественного литья.

Химический состав силуминов содержит от 4 до 22 % кремния, основой является алюминий и незначительное количество примесей железа, меди, магния, кальция, титана, цинка и некоторых других элементов. Некоторые силумины модифицируются добавками натрия или лития. Добавка всего 0,05 % лития или 0,1 % натрия позволяет увеличить содержание кремния в эвтектическом сплаве с 12% до 14 %. Сплавы Al-Si (силумины) обладают наилучшими литейными свойствами. В двойных сплавах Al-Si эвтектика состоит из твёрдого раствора и кристаллов практически чистого кремния. В легированных силуминах (АК9ч) помимо двойной эвтектики имеются тройные и более сложные эвтектики. В двойных силуминах с увеличением содержания кремния до эвтектического состава снижается пластичность и повышается прочность [10].

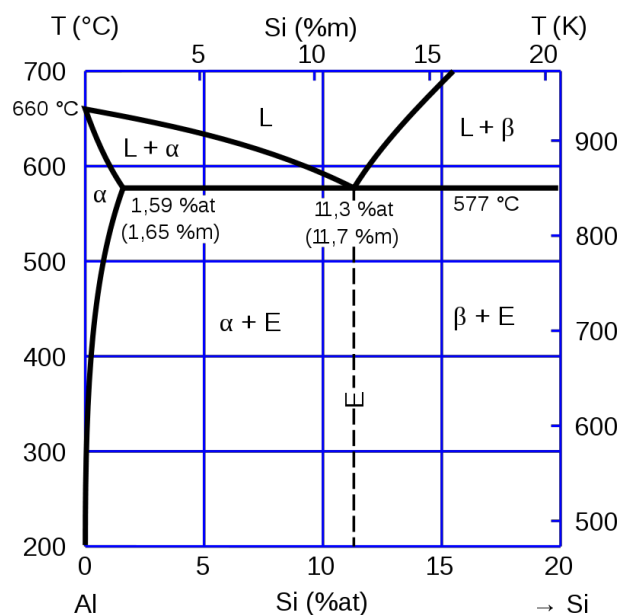


Рисунок 6 – Фазовая диаграмма системы Al-Si

Плотность силуминов составляет от 2,5 до 2,94 г/см<sup>3</sup>.

Алюминий-кремниевые сплавы имеют малую усадку при кристаллизации расплава. Сплавы этой системы отличаются большей прочностью и износостойкостью в сравнении с чистым алюминием. Также герметичен и очень устойчив к коррозии. Дополнительно эти сплавы улучшаются с помощью натрия и лития. Чаще всего, силумины используются для изготовления декоративных изделий.

Наиболее распространенный из этих сплавов – литейный сплав АК12 (по устаревшей классификации маркировался АЛ – алюминий литейный). У сплава АК12, применяющегося в морской воде, доля меди в соответствии с требованиями стандарта не должна превышать 0,3 %. Отличные антикоррозионные свойства сплава проявляет и в других средах: слабокислой, щелочной и в условиях высокой влажности. К отрицательным свойствам сплава следует отнести следующее: хрупкость при механической обработке, высокий показатель пористости, крупнозернистая эвтектическая структура отливок, невысокий порог физических нагрузок. Но некоторые отрицательные свойства можно отнести к плюсам данного сплава, если его применять в декоративно-прикладном искусстве. Так, например, пористость наоборот применяют для фактурности некоторых декоративных изделий.



Рисунок 7 – Настольная лампа из пористого алюминия



По мнению дизайнеров, структура поверхности пористого литого алюминия, изготовленного с применением крупнозернистого наполнителя осколочной формы, подчеркивает брутальный характер представляемых на выставке изделий, в отличие от традиционных бархатных покрытий. Работающие с пористым литым алюминием дизайнеры имеют разные взгляды на финишную обработку поверхности – часть из них считает, что следует отказаться от полировки: следы механической обработки выглядят более эффектно [12].

### **2.2.2 Сплавы на основе алюминия используемые при цветном анодировании**

Задачей изучения алюминиевых сплавов было, найти сплавы, которые обладали бы хорошей способностью к обработке давлением (деформируемостью). Которые имели бы достаточную пластичность для изготовления будущего изделия, и которые были бы пригодны для цветного анодирования.

Известен анализ алюминиевого лома на возможность изготовления художественных изделий [13]. По данному анализу известно, что для производства художественных изделий наиболее подходят группы VI, VII, VIII из-за низкой температуры плавления и приемлемых литейных свойств.

Известен декоративно анодируемый, хорошо деформируемый, выдерживающий высокие механические нагрузки алюминиевый сплав, способ его изготовления и алюминиевое изделие из этого сплава [14]. Изобретение относится к сплаву системы Al-Mg-Si.

Сплав системы Al-Mg-Si, обладает хорошей способностью к обработке давлением (деформируемостью), которые имеют достаточную прочность и пластичность и которые пригодны для декоративного анодирования. На таблице 1 – 4 источника [15] приведены сплавы системы Al-Mg-Si.

Известны так же сплавы марки АМцМ (химический состав: Mn 1,0-1,6; Si 0,6; Cu 0,2; Ti 0,2; Zn 0,1; Mg 0,05; остальное Al), АЛ-2 (химический состав: Si 10-13; Mg 0,1; Fe 0,8-1,5; Mn 0,5; Cu 0,6; Zn 0,3; остальное Al); АОО (химический состав: Fe 0,3; Si 0,3; Mg 0,02; Mn 0,025; Zn 0,1; Mg 0,05; остальное Al); АМг6 (химический состав: Mg 5,8-6,8; Mn 0,5-0,8; Ti 0,02-0,1; Si 0,4; Cu 0,1; Zn 0,2; остальное Al). Перечисленные марки алюминиевых сплавов были взяты для получения защитно-декоративных покрытий, которое может использоваться для разноцветной окраски Алюминия и его сплавов [16].

Известны еще алюминий-кремниевые сплавы (силумины). Имеют малую усадку при кристаллизации расплава. Применяются для отливок корпусов разных механизмов, корпусов приборов, деталей бытовых приборов, декоративного литья. Дополнительно эти сплавы улучшаются с помощью натрия и лития. Чаще всего, силумин используется для изготовления декоративных изделий [17].

### **2.3 Декоративная отделка алюминия**

Сплавы алюминия на практике художественной промышленности все больше вытесняют бронзу и во многих случаях полностью заменили ее. Сплавы алюминия выгодно отличаются от бронзы легким весом, хорошими литейными качествами, что значительно удешевляет процесс художественного литья.

Основной, наиболее распространенный способ декоративной отделки сплавов алюминия – анодная обработка. При анодировании сплава образуется оксидный слой, который обладает высокой адсорбционной способностью, дающий возможность окрашивать изделия[18].

Зачем же нужно анодировать алюминий, ведь он хорошо выглядит после обработки на станке или экструзии (экструзия – процесс изготовления алюминиевого профиля при помощи прессы)? Потому что, как многие металлы алюминий подвержен коррозии (коррозия – это процесс

самопроизвольного разрушения металлов и их сплавов под влиянием внешней среды (от лат. *corrosio* — «разъедание»). Алюминий без защитного покрытия быстро разрушается при воздействии неблагоприятных факторов.

Для того чтобы надежно защитить алюминий необходимо создать на его поверхности кристаллическую оксидную пленку толщиной 20-30 микрон. В дальнейшем эта пленка может быть окрашена или может сохранить естественный цвет [19].

### **3 Цветное анодирование алюминиевых сплавов**

#### **3.1 История анодирования**

Анодирование – это метод обработки, который изменяет химию поверхности различных материалов, в частности, металлов. Анодированная поверхность придает металлу ряд новых свойств, дополнительную защиту от коррозии, повышение долговечности, в частности, лучшую устойчивость к царапинам, и, конечно, эстетический внешний вид. Поскольку алюминий так широко используется в сотнях отраслей промышленности, имеет смысл анодировать алюминий, чтобы он приобрел новые свойства.

При электрохимическом создании оксидной плёнки на поверхности металлов изделие опускают в ванну с электролитом. Электролиты электропроводны (что ясно из самого названия). Когда через раствор пропускают постоянный ток, на катоде выделяется водород, а на аноде – кислород, с помощью которого образуется оксидный, то есть окисленный целенаправленно, слой с заранее заданными свойствами, зависящими от силы тока и концентрации раствора кислоты. А так как эта деталь в системе «катод-электролит-деталь» является анодом, то и создание защитной плёнки назвали «анодированием».

Способ окрашивания изделий в разноцветные цвета был открыт 1923 г.. После открытия данное изобретение смогли применить в практике только в

1929г. после разработки метода с использованием серной кислоты. После этого был подобран самый широкий ассортимент красителей и "цветной алюминий" стал серьезным конкурентом других металлов и пластмасс.

Изначально цветное анодирование применялось при производстве таких предметов как пепельницы, декоративная посуда из металла, такие как вазы для фруктов, чайных столиков на колесах и для декоративной облицовки стен внутри зданий. Позже начали применять для крупномасштабной отделки, для примера можно привести лифты, витрины в магазинах и т.п.

С появлением сложных красителей металлов класса "Неолан" и разработкой усовершенствованного черного красителя "Нигрозин Д" в 1937 г. перешли к решению проблем, связанных с неудовлетворительной светостойкостью органических красителей.

В начале 30-х годов стали применять пигментные красители, однако в настоящее время используется только бронзовый краситель, изготовленный на базе кобальта и марганцевокислой соли. В некоторых странах этот краситель используется для наружной отделки металла.

В Германии в 1939 г. был получен краситель желто-золотистого цвета на основе аммоний-железо (III) оксалата. После Отечественной войны этот краситель стали применять при оформлении многих уникальных зданий, он явился экономичным средством оформления витрин магазинов, вытеснив применение золотой фольги [20].

### **3.2 Разновидности цветного анодирования**

На сегодняшний день можно встретить предприятия предоставляющие различные услуги по анодированию алюминия. Бывает классическое, твердое и цветное анодирование. Некоторые предприятия предлагают анодировать алюминий в домашних условиях. Каждое направление имеет свои интересные особенности.

Твердое анодирование алюминия – это особый способ получения сверхпрочной микропенки на поверхности алюминиевой детали. Он получил небывалое распространение в авиа-, космо- и автостроении, архитектуре и схожих областях. Суть процесса в том, что для анодирования берется не один электролит, а несколько в определенной комбинации. Так одна из запатентованных методик подразумевает смешение серной, щавелевой, винной, лимонной и борной кислот в пропорции 70-160/30-80/5-20/2-15/1-5 г/л. и постепенным увеличением плотности тока с 5 до 28 В. при температуре раствора до 25 градусов по Цельсию. Твердость покрытия достигается благодаря изменению структуры пористых ячеек анодной пленки.

Цветное анодирование алюминия – технология изменения цвета анодированной детали. Производится как до, так и после расположения детали в электролите. Бывает 4 видов:

- адсорбционное окрашивание;
- электролитическое окрашивание;
- интегральное окрашивание;
- интерференционное окрашивание.

*Адсорбционное окрашивание алюминия.* В данном методе используют огромное множество красителей. Алюминиевое изделие с бесцветным анодным покрытием, еще не наполненным, погружают в водный (редко – спиртовой) раствор, как правило, органического красителя. Интенсивность цвета зависит от количества красителя, поглощенного анодным покрытием. Поглощение красителя производится только на 3-4 микрона в глубину пор анодного покрытия. Затем покрытие подвергают уплотнению (рис. 8).

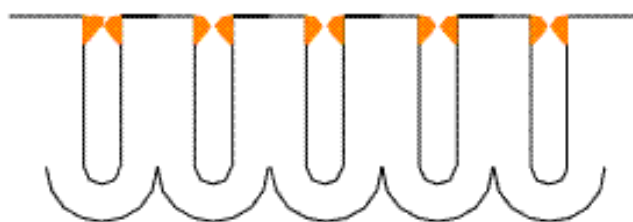


Рисунок 8 – Адсорбционное окрашивание

*Технология.* Для хорошего окрашивания, а также высокой коррозионной стойкости требуется толщина анодного слоя не менее 15 мкм. Концентрация растворов красителей может составлять от 0,2-0,4 г/л для светлых тонов, до 10 г/л для насыщенных тонов. Обычно применяют горячие растворы красителей – от 55 до 75 °С, а длительность окрашивания – от 5 до 15 минут, насыщенные цвета могут потребовать и 30 минут. Важным параметром для адсорбции красителя является рН раствора, оптимальный диапазон обычно составляет от 5 до 6.

*Электролитическое окрашивание алюминия. Двухстадийное анодирование.* Среди способов окрашивания анодного покрытия – цветного анодирования – электролитический метод является, безусловно, самым интересным (рис. 9).

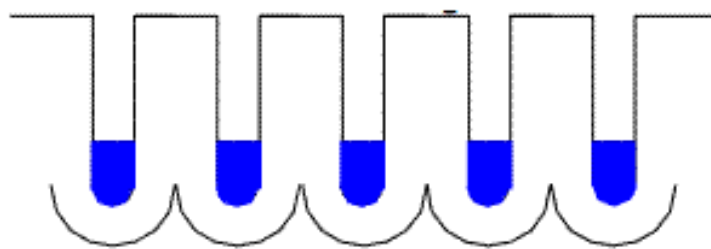


Рисунок 9 – Электролитическое окрашивание

Основные характеристики, по которым этот метод имеет преимущества:

- однородность цвета;
- окрашивания тонких анодных покрытий;
- скорость окрашивания;
- стоимость;
- сопротивление воздействию света;
- коррозионная стойкость.

Процесс заключается в погружении алюминиевого изделия с бесцветным сернокислым анодным покрытием, еще не наполненным, в

кислотный раствор с одной или несколькими солями металлов, например, сульфатом олова.

*Соли олова, никеля, кобальта и меди.* Изделие подключают в электрическую цепь с постоянным или переменным током. В этих условиях на дне пор анодного покрытия происходит осаждение этих самых металлов. Цвет зависит от состава электролита. Большинство из применяемых металлов (олово, никель, кобальт и др.) дают цвета от светлой «бронзы» до черного, а медь – красный цвет. Цвет почти не зависит от толщины покрытия анодного покрытия и зависит в основном только от количества металла, осажденного в поры (рис. 10).

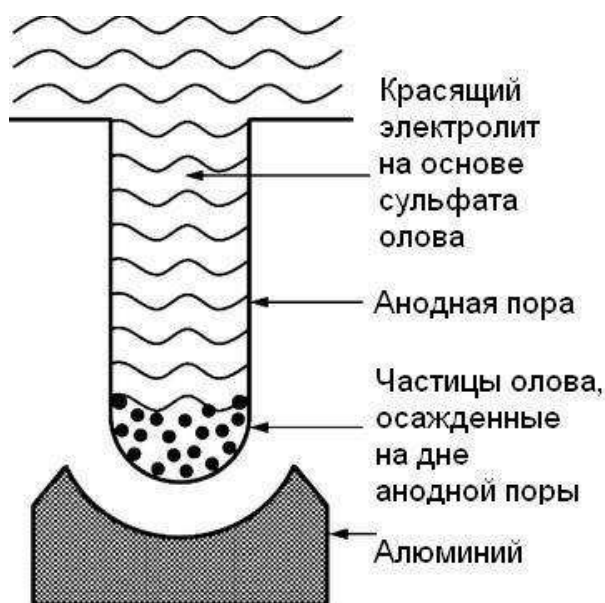


Рисунок 10 – Процесс осаждения олова в поры анодного покрытия.

*Электролит на основе сульфата олова.* Олово при 0,2 г/м<sup>2</sup> дает светлую «бронзу», а при 2 г/м<sup>2</sup> – насыщенный черный цвет. Свойства электролитического покрытия аналогичны свойствам обычного сернокислого анодного покрытия. Типичный электролит на основе сульфата олова содержит 14-18 г/л сульфата олова, 15-20 г/л серной кислоты и органические и неорганические добавки. Для получения цветов от светлой «бронзы» до черного требуется время от 0,5 до 15 минут. Кроме того, с помощью современных преобразователей тока с ними можно получать, например, такие цвета, как «шампань» и «нержавеющая сталь» (рис. 11).

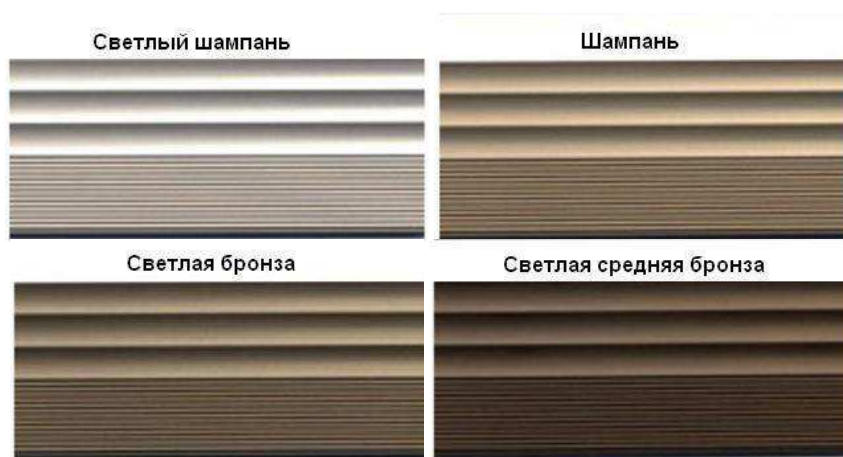


Рисунок 11 – Основные цвета при электроокрашивании анодированного алюминия в электролите на основе сульфата олова

*Интерференционное окрашивание алюминия.* Интерференционное окрашивание является разновидностью электролитического окрашивания (рис. 12). Этот метод позволяет получать широкий диапазон цветов благодаря эффекту оптической интерференции. Обычно между анодированием и электролитическим окрашиванием требуется дополнительная операция (ванна) для обработки анодного покрытия на расширение дна пор для повышения интенсивности цвета.

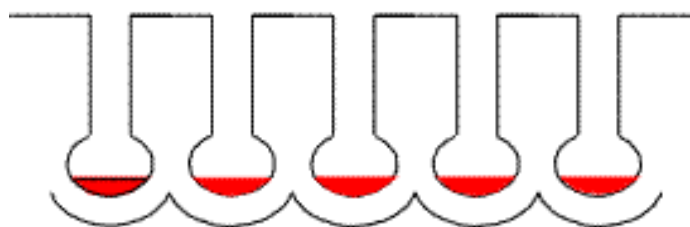


Рисунок 12 – Интерференционное окрашивание

Количество металла, осаждаемого в обычном электролитическом окрашивании, больше, чем в стандартном интерференционном покрытии. Однако в последнем случае этот металл компактно «упакован» на дне пор. Эффект интерференции возникает между двумя светорассеивающими слоями: электрохимически осажденным металлическим слоем на дне пор и поверхностью раздела между оксидным слоем и алюминием, расположенным прямо за ним.



Из всех цветов, получаемых данным методом, наиболее привлекательным считается серо-голубое покрытие. Этот метод цветного окрашивания пока не имеет широкого спроса из-за более сложной технологии и ограниченного набора цветов.

*Интегральное окрашивание алюминия.* При интегральном окрашивании анодное оксидное покрытие окрашивается само собой в ходе процесса анодирования (рис. 13). Окрашивание происходит или за счет анодирования обычных алюминиевых сплавов в растворах специальных органических кислот или при обычном анодировании в серной кислоте специальных алюминиевых сплавов.

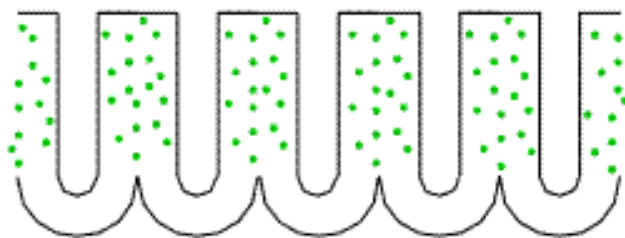


Рисунок 13 – Интегральное окрашивание

Оксидный слой может окрашиваться в цвет от светлой «бронзы» до черного в зависимости от его толщины. Поскольку этот метод требует сложных и экзотических кислот или таких же сплавов, то он почти полностью вытеснен электролитическим окрашиванием, по крайней мере, в продукции, которая применяется в строительстве[21, 22].

### **3.3 Другие методы цветного анодирования алюминиевых сплавов**

Известные методы цветного анодирования обладают и рядом недостатков. Это в основном нестабильность электролитов анодирования, медленное окрашивание плёнок и однообразность получаемых цветов. Перечисленные недостатки ограничивают их использование и поэтому стали причиной изучения новых исследований относящиеся к цветному анодированию декоративных изделий.

Далее в работе приведены запатентованные методы окрашивания изделий из алюминиевых сплавов.

Метод разноцветного окрашивания изделий из алюминия и его сплавов [13]. Данный способ позволяет получить защитно-декоративное покрытие, который может использоваться для разноцветного окрашивания алюминия и его сплавов.

Данный метод включает первичное и вторичное анодирование в условиях микроплазменных разрядов на аноде в электролитах, обеспечивающих формирование окрашенных пленок, при конечном напряжении формирования первичной анодной пленки большем конечного напряжения формирования вторичной анодной пленки с разрушением первичной пленки в зоне, подлежащей окрашиванию.

Данный метод отличается тем, что для получения многоцветного окрашивания операции последовательно повторяют, разрушая зоны, подлежащие окрашиванию в разные цвета, непосредственно перед анодированием в соответствующих электролитах, при конечном напряжении формирования предыдущей окрашенной зоны, большем конечного напряжения формирования последующей окрашенной зоны.

Недостатками метода являются его сложность и многостадийность. Кроме того, описанным методом нельзя получить покрытия на литейных сплавах алюминия, т.к. в указанных условиях формируются анодные пленки невысокого качества. Следует отметить также, что анодные покрытия, получаемые в сернокислотном электролите на сплавах алюминия, характеризуются недостаточной коррозионной стойкостью в реакционных средах, в частности в среде с повышенным содержанием  $\text{Cl}^-$ -ионов.

Известен метод получения многоцветного изображения на пластинах из алюминия и его сплавов [24]. Предлагаемый метод обеспечивает получение четкого многоцветного изображения на алюминиевой пластине, обладающего высокой прочностью за счет глубокого проникновения красителя в пористую анодированную поверхность с помощью

технологического процесса с пониженной трудоемкостью, обусловленной фотопереносом изображения на пластину только один раз. При проведении глубокого вторичного анодирования возможно получение рельефа за счет глубокого травления, что дополнительно повышает прочность изображения.

Метод получения двухцветного изображения на алюминиевой заготовке, используемой для изготовления шкал в радиотехнической и электронной промышленности [25].

По этому методу алюминиевую заготовку шкалы анодируют и окрашивают в горячей анилиновой краске. На окрашенной заготовке выштамповывают необходимые знаки. После штамповки на зачистном станке снимают анодированный слой с выпуклых частей заготовки. В результате получают шкалу с двухцветным изображением. Получение многоцветного изображения в соответствии с данным способом невозможно.

Известен метод электрохимического окрашивания анодных пленок на алюминии и его сплавах в кислых электролитах, содержащих соль растворенного металла, а именно меди, никеля, серебра, кобальта, кадмия, марганца на переменном токе. Однако по этому способу нельзя получить однородные и светлые оттенки анодной пленки [26].

Поэтому предложен метод электрохимического окрашивания анодных пленок на алюминии и его сплавах в электролите, содержащем соль металла на переменном токе, по которому для получения анодных пленок светлых тонов окрашенное изделие дополнительно обрабатывают в той же ванне на постоянном токе.

Изделия предварительно анодируют в серной кислоте перед окрашиванием в кислом растворе, содержащем соль металла, такого как медь, никель, кобальт и другие.

Известен метод окрашивания алюминия или сплавов на его основе [27]. Описываемый метод окрашивания поверхности алюминия или сплавов на его основе сернокислотным анодированием позволяет без применения красителей получать окрашенные пленки, обладающие высокой

светоустойчивостью. Достигается это за счет добавления незначительного количества галлия с сурьмой или галлия с висмутом в состав алюминия или алюминиевых сплавов, из которых изготавливают изделия. Далее изделия подвергаются окрашиванию. Эти добавки вводят в сплав при его плавлении.

#### **4 Оборудование и приспособления**

##### **Опоки**

Опока – предназначена для удержания формовочной смеси при изготовлении литейной формы, транспортировки ее и при заливке жидких металлом. Опоки представляют собой жесткие рамки, в которых уплотняется формовочная смесь при изготовлении литейных форм (рис. 14) [28].



Рисунок 14 – Опоки литейные, внешний вид

##### **Плавильная печь**

Печь для плавления в мини-лаборатории Protech PT-M-220-1 для изделий до 2 кг. Применяется для плавки золота, серебра, меди, алюминия и др.



Рисунок 15 – Печь для плавки, внешний вид

Характеристика:

- Рабочее давление: 220 В;
- Мощность: 1 кВт;
- Регулируемая температура: 0 ~ 1200.С;
- Скорость нагрева: 25 минут;
- Емкость плавления на одну порцию: 1 ~ 3 кг (может быть оборудован другой объем графитового тигля);
- Регулятор температуры: AI цифровой ПИД-регулятор;
- Конфигурация: Кабельная линия; 1 кг графитовый тигель, тигельный клещ; керамические детали;
- Размер: Корпус печи: 170x200x370 мм Ка.

Основные особенности:

- 1) маленький, портативный, легкий вес 170x200x370 мм 4,5 кг;
- 2) Простота в эксплуатации, автоматическое управление и настройка температуры;
- 3) Высокая точность: ПИД-контроль;
- 4) Высокая эффективность и энергосбережение.
- 5) Лабораторная плавка или термическая обработка невоспламеняющихся или взрывоопасных материалов в университете, лаборатории, химии и т. д.
- 6) Небольшая постоянная отопительная обработка [29]:

На таблице 2 приведены характеристики некоторых моделей плавильной печи Protech для мини-лаборатории.

Таблица 2 – Характеристики моделей плавильной печи Protech

	Серия М		Серия N	
Модель	ПТ-М-220-1	ПТ-М-110-1	ПТ-N-220-1	ПТ-N-110-1
Рабочее давление	220V	110V	220V	110V
Мощность	1KW			
Регулируемая температура	0 ~ 1200.С		0 ~ 1300.С	
Степень нагрева	25мин		35мин	
Плавильная способность для каждой партии	1 ~ 3 кг (различная емкость графитового тигля может быть оборудована соответственно)			
Регулятор температуры	AI цифровой ПИД-регулятор PV, SV может показывать одновременно			
конфигурация	Кабельная линия; 1 кг графитовый тигель, тигельный клещ; керамические детали			
измерение	Корпус печи: 170x200x370 мм. Камера печи: Ф70 * 145 мм.			

### **Бормашина**

Двигатели бормашин Freedom оснащены системой самоохладения, что позволяет использовать бормашины практически без временных ограничений. Довольно мощные и скоростные моторы в совокупности с достаточно низким уровнем шума позволяют применять их для сверления, полировки, шлифовки, финишной обработки и текстурирования благородных металлов, гравировки и моделирования по воску [30].



Рисунок 16 – Бормашина FOREDOM SR.

#### Технические характеристики

- Напряжение питания: 220 В, 50 Гц.
- Максимальная скорость вращения вала: 18000 об/мин
- Мощность двигателя: 125 Вт
- Крутящий момент: до 5,4 кгс/см
- Длина вала: 91 см
- Габариты двигателя: около 120x100x100 мм

#### **Оборудование для анодирования**

Оборудование для анодирования алюминия делится на 3 вида: основное (ванны для анодирования), обслуживающее (обеспечивает непрерывную работу линии, подает ток в ванны и т.д.) и вспомогательное (на нем осуществляется подготовка алюминиевых изделий, их перемещение по линиям, складирование и пр.).

#### **Ванны для анодирования**

Все гальванические ванны выполняются из материалов с минимальной гигроскопичностью и водопроницаемостью. Они устойчивы к влиянию магнитного поля, электричества, ультразвука, агрессивным химическим воздействиям.

Корпус гальванических ванн может быть как сплошными, так и многосекционным.

Днище ванны может быть наклонным, а сливные патрубки размещены в боковых стенках.

Гальваническая ванна – это емкость, содержащий рабочий раствор, в котором выполняются ряд операций при анодировании изделий (рис. 16) [31].



Рисунок 17 – Ванны для анодирования в мелкосерийных производствах

В качестве ванны для анодирования маленького изделия можно взять пластиковую посуду или металлическую (рис. 18). Их можно приобрести в любых хозяйственных магазинах.



Рисунок 18 – Контейнер для анодирования



## **Блок питания**

Модулей для управления источниками питания множество, они отличаются по выходным параметрам и по функционалу. В основном отличаются величиной стабилизируемого напряжения и тока, но все имеют ограничения по мощности. Преобразователи небольшой мощности (150-250 Вт) помещаются в компактном корпусе (рис. 19) [32].



Рисунок 19 – Блок питания Dazheng PS-1502D

Напряжение на в ходе в данном устройстве  $220\text{В} \pm 10\%$  - 50/60Гц. Данное устройство можно использовать при анодировании мелких изделий.

Блок питания повышенной частоты – имеют отдельную плату с пассивным или активным охлаждением.

## **Средства индивидуальной защиты (СИЗ)**

В процессе изготовления декоративных изделий или при анодировании, нужно применять средства индивидуальной защиты, т.к при работе возможны вредные и опасные факторы, в том числе: брызги расплавленного металла, электролитов и растворов.

Для защиты от брызгов достаточно на руки надеть резиновые перчатки (рис. 20) [33].



Рисунок 20 – Резиновые перчатки

Также можно использовать защитные очки, в качестве защиты глаз (21) [34].



Рисунок 21 – Защитные очки

В случае попадания капли электролита на не защищенную кожу, достаточно промыть зону повреждения под проточной водой.

## **5 Электролиты для анодирования**

Состав электролитов уже известен, оно не меняется уже на протяжении ста с лишним лет. В таблице 1 представлена сравнительная характеристика электролитов для анодирования.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика электролитов для анодирования [35].

Вид электролита анодирования	Преимущества	Недостатки
Серноокислый	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Высокая адсорбция и коррозионная стойкость</li> <li>- Низкая стоимость</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Требуется охлаждения</li> </ul>
Сульфатный	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Высокая пористость пленок</li> <li>- Удовлетворительные защитные свойства</li> <li>- Пленки окрашиваются органическими красителями</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Высокое травящее действие электролита не пригодное для сложнопрофильных художественных изделий</li> <li>- Экологическая вредность раствора</li> <li>- Ограниченный диапазон сплавов</li> </ul>
Хромовокислый	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Широкий диапазон сплавов</li> <li>- Высокие защитные свойства</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Высокая трудоемкость процесса</li> <li>- Экологическая вредность раствора</li> <li>- Низкие декоративные качества пленки</li> </ul>
Щавелевокислый	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Широкий диапазон сплавов</li> <li>- Высокие защитные свойства</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Стоимость электролита</li> </ul>

	-Высокая пористость пленок -Возможность получать цвет покрытия регулируя технологические режимы	
Электролит на основе сульфосалициловой кислоты	-Высокие защитные свойства -Прочность пленки	-Очень высокая стоимость электролита -Ограниченный цветовой диапазон и декоративные качества пленки

## **6 Технология изготовления декоративных изделий**

### **6.1 Разработка эскиза изделия**

Создание декоративного изделия начинается с разработки эскиза. Эскиз декоративного изделия можно создать на бумаге с помощью простых художественных карандашей, красок и т.п. (рис. 22).



Рисунок 22 – Эскиз изделия

Эскиз изделия можно также разработать в 3D, используя такие программы как CorelDRAW, Компас-3D, SolidWorks и др.

3D модель – это объемное цифровое изображение необходимого изделия, как реального, так и вымышленного.

CorelDRAW – профессиональное программное обеспечение для работы на Windows и Mac: графика, иллюстрация, макетирование и управление шрифтами. Примерное изображение эскиза разработанный в данной программе изображен на рисунке 23 [36].

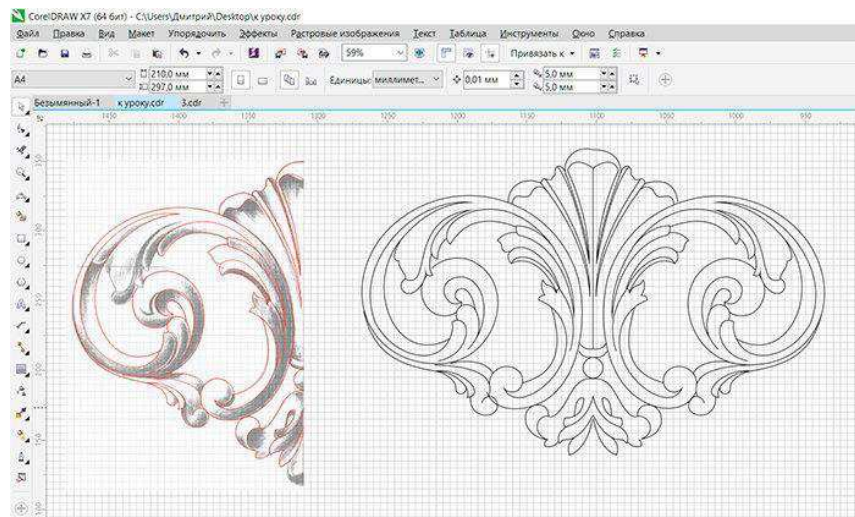


Рисунок 23 – Чертеж изделия в CorelDRAW

Компас-3D – это система трехмерного проектирования, ставшая стандартом для тысяч предприятий, благодаря сочетанию простоты освоения и легкости работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования.

Ключевой особенностью является использование собственного математического ядра C3D и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН.

Компас-3D обеспечивает поддержку наиболее распространенных форматов 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), что позволяет организовывать эффективный обмен данными со смежными организациями и заказчиками, использующими любые CAD / CAM / CAE-системы в работе. Пример изображения 3D модели приведен на рисунке 24 [37].

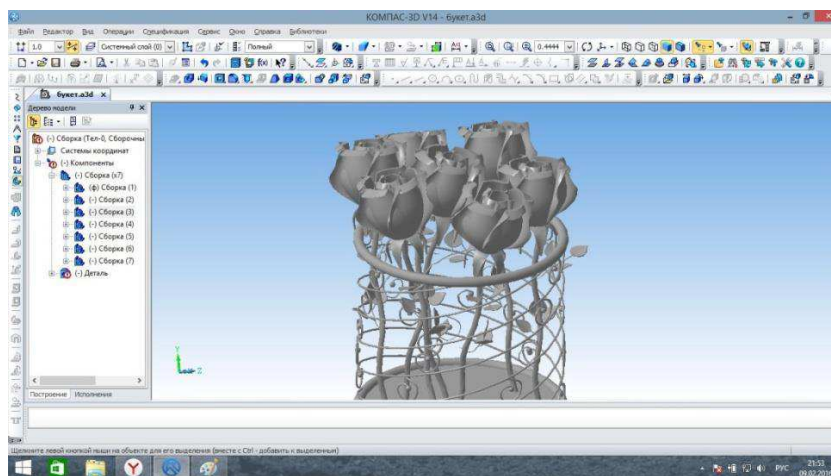


Рисунок 24 – Пример 3D модели

SolidWorks – программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения. Пример изображения 3D модели в данной программе приведен на рисунке 25 [38].

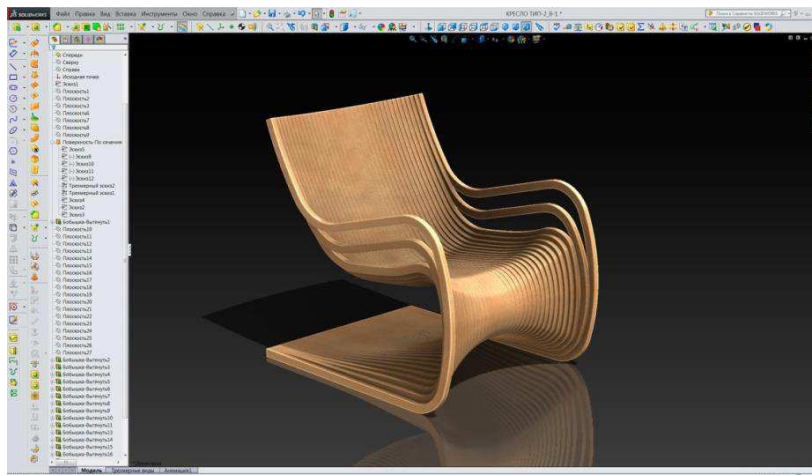


Рисунок 25 – 3D модель в SolidWorks

Вышеперечисленные система проектирования хорошо подходит как и мелким, так и крупным предприятиям.

## 6.2 Изготовление модели

После того как был разработан эскиз, используя вышеперечисленные приспособления и программы, можно перейти к созданию модели из материала. В качестве материала могут послужить обычная бумага, скульптурный пластилин, глина, воск и т.д. Изображение уже изготовленной модели из скульптурного пластилина приведен на рисунке.



Рисунок 26– Модель изделия из пластилина

Для изготовления модели подойдет модельный или ювелирный воск, предназначенный для изготовления восковых моделей. Наиболее популярным воском для резьбы считается зеленый воск. Из-за твердости зеленого воска можно на нем прорезать наиболее тонкие детали и изготовить сложные по конфигурации модели.



Рисунок 27 – Восковые модели

Чтобы создать из воска сложное по конструкции декоративное изделие понадобится бормашина с фрезами для изготовления изделий.

Многие бормашины управляются с помощью ножной педали, который обеспечивает необходимую частоту вращения. Довольно скоростной мотор в совокупности с достаточно низким уровнем шума позволяют применять их для сверления, полировки, шлифовки, финишной обработки и текстурирования благородных металлов, гравировки и моделирования по воску.

Еще понадобится микропаяльник, идеален для высокоточных паяльных работ в труднодоступных участках изделий.

### **6.3 Технология литья декоративного изделия**

На сегодняшний день существует множество способов литья. В данной главе подробно описывается технология литья в песчано-глинистые смеси.

Эффективность литья в песчаные смеси объясняется его универсальностью. Данная технология позволяет производить недорогие отливки из самых разных сплавов.

Модель отливки может быть любой и определяется возможностью изготовления технологической оснастки и литейной формы, минимальной толщиной полости, которую может заполнить расплав, и экономической целесообразностью.

Литейные формы для литья в песчаные формы относят к разовым, которые после получения в них отливки разрушают.

Основные операции технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах можно объединить в три группы: формовка, плавка металла и заливка его в форму, выбивка и очистка отливок. Процесс формовки включает в себя ряд операций по изготовлению формы. Процесс плавки и заливки состоит из операций по загрузке печи металлом, его плавлению, доводке и заливке в литейную форму. После затвердевания и



охлаждения, полученные отливки выбивают из формы, очищают от остатков формовочной и стержневой смеси, отделяют от них литники и прибыли.

Литье в песчаные формы, является универсальным способом производства различных по массе и габаритам отливок из черных и цветных металлов при индивидуальном, серийном и массовом производствах. Главные преимущества литья в песчаные формы — простота и дешевизна процесса изготовления отливок. Этот способ не ограничен по размерам, массе и конфигурации отливок, поэтому он часто применяется в художественном литье.

Для изготовления разовых песчано-глинистых и некоторых других форм и стержней используют смеси, приготовленные из формовочных материалов. Основными исходными формовочными материалами для этих смесей являются кварцевый песок и глина. Вместе с ними используются вспомогательные вещества (связующие и добавки). Кроме исходных материалов для приготовления формовочных смесей широко используют оборотные (бывшие в употреблении) смеси.

### **Исходные формовочные материалы.**

Основным исходным материалом для формовки и стержневых смесей является песок. Чаще всего применяется кварцевый песок. Он состоит из кремнезема  $\text{SiO}_2$  и обладает высокой огнеупорностью ( $1713^\circ\text{C}$ ), прочностью, твердостью и низкой химической активностью. В качестве примесей он может содержать каолин, слюду, полевой шпат, оксиды железа, магнезит и т.д. Формовочные пески состоят в основном из зерен кварца и примеси глины, которые условно называют соответственно зерновой и глинистой составляющими.

Зерновой составляющей, независимо от химического состава, называют ту часть песка, величина зерен которого более 0,02 мм, а глинистой составляющей — часть песка, диаметр зерен которой менее 0,02 мм. К формовочным пескам условно относят материалы с содержанием глинистой

составляющей до 50%, а к формовочным глинам – материалы с содержанием глинистой составляющей свыше 50%.

Иногда вместо кварцевых песков, с целью повышения огнеупорности формовочных смесей, применяют и другие материалы, например хромистый железняк, хромомagnesит, циркон и др. Использование их позволяет получить крупные и массивные отливки с чистой поверхностью, без пригара, и более высокой точностью размеров.

Второй исходный материал в песчано-глинистых формовочных смесях – это глина. Она является связующим веществом, который обеспечивает их прочность и пластичность. Глины представляют собой измельченные горные породы, имеющие после увлажнения высокую пластичность. В большинстве формовочных глин основным материалом является каолинит  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ . Формовочные и стержневые смеси, приготовленные с использованием каолиновых глин, используются для форм, заливаемых как во влажном, так и сухом состояниях. Кроме каолиновых используют и бентонитовые глины, но только для формовочных смесей, предназначенных для изготовления форм, заливаемых по-сырому (сушке такие формы не подвергают).

### **Вспомогательные материалы.**

Формовочные и стержневые смеси, в которых вторым компонентом является глина. При большом содержании обеспечивают высокую прочность и имеют ряд недостатков: плохую податливость и выбиваемость, пониженную газопроницаемость и склонность к пригару. Для улучшения свойств, вместо глины вводят вещества, называемые связующими. Связующие должны обеспечивать высокую общую поверхностную прочность форм стержней после сушки или другой обработки, хорошие текучесть и газопроницаемость, низкую газотворную способность, податливость и выбиваемость смесей за счет снижения их прочности к моменту начала линейной усадки отливки, отсутствие прилипания к моделям и стержневым ящикам. Перечисленные требования должны выполняться при введении сравнительно небольших количеств связующего (0,5—6%). К ним

относятся синтетические смолы, высыхающие масла (например, олифа или льняное масло), жидкое стекло, сульфитно-спиртовая барда и др.

От свойств смесей зависит качество отливок, важнейшими из которых являются теплофизические, механические и технологические свойства, а также свойства, определяющие газообмен.

Формовочные смеси в литейном производстве применяют большое количество разнообразных формовочных и стержневых смесей. Выбор состава смеси обусловлен ее назначением. Наиболее распространенные песчано-глинистые смеси классифицируют: по применению при формовке (облицовочные, наполнительные и единые); в зависимости от состояния формы перед заливкой (для сырых, сухих, подсушенных и самотвердеющих); по роду сплава (для чугуна, стали и сплавов цветных металлов).

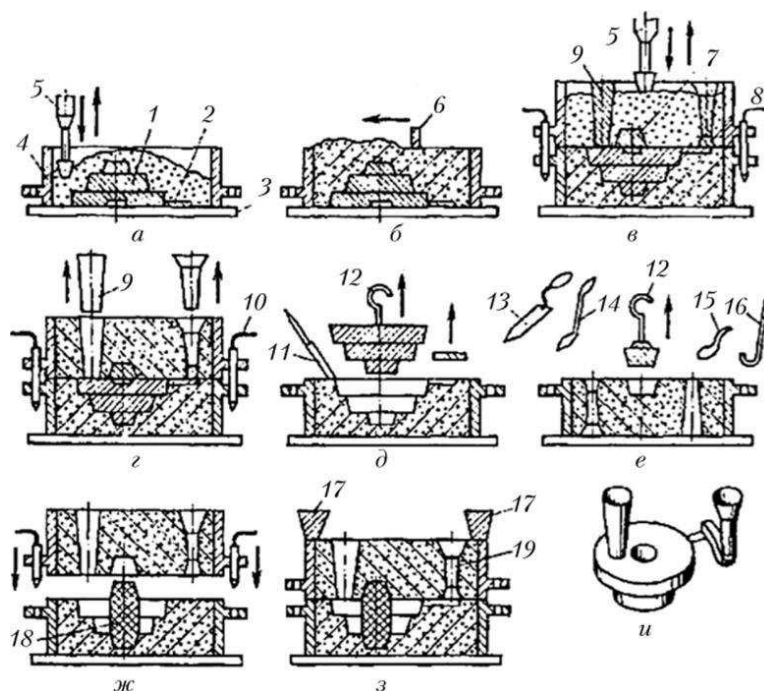


Рисунок 28 – Основные операции при изготовлении песчано-глинистой формы.

а — формовка нижней опоки; б — срезание излишков смеси; в — формовка верхней по- лужформы; г — извлечение моделей стояка и прибыли; д, е — извлечение моделей отливки и отделка формы; ж — сборка формы; з — наложение груза; 1, 7 — нижняя и верхняя половинки модели отливки; 2 — модель питателя; 3 — щиток; 4 — опока; 5 — трамбовка; 6 — линейка; 8 — модель стояка; 9 — модель прибыли; 10 — штырь; 11 — кисть; 12, 16 — крючок; 13 — гладилка; 14 — ланцет; 15 — ложечка; 17 — груз; 18 — стержень; 19 — литниковая система (стояк)

Формовку по разъемной модели осуществляют в двух опоках. На рис. 28 показаны основные операции, которые выполняет литейщик-формовщик при изготовлении формы по разъемной модели вручную. При машинном способе формовки основная последовательность операций сохраняется, только выполняют их не вручную, а машинами и механизмами.

Сначала нижнюю половину модели отливки 1, модели питателей 2 и опоку 4 ставят на щиток 3. В опоку насыпают формовочную смесь и равномерно уплотняют трамбовкой 5 до верха опоки (рис. 28, а) и счищают линейкой 6 излишки смеси (рис. 28, б). Затем полуформу поворачивают на  $180^\circ$ , на нижнюю половинку модели отливки устанавливают верхнюю 7, модели литниковой системы 8 и прибыли. Поверхность разъема присыпают разделительным сухим песком, по центрирующим штырям 10 устанавливают верхнюю опоку, насыпают в нее смесь и уплотняют (рис. 28, в). После набивки извлекают модели стояка и прибыли (рис. 28, г), осторожно снимают верхнюю полуформу, поворачивают ее на  $180^\circ$  и ставят на горизонтальную поверхность (обычно рядом с нижней полуформой). Вынимают модели из нижней и верхней полуформ (рис. 28, з, е) с помощью крючка 12, предварительно слегка смочив кистью 11 кромки формы у моделей. Полость формы очищают от сора — кусочков смеси с помощью гладилки 13, ланцета 14, ложечки 15, крючка 16, которые составляют инструмент формовщика. Устанавливают сухой песчаный стержень 18 (рис. 28, ж) в специальные гнезда (знаки) и накрывают нижнюю полуформу верхней (но штырям). Сверху на кромки верхней опоки устанавливают груз 17, чтобы при заливке расплав не приподнял верхнюю полуформу. Форма готова к заливке.

Процесс плавки и заливки состоит из операций по загрузке печи металлом, его плавлению, доводке и заливке в литейную форму. После затвердевания и охлаждения полученные отливки выбивают из формы, очищают от остатков формовочной и стержневой смеси, отделяют от них литники и прибыли [39].

## **7 Технология цветного анодирования в мелкосерийных производствах**

Как уже было упомянуто выше, существует много способов цветного анодирования. Производственный процесс цветного анодирования алюминия в мелкосерийных производствах состоит из следующих этапов:

1. Подготовительный. На этом этапе алюминиевое изделия необходимо тщательно механически и электрохимически обработать. От того, как качественно будет проведен этот процесс, будет зависеть конечный результат. Механическая обработка подразумевает очищение поверхности, ее шлифовка. Далее изделие промывается в воде.

2. Обезжиривание. Химическое обезжиривание – удаляет с поверхности изделий остатки полировальных составов, паст, жировые пятна, смазку и т.д. В большинстве случаев изделия помещают в щелочной раствор, где происходит так называемое «травление». Травление состоит в открытии пор, подготовка к анодированию. Продолжительность данной процедуры не более 2 минут.

3. Промывка. Тщательная промывка в дистиллированной воде при температуре 30-50 С, затем при температуре 20-30 С.

4. Осветление. В процессе осветления с поверхности изделий удаляется шлам нерастворимых компонентов, понижает зернистость поверхности, обеспечивает осветление поверхности изделий.

Раствор стадии осветления на базе плавиковой или серной кислоты.

На малолегированных сплавах типа АД1, АМг2 и АД31Т, после проведения процесса химического травления, вместо процесса осветления, можно проводить только двухэтапную каскадную промывку в теплой и холодной воде.

5. Промывка. Тщательная промывка в дистиллированной воде при температуре 30-50 С, затем при температуре 20-30 С.

б. Анодирование. Перед анодированием, изделия необходимо надежно закрепить на подвесочных приспособлениях, обеспечив им качественный электрический контакт. Подвесные приспособления должны быть сделаны из алюминия, алюминиевых сплавов (типа Д16, АД-31) дюрала или титана. Для обеспечения надежного контакта изделий с подвесочными приспособлениями, рекомендуется изготавливать их с пружинными или винтовыми зажимами, при необходимости, дополнительно закреплять изделия туго натянутой алюминиевой проволокой. Нерабочие поверхности подвесочных приспособлений можно изолировать кислотостойким лаком или полиэтиленовой лентой.

Алюминиевые сплавы, содержащие в своем составе более 7 % меди, не подвергаются анодированию.

Анодируемые изделия закрепляют на подвесочных приспособлениях, таким образом, чтобы изделия при перемешивании электролита или покачивании подвесочных приспособлений в ванне с электролитом, изделия не касались друг друга, а расстояние между изделиями и катодом было не менее 15 см. В качестве катода используется свинец или высоколегированная сталь. Площадь поверхности катода (свинцовой или стальной пластины) должна быть в 1.5-2 раза больше площади поверхности анода (обрабатываемой детали). Изделия загружают в ванну при небольшом напряжении 12-15 В. После погружения изделий в ванну, через 30-40 секунд напряжение повышают до 18-22 В, при рабочей плотности тока 0.9-1.4 А/дм<sup>2</sup>. Процесс анодного оксидирования проводят в течении 20-30 минут, поддерживая температуру электролита в пределах 15-30° С. Температуру электролита следует контролировать в непосредственной близости от поверхности обрабатываемых изделий. При проведении процесса анодирования последующим окрашиванием, время процесса увеличивают до 40-60 мин. Схему процесса анодирования показана на рисунке 18.

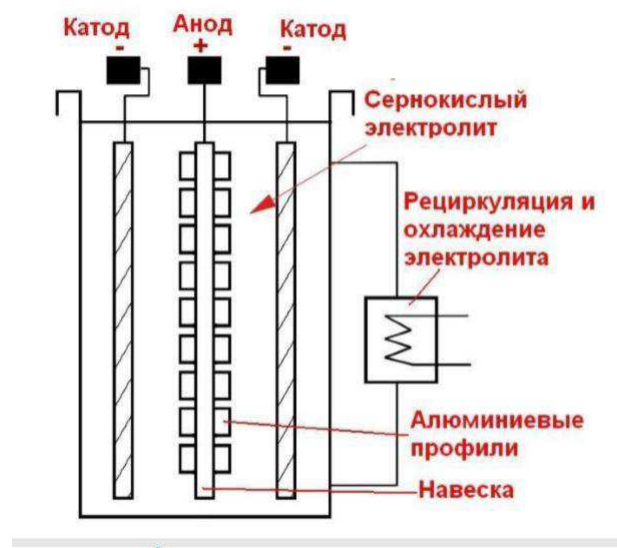


Рисунок 29 – Схема процесса анодирования

Известно, что анодное покрытие состоит из двух слоев. Пористый слой оксида алюминия вырастает на относительно тонком сплошном слое, который называют барьерным слоем (рис. 19). Толщина этого барьерного слоя зависит от состава электролита и технологических параметров анодирования.

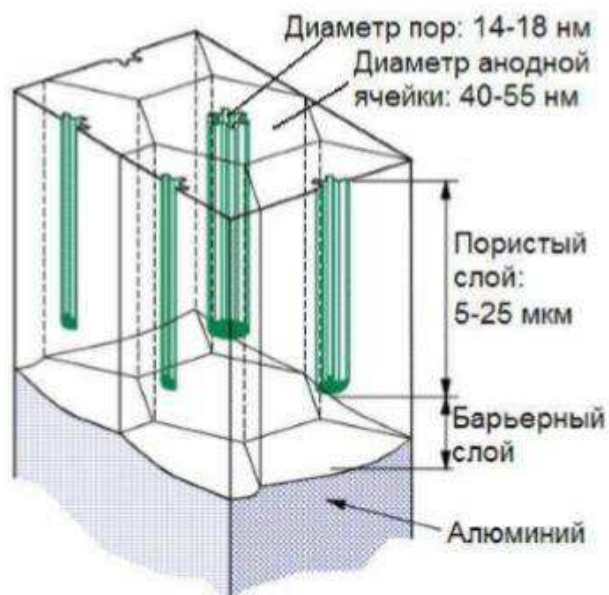


Рисунок 30 – Структура анодной ячейки

При сернокислом анодировании скорость роста пористого слоя постоянна при постоянной плотности тока. При плотности тока  $1,3 \text{ А/дм}^2$  она составляет  $0,4 \text{ мкм/мин}$ . Так как толщина барьерного слоя остается

постоянной, то эта скорость роста должна соответствовать скорости растворения оксида алюминия внутри поры.

Размеры оксидных ячеек анодного покрытия зависят от технологических параметров анодирования. Типичные размеры анодных ячеек для сернокислого анодного покрытия:

- Диаметр пор: 14,5-18 нм;
- Плотность размещения пор: 40-80·10<sup>9</sup> пор/см<sup>2</sup>;
- Диаметр ячейки: 40-53 нм;
- Пористость: 15 %;
- Толщина барьерного слоя: 14-18 нм;
- Толщина пористого слоя: 5-25 мкм.

Параметры для сернокислого электролита следующие:

- Концентрация свободной серной кислоты должна быть не выше 200 г/л при колебании внутри интервала 10 г/л от заданной величины;
- Концентрация алюминия должна быть не выше 20 г/л, предпочтительно в интервале от 5 до 15 г/л.

Рекомендуемая средняя плотность тока:

- 1,2 – 2,0 А/дм<sup>2</sup> для анодного покрытия толщиной 5 мкм и 10 мкм;
- 1,4 – 2,0 А/дм<sup>2</sup> для анодного покрытия толщиной 15 мкм;
- 1,5 – 2,0 А/дм<sup>2</sup> для анодного покрытия толщиной 20 мкм;
- 1,5 – 3,0 А/дм<sup>2</sup> для анодного покрытия толщиной 25 мкм.

В процессе работы в электролите анодирования накапливаются остатки алюминия. Для удаления этих остатков и сохранения длительной работоспособности ванны для анодирования, периодически, электролит охлаждают до температуры 1-2 С., а выпавший в осадок оксид алюминия (обладающий низкой растворимостью), отфильтровывают. Процесс очистки можно совершать раз в месяц.

7. Промывка. Тщательная промывка в дистиллированной или деионизированной воде при температуре 30-500 С, затем при температуре 20-300 С.



8. Окрашивание. Нагретый окрашивающий раствор до рабочей температуры, опускается анодированные изделия и выдерживаются там определенное время в зависимости от требуемого цвета.

Во многих мелкосерийных производствах, для получения цветного покрытия на алюминиевых изделиях применяют два основных метода окрашивания:

- Адсорбционное окрашивание;
- Электролитическое окрашивание.

#### **Адсорбционное окрашивание**

Алюминиевые изделия с бесцветным анодным покрытием без наполнения пор погружают в водный раствор органического или неорганического красителя. Краситель поглощается только на 3-4 микрона в глубину пор анодного покрытия окрашиваемого изделия (рисунок 5). Затем покрытие подвергают наполнению. Обычно применяют горячие растворы красителей – от 55 до 75 °С, а длительность окрашивания – от 5 до 15 минут, иногда – 30 минут. Оптимальный диапазон величины рН раствора обычно составляет от 5 до 6.

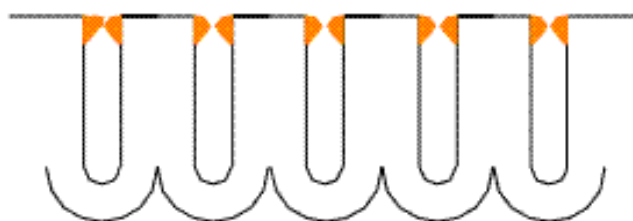


Рисунок 31 – Адсорбционное окрашивание

#### **Электролитическое окрашивание**

Электролитическое окрашивание заключается в погружении анодированного изделия в раствор, содержащий соли металлов и приложении к нему переменного и постоянного электрического тока. В таких условиях на дне пор образуется металлический осадок. Цвет анодного покрытия зависит от состава электролита. Такие металлы, как олово, никель и кобальт, дают цвета от бронзового до черного, медь дает красный цвет.

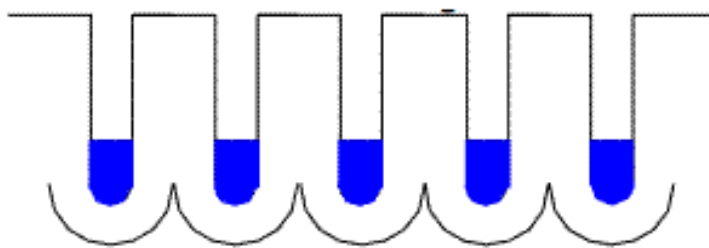


Рисунок 32 – Электролитическое окрашивание

Цвет в определенной степени не зависит от толщины анодного покрытия, а зависит в основном от количества осажденного в поры металла. Так, 200 мг олова на квадратный метр поверхности дает светлую бронзу, 2000 мг – черный цвет.

Свойства анодного покрытия после электролитического окрашивания в целом аналогичны обычному (бесцветному) анодному покрытию. Стойкость цвета к воздействию солнечного света для большинства электролитов значительно выше, чем для адсорбционного окрашивания.

9. Промывка. Тщательная промывка в дистиллированной или деионизированной воде при температуре 30-500 С, затем при температуре 20-300 С.

10. Закрепление краски в кипящей воде. Наполнение анодного покрытия в горячей воде обеспечивает полное блокирование анодных пор за счет образования различных видов гидратированного оксида алюминия, в основном, бoгемита.

Наполнение пор обычно производят путем погружения в воду при температуре 96-100 °С при величине рН от 5,5 до 6,5. Длительность операции наполнения обычно составляет 2-3 минуты на каждый микрометр номинальной толщины анодного покрытия. Качество воды в ванне наполнения должно быть очень высокое. Такие загрязнители воды, как фосфаты, силикаты и фториды могут замедлять процесс наполнения пор.

11. Промывка. Тщательная промывка в дистиллированной или деионизированной воде при температуре 30-500 С, затем при температуре 20-300 С.

12. Сушка. Готовое изделие помещается в пустую ванну для того чтобы изделие высохло [40].

### **7.1 Холодное наполнение**

Известны так называемые «холодные» методы наполнения анодных покрытий, которые выполняются при температуре 25-30 °С. В этом случае применяются растворы на основе фторидных соединения в присутствии солей никеля или кобальта. Применение этих методов требует высокой культуры производства и жесткого контроля качества наполнения. Кроме того, они требуют эффективной очистки стоков, содержащих тяжелые металлы.

На заключительном этапе всей технологической цепочки анодирования проводят процедуру уплотнения анодного слоя. Наполнение пор ячеистой структуры обычно проводят либо путем гидратации, обрабатывая изделия горячей деминерализованной водой или паром, либо посредством реакции с неорганическими солями. Первый способ является в настоящее время наиболее распространенным. Он основан на поглощении порами молекул воды с последующим образованием бемита  $[AlO(OH)]$ , «цементирующим» ячеистую структуру. Следует отметить, что в результате такой обработки на поверхности образуется порошкообразный осадок (так называемый «уплотнительный налет»), для предупреждения которого в раствор заблаговременно вводят специальные химические композиты. Макроскопические параметры процесса уплотнения горячей водой оказывают сильное влияние на качество конечного результата. Особое внимание следует уделять температуре, рН среды и степени очистки применяемой воды. Так, температура должна стремиться к точке кипения; допустимый интервал значений рН 5,6 – 6,6; степень очистки воды должны быть максимальной, причем наличие таких примесей, как фосфаты и соединения кремния недопустимо.

В силу того, что температура ванны горячего уплотнения поддерживается на высоком уровне, данный процесс с одной стороны является довольно энергоемким, а с другой – накладывает определенные аппаратные сложности, связанные с постоянным испарением содержимого ванны. Оба этих фактора увеличивают себестоимость производства. Эти проблемы можно частично решить, применяя различные приемы. Для снижения испарений, например, рекомендуется покрывать поверхность раствора специальными полимерными поправками. В общем случае, сложившаяся ситуация подтолкнула к разработке альтернативных низкотемпературных способов уплотнения анодного слоя, и в последние годы методики наполнения пор ячеистой структуры посредством реакции с солями кобальта или никеля находят все более частое применение. В качестве примера приведем схему химической реакции, лежащей в основе холодного уплотнения при помощи специальной добавки Alfiseal 982:  $Al_2O_3 + 2NiF_2 + 4F^- + 3H_2O \rightarrow Al(OH)F_2 + 2Ni(OH)_2 + OH^- + AlF_6^{3-}$

Наиболее эффективной с точки зрения оптимального соотношения «цена-производительность-качество» считается схема заключительной обработки анодированной поверхности, комбинирующая последовательно процессы холодного и горячего уплотнения с применением соответствующих химических препаратов и присадок. Это позволяет существенно сократить расходы на дополнительный нагрев ванн и среднее время обработки изделий при высоком качестве. Однако, следует принять во внимание, что в большинстве случаев комбинированное уплотнение требует непродолжительной заключительной сушки, а в сточных промывных водах содержатся ионы тяжелых металлов (в частности, никеля [41,42]).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проделанной работы были получены знания на темы: декоративные и их разновидности; общие знания про алюминий и его сплавы; сплавы на основе алюминия применяемые при анодировании; что такое силумины; анодирование и его разновидности; другие методы цветного окрашивания алюминиевых изделий; какие оборудования используются при изготовлении декоративных изделий и анодировании; электролиты для анодирования, их положительные и отрицательные качества; технология изготовления декоративных изделий, от разработки до финишной обработки; технология цветного анодирования в мелкосерийных производствах.

Данной работе приведены ряд известных исследований и методы цветного анодирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виды изобразительного искусства [электронный ресурс]: официальный сайт «Декоративно-прикладное искусство». – 2014. Режим доступа: <http://irina-shanko.com/articles/166923>.
2. Художественные изделия из металла – разнообразие форм и содержания [электронный ресурс]: официальный сайт Компания «Город Мастеров». – Режим доступа: <http://hammering.su/izdeliya-iz-metalla>.
3. «Водоохлаждаемые вагранки и их металлургические возможности», «Машиностроение»/Баринов Н. А., 1964.
4. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907. Л. В. Беловинский. Вязание// Иллюстрированный энциклопедический историко-бытовой словарь русского народа. XVIII — начало XIX в. / под ред. Н. Ерёминой. — М.: Эксмо, 2007. — С. 113. — 784 с.: — ил. с. — 5 000 экз. — ISBN 978-5-699-24458-4.
5. Ковка//Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907.
6. Ковка и объёмная штамповка стали. Справочник, под ред. М. В. Сторожева, 2 изд., т. 1, М., 1967.
7. Лермантов В. В., Штампование//Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907.
8. Aluminium. Online Etymology Dictionary. Etymonline.com. Проверено 3 мая 2010.
9. Материаловедение и технология материалов: учебник для академического бакалавриата: [для студентов вузов по инженерно-техническим специальностям: в 2 т.] / Г. П. Фетисов, В. М. Матюнин, В. С. Соколов и др.]; под ред. Г. П. Фетисова. – (Бакалавр. Академический курс). Т. 1, 2016. – 383.

10. ГОСТ 1583-93 Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. Введ. 1997. Москва: Издательство стандартов. – 2004. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200009199>.
11. А.М. Зборщик Специальные методы литья. ГВУЗ «ДонНТУ». Донецк. – 2007. – 158.
12. Финкельштейн А. Б. Применение пористого литого Алюминия в дизайне/ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина». – 2012. – Екатеринбург.
13. Ким Е. Д. Анализ алюминиевого лома на возможность изготовления художественных изделий // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – №3-1.; Режим доступа: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=14746>
14. Пат. 2355801 Российская Федерация, МПК<sup>51</sup> C22C 21/04 (2006.01) C22F 1/05 (2006.01) C25D 11/04 (2006.01) Декоративно анодируемый, хорошо деформируемый, выдерживающий высокие механические нагрузки алюминиевый сплав, способ его изготовления и алюминиевое изделие из этого сплава / Р. Штайнс; опубл. заявл: 2006143448/02, 30.04.2005 – 12 с.
15. Цветное анодирование [электронный ресурс]: официальный сайт «Стутвуд.ру». Режим доступа:
16. Способ разноцветного окрашивания изделий из алюминия и его сплавов Руднев В.С., Гордиенко П.С., Яровая Т.П., Недозоров П.М., Гнеденков С.В., Хрисанфова О.А. Институт химии Дальневосточного отделения РАН. – 1997.
17. Особенности и сферы применения алюминиевых сплавов [электронный ресурс]: Режим доступа: <https://metalloy.ru/splavy/alyuminievye#i-13>.
18. М. Ермаков Технология декоративно-прикладного искусства. Основы дизайна. Художественное литье. Учебное пособие. Нобель пресс. – 2013. – 200с.
19. Процесс анодирования алюминия. Общие принципы и технологические особенности [электронный ресурс]: официальный сайт

компании «Алюфиниш Рус». Режим доступа:  
<http://echemistry.ru/assets/files/stati/anodirovanie.pdf>

20. Цветное анодирование [электронный ресурс]: официальный сайт «Стутвуд.ру». Режим доступа:

[https://studwood.ru/2062273/matematika\\_himiya\\_fizika/tsvetnoe\\_anodirovanie](https://studwood.ru/2062273/matematika_himiya_fizika/tsvetnoe_anodirovanie)

21. Цветное анодирование [электронный ресурс]: официальный сайт «Стутвуд.ру». Режим доступа:

[https://studwood.ru/2062273/matematika\\_himiya\\_fizika/tsvetnoe\\_anodirovanie](https://studwood.ru/2062273/matematika_himiya_fizika/tsvetnoe_anodirovanie)

22. Способ разноцветного окрашивания изделий из алюминия и его сплавов Руднев В.С., Гордиенко П.С., Яровая Т.П., Недозоров П.М., Гнеденков С.В., Хрисанфова О.А. Институт химии Дальневосточного отделения РАН. – 1997.

23. Пат. В44D5/00 Российская Федерация, Способ получения многоцветного изображения на пластинах из алюминия и его сплавов Черепков А. Г. 27.05.1996.

24. Петриковский Е. Л. и Красников В. Ф. Маркирование изделий в радио- и электронной промышленности. М. Энергия. 1974, – с. 139

25. Пат. 349189 Способ электрохимического окрашивания анодных пленок на алюминии и его сплавах Авторы патента: Иностранец Жос Патри Иностранна фирма Сежедюр Г.П. – 1972.

26. Пат. 600118 М. Н. Розов и М. А. Андреева Способ окрашивания поверхности алюминия или его сплавов на его основе. – 1958.

27. Процесс анодирования алюминия. Общие принципы и технологические особенности [электронный ресурс]: официальный сайт компании «Алюфиниш Рус». Режим доступа:  
<http://echemistry.ru/assets/files/stati/anodirovanie.pdf>



28. С. П. Казанцев, Е. Л. Фурман Формовочные смеси литейного производства [учебное электронное текстовое издание]: Режим доступа: [https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13638/1/Kazansev\\_Furman\\_3.pdf](https://study.urfu.ru/Aid/Publication/13638/1/Kazansev_Furman_3.pdf)

29. Ювелирные инструменты и оборудование 2017 года новые ювелирные изделия плавильной печи [электронный ресурс]: официальный сайт «Digital store». Режим доступа: <http://echemistry.ru/assets/files/stati/anodirovanie.pdf>

30. Профессиональные электрические инструменты с гибким валом и аксессуары [электронный ресурс]: официальный сайт «Foredom». Режим доступа: <http://www.foredom.ru/>

31. Гальванические ванны [электронный ресурс]: официальный сайт «Бизнес Полимер». Режим доступа: <https://b-polymer.ru/?page=gallery&n=9>

32. Лабораторный блок питания DAZHENG [электронный ресурс]: официальный сайт «100POINT». Режим доступа: <https://100point.ru/catalog/detail/laboratornyy-blok-pitaniya-dazheng-ps-1502d-0-2a-0-15v/>

33. Средства индивидуальной защиты [электронный ресурс]: официальный сайт «Забота, красота, здоровье». Режим доступа: <https://www.cbh.su/categories/home-office/siz/?yclid=3656620053556921910>

34. Очки защитные «Стройдвор» [электронный ресурс]: официальный сайт «Забота, красота, здоровье». Режим доступа: <https://stroy-pz.ru/instrument-i-rashodnye-materialy/sredstva-zaschity/ochki-zaschitnye-istok-premium-germitichnye/>

35. Анодирование алюминия [электронный ресурс]: официальный сайт «Секреты гальваники». Режим доступа: <http://blog.tep-nn.ru/?p=1307>

36. Бесплатное программное обеспечение для разработки графического дизайна [электронный ресурс]: официальный сайт «CorelDRAW». Режим доступа: <https://www.coreldraw.com/ru/free-trials/>

37. Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D [электронный ресурс]: официальный сайт «КОМПАС-3D». Режим доступа: <https://kompas.ru/kompas-3d/about/>

38. SolidWorks [электронный ресурс]: официальный сайт «Википедия». Режим доступа: [ru.wikipedia.org/wiki/SolidWorks](http://ru.wikipedia.org/wiki/SolidWorks)

39. Литье в песчаные смеси [электронный ресурс]: официальный сайт «Studme.org». Режим доступа: [https://studme.org/158181/tehnika/lite\\_peschanye\\_smesi](https://studme.org/158181/tehnika/lite_peschanye_smesi)

40. Цветное анодирование [электронный ресурс]: официальный сайт «Стутвуд.ру». Режим доступа:

[https://studwood.ru/2062273/matematika\\_himiya\\_fizika/tsvetnoe\\_anodirovaniye](https://studwood.ru/2062273/matematika_himiya_fizika/tsvetnoe_anodirovaniye)

41. Specifications for the QUALANOD Quality Label for Sulfuric Acid-Based Anodizing of Aluminium, Edition 01.01.2017.

42. TALAT Lecture 5203 – European Aluminium Association, 1994.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Материаловедения и технологии обработки материалов»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
В.И. Темных  
подпись

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Использование цветного анодирования при изготовлении декоративных  
изделий из алюминия

22.04.01 – Материаловедение и технологии материалов

22.04.01.04 – Синтез и литье новых металлических материалов

Научный руководитель

  
подпись, дата

к. т. н., доцент

должность, ученая степень

В.И. Темных

инициалы, фамилия

Консультант

  
подпись, дата

к. т. н., доцент

должность, ученая степень

И.А. Капошко

инициалы, фамилия


Выпускник

  
подпись, дата

Ч.А. Деликей

инициалы, фамилия

Рецензент

  
подпись, дата

директор ИП

должность, ученая степень

П.К. Боярчик

инициалы, фамилия

Красноярск 2020 г