

На правах рукописи



Висковатый Иван Сергеевич

**ДЕКОРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СЕРЕБРА 925 ПРОБЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ИМПУЛЬСНЫМИ ТОКАМИ**

Специальность 17.00.06 - «Техническая эстетика и дизайн»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Костромской государственный университет» на кафедре технологии художественной обработки материалов, художественного проектирования, искусства и технического сервиса.

- Научный руководитель: **Галанин Сергей Ильич** - доктор технических наук, профессор кафедры технологии художественной обработки материалов, художественного проектирования, искусства и технического сервиса ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»
- Официальные оппоненты: **Соколова Марина Леонидовна** - доктор технических наук, профессор кафедры компьютерного дизайна ФГБОУ ВО «МИРЭА - Российский технологический университет»
Бурцев Дмитрий Сергеевич - кандидат технических наук, доцент кафедры машин и технологии литейного производства ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
- Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ИРНИТУ), г. Иркутск

Защита диссертации состоится «25» декабря 2018 г., в 15:30 на заседании диссертационного совета Д 212.144.05 на базе ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Садовническая, дом 33, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» и на официальном сайте www.kosygin-rgu.ru

Автореферат разослан « » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, доцент



А.Н.Новиков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Поиск новых дизайнерских решений при создании современных ювелирно-художественных изделий (ЮХИ) во многом связан с совершенствованием способов их обработки. Это способствует расширению многовариантности конструкции, формы и геометрии, качества декорируемой поверхности – её тоном, цветом и фактурой, что неизбежно ведёт к улучшению потребительских свойств выпускаемых изделий.

В последнее десятилетие на российских ювелирных предприятиях широкое распространение получили сложнопрофильные, разнофактурные и тонкостенные изделия с поднутрениями и изгибами, ажурными и легкодеформируемыми элементами. Такие формы и особенности поверхности осложняют или делают невозможным применение традиционных технологий декорирования, но позволяют использовать электрохимическую декоративную обработку (ЭХДО).

В настоящее время вопросы её использования при обработке поверхности серебра 925 пробы в художественно-декоративных целях изучены недостаточно. Используемая в промышленности ЭХДО определяет ряд художественных и технологических проблем, требующих разработки научно-методического обеспечения, позволяющего моделировать декоративные и физико-механические свойства поверхности, что подтверждает актуальность данной работы.

В процессе совершенствования технологии декорирования ЮХИ из серебра 925 пробы проведён анализ следующей литературы:

- 1) по дизайну ЮХИ: Д. Бэннет, С.И. Галанин, М.В. Гой, М.П. Ермаков, Дж. Кроу, М.С. Кухта, Е. Олвер, М.Л. Соколова;
- 2) по истории развития ювелирного искусства: В.Е. Байер, Г. Грегориетти, В.Ф. Кринский, Т.И. Сизова, В.В. Скурлов, С. Филлипс, Д. Эванс;
- 3) по способам финишной отделки поверхности ЮХИ: А.В. Балмасов, С.И. Галанин, С.Я. Грилихес, И.В. Калинин, Т.В. Лебедева, М.В. Сорокина, В. Фаченда, М. Шлезингер.

Цель и задачи исследования. Основной целью работы является расширение возможностей дизайна ЮХИ на основе разработки методов декорирова-

ния поверхности серебра 925 пробы с использованием электрохимической обработки импульсными токами.

В соответствии с поставленной целью определены и решены следующие задачи:

- 1) провести анализ становления дизайна ЮХИ и истории его развития;
- 2) выявить актуальность декорирования поверхности серебра на протяжении развития дизайна ЮХИ и предложить эффективные методы его реализации;
- 3) исследовать возможность формирования декоративных свойств поверхности серебра при электрохимической обработке в растворе тиосульфата натрия с использованием импульсных токов;
- 4) исследовать влияние условий проведения процесса электрохимического декорирования на ряд свойств формируемой поверхности сплавов серебра;
- 5) определить эффективную технологию создания цветных декоративных покрытий и фактурных поверхностей и разработать технологические рекомендации по её применению в производстве ЮХИ.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования – новый способ декорирования поверхности ЮХИ, бижутерии и других изделий, изготовленных из сплава серебра 925 пробы.

Предмет исследования – технология формирования мелко-, средне- и крупноразмерных фактур с цветными конверсионными плёнками (КП) на поверхности серебра 925 пробы.

Методология и методы исследования. В качестве методологической базы применялся системный подход, предполагающий комплексное рассмотрение предмета исследования. Экспериментальные исследования выполнялись с использованием специально разработанного оборудования и методик, позволяющих диагностировать изучаемые явления и обрабатывать результаты исследований.

Импульсы тока подавались от генератора импульсов прямоугольной формы с независимой регулировкой всех АВПИ: $t_{\text{имп}}$ – длительность импульса тока положительной полярности (ИТПП); $t_{\text{отр.имп}}$ – длительность импульса тока отрицательной полярности (ИТОП); t_3 – задержка между окончанием ИТПП и началом

ИТОП; $t_{\text{паузы}}$ – пауза между окончанием ИТОП и началом последующего ИТПП; q – скважность импульсов; $I_{\text{имп}}$ – амплитуда ИТПП; $I_{\text{отр.имп}}$ – амплитуда ИТОП.

Зависимости «ток–время» фиксируются цифровым двухканальным осциллографом марки *GRS-6052A*. Микрогеометрические параметры фиксировались на микроскопах МИИ–4 и МИС–11.

Исследования макроструктуры производилось с помощью металлографического микроскопа «МЕТАМ 32–ЛВ» с увеличением 1000. Полученные фотографии обрабатывались в программе *SIAMS Photolab*.

Исследования состава плёнки, формируемой на аноде в процессе обработки, производилось на рентгеновском экваториальном дифрактометре ДРОН УМ–1 с приставкой для поликристаллических образцов.

Ошибки измерений минимизируются регулярным проведением эталонных измерений; периодической поверкой приборов и аппаратуры Центром стандартизации и метрологии г. Костромы.

Научная новизна исследования

1. Проведён анализ становления дизайна ЮХИ из серебра и истории его развития. Выявлена актуальность таких видов декорирования, как фактуры с гальваническими и конверсионными покрытиями, которые получили широкое распространение в промышленном и ювелирном дизайне с XV–XVI веков. В нашей стране, как показал литературный анализ, применение данных техник отличалось ещё бóльшим богатством и разнообразием.

2. Впервые систематизированы особенности поверхности ЮХИ с выявлением причин неэффективности традиционных методов ручной, механизированной, химической обработок и ЭХДО постоянными токами и выявлением особенностей поверхностей, для которых максимально эффективно использование ЭХДО импульсными токами.

3. Получены экспериментальные зависимости «ток–время», характеризующие процессы, проходящие на границе раздела «серебро–электролит» при импульсной ЭХДО униполярными и биполярными токами. Показана близость процессов на поверхности анодно обрабатываемых металлов в течение элек-

трохимического полирования (ЭХП) и ЭХДО (электрохимического фактурирования (ЭХФ) и электрохимического формирования КП (ЭХФКП)), проводимых в идентичном электролите.

4. Исследованы особенности ЭХФ и ЭХФКП в зависимости от технологических параметров проведения процесса (амплитудно-временных параметров импульсов (АВПИ) тока, температуры и перемешивания электролита) и микроструктуры сплава.

5. Исследованы состав и цветовые характеристики КП в зависимости от технологических параметров проведения процесса. Показана возможность параллельного формирования КП и фактуры на поверхности сплавов серебра 925 пробы.

Практическая значимость исследования. Проведённые исследования позволяют расширить возможности дизайна ЮХИ из серебра 925 пробы с использованием электрохимической обработки импульсными токами.

1. Разработан процесс формирования мелко-, средне- и крупноразмерных фактур с матовой и блестящей поверхностью с использованием ЭХФ униполярными и биполярными токами.

2. Разработан процесс формирования цветных КП с параллельным формированием фактурной поверхности с использованием ЭХФКП униполярными и биполярными токами.

3. Полученные результаты внедрены в учебный процесс по следующим направлениям подготовки на базе Костромского государственного университета:

29.03.04 – «Технология художественной обработки материалов»;

54.03.03 – «Искусство костюма и текстиля» профиль «Художественное проектирование ювелирных изделий»;

54.03.02 – «Декоративно-прикладное искусство и народные промыслы»;

29.04.04 – «Технология художественной обработки материалов»;

50.06.01 – «Искусствоведение».

Апробация и внедрение результатов исследования. По основным результатам диссертации опубликовано 14 работ, в том числе Патент РФ на способ ЭХФ поверхности серебра и Патент РФ на способ ЭХА поверхности сереб-

ра. 6 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций.

Материалы диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на:

1. VI МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии» (Плѣс, 2014);

2. МНТК «Актуальные проблемы науки в технологиях текстильной и легкой промышленности. Лѣн-2014» (Кострома, 2014);

3. VII МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии» (Плѣс, 2015);

4. XXI МНК «Современные техника и технологии» (Томск, 2015);

5. XVIII всероссийской научно-практической конференции и смотре-конкурсе творческих работ студентов, аспирантов и преподавателей по направлению «Технология художественной обработки материалов» (Кострома, 2015);

6. VIII МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии» (Плѣс, 2016);

7. МНТК «Актуальные проблемы науки в технологиях текстильной и легкой промышленности. Лѣн-2016» (Кострома, 2016);

8. IX МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии» (Плѣс, 2017).

9. V МНПК «Наука и образование в глобальных процессах» (Уфа, 2018).

Структура и объѣм диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объѣм работы – 140 страниц, из них – 80 страниц машинописного текста. Список литературы включает 141 наименование. Объѣм приложения составляет 46 страниц с 58 иллюстрациями.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

ПЕРВАЯ ГЛАВА – «Способы расширения возможностей дизайна ювелирно-художественных изделий» посвящена анализу методов обработки поверхности серебра с целью придания ей декоративной выразительности. Под декоративной выразительностью подразумевается сочетание результатов различных приёмов обработки декорируемой поверхности, которые выделяют и подчёркивают художественную ценность того или иного декора через специальные выразительные средства: отражающую способность, тональность, фактуру, а также изобразительный акцент и различные контрасты.

Представлен анализ зависимости технологии обработки от формы и характеристики обрабатываемой поверхности ЮХИ. Предложен наиболее целесообразный вид декоративной обработки для сложнопрофильных и разнофактурных поверхностей – ЭХДО.

Рассмотрены основные приёмы совершенствования процессов ЭХДО сплавов серебра. Материалы, изложенные в первой главе, позволяют сделать следующие выводы:

1. Внешний вид, конструкция и во многом технология изготовления ЮХИ определяется используемыми конструкционными материалами.
2. Наиболее весомыми и определяющими качество и внешний вид отечественных ЮХИ становятся технологический и человеческий факторы.
3. Пригодность ЮХИ для механической обработки поверхности вручную или с помощью специального оборудования в основном определяется формой поверхности и конструкцией изделий.
4. ЭХДО наиболее технически целесообразна и экономически выгодна при обработке тонкостенных и сложнопрофильных ЮХИ с большими площадями поверхностей. Альтернативой процессам механического фактурирования поверхности ЮХИ из драгоценных металлов и сплавов является ЭХФ.
5. После ЭХФ постоянными токами сложнопрофилированные поверхности ЮХИ из различных материалов не обладают необходимой декоративной выразительностью. Формируемые в процессе ЭХДО плёнки имеют узкую цветовую гамму и низкую устойчивость к истиранию.

6. Одним из направлений совершенствования процессов ЭХДО (фактурирования и ФКП) является использование импульсных токов. Наилучшие результаты ЭХД получены при использовании импульсов прямоугольной формы.

7. Промышленное внедрение ЭХДО (фактурирования и ФКП) требует дополнительных исследований технологических особенностей процесса и определения их оптимальных параметров.

В заключение первой главы поставлены цель и основные задачи диссертационной работы.

ВТОРАЯ ГЛАВА – «Фактуры и конверсионные плёнки в дизайне» посвящена анализу видов декоративной обработки, используемых на всём протяжении развития дизайна от зарождения пластического искусства в эпоху древних царств до зарождения промышленного дизайна нового времени, а также роли фактур с покрытиями в истории декоративного искусства.

Для этого рассмотрены образцы декоративного искусства с IX в. до н. э. по XX в. н. э. Будь то изделия религиозной направленности или посудная утварь, сувенирные или ювелирные изделия, все они содержали различные элементы декора. Причём большую распространённость из них имели всевозможные вариации фактур и декоративных покрытий.

Материалы, изложенные во второй главе, позволяют сделать следующие выводы:

1. Уже эпоху древних царств фактура применяется как элемент имитации реальной поверхности, покрытия же носят больше функциональную (защитную) функцию. Как виды декоративной обработки, фактуры и покрытия получают широкое распространение с XV–XVI веков, популярны они и по сей день.

2. В основном фактуры и покрытия используются в двух вариациях. Первый – нанесение декоративного покрытия поверх фактурной поверхности; второй – отделка (выделение) фактуры (орнамента) чернью или патиной. Оба варианта применяются для усиления декоративного эффекта друг друга.

3. Один из любимых форматов использования фактуры в дизайне – это совмещение её с глянцевой поверхностью, причём фактура выступает до-

полнительным средством выразительности общей композиции, подчёркивая одни элементы формы на фоне других.

4. Со времён барокко распространение получают лёгкие и ажурные ювелирные украшения со сложнопрофилированной и разнофактурированной поверхностью, декорированной гальваническими и конверсионными покрытиями.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА – «Исследование процесса электрохимической обработки поверхности сплавов серебра» посвящена исследованию особенностей формирования декоративных фактур с заданными микрогеометрическими параметрами и декоративных конверсионных покрытий с заданными цветовыми характеристиками и высокой эксплуатационной устойчивостью, а также разработке технологических рекомендаций по их практическому осуществлению.

Декоративные фактуры

Описана методика предварительной подготовки образцов, проведения эксперимента и получения и обработки экспериментальных данных. Для формирования декоративных фактур применяли образцы размером $20 \times 10 \times 1,1$ мм, выполненные литьём по выплавляемым моделям из сплавов СрМ 925; СрМЦ 925. В качестве электролита использовался водный раствор тиосульфата натрия $Na_2S_2O_3 \times 5H_2O$ – 790...830 г/л. Температура электролита варьировалась в пределах 25...35°C. Обработка велась в стационарном и слабо перемешиваемом электролите.

Проанализировано влияние микроструктуры поверхностных слоев образцов, прошедших различную предварительную термическую обработку, на результирующие геометрические параметры фактуры. Экспериментально установлено, что наилучшие результаты по ЭХФ получены на образцах с мелкозернистой структурой сплава. Когда же размеры зёрен соизмеримы с характерными неровностями фактуры, то превалирует травление и фазообразование на межзёренных границах и определённых кристаллографических плоскостях, что отрицательно влияет на фактурообразование.

Изучен состав плёнки, формируемой на аноде в процессе ЭХФ. Исследованы образцы с легко удаляемой плёнкой, образцы с удалённой плёнкой, а также отдельно сама плёнка.

Дифрактограмма образца, с которого удалили плёнку, показывает наличие двух ярко выраженных фаз – Ag_2S и Ag . На покрытых плёнкой образцах интенсивность пиков этих фаз значительно уменьшается, что говорит о большой поглощательной способности плёнки. Поэтому можно предположить, что плёнка образована не только из сульфидных соединений, но и имеет в своём составе тяжёлые атомы.

Дифрактограмма отдельно отснятой плёнки образца свидетельствует о наличии в плёнке кристаллических фаз Ag_2S , ZnO и ZnO_2 , CuO и Cu_2O .

Выделены основные особенности процесса ЭХФ импульсными токами:

1. ЭХФ возможно на участках, соответствующих переходу поверхности из активного состояния в пассивное и из пассивного состояния в транспассивное, соответственно. На этих участках соблюдается примерное равенство между скоростями пассивирования и активного растворения поверхности.

2. На первых двух минутах обработки интенсивность образования пассивирующей плёнки тёмно-серого или чёрного цвета незначительна, затем она нарастает. Чем интенсивнее образование плёнки, тем выше пассивация поверхности и тем, естественно, меньше плотность тока в импульсе. Через 4...5 минут обработки плёнка начинает разрушаться и отслаиваться от поверхности. При этом на первых двух минутах обработки формируются мелко- или среднеразмерные матовые фактуры; на 3...4 минутах средние, часто покрытые устойчивой, плохо удаляемой с поверхности плёнкой (под которой находится среднефактурированная поверхность, образовавшаяся на первых двух минутах); после пяти минут – крупные и блестящие. Таким образом, для образования фактур необходимы определенные свойства плёнки: она не должна плотно сцепляться с поверхностью, не полностью её покрывать и не сильно препятствовать протеканию параллельного процесса анодного растворения.

3. В общем случае слабое перемешивание электролита приводит к оттягиванию во времени начала пассивации анодной поверхности, замедлению плёночкoобразования, но изменить тенденцию образования плёнки на всей поверхности при увеличении длительности обработки не может. Влияние перемешивания на

разрушение плёнки при увеличении продолжительности обработки незначительное. Скорее всего, разрушение связано с изменением структуры плёнки из-за доокисления составляющих её соединений.

4. Увеличение количества электричества в обратном импульсе тока тормозит процесс плёнообразования на аноде, что приводит к неизбежному возрастанию тока в анодном (прямом) импульсе. Действие обратного импульса во многом аналогично влиянию перемешивания электролита на процесс плёнообразования, поэтому при использовании биполярных импульсов перемешивание можно не использовать.

5. Фактурированная поверхность приобретает блеск при увеличении продолжительности обработки и переходе её в область транспассивного растворения при разрушении плёнки и соответствующем увеличении величины шероховатости. Мелко- и среднефактурные поверхности, сформированные при непродолжительном электролизе, матовые. При прочих равных условиях при использовании биполярных импульсов фактуры начинают блестеть при меньшей величине шероховатости.

6. Крупные фактуры формируются предпочтительно при использовании униполярных импульсов тока, при образовании достаточно устойчивой плёнки на обрабатываемой поверхности и при слабом перемешивании электролита. Обратные импульсы тока снижают интенсивность образования плёнки, что приводит к уменьшению размера неровностей формируемых фактур.

7. Увеличение шероховатости поверхности в процессе фактурообразования при увеличении продолжительности обработки неизбежно приводит к возрастанию эффективной площади анодной поверхности и росту силы тока, необходимого для продолжения процесса ЭХФ.

8. Повышение температуры электролита при ЭХФ в общем случае не приводит к увеличению шероховатости поверхности по R_z . Оптимальна температура 25°C, при ней продолжительность обработки можно увеличить до 5...6 мин с получением максимальных значений шероховатости фактуры по R_z . Повышение температуры: во-первых, приводит после четырёх минут обработки к

замедлению роста шероховатости поверхности с дальнейшей тенденцией к её уменьшению; во-вторых, увеличивает удельное растворение металла.

Результаты проведённых исследований могут быть использованы при проектировании серийных художественных изделий и объектов дизайна с применением декоративных фактур. Зная АВП импульсной обработки, можно достаточно достоверно прогнозировать внешний вид результирующей поверхности.

Преимущество данного метода в том, что он позволяет формировать нерегулярную структуру и микрошероховатость с явно выраженным визуальным декоративным эффектом на сложнопрофилированных поверхностях, в том числе тонкостенных и ажурных изделий, при обработке в экологически безопасном водном растворе тиосульфата натрия $Na_2S_2O_3 \times 5H_2O$ – 790 г/л при температуре $25 \pm 2^\circ C$, что способствует расширению спектра художественных решений при создании объектов дизайна. К тому же не оказывает негативного воздействия на окружающую среду и обслуживающий персонал.

Декоративные конверсионные покрытия

Описана методика предварительной подготовки образцов, проведения эксперимента, получения и обработки экспериментальных данных.

Выделены особенности процесса ЭХФКП импульсными токами:

1. ЭХФКП как и ЭХФ проводятся на режимах и в электролитах, обеспечивающих поддержание анодной поверхности в условиях «активность – пассивность», которые наблюдаются либо в начале области пассивации, либо в начале области транспассивного растворения.

2. При униполярных импульсах тока формируются плёнки только серой гаммы от более светлых к более тёмным тонам в зависимости от их толщины. Использование биполярных импульсов позволяет расширить их цветовую гамму в тёмной области оттенков. Цветовая гамма, получаемая при использовании импульсного тока, представлена в таблице 1.

3. С первых минут обработки на поверхности образца начинается формирование оксидно-солевой плёнки. С увеличением продолжительности обработки растёт толщина плёнки и её устойчивость к истиранию, а также и съём металла.

Таблица 1 – Цветовая гамма конверсионных покрытий

Режим	Цвет	RGB
Импульсный униполярный ток		
1	Графитно-чёрный (почти чёрный)	45, 45, 45
2		37, 37, 37
3		29, 29, 29
4		21, 21, 21
5		18, 18, 18
Импульсный биполярный ток		
6	Тёмный голубовато-желтовато-зелёный	47, 49, 48
7	Тёмный серовато-голубой	52, 56, 57
8	Тёмный пурпурный	44, 39, 45
9	Графитно-серый	38, 38, 38
10	Чёрно-красный	38, 34, 35
11	Тёмный голубой	34, 34, 36
12	Тёмный серовато-лимонно-зелёный	48, 55, 48
13	Сигнальный чёрный	40, 40, 40
14	Тёмный желтовато-зелёный	41, 46, 42
15	Коричнево-оливковый	39, 38, 33

4. Оптимальная температура электролита для ЭХФКП 35°С. Её понижение приводит к образованию дефектов плёнки (неоднородность, трещины) вследствие её низкой адгезии к поверхности образца и, в конечном итоге, к понижению устойчивости к механическим воздействиям. Повышение температуры приводит к росту съёма драгоценного металла, что также является отрицательным фактором в условиях промышленного использования ЭХА.

5. На начальном этапе обработки параллельно с плёнообразованием протекает процесс фактурирования поверхности с превалированием плёнообразования к концу процесса обработки (рисунок 1), что позволяет получать в результате более интересный декоративный эффект (рисунок 2).

6. Применение биполярных импульсов тока имеет технологическое преимущество перед униполярными, в связи с тем, что при них формируются плёнки с соизмеримыми показателями толщин, но с меньшим удельным съёмом металла.

Получение заданного цвета и текстуры декоративных конверсионных покрытий путём изменения АВП импульсов способствует повышению художественной выразительности. Преимущество данного метода в том, что он позволяет

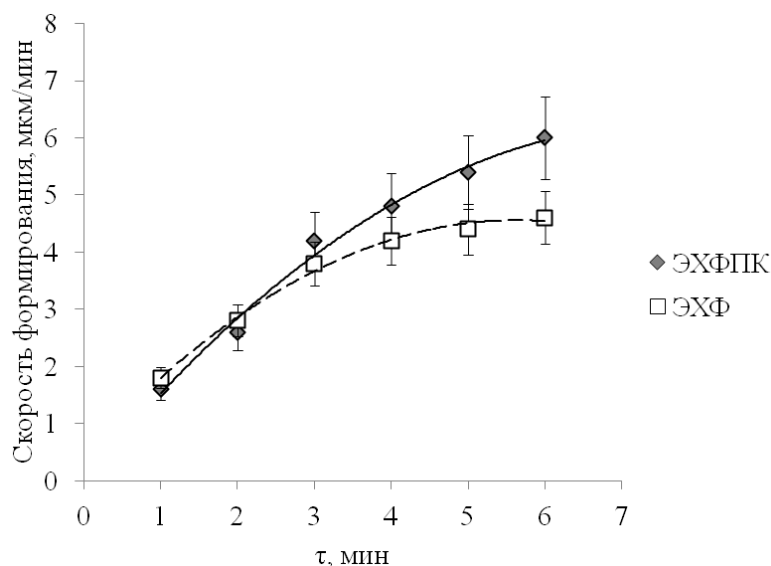


Рисунок 1 – Процессы на анодной поверхности при ЭХФКП

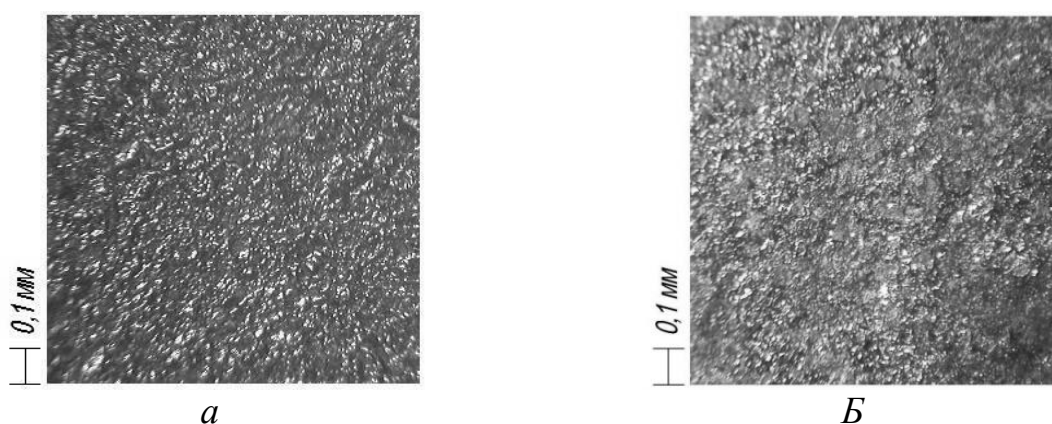


Рисунок 2 – Среднефактурные блестящие поверхности, сформированные при ЭХФКП: *а* – $R_{z\text{ ср}} = 4,2$ мкм, $\tau = 3$ мин, $i_{a\text{ имп}} = 0,08$ А/см², $t_{\text{имп}} = 500$ мкс, скважность импульсов $q = 4$; *б* – $R_{z\text{ ср}} = 5,86$ мкм, $\tau = 2$ мин, $i_{a\text{ имп}} = 0,74$ А/см², $t_{\text{имп}} = 100$ мкс, $i_{a\text{ имп.обр}} = 0,91$ А/см², $t_{\text{имп.обр}} = 100$ мкс, $q = 4$

формировать устойчивые плёнки широкой цветовой гаммы в области тёмных оттенков на параллельно создаваемой мелкофактурной поверхности. Совмещение этих двух процессов усиливает декоративность получаемых покрытий.

ЧЕРВЁРТАЯ ГЛАВА – «Дизайн и технология создания ЮХИ с использованием цветных конверсионных покрытий и фактуры поверхности» посвящена анализу особенностей процесса проектирования и разработке технологического процесса изготовления ЮХИ.

Выявлены основные недостатки существующих способов фактурирования и формирования конверсионных покрытий, такие как:

Фактурирование

- 1) возможность деформирования выступающих элементов, тонких стенок и тонких элементов конструкции;
- 2) сложность, а иногда и невозможность обработки сложнопрофилированных участков и поднутрений, а также элементов больших площадей;
- 3) вероятность удаления фактуры при последующих операциях обработки.

Формирование конверсионных покрытий

- 1) специфический дизайн изделий;
- 2) ограниченность цветовой гаммы покрытий;
- 3) низкая устойчивость покрытий к механическим воздействиям при дальнейшей эксплуатации.

Проведен анализ форм и внешнего вида ЮХИ. На его основе систематизированы особенности поверхности с выявлением причин неэффективности традиционных методов ручной, механизированной, химической обработок и ЭХДО постоянными токами. Установлено, что процессы ЭХФ и ЭХФКП оптимально использовать для обработки сложнопрофилированных поверхностей. Учитывая технологические особенности, выявлены дизайнерские особенности серебряных изделий, проектируемых с применением ЭХФ и ЭХФКП:

1. *Фактурность* (рисунок 3).
 - 1.1. Обработка всей поверхности изделия.
 - 1.2. Чередование разноразмерной фактуры и полированной поверхности.
2. *Оксидировка* (рисунок 4).
 - 2.1. Обработка фактурированной поверхности с последующей полировкой для подчёркивания фактуры.
 - 2.2. Совмещение оксидированной, фактурной и полированной поверхности.
3. *Ажурность*. Сочетание ажурной разнофактурированной поверхности в совокупности с цветным оксидированием.

На рисунке 5 представлен внешний вид ЮХИ, получаемых при ЭХДО импульсными токами.



Рисунок 3 – Внешний вид ЮХИ с фактурой



Рисунок 4 – Внешний вид ЮХИ с оксидными покрытиями



Рисунок 5 – Внешний вид ЮХИ

Разработаны технологический процесс и рекомендации по изготовлению серебряных изделий с применением ЭХФ и ЭХФКП импульсными токами. Использование способов ЭХФ и ЭХФКП позволяет для ЮХИ с определёнными особенностями дизайна и конструкции минимизировать или полностью отказаться от технологической операции – полировки, которая является слабым звеном (технологически и по продолжительности) при изготовлении большинства ЮХИ.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Определена историческая и современная распространённость лёгких и ажурных ювелирных украшений со сложнопрофилированной и разнофактурной поверхностью, декорированной гальваническими и конверсионными покрытиями.

2. Разработана технология электрохимического декоративного фактурирования поверхности серебряных сплавов в тиосульфатном электролите с использованием импульсного тока для создания ЮХИ с высокими эстетическими свойствами.

3. Установлено, что по сравнению с распространёнными на данный момент технологиями декорирования, ЭХДО обладает следующими преимуществами:

- позволяет создавать нерегулярную структуру и различные текстуры по микрогеометрическим параметрам, не свойственные аналогичным технологиям;

- позволяет формировать поверхности с различными декоративными свойствами в электролите одного состава только за счёт изменения АВП импульсов тока, что значительно упрощает технологию изготовления ЮХИ;

- использование способов ЭХФ и ЭХФКП позволяет для ЮХИ с определёнными особенностями дизайна и конструкции минимизировать или полностью отказаться от технологической операции – полировка;

- низкий уровень отходов драгоценных металлов и получение их в виде, удобном для последующего аффинажа;

- позволяет проводить процесс с минимальным воздействием на окружающую среду и безопасный для обслуживающего персонала.

4. Определены технологические параметры формирования декоративных фактур в водном растворе тиосульфата натрия с использованием импульсного технологического тока прямоугольной формы с изменяемыми АВП импульса.

5. Разработана технология электрохимического декоративного анодирования с заданными цветовыми оттенками на поверхности серебряных сплавов, расширяющая возможности дизайна сложнофактурированных и сложнопрофильных изделий.

6. Полученные результаты используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО Костромской государственной университет при преподавании ряда технологических и дизайнерских дисциплин.

7. Разработанные способы декорирования поверхности изделий из сплавов серебра 925 пробы прошли производственные испытания и рекомендованы к внедрению на ювелирных предприятиях (Кострома, 2016).

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, входящих в «Перечень» ВАК при Минобрнауки России:

1. Галанин С.И. Декоративное электрохимическое фактурирование поверхности серебра 925-й пробы / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // ЭНИ Дизайн. Теория и практика [Электронный ресурс]. – М: МГУПИ. – 2015. – Вып. 19. – С.73–81. Режим доступа: enidtp.ru.

2. Галанин, С.И. Электрохимическое формирование декоративных плёнок на поверхности серебра 925 пробы [Текст] / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Дизайн. Материалы. Технология. – 2015. – Вып. 4. – №39. – С. 56–60.

3. Галанин С.И. Особенности процесса электрохимического декорирования поверхности серебра [Текст] / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 3. – С. 75–86.

4. Галанин, С.И. Оксидирование поверхности фурнитуры швейных изделий [Текст] / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2016. – Т. 366. – № 6. – С. 175–182 (Scopus).

5. Галанин С.И. Формирование конверсионных декоративных покрытий на серебре 925 пробы с использованием импульсных токов [Текст] / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Практика противокоррозионной защиты. – 2016. – Т. 82. – № 4. – С. 45–51.

Статьи в прочих изданиях:

6. Galanin, S.I. Electrochemical Surface Texturing of Silver [Text] / S.I. Galanin, I.V. Viskovaty // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2015. – Vol. 51. – No 4. – P. 332–338 (Web of Science).

7. Галанин С.И. Процесс и особенности декоративного электрохимического фактурирования поверхности сплава серебра 925 пробы / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Сборник трудов XVIII всероссийской научно-практической конференции и смотра-конкурса творческих работ студентов, аспирантов и преподавателей по направлению «Технология художественной обработки материалов» 12–15 окт. 2015 г. – Кострома: Изд-во Костромск. госуд. технол. ун-та. – 2016. – С. 66–78.

8. Галанин С.И. Декоративное электрохимическое анодирование поверхности сплава серебра 925 пробы / С.И. Галанин, И.С. Висковатый, Ю.П. Гладий // Сб. трудов XVIII всероссийской научно-практической конференции и смотра-конкурса творческих работ студентов, аспирантов и преподавателей по направлению «Технология художественной обработки материалов» 12–15 окт. 2015 г. – Кострома: Изд-во Костромск. госуд. технол. ун-та. – 2016. – С.56–65.

9. Галанин С.И. Электрохимическое текстурирование поверхности серебра / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Электронная обработка материалов. – 2015. – №4. – С. 28–33.

10. Галанин С.И. Особенности электрохимического декоративного фактурирования поверхности сплава серебра 925 пробы / С.И. Галанин, И.С. Висковатый, Ю.П. Гладий // Электронная обработка материалов. – 2016. – №3. – С. 82–87.

11. Галанин С.И. Оксидирование и чернение ювелирных изделий из серебра / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – 2017. – № 1. – С. 20–28.

12. Галанин, С.И. Оксидирование и чернение ювелирных изделий из серебра / С.И. Галанин, И.С. Висковатый, К.Н. Колупаев // Технологии и качество. – 2017. – № 1 (37). – С. 25–31.

Патенты и свидетельства об интеллектуальной собственности:

13. Пат. РФ 2569876 С1, МПК8 С25F3/02. Способ декоративного электрохимического фактурирования поверхности серебра / Галанин С.И., Висковатый И.С. – № 2014130872/02; заявл. 24.07.14; опубл. 03.11.15 // БИ № 33, 2015.

14. Пат. РФ 2643290 С2, МПК8 С25F3/18. Способ декоративного электрохимического анодирования поверхности серебра / Галанин С.И., Висковатый И.С. – № 2016102517; заявл. 26.01.16; опубл. 31.01.18 // БИ № 4, 2018.

Тезисы различных конференций:

1. Электрохимическое фактурирование поверхности ювелирного сплава серебро-медь / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Тез. докл. VI МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии». – Плёс. – 2014. – С. 21.

2. Особенности фактурирования поверхности серебра / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Тез. докл. МНТК «Лён-2014». – Кострома. – 2014. – С.176–177.

3. Технологические особенности электрохимического фактурирования поверхности серебра 925 пробы / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Тез. докл. VII МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии». – Плёс. – 2015. – С. 26.

4. Электрохимические декоративные конверсионные покрытия на поверхности серебра 925 пробы / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Тез. докл. VII МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии». – Плёс. – 2015. – С. 27.

5. Особенности процесса электрохимического декорирования поверхности серебра / С.И. Галанин, И.С. Висковатый, Гладий Ю.П // Тез. докл. XXI МНТК «Современные техника и технологии». – Томск. – 2015. – С.166–170.

6. Электрохимическое формирование высокодекоративных фактур на сложнопрофилированной поверхности сплава серебро-медь с использованием импульсных токов / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Тез. докл. VIII МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии». – Плёс. – 2016. – С. 13.

7. Электрохимическое формирование декоративных плёнок на поверхности ювелирного сплава серебро-медь с использованием импульсных токов / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Тез. докл. VIII МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии». – Плёс. – 2016. – С. 14.

8. Дизайн ювелирно-художественных изделий и фурнитуры из серебра с элементами чернения и оксидирования / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Тез. докл. МНТК «Лён-2016». – Кострома. – 2016. – С.193–195.

9. Технологические особенности процессов электрохимического декорирования поверхности драгоценных и цветных металлов и сплавов / С.И. Галанин, И.С. Висковатый, К.Н. Колупаев // Тез. докл. IX МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии». – Плёс. – 2017. – С. 74.

10. Декорирование ювелирно-художественных изделий из серебра 925 пробы с использованием конверсионных покрытий / И.С. Висковатый // Тез. докл. V МНПК «Наука и образование в глобальных процессах». – Уфа. – 2018. – С. 2–5.