

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КОСТРОМСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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»

Диссертация  
на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук  
профессор Галанин С.И.

Москва – 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ</b> .....	4
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>ГЛАВА I. СПОСОБЫ РАСШИРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИЗАЙНА ЮВЕЛИРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ</b> .....	10
1.1. ДИЗАЙН И ВИЗУАЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ОБЪЕКТОВ .....	10
1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕКОРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ .....	12
1.3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИЁМЫ ФАКТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЮХИ	13
1.3.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ДЕКОРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ .....	14
1.3.2. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ХД И ЭХД ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ .....	18
1.4. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИЁМЫ НАНЕСЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЮХИ.....	21
1.4.1. МЕТОДЫ ОКРАШИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СЕРЕБРА .....	23
1.4.2.1. ИСТОРИЯ ЧЕРНЕНИЯ СЕРЕБРА.....	23
1.4.2.2. ТЕХНОЛОГИЯ ЧЕРНЕНИЯ СЕРЕБРА .....	24
1.4.3.1. ИСТОРИЯ ОКСИДИРОВАНИЯ СЕРЕБРА.....	26
1.4.3.2. ТЕХНОЛОГИЯ ОКСИДИРОВАНИЯ СЕРЕБРА.....	27
1.4.4. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ .....	28
1.5. АНАЛИЗ СВЯЗИ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ЮХИ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ.....	30
1.6. МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭХД МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.....	31
<b>Выводы по материалу главы</b> .....	33
<b>ГЛАВА II. ФАКТУРЫ И КОНВЕРСИОННЫЕ ПЛЁНКИ В ДИЗАЙНЕ</b> .....	35
2.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАКТУРЫ И ДЕКОРАТИВНЫХ ПЛЁНОК В ПРОШЛОМ.....	36

2.2. ФАКТУРЫ И ДЕКОРАТИВНЫЕ ПЛЁНКИ В ЮВЕЛИРНОМ ИСКУССТВЕ РОССИИ.....	40
<b>Выводы по материалу главы.....</b>	<b>43</b>
<b>ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭХО ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ СЕРЕБРА.....</b>	<b>44</b>
3.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭХФ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ СЕРЕБРА.....	44
3.1.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	44
3.1.2. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЭХФ ИМПУЛЬСНЫМ ТОКОМ.....	48
3.1.3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	49
3.1.4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	56
3.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭХФКП НА ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ СЕРЕБРА.....	60
3.2.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	61
3.2.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	62
3.2.3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	64
<b>Выводы по материалу главы.....</b>	<b>65</b>
<b>ГЛАВА IV. ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЮХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТНЫХ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ФАКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ.....</b>	<b>68</b>
4.1. ДИЗАЙН ЮХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТНЫХ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ФАКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ.....	68
4.2. ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЮХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТНЫХ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ФАКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ.....	74
<b>Выводы по материалу главы.....</b>	<b>78</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>79</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>81</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ.....</b>	<b>95</b>

## ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ИКСИД (ICSID) – международный Совет организаций промышленного дизайна (International Council of Societies of Industrial Design);

ЮХИ – ювелирно-художественные изделия;

ХД – химическое декорирование;

ЭХД – электрохимическое декорирование;

ХДО – химическая декоративная обработка;

ЭХДО – электрохимическая декоративная обработка;

МДО – механическая декоративная обработка;

ХТ – химическое травление;

ЭХТ – электрохимическое травление;

ХО – химическая обработка;

ЭХО – электрохимическая обработка;

УФО (УФ) – ультрафиолетовая обработка;

ФКП – формирование конверсионных покрытий;

ХФКП – химическое формирование конверсионных покрытий;

ЭХФКП – электрохимическое формирование конверсионных покрытий;

ЭХРО – электрохимическая размерная обработка;

ЭХЯ – электрохимическая ячейка;

АВПИ (АВП) – амплитудно-временные параметры импульсов;

ПК – персональный компьютер;

ПО – программное обеспечение;

ЛВМ – технология литья по выплавляемым моделям;

ИТПП – импульса тока положительной полярности;

ИТОП – импульса тока отрицательной полярности;

$t_{\text{имп}}$  – длительность импульса, мкс;

$t_3$  – длительность задержки, мкс;

$t_{\text{паузы}}$  – длительность паузы, мкс;

$I_{\text{имп}}$  – амплитуда импульса, А;

$i_{\text{имп}}$  – плотность тока, А/см<sup>2</sup>;

$\tau$  – продолжительность обработки, мин;

$R_z$  – высота микронеровностей поверхности, мкм;

$R_{z \text{ ср}}$  – среднее значение высоты микронеровностей поверхности, мкм;

$S_{\text{выст}}$  – площадь выступов, мкм<sup>2</sup>;

$S_{\text{впад}}$  – площадь впадин, мкм<sup>2</sup>;

$S_{\text{проф}}$  – площадь профиля поверхности, мкм<sup>2</sup>;

$n_{\text{выст}}$  – количество выступов, шт;

$n_{\text{впад}}$  – количество впадин, шт;

$n_{\text{неровн}}$  – количество неровностей поверхности, шт;

$K_{\text{проф}}$  – коэффициент профильности поверхности, мкм<sup>2</sup>;

ППр – показатель профильности поверхности, мкм<sup>3</sup>;

ПЭФ – показатель эффективности фактурирования поверхности, см<sup>2</sup>/г·А·ч;

$\varphi$  – анодный потенциал;

ЭХП – электрохимическое полирование;

ЭХФ – электрохимическое фактурирование;

$U$  – ускоряющее напряжение, кВ;

$I$  – сила тока, мА;

$\theta$  – брегговский угол дифракции, °;

$L$  – размер кристаллитов (зёрен) плёнки, Å;

$\lambda$  – длина волны в пучке, Å;

$\beta$  – физическое уширение линий;

$b$  – инструментальная ширина пика, °;

ЭХА – электрохимическое анодирование;

$b_{\text{пл}}$  – толщина плёнки, мкм;

ЭХС (ЭХ) – электрохимический съём металла;

$K_{\text{съёма}}$  – коэффициент удельного электрохимического съёма металла, г/см<sup>2</sup>;

$q$  – скважность импульсного тока;

$t_{\text{обр}}$  – температура обработки, °С.

## ВВЕДЕНИЕ

Серебро известно с глубокой древности. Одной из традиционных форм применения серебра всегда являлось изготовление столовых приборов, ювелирно-художественных изделий (ЮХИ) и различной бижутерии. Популярность серебра со временем менялась, но всегда были истинные ценители этого металла и украшений из него. Особенно возрастает популярность на серебро в кризисные годы. Это связано с относительной дешевизной металла, а также разнообразием методов обработки и декорирования его поверхности. Причём у серебра, в сравнении с золотом, бóльший декоративный потенциал, связанный с возможностью формирования на его поверхности конверсионных плёнок, оттеняющих и выделяющих фактуру и форму ЮХИ.

## АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Поиск новых дизайнерских решений при создании современных 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.

## НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

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 аноднообрабатываемых металлов в течение электрохимического 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 состава и микроструктуры сплава.

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

## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

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. Разработаны технологические рекомендации по практическому применению способов ЭХФ и ЭХФКП в производстве художественных изделий.

4. Результаты исследований подтверждены Патентом РФ на способ ЭХФ поверхности серебра и Патентом РФ на способ ЭХА поверхности серебра.

5. 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».

## АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

По материалам диссертации сделаны доклады на:

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

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

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



4. XXI МНК «Современные техника и технологии» (Томск, 2015);
5. XVIII всероссийской научно-практической конференции и смотр-конкурса творческих работ студентов, аспирантов и преподавателей по направлению «Технология художественной обработки материалов» (Кострома, 2015 г.);
6. VIII МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии» (Плёт, 2016);
7. МНТК «Актуальные проблемы науки в технологиях текстильной и легкой промышленности. Лён-2016» (Кострома, 2016);
8. IX МНТК «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии» (Плёт, 2017).
9. V МНТК «Наука и образование в глобальных процессах» (Уфа, 2018).

По результатам диссертации опубликовано 14 работ, в том числе Патент РФ на способ ЭХФ поверхности серебра и Патент РФ на способ ЭХА поверхности серебра. 6 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций.

#### ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА

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

#### СТРУКТУРА И ОБЪЁМ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объём работы – 140 страниц, из них – 80 страниц машинописного текста. Список литературы включает 141 наименование. Объём приложения составляет 46 страниц с 58 иллюстрациями.

# ГЛАВА I. СПОСОБЫ РАСШИРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИЗАЙНА ЮВЕЛИРНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

## 1.1. ДИЗАЙН И ВИЗУАЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ОБЪЕКТОВ

Термин «дизайн» введён в конце XVI века. В Оксфордском словаре издания 1588 года даётся следующее его толкование: «Задуманный человеком план или схема чего-то, что будет реализовано, первый набросок будущего произведения искусства» [1].

Международный Совет организаций промышленного дизайна (ИКСИД) даёт следующее определение дизайна. «Дизайн – творческая деятельность, конечной целью которой является определение качеств изделий, относящихся к их формообразованию. Эти качества связаны не только с внешним видом, но и, главным образом, с конструктивными и функциональными характеристиками изделия, которые превращают его в единое целое» [2]. Дизайн – вид творческой деятельности человека, связанный, во-первых, с проектированием и созданием новых функциональных структур (изделий), во-вторых, с художественно-технической их модернизацией, и, в-третьих, с их внешней гармонизацией. Эти три вида деятельности часто выполняются последовательно по отношению к одному объекту и направлены на обеспечение гармоничного сочетания в нём целого набора факторов, главными из которых являются утилитарность и эстетическая ценность [2].

По мнению авторов [1–5] при проектировании ювелирно-художественных изделий (ЮХИ) художнику-дизайнеру необходимо учитывать комплекс взаимосвязанных, а иногда и взаимоисключающих факторов:

- современные модные тенденции;
- ориентирование проектируемых изделий на определённый сектор потребительского рынка с обязательным учётом его покупательских возможностей и социальных предпочтений;
- эргономические требования к будущему изделию;

– свойства материалов (технологические, органолептические, механические, химические, декоративные и т.д.), из которых будет изготавливаться изделие, их совместимость между собой;

– финансовые и технические возможности предприятия-производителя по приобретению основных и вспомогательных материалов для изготовления проектируемых изделий;

– наличие у предприятия-производителя определённой технологической цепочки, применяемой при изготовлении различных групп ЮХИ; квалифицированных специалистов; необходимого технологического и контрольно-измерительного оборудования, позволяющего реализовывать на практике дизайнерские идеи; возможность появления того или иного вида брака и многое другое.

Все эти факторы в совокупности определяют внешний вид (дизайн) изделия, технологию его формообразования и декорирования, достижимое качество, себестоимость [3–5]. На рис. 1 представлена схема, показывающая тесную взаимосвязь различных этапов создания современного ЮХИ, из которой следует, что любой из этапов оказывает влияние или на дизайн изделия, или технологию его создания, или его конечную стоимость.

В общем виде блок-схема процесса создания ЮХИ авторами [3] представляется в следующем виде (рис. 2).

Как видно из представленной схемы, на каждом этапе дизайнерам, технологам, экономистам приходится работать над созданием изделия в тесной взаимосвязи. После прохождения практически каждого этапа необходимо вносить неизбежные корректировки в результаты предыдущих операций и действий с учётом многовариантности принятия решений [3].

В реалиях ювелирной промышленности России, пожалуй, самыми определяющими качество и внешний вид изделий являются технологический и человеческий факторы. Дизайнер может спроектировать выдающиеся изделие, требующее использования уникальных материалов и технологий. Однако большинство проектов претерпевает значительные изменения при их

промышленном освоении, зачастую приводящие к упрощению внешнего вида ЮХИ. Это происходит из-за невозможности использования оптимальных технологических операций и оборудования на конкретном предприятии, либо из-за значительной их стоимости, либо из-за недоступности по причине низкой квалификации управленческого, технического персонала и нехватки рабочих кадров. Таким образом, взаимное влияние технологии и дизайнерского замысла определяет внешний вид будущего изделия [3].

## 1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕКОРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ

Декор, декоративность (от франц. *decor*, от лат. *decoro* – украшаю). Декор – функциональный род композиции, художественный смысл которой состоит во взаимодействии с окружающей средой – пространством, объёмом, массой, плоскостью, форматом, качеством декорируемой поверхности – её тоном, цветом, текстурой, фактурой. Декор, расположенный на объёмной форме, необходимо рассматривать в движении. Цвет и фактура декорируемой поверхности означают, прежде всего, ценность поверхности как таковой. Художественный смысл декора заключается во взаимодействии изобразительной формы и среды. Поэтому иллюзорные изображения, зрительно «прорывающие» плоскость, могут быть также декоративны, как и «стелющиеся по поверхности». Всё зависит от замысла художника, соответствия идеи композиционному решению. То же относится и к проблеме выявления естественных свойств материала декорируемой поверхности [3].

Поверхность, наряду с формой и цветом, несёт одну из основных смысловых нагрузок в восприятии ювелирно-художественных изделий человеком. Поэтому в последнее время дизайнеры активно используют фактурирование поверхностей изделий, что позволяет улучшить их визуальное восприятие.

Фактура и текстура представляют собой активные средства художественной выразительности. Эффект фактуры и текстуры используется для передачи естественных качеств материала, раскрытия его эстетического многообразия.

Воздействие на наблюдателя выразительной текстуры и фактуры материала может быть сильнее воздействия формы изделия [6, 7].

Процессы декорирования поверхности материалов, используемые при изготовлении ЮХИ, весьма разнообразны. Кроме фактурирования и текстурирования к ним можно отнести нанесение и формирование различных покрытий; гравирование и инкрустацию; шлифование, полирование и глянцеование. При этом осуществлять эти процессы возможно различными способами (рис. 3).

Технологии декорирования поверхности металлов и сплавов очень разнообразны и более популярны в ювелирной промышленности. Кроме механической инструментальной обработки возможна термическая, химическая, электрохимическая и многие другие виды воздействия на поверхность с целью придания эксклюзивных высокодекоративных фактур [8–10].

Под *декоративной выразительностью* подразумевается сочетание различных приёмов обработки декорируемой поверхности, которая выделяет и подчёркивает художественную ценность того или иного декора через специальные выразительные средства: освещение, тональность, колорит, а также изобразительный акцент и различные контрасты.

Рассмотрим подробнее фактурирование и формирование конверсионных покрытий.

### 1.3. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИЁМЫ ФАКТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЮХИ

По мнению авторов [7, 8] фактурная поверхность может играть чрезвычайно важную роль в арт-дизайне. Проектировщик может создать ощущение натурализма используемой фактурой, или добавить интересный декоративный эффект и тем самым усилить визуальное воздействие на зрителя.

В ряде исследований [11–13] предложена классификация неровностей поверхности художественных изделий, объединяющая эстетическую и функциональную характеристики неровностей (рис. 4).

Эстетическая и функциональная характеристики взаимосвязаны, их совместное изучение способствует выявлению целостной картины поверхности изделия и принятию дизайнерами, конструкторами и технологами рациональных решений проектных, производственных и эксплуатационных задач [11]. Обеим характеристикам неровностей – эстетической и функциональной – присущи определённые признаки, одни из которых могут быть измерены, другие оцениваются чаще всего визуально. К последним признакам относятся блеск, рисунок и рельефность.

По степени рельефности авторами [11, 12] выделены две группы фактур материалов – ровная и рельефная, а в каждой группе две подгруппы – гладкая и шероховатая.

Характерное свойство фактуры – блеск, обусловленный отражением света от поверхности изделия. Восприятие блеска определяется количественным соотношением зеркального и диффузно отражённого света и зависит от размеров и направления неровностей поверхности, материала и условий наблюдения. Ещё один характерный признак фактуры – рисунок распределения неровностей на поверхности изделий [3]. По виду рисунка выделено четыре группы фактур (рис. 5). По способам формирования фактурной поверхности условно можно выделить три группы (рис. 6).

### 1.3.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ДЕКОРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Известные способы механического фактурирования поверхности металлов [14] подвергаются новым всесторонним исследованиям, и предлагаются интересные дизайн-решения с их использованием [15]. На рис. 7. показаны способы механического фактурирования металлических поверхностей при изготовлении ЮХИ.

*Матирование* – очень распространённый современный метод фактурирования поверхности. Используется как окончательный вид декоративной обработки. Сущность процесса заключается в обработке поверхности связанным абразивом, к примеру, кругами или щётками. Существует большое количество

научных работ, где подробно описана технология и используемое оборудование [8, 14, 16–22].

К основным недостаткам данного метода обработки можно отнести:

- фактура поверхности чаще всего имеет регулярный характер, что требует использования дополнительной обработки для получения необычных эффектов;
- качество получаемой поверхности зависит от профессиональных навыков мастера и случайных факторов (соскальзывание, промахи и т.п.);
- низкая скорость процесса, зависящая от сложности обрабатываемого изделия, а также «человеческого» фактора. При использовании станков и другого специального оборудования скорость возрастает, но их применение имеет ограничения в обработке;
- невозможность обработки труднодоступных мест при использовании станков и сложность обработки – при использовании бормашин или вручную;
- высокий уровень отходов драгоценных металлов и получение их в затратном для аффинажа виде, что негативно в условиях промышленного производства.

*Чеканка* – вид художественной обработки металлов специальными пуансонами (чеканами) с целью придания обрабатываемой заготовке рельефного изображения. Сущность процесса в том, что в результате оказанного на чекан давления (ударом молотка) на металле остаётся след по форме рабочей части чекана. Многократными ударами различных чеканов выбивают заданный рисунок [23]. В итоге каждое изделие ручной работы эксклюзивно.

В работах [14, 16, 17, 23–30] описаны разнообразные технологические приёмы, дающие различный художественный эффект. Декоративно-фактурная чеканка получила особое распространение в наши дни. Однако и в прошлом много примеров фактурной чеканки [31, 32]. Приведённые в работах [33–38] виды чеканных работ дают богатые возможности изготовления различных декоративных изделий. Для выполнения чеканных работ используют различные приспособления для фиксации изделия и других операций [39, 40].

Недостатки ручной чеканки:

- сложность процесса, требующая от исполнителя большого мастерства, выдержки и сосредоточенности;
- низкая скорость процесса, зависящая от сложности обрабатываемого изделия;
- высокая трудоёмкость обработки, особенно на поверхностях больших площадей, сложнопрофильных и тонкостенных изделий.

В связи со сложностью процесса ручная гравировка используется в единичном или мало серийном производстве, а также при изготовлении мастер-моделей изделий, для запуска их в широкое производство.

*Прокатка* осуществляется посредством создания избыточного давления вращающимися валками или прессом. Частным случаем прокатки является техника *станочной текстуры*. Отожжённый металл прокатывается с неким материалом, который оставляет свой отпечаток на поверхности. Это может быть металлическая сетка, абразивная шкурка, ткань, фактурная бумага и даже волосы и перья и т.д. Иногда для получения декорированной поверхности на валки прокатных вальцов наносится гравированный рисунок [24].

Метод не требует применения многочисленного оборудования, подходит для фактурирования таких металлов, как серебро и золото. Платина и белое золото – слишком жёсткие, чтобы получить хороший узор [20].

Многообразие текстур и узоров, а также методика их создания подробно описана в следующих научных работах [14, 17–19, 24, 27, 39, 40].

К недостаткам можно отнести:

- для обработки подходит только листовая металл;
- имеется определённый уровень отходов драгоценных металлов, так как данный вид декорирования применяется как заготовительная операция для последующей ручной или машинной обработки.

*Алмазная грань* – вид обработки металла, когда при помощи специальных алмазных резцов металл надсекается, что даёт возможность сделать на ювелирном изделии рельефный рисунок. Отражение падающего света от поверхности рисунка создают эффект сверкания, схожего с алмазной гранью [41–43].



Высокое качество обработки поверхности исключает необходимость последующего полирования. Станок отличается высокой производительностью; он эффективен в условиях серийного и массового производства [42].

Алмазная грань используется уже достаточно давно и пользуется большой популярностью на отечественных предприятиях.

Недостатками являются:

- специфический внешний вид (наличие мелких светоотражающих граней, создающих эффект переливчатости);
- ухудшение отражательной способности с течением времени, которую очень трудно восстановить.

*Пескоструйная обработка* – один из широко распространённых методов абразивной обработки свободным абразивом [24, 39, 44]. Обработка поверхности деталей производится струёй песка (или другого материала), направленной с большой скоростью на обрабатываемую поверхность. После обработки поверхность получается шероховатой, с множеством наклёпов и вмятин, величина которых зависит от материала поверхности, давления воздуха, угла обработки и расстояния сопла от поверхности.

Пескоструйная обработка может осуществляться вручную пистолетом или в специальных установках, которые отличаются конструктивным исполнением, производительностью, габаритами [45–47].

Недостатки данного метода:

- скорость процесса зависит от сложности обрабатываемого изделия;
- возможность создания только мелкой фактуры поверхности, напоминающую больше матовость;
- невозможность или высокая трудоёмкость обработки сложнопрофильных и тонкостенных изделий;
- фактура с течением времени нарушается и трудно восстанавливается [48].

Существующие методы обработки не лишены ряда недостатков и в условиях производства вызывают определённые трудности. Ювелирные изделия в

основном на предприятиях обрабатываются вручную или с помощью специализированного оборудования [42, 43, 47–50].

На отечественных предприятиях в основном, за чрезвычайно редким исключением, для фактурирования поверхности используются:

- ручное формирование фактур штихелями или другим механическим инструментом;
- машины и аппараты для получения алмазной грани;
- пескоструйные аппараты.

Ручное фактурирование достаточно трудоёмко и требует правильного подбора инструмента, а также хороших профессиональных навыков мастера. Кроме того, к существенным недостаткам ручного способа обработки относится, во-первых, высокая трудоёмкость и невозможность обработки, особенно, на поверхностях больших площадей, сложнопрофильных и тонкостенных изделий, требующая использования специального инструмента; а во-вторых, высокий уровень отходов драгоценных металлов и получение их в виде, затратном для аффинажа.

Альтернативой им может служить химическое и электрохимическое декорирование (ХД и ЭХД). Применение ЭХД в настоящее время чрезвычайно актуально из-за постоянно возрастающих требований к качеству финишной поверхности и в связи с благоприятным влиянием анодной обработки на её состояние [51].

### 1.3.2. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ХД И ЭХД ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Рост производительности и эффективности современного производства неуклонно требует увеличения скорости обработки и сокращения безвозвратных потерь драгоценных металлов, вследствие чего ведётся поиск альтернативы абразивному инструменту [52–57].

Ниже представлена блок-схема, демонстрирующая возможности химической и электрохимической декоративной обработки (ХДО и ЭХДО)

поверхности различных металлов и сплавов, используемых при изготовлении ЮХИ (рис. 8).

Основными преимуществами ХДО и ЭХДО по сравнению с механической декоративной обработкой (МДО) являются [58]:

- возможность обработки изделий любой конфигурации, включая сложнопрофильные и тонкостенные;
- возможность обработки любых металлов и сплавов, независимо от их физико-механических свойств;
- отсутствие расходуемого дорогостоящего инструмента;
- продолжительность процесса зависит только от режима обработки;
- возможность обработки сразу большого количества изделий, что значительно ускоряет процесс обработки;
- качество обработки не зависит от профессиональных навыков исполнителя, только от соблюдения режима обработки;
- в процессе растворения удаляется некондиционный слой и формируется новая бездефектная поверхность;
- меньший расход металла и возможности простой утилизации шламов практически без потерь, что важно при обработке драгоценных металлов и сплавов [58].

Основные недостатки процесса:

- необходимость использования вытяжной вентиляции для отвода летучих продуктов реакции из зоны обработки;
- процесс реализуется в агрессивной среде (растворы кислот и щелочей) при высоких температурах, что вредно для обслуживающего персонала и требует повышенных мер защиты;
- частая смена дорогостоящих растворов, требующих последующей утилизации.

*Химическое травление* (ХТ) позволяет подбором составов рабочих растворов и режимов обработки вести процесс растворения в широких пределах, создавая при этом на поверхности фактуры различного профиля и внешнего вида.

Сущность процесса – снятие определённого слоя материала с поверхности химическим растворением. Необрабатываемая часть поверхности защищается защитными покрытиями. В работах [59, 60] собраны составы растворов и режимы для ХТ металлов и сплавов. На процесс и конечный результат обработки, по мнению авторов [61–64], сильное влияние оказывают:

- предварительная механическая и термическая обработка в процессе изготовления изделия, которая определяет размеры и форму зёрен, а также состояние межзёренных границ обрабатываемой поверхности металла;

- обработка непосредственно перед процессом травления, с целью удаления различных загрязнений с поверхности изделия.

ХТ имеет определённые недостатки [59, 63, 65, 66]:

- необходим подбор состава электролита для каждого обрабатываемого металла или сплава;

- рисунок получаемой фактуры сильно зависит от микроструктуры сплава;

- средняя и крупная фактура получается травлением незащищённых специально наносимой маской участков поверхности, что затрудняет формирование фактур на сложнопрофилированных и тонкостенных поверхностях;

- трудно регулировать скорость обработки и величину съёма металла.

*Электрохимическое травление (ЭХТ).* Для проведения процесса необходимо оборудование, позволяющее регистрировать параметры обработки. Процесс производят в анодном режиме в растворах электролита. Катод из нержавеющей стали или титана в виде пластин или сеток.

Главные преимущества ЭХТ перед ХТ – возможность контроля процесса растворения обрабатываемого изделия и возможность обработки в электролитах одного состава различных материалов. К недостаткам можно отнести ограничение площади обрабатываемой поверхности (количества обрабатываемых изделий) мощностью источника питания и размерами ванны.

Существует несколько составов электролитов и режимов ХДО поверхности изделий из сплавов серебра [60, 67–74]. При ЭХФ обработка проводится в электролитах следующих составов:

- 15 % водный раствор серной кислоты  $H_2SO_4$ ;
- 10 % водный раствор соляной кислоты  $HCl$ ;
- тиокарбамид  $H_2NC(S)NH_2$  – 100 г/л, серная кислота  $H_2SO_4$  – 30 мл/л, вода  $H_2O$  – 1 л;
- 10 % водный раствор азотной кислоты  $HNO_3$ .

Известные способы ЭХФ поверхности серебра 925 пробы с лигатурой меди [64] имеют определённые недостатки:

- агрессивная среда обработки, которая приводит к существенному воздействию на окружающую среду и опасно для обслуживающего персонала;
- не ясны размеры неровностей фактуры, что затрудняет практическую реализацию способа.

#### 1.4. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИЁМЫ НАНЕСЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЮХИ

Покрытие – это финишная обработка поверхности с целью нанесения другого материала или формирования плёнки для придания обрабатываемой поверхности определённых физических, химических и декоративных свойств. Почти во всех изделиях, изготовленных из различных металлов и сплавов, использованы различные способы финишной обработки поверхности. Покрытия придают поверхности изделия повышенную износостойчивость, коррозионную стойкость, бóльшую твёрдость или привлекательный внешний вид [75–79].

На основе обобщения материалов работ [76, 77] ниже представлена классификация покрытий поверхности различных металлов и сплавов, используемых при изготовлении ЮХИ по функциональным свойствам (рис. 1.9), физико-химической природе (рис. 10) и способам нанесения (рис. 11).

В зависимости от функциональных свойств покрытия подразделяются на декоративные, защитные и специальные. Декоративные покрытия, как правило, обладают определёнными защитными и декоративными свойствами.

По своей природе покровные покрытия делятся на неорганические, органические и комбинированные. Неорганические покрытия наиболее распространены в ювелирной промышленности. Они в свою очередь подразделяются на металлические и неметаллические.

Гальваническое нанесение металлов и сплавов, в том числе и драгоценных, различных цветов и оттенков широко используется в ювелирной промышленности [78]. Наносятся как чистые металлы, так и сплавы серебра, золота, родия, палладия, рутения.

Подгруппу неметаллических покрытий представляют конверсионные и так называемые нанокерамические, силикатные и синтетические покрытия. К конверсионным относят покрытия, которые не наносятся извне на поверхность деталей, а формируют в результате конверсии (превращений) при взаимодействии металла с рабочим раствором, так что ионы металла входят в структуру покрытия [77]. Это, прежде всего, оксидные и солевые, которые образуются только на металлах и сплавах в процессе их ХО или ЭХО в рабочих растворах.

Нанокерамика – керамический наноструктурный материал (англ. *nanoceramics*) – композитный материал на основе оксидов, карбидов, нитридов, боридов и других неорганических соединений, состоящий из кристаллитов (зёрен) со средним размером до 100 нм [80].

Силикатные (стеклоэмалевые) покрытия – легкоплавкие стёкла, которые в виде тонкого слоя наплавляют на поверхность изделия. По своим оптическим свойствам бывают прозрачные (транспарантные), непрозрачные (глушёные или опаловые) и опалицирующие – полупрозрачные [81].

Синтетические (эпоксидные) покрытия – прозрачные двухкомпонентные и светоотверждаемые смолы, застывающие при комнатной температуре (или при незначительном нагреве до 50–60°C) или УФ излучении соответственно. Смешанные с яркими красителями, они дают богатую цветовую гамму [82].

В последнее время в декоративной обработке ЮХИ растёт популярность конверсионных покрытий. Рассмотрим основные виды и методы их формирования.

#### 1.4.1. МЕТОДЫ ОКРАШИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СЕРЕБРА

Чернение серебра (чернь) – древний широко распространённый и почти единственный применяемый на практике до XX века способ окрашивания поверхности металлических изделий, как правило, серебряных или посеребрённых. Окрашиванию в чёрный цвет подвергается не вся поверхность, а только некоторые её части в форме различных фигур, рисунков или орнаментов (рис. 12). Чернение серебра получило большую популярность в XVII веке в Великом Устюге и на протяжении следующих веков достигло расцвета. На серебряных изделиях изображались картины охоты, города, растительные и геометрические орнаменты, географические карты. Мастерство постоянно совершенствовалось, сегодня можно встретить бесценные экземпляры, являющиеся настоящими произведениями искусства и ценящиеся очень дорого [83].

Оксидирование – сравнительно молодой способ окрашивания, позволяющий менять привычный цвет серебра на фиолетовый, синий и чёрный. Метод может применяться как для окрашивания всего изделия (рис. 13), так и для подчёркивания орнамента или фактуры поверхности, придания эффекта состаренного серебра. Метод получил распространение в XX веке и популярен в настоящее время [84].

##### 1.4.2.1. ИСТОРИЯ ЧЕРНЕНИЯ СЕРЕБРА

В истории художественной обработки металла в России искусство чернения занимает одно из ведущих мест. В мировой истории чернение по серебру известно ещё с античности. Изделия с чернью, обнаруженные на территории нашей страны при раскопках курганов Северного Причерноморья, относятся к V–III векам до н. э. Изображения с чернью украшали бытовые предметы, оружие, ювелирные изделия. Уже со времён Киевской Руси IX–X века черневое серебро стало изюминкой русского ювелирного искусства. Наибольшего расцвета черневое искусство

достигло в XVIII веке [83]. XIX век стал «серебряным веком» ювелиров России (рис. 14). В это время соединились высочайшее индивидуальное мастерство художника-ювелира и мастера-исполнителя с производством, основанном на использовании последних достижений техники и технологий.

Великий Устюг – один из крупнейших российских центров чернения. На протяжении веков устюжские мастера тщательно оберегали и развивали местные традиции, что обусловило яркое своеобразие этого ювелирного искусства. Устюжская чернь завоевала славу лучшей в России, она отличается особой прочностью и большой цветовой гаммой – от пепельно-серого до насыщенно-чёрного. Характерная особенность черневого серебра устюжских мастеров – очень тёмный рисунок на светлом полированном серебряном или золочёном фоне.

В прежние времена темами гравюр становились сюжетные композиции популярных в то время аллегорий, изображались многофигурные композиции, архитектурные пейзажи Великого Устюга, Архангельска, Вологды, Санкт-Петербурга.

Наиболее распространённый пейзаж – набережная Великого Устюга с многочисленными церквями, колокольнями, купеческими особняками (рис. 14 з). Орнамент выполняется в виде стилизованных растительных мотивов, цветочных композиций. Часто в растительные орнаменты добавлены изображения зверей и птиц [85].

#### 1.4.2.2. ТЕХНОЛОГИЯ ЧЕРНЕНИЯ СЕРЕБРА

Чёрный сплав серебра, меди, свинца и серы вплавляют в основной металл для достижения цветового контраста. Орнамент и рисунки под чернь формируются гравированием глубиной 0,2...0,3 мм с повышенной шероховатостью выгравированной поверхности, так как это облегчает процесс нанесения черни. Необходимый рисунок может быть получен также чеканкой или травлением.

Существует много рецептов черни, отличающихся по составу и цвету, начиная от серебристо-серых до чёрно-бархатных тонов. Обязательными



компонентами этого сплава служат серебро, медь, свинец и сера. Цвет и блеск черни зависят от состава и от соотношения компонентов [86]. Существует два способа приготовления черни.

В первом случае в графитовом тигле сплавляют серебро с медью, добавляют свинец и буру. В очищенный от шлака расплав вводят серу и другие компоненты. Чистый перемешанный расплав выливают в изложницу из чугуна или стали. Отвердевший сплав измельчают и повторяют плавку, добавляя буру и серу. Получение качественной черни требует нескольких плавов. Затем чернь измельчается и просеивается через сито.

По второму способу вначале приготавливают сульфиды металлов ( $Ag_2S$ ,  $CuS$ ,  $PbS$ ,  $SnS$ ). Каждый металл в виде стружки помещают с серой в отдельном тигле в муфельную печь и нагревают в течение двух – трёх часов. Смешав металлы, в полученную смесь вводят хлористый аммоний. Сплав периодически помешивают. Затем расплавленный состав выливают в разогретую изложницу и выдерживают там до полного охлаждения. Полученную смесь измельчают до пылевидного состояния [86].

Перед наложением черни поверхность изделия тщательно шлифуют: на ней не должно оставаться случайных царапин и рисок, в которые могла бы попасть чернь и исказить рисунок. Чернь накладывают сухим и мокрым способами.

При сухом способе поверхность, подлежащую чернению, смачивают водным раствором поташа  $K_2CO_3$ , буры и поваренной соли  $NaCl$  и на неё насыпают тонко измельчённый и просеянный через сито порошок черни; затем изделие осторожно просушивают. Чернь, случайно попавшую на места, не подлежащие чернению, удаляют. В таком виде изделие обжигают в муфельной печи при температуре 300...400°C.

При мокром способе сырую тонкопорошковую смесь черни, разведённую на хлористоаммониевом растворе до сметанообразной кашицы, кисточкой или шпателем густо наносят в углубления и слегка утрамбовывают шпателем. Углубления должны быть заполнены до краёв; при тонких гравированных рисунках всю поверхность следует покрыть черневой смесью. Затем излишки

влаги из черни удаляют фильтровальной бумагой, изделие просушивают и обжигают [87].

При накаливании чернь размягчается, расплавляется, заполняет углубления и покрывает предмет. Продолжительность обжига контролируется визуально: как только чернь покрывает предмет, его вынимают из печи. Если расплавленная чернь неравномерно заполнила углубления, её добавляют на недостающие места и снова нагревают.

Излишки черни, заливающие после оплавления значительную часть поверхности изделия, выходя за края рисунка, аккуратно удаляют шабровкой или опиливанием напильником до появления рисунка. Затем изделие шлифуют до окончательного проявления всего рисунка. Часто фон изделия дополнительно обрабатывают резцом. Затем изделие полируют, в результате чернь приобретает характерный блеск и оттенок [87].

#### 1.4.3.1. ИСТОРИЯ ОКСИДИРОВАНИЯ СЕРЕБРА

Исстари любое художественное изделие из металла декорировалось защитной плёнкой с учётом его назначения и материала, из которого оно выполнено. Ранее плёнку наносили с целью защиты от коррозии на изделия из чёрных и цветных металлов: чугун, сталь, медь и его сплавы. Как декоративная обработка оксидирование начинает использоваться в оружейном производстве. Уже в XII веке в древней Руси кузнецы изготавливали холодное оружие и доспехи из стали, украшая поверхность различными надписями и рисунками. Оксидирование стали (воронение) в сочетании с гравированием и инкрустацией не только защищает металл от коррозии, но и придаёт оружию красивый внешний вид. Позже воронению подвергались стволы ружей и пистолетов. Декорировались и рукояти оружия цветными и драгоценными металлами, эмалью и чернью (рис. 15) [84].

Как эквивалент чернению технология оксидирования серебра начинает развиваться с начала XIX века. Чернение серебряных украшений трудоёмкий и сложный процесс, который научились заменять простым и быстрым

оксидированием. Мастера и умельцы украшали различными узорами, рисунками, орнаментами предметы обихода: посуду, оружие, ювелирные украшения с последующим оксидированием их поверхности. Привлекательной чертой такого серебра является то, что при полировке изделия выпуклые части становятся блестящими, тогда как вогнутые поверхности остаются тёмными, создавая эффект неоднородности (рис. 16 а) [11].

Постоянно совершенствующаяся технология, развиваясь сначала только в частных лавках, перешла затем на строящиеся фабрики и заводы, которые массово изготавливали подобного рода изделия. Большим спросом на Руси всегда пользовались чернёные серебряные изделия, но из-за дороговизны позволить их могли себе не все. Это было одной из ключевых причин роста популярности оксидированного серебра.

В настоящее время чаще всего из оксидированного серебра выполняют небольшие ювелирные изделия: серьги, бусинки, цепочки, подвески и браслеты. Большую популярность получило оксидирование серебра при изготовлении изделий христианской тематики: нательные кресты, иконки, кольца-обереги и т.д. (рис. 16 б) [84].

#### 1.4.3.2. ТЕХНОЛОГИЯ ОКСИДИРОВАНИЯ СЕРЕБРА

Оксидирование – один из процессов защитно-декоративной обработки серебра, заключающийся в формировании на поверхности серебряных изделий стойкой и равномерной плёнки сульфида.

Существует несколько растворов на основе полисульфида калия (серной печени), отличающихся по составу и позволяющих получать цветные плёнки от светло-серого до глубоко чёрного и коричневого тонов. Основными компонентами состава являются сера и поташ. Иногда поташ заменяют кальцинированной содой  $K_2CO_3$  для получения более тёмных и глубоких тонов. Для повышения устойчивости цвета покрытия вводят несколько капель аммиака  $NH_3$ . Цвет и оттенок покрытия зависят от состава и от соотношения компонентов. Для приготовления серной печени сплавляют серу и поташ в соотношении

объёмов 1:2. Сначала в стальном тигле расплавляют серу, затем в расплав вводят сухой поташ, помешивая стеклянной или металлической палочкой до полного расплавления. Полученный сплав охлаждается до отверждения и разбивается на куски [88].

Перед оксидированием поверхность изделия обезжиривают для повышения стойкости покрытия. Существует два метода оксидирования: химический и электрохимический. При химическом оксидировании изделие погружают в 3...5% водный раствор серной печени, нагретый до температуры 60...70°C. При электрохимическом оксидировании используется тот же раствор, но вдвое разбавленный водой. Анодом служат серебряные изделия, катодом – платиновая проволока. Оксидирование проводят в электролите при температуре 18...22°C и анодной плотности тока 0,01...0,02 А/дм<sup>2</sup>.

Интенсивность окраски зависит от толщины слоя, образовавшегося на поверхности, что в свою очередь определяется продолжительностью процесса обработки. После получения необходимого цвета изделие извлекают из ванны и промывают последовательно в горячей и холодной воде.

Цвет покрытия также можно изменить в процессе последующей полировки. При полировании осветляются выпуклые части изделия, тогда как более глубокие участки рельефной поверхности остаются тёмными. Изделие приобретает неоднородный цвет, более тёмная окраска увеличивает высоту рельефа, контрастируя с выступающими деталями [14].

#### 1.4.4. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Сущность процесса заключается в формировании на поверхности изделия химически стойкой защитной плёнки, позволяющей повысить его декоративные качества и коррозионную стойкость. Формирование конверсионных покрытий (ФКП) производится двумя способами: химическим (ХФКП) и электрохимическим (ЭХФКП). По мнению авторов [89] различают цветное оксидирование и бесцветное – пассивирование. В процессе цветного оксидирования изделиям придаётся окраска с различными оттенками: синего,

тёмного (чёрного), серого, светло-серого, тёмно-коричневого, кирпичного, жёлтого и т. д.

*Химический метод* – наиболее распространённый способ цветного оксидирования. Оксидирование ведут, помещая изделия в раствор или нанеся раствор на заданные участки изделия. Основные черты данного метода обработки:

- основной компонент всех растворов для химического оксидирования серебра, меди и их сплавов – серная печень (сера и поташ в соотношении 1:2);
- продолжительность обработки определяется необходимостью получения плёнки заданного цвета;
- характеристики конечной плёнки в значительной степени зависят от опыта и мастерства исполнителя [89].

Оксидированные изделия после промывки в воде и просушки очищают с помощью фетра, а для придания плёнкам красивого блеска ещё и крацуют мягкими латунными щётками.

К недостаткам ХФКП можно отнести:

- формируются плёнки в основном различных тонов серого и чёрного цвета;
- максимальная толщина плёнок 1...2 мкм [90];
- срок службы раствора для оксидирования не более 4...5 часов.

*Электрохимический метод* основан на электролизе. В качестве электролитов применяют водные растворы солей, кислот, щелочей различной концентрации [90]. Существует несколько способов цветного оксидирования серебра [88, 91–92].

ЭХФКП на поверхности украшений становится всё более распространённым в ювелирном производстве, так как по сравнению с ХФКП он производительнее и дешевле. К тому же позволяет формировать плёнки толщиной до 6...8 мкм, что в свою очередь увеличивает срок эксплуатации покрытия. К основному недостатку ЭХФКП можно отнести необходимость подогрева рабочего раствора до высоких температур, что ухудшает условия труда рабочего персонала за счёт увеличения вредных испарений компонентов раствора. Кроме того, сформированная в процессе ЭХФКП конверсионная плёнка

характеризуется низкой устойчивостью к истиранию в условиях эксплуатации. Также промышленное использование ЭХФКП поверхности серебра и его сплавов сдерживается использованием опасных для здоровья и экологически вредных электролитов.

### 1.5. АНАЛИЗ СВЯЗИ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ЮХИ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Существует «золотое правило технолога»: каждая технологическая операция, каждый технологический процесс или приём обработки материалов и формообразования изделий имеет свои достоинства и недостатки и свою, определённую, наиболее технически целесообразную и экономически выгодную область применения [3]. Для изготовления каждого изделия определённой формы и фактуры поверхности существует своя, наиболее целесообразная, технически и экономически выгодная последовательность технологических операций. Характеристика поверхности ювелирных изделий и наиболее целесообразные технологические операции их формообразования и получения представлены в таблице 1.1 [3].

Таблица 1.1

Характеристика поверхности ювелирных изделий  
и наиболее целесообразные технологические операции её получения

Характеристика поверхности	Примеры	Серийность изготовления	Целесообразные технологические операции получения
Блестящая гладкая (глянцевая) простая	Обручальные кольца	Крупносерийная	Любые виды галтовки
Блестящая гладкая (глянцевая) сложнопрофильная	Изделия широкой номенклатуры	Любая	Электрохимическое и химическое (ЭиХ) полирование
Слабофактурированная матовая			Пескоструйная обработка, сатинирование, ЭиХ травление
Среднефактурированная матовая			ЭиХ фактурирование и травление

Сильнофактурированная, в том числе с рисунком, матовая	Изделия широкой номенклатуры	Любая	Механическое, ЭиХ фактурирование с последующим ЭиХ травлением
Слабофактурированная блестящая			ЭиХ травление с последующим ЭиХ полированием
Среднефактурированная блестящая		Крупносерийная	Механическое, ЭиХ фактурирование с последующим механическим, ЭиХ полированием или галтованием
Сильнофактурированная (в том числе с рисунком) блестящая			Механическое, ЭиХ фактурирование с последующим механическим, ЭиХ полированием
Среднефактурированная блестящая			
Сильнофактурированная (в том числе с рисунком) блестящая		Единое и мелкосерийное	Механическое, ЭиХ фактурирование с последующим механическим, ЭиХ полированием

## 1.6. МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭХД МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Так как качество поверхности после ЭХД сложнопрофилированных и тонкостенных поверхностей из металлов и сплавов, используемых в ювелирной промышленности, не удовлетворяет необходимым требованиям, то многие отечественные и зарубежные исследователи искали методы совершенствования и процесса, и оборудования для его реализации [93–102].

Одним из направлений совершенствования процесса ЭХД является использование импульсных токов, как униполярных, так и биполярных. В [51, 98] впервые показаны технологические преимущества использования импульсов тока по сравнению с постоянным и исследованы поляризационные явления в условиях электрохимической обработки поверхности на малых контролируемых зазорах с использованием коротких униполярных импульсов тока прямоугольной формы. Одним из эффектов при обработке в таких условиях является формирования заданного микрорельефа анодной поверхности.

В научных работах [3, 48, 51, 58, 61, 95, 96, 103] подробно изучаются закономерности, сопровождающие прохождение одиночной и непрерывной последовательностей коротких импульсов тока через электрохимическую ванну и

границу раздела «анод–электролит». Импульсные биполярные токи прямоугольной формы регулируемых амплитудно-временных параметров (АВП), обладают рядом преимуществ перед постоянным током [51, 96, 104]:

- возможно получение результирующей поверхности с различной высотой микронеровностей поверхности и отражающей способностью только при изменении АВП импульсов тока;
- использование микросекундных импульсов токов определённых АВП позволяет проводить обработку в электролитах при комнатной температуре, что улучшает условия труда за счёт уменьшения вредных испарений кислот;
- повышение эффективности обработки за счёт снижения энергозатрат и её продолжительности при получении финишной поверхности с заданными свойствами и ряд других.

Промышленное использование ЭХД поверхности серебра и его сплавов сдерживается тем, что традиционно эти металлы обрабатываются в опасных для здоровья и экологически вредных электролитах. Известны попытки применения безопасных электролитов, например тиосульфатного [68], аммиачно-нитратного [74]. Наиболее систематические исследования процессов обработки поверхности серебра и его сплавов проводились в [48, 61, 62, 64, 68, 74, 95, 105]. Существует ряд патентов на способы обработки и электролиты [70–73]. Оптимальным электролитом, по мнению авторов [48, 61, 62, 64, 68, 95, 105], является тиосульфатный, в котором получены наиболее воспроизводимые результаты. Широкое промышленное внедрение этих способов обработки требует дополнительных исследований их технологических особенностей. Их основные недостатки:

- невысокая воспроизводимость результатов;
- обработка производится при высоких температурах рабочего раствора, вследствие чего происходит относительно высокая скорость разрушения основного компонента электролита – тиосульфата натрия.



Таким образом, для промышленного внедрения процесса ЭХД импульсным током необходима разработка воспроизводимого в условиях ювелирной промышленности метода декоративной обработки серебра и его сплавов.

### ВЫВОДЫ ПО МАТЕРИАЛУ ГЛАВЫ

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.

На основании проведённого анализа литературных источников и сделанных выводов сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

**Целью работы** является расширение возможностей дизайна ЮХИ на основе разработки методов декорирования поверхности серебра 925 пробы с использованием электрохимической обработки импульсными токами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить 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. Определить историческую периодизацию развития дизайна ЮХИ и роль в них фактур с покрытиями.
4. Выявить выработанные с течением истории методы и приёмы декорирования, применяемые в ювелирном искусстве и промышленном дизайне.
5. Исследовать возможность формирования декоративных свойств поверхности серебра при электрохимической обработке в растворе тиосульфата натрия с использованием импульсных токов.
6. Исследовать влияние условий проведения процесса электрохимического декорирования на ряд свойств формируемой поверхности сплавов серебра.
7. Определить эффективную технологию создания цветных декоративных покрытий и фактурных поверхностей и разработать технологические рекомендации по её применению в производстве ЮХИ.
8. Разработать патентопригодный способ формирования высокодекоративных мелко-, средне- и крупноразмерных фактур.
9. Разработать патентопригодный способ формирования конверсионных покрытий с заданными колористическими и микрогеометрическими свойствами.
10. Разработать технологические рекомендации, необходимое оборудование и технологическую оснастку для реализации разработанных способов.

## ГЛАВА II. ФАКТУРЫ И КОНВЕРСИОННЫЕ ПЛЁНКИ В ДИЗАЙНЕ

Фактура поверхности материалов, из которых изготавливаются изделия предметной среды – одно из важных средств выразительности, которым нередко пользуются современные дизайнеры, желая достичь гармоничности и эстетической выразительности своего произведения. Термин «фактура» встречается во многих областях искусства, куда он, вероятно, пришёл через ремесла, поскольку в переводе с латинского «*factura*» – обработка, строение, производство [106].

В пространственных формах искусства, непосредственно связанных с предметной средой, окружающей человека, фактура – это характер поверхности художественного произведения. Говоря о фактуре, подразумевают характер неровностей поверхности объекта или материала: их величину, форму и особенности расположения. Здесь оперируют такими терминами как макро- и микроструктура, макро- и микроискажения, макро- и микрорельеф, степень рельефности, рисунок. Отмечают также, что фактура определяет поверхностное светоотражение – светотеневую неравномерность поверхности и её блеск [107, 108]. Применительно для объектов предметной среды на основе литературных формулировок таких авторов как Айрапетов Д.П., Байер В.Е., Кринский В.Ф., Степанов А.В., Нестеренко О.И. [107–112], можно сформулировать следующее определение. Фактура – это характеристика строения поверхности материала или объекта, отражающая форму и взаимное расположение неровностей и определяющая особенности светоотражения поверхности.

Не менее важным средством выразительности, также используемым дизайнерами, являются декоративные покрытия. Покрытие представляет собой плёнку – тонкий слой чего-либо, покрывающий какую-либо поверхность. С точки зрения декоративного искусства покрытия используют для придания поверхности обрабатываемого изделия привлекательного внешнего вида. Самыми древними и по-прежнему распространёнными типами покрытий, используемыми в декоративных целях, являются металлические и гальванические покрытия

(позолота, золочение).

Позже стали использоваться горячие и холодные эмалевые покрытия. Вслед за ними пришли и неметаллические конверсионные покрытия. Термин «конверсионные покрытия» более распространён в ювелирной и металлургической областях, куда он, вероятно, пришёл из химической области, поскольку в переводе с латинского «*conversio*» – превращение, изменение [106].

## 2.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАКТУРЫ И ДЕКОРАТИВНЫХ ПЛЁНОК В ПРОШЛОМ

На протяжении развития пластического искусства, вплоть до зарождения промышленного дизайна, можно выделить некоторые особенности использования фактуры. Многие века роль фактуры была второстепенной. Основными задачами в создании предмета являлись образование формы и цветовое оформление. Обуславливалось это условиями производства. Осмысленно созданная, особым образом обработанная поверхность, как правило, подчёркивала замысел мастера в раскрытии содержания художественного произведения, и лишь в некоторых случаях являлась средством декорирования.

В эпоху древних царств фактура также применяется как элемент имитации реальной поверхности, но, благодаря упрощённости и упорядоченности, выглядит достаточно декоративно. Так реалистичность и в то же время дополнительный декор достигнуты при помощи фактуры на египетской пряжке из гробницы Ти (рис. 17 а). С её помощью выделено облачение фараона – убор и ожерелье-воротник, колесница и парадная упряжь лошадей. Широкое применение получила чеканка изделий с последующим украшением их разноцветными камнями и стёклами по принципу мозаики (рис. 17 б) [113].

С этого момента фактура как декоративная обработка получила распространение в ювелирном искусстве и крепко закрепилась в нём. В античные времена в древней Греции большинство украшений декорировалось фактурой и орнаментом, преимущественно растительным (листочки, бутоны, цветы) (рис. 18 а). Помимо этого, многие изделия украшались птицами, животными, ликами

богов (рис. 18 б,в). Греческие мастера совмещали в ювелирных украшениях глянецкую и матовую (фактурную) поверхности, причём фактура выступала дополнительным средством выразительности общей композиции, подчёркивая одни элементы формы на фоне других (рис. 18 з) [114].

Типичными чертами раннесредневекового (романского) европейского ювелирного искусства являлось применение техник холодной эмали и черни, которые контрастно соединялись с золотом; а также преобладание в орнаменте мотивов звериного стиля (рис. 19 б). В работах византийских ювелиров IV–VIII веков широкое распространение получило сочетание золота или позолоченного серебра с кабошонами драгоценных цветных камней и жемчугом. С этой гаммой прекрасно сочетались эмали, благородство и точность отделки рисунка которых сближают их с книжными миниатюрами. В работах византийских мастеров традиции античного искусства органично сплетаются с орнаментальностью и обилием цвета, характерным для художественных традиций Востока (рис. 19 в).

В произведениях готического ювелирного искусства (позднее средневековье) величественная пышность цветовых созвучий всегда сочеталась со строгой архитектурной композицией, которая иногда повторяла формы церковного зодчества. Прекрасные образцы работы бургундских ювелиров XV века представляют аграфы из золота и серебра с эмалями и драгоценными камнями. В декоре преимущественно излюбленным мотивом является филигранный завиток (рис. 19 а).

Мастерами эпохи Возрождения созданы великолепные изделия: серебряные сосуды с рельефными многофигурными сценами, ювелирные украшения с эмалью на рельефе (рис. 20). В этих произведениях ювелирного искусства исходные свойства драгоценных материалов отступают на задний план перед стремлением подчеркнуть изысканность обработки. Среди излюбленных типов ювелирных изделий Возрождения – нагрудные подвески (рис. 20 з). В эту эпоху расцветает камнерезное искусство (рис. 20 а), также большое распространение получают изделия с перегородчатой и выемчатой эмалями (рис. 20 д) [115].

В эпоху барокко в моду входят изделия с высоким чеканным рельефом,

изысканной резьбой, с яркими самоцветами и жемчугом. В это время начинается производство часов (рис. 21 *а,б*). Рококо с его стремлением к утончённости придаёт особое значение ювелирным украшениям. В это время складывается ассортимент украшений, в целом не изменившийся до настоящего времени. Широкое распространение получают ажурные ювелирные украшения с криволинейными сплетениями декора, украшенного декоративными покрытиями – золочением и эмалированием (рис. 21 *в,г*).

Прихотливая изысканность форм рококо в начале XIX века уступает место строгости классицизма. На первый план выходит тщательность отделки материала: фактурирование. В середине XIX века производство ювелирных изделий начало механизироваться и стало более массовым. Стали использоваться менее ценные материалы, распространение получает позолоченное серебро (рис. 21 *д,е*) [115].

Большинство изделий ювелирного искусства XIX века тяготеет к эклектичности стиля, против чего в конце XIX – начале XX веков выступили мастера стиля модерн. Основным средством выражения в стиле ар-нуво является орнамент, который не только украшает произведение, но и формирует его композиционную структуру. Появлялись новые, возрождались старые техники нанесения эмалей: перегородчатая и витражная эмаль; эмаль гильоше, когда эмаль наносится на специально гравированную поверхность; и другие её виды стали излюбленной техникой в работе над украшениями. Широкое распространение получили драгоценные и поделочные камни, а также опал и жемчуг (рис. 22) [116].

К наиболее известным ювелирам, несомненно, относится Рене Лалик, чьё имя ассоциируется со стилем ар-нуво. Основной мотив дизайна ювелирных украшений Лалика – естественный мир. Вдохновение он черпал в трёх направлениях: Flora, Faune, Femme (флора, фауна, женщина), являющимися основой стиля ар-нуво [117]. Украшения для волос и элементов костюма того времени стали отдельной темой в работах Лалика. Преимущественно для их изготовления использовались слоновая кость, рог или поделочные камни, с

щедрой инкрустацией драгоценными камнями и эмалями (рис. 22 б). Использовались традиционные драгоценные камни не только за их ценность, а потому, что они приносили художественность. Декоративные покрытия (эмаль, фактуры) искусно применялись для маскировки швов, мест соединения элементов в композиции, что подчёркивает высокий уровень проработки фрагментов и качественный подход к исполнению украшений.

Несмотря на провозглашенный отказ от подражания историческим стилям, мастера эпохи модерна использовали линейный строй японской гравюры, стилизованные растительные узоры эгейского искусства и готики, элементы декоративных композиций барокко, рококо, ампира.

В эпоху ар-деко главным принципом являлась строгость форм и гармоничность пропорций, с почти полным отсутствием орнамента для украшения и дополнения к форме. Главное – не декор, а стремление выигрышно подать форму и подчеркнуть естественную эффектность металла. В драгоценных украшениях этого времени использовались бриллианты и драгоценные камни (рис. 23 а,б). Стил ар-деко стал всемирно признанным синонимом роскоши и восхищения. В те годы разрабатывались новые технологии, проводились исследования в науке и технике. Осваивалось много новых материалов – платина, палладий и др. (рис. 23 в) [116].

Настоящим новшеством являлось то, что в этот период во всех европейских странах и в США в ювелирном искусстве происходит окончательная дифференциация на массовое и элитарное, машинное и ручное производство украшений. Начинает своё развитие такое направление, как бижутерия.

Как видно из истории развития ювелирного искусства фактура и покрытия как виды декоративной обработки украшений широко распространены с XV–XVI веков. Причём практически на протяжении всего времени использовались не отдельно, а в связке, дополняя одна другую: первый вариант – нанесение декоративного покрытия поверх фактурной поверхности (рис. 24 б); второй вариант – отделка (выделение) фактуры (орнамента) эмалью, чернью или патиной (рис. 24 в). Оба варианта использовались для усиления эмоционального

содержания выразительного образа ювелирных украшений.

## 2.2. ФАКТУРЫ И ДЕКОРАТИВНЫЕ ПЛЁНКИ В ЮВЕЛИРНОМ ИСКУССТВЕ РОССИИ

Русское ювелирное искусство всегда отличалось богатством форм и техник декоративной обработки. Широкое распространение получили такие техники, как чеканка, резьба и канфарение. В XI–XV веках бóльшую популярность имели изделия церковной направленности изготовленные из серебра, декорированные золотом, драгоценными камнями и эмалью. Причём в различных городах отдавались предпочтения определённым художественно-декоративным направлениям.

Для Новгорода XI–XII веков характерны серебряные литургические сосуды и чеканные оклады икон (рис. 25 а). Для киевских мастеров – украшения более светской направленности с перегородчатой эмалью, такие как колты и бармы, но по-прежнему с преобладанием в орнаменте церковных мотивов (рис. 25 б). На бармах в центре изображение Богоматери, по бокам – святые Ирина и Варвара. Изображения святых выполнены в технике перегородчатой эмали [118].

Украшения московских мастеров (рис. 25 в) часто украшены тончайшим золотым кружевом – филигранью. Филигрань – это выкладывание узоров золотой нитью на металлической поверхности. На Руси эта техника была сложнее, потому что золотую нить дополнительно скручивали наподобие верёвочки. Поэтому русская техника филигрании называется скань, от слов скать, сучить, свивать. Узоры были довольно выпуклыми, потому что скань накладывали в несколько слоёв. Также Москва и Суздаль XIII–XV веков славились окладами икон и Евангелий, складнями со сканью, чеканкой, басмой, эмалью и литыми изображениями (рис. 25 г) [118, 119].

В XVI веке, когда Москва стала общерусским центром, стали популярны чернь и эмаль (рис. 26 а). Оклад на Евангелие 1571 года являет собою замечательный образец ювелирного искусства. Мастера украсили его, используя все известные техники того времени. Это и чеканка (евангелисты по углам), и скань, хотя она почти не видна под эмалью, это и собственно эмаль, и чернь – ею



сделаны надписи на медальонах с евангелистами, и камни – сапфиры, любимые камни царя Ивана Грозного, турмалины и топазы. Мастер красиво обрамил ими центральный медальон, выложил по контуру оклада. Эмаль в окладе 1571 года (рис. 26 б) только пробивала себе путь, листочки и цветы сканого орнамента покрыты неброскими, приятными глазу тонами. Рельефные фигуры евангелистов выполнены в технике чеканки. Их фигуры обозначены мягкими, плавными линиями, видна каждая складка облегающих одежд [120].

Русские мастера делали не только священные сосуды и оклады икон. Весь XVII век существовал большой спрос на светские изделия, в том числе на драгоценную посуду (рис. 26 в). Ендова – древнерусская чаша с носиком. На её поверхности нанесён ложчатый орнамент. Чередование гладких и расчеканенных узоров ложек делает чашу строгой и изысканной. Рисунок чаши украшен чернью. Русское ювелирное искусство XVIII века, центром которого стал Петербург, начало развиваться в русле общеевропейских художественных стилей. Однако сохранялись и национальные русские особенности. В XVIII веке появляется великоустюжское чернение по серебру (рис. 26 г) [120].

В XIX–XX веках главными центрами ювелирного искусства становятся Петербург и Москва, города с разной исторической судьбой и разными традициями, где складываются две художественные школы России и возникают крупные фабрики серебряного и золотого дела. Особо славились предприятия И.П. Хлебникова, П.А. Овчинникова, И.П. Сазикова, И.С. Губкина и П.И. Оловянишникова. Изделия мастеров всегда были исполнены с совершенной техникой, правдиво и художественно. Самобытно и оригинально использовались различные техники и материалы: графическая резьба (рис. 27 а), живописная красочная эмаль (рис. 27 б), объёмный рельеф (рис. 27 в), разнообразие сканого узора (рис. 27 г) и чернение (рис. 27 д) [120, 121].

В XIX веке мировую известность получила фирма Фаберже, которая и сегодня имеет большое количество поклонников и подражателей. Вряд ли найдётся хоть один посетитель Государственной Оружейной Палаты Московского Кремля, который прошёл мимо витрины, экспонирующей

величайшую реликвию не только России, но и всего мира – коллекцию пасхальных яиц императорской семьи, выполненную на знаменитой ювелирной фабрике Карла Фаберже (рис. 28).

Круг изделий фирмы Фаберже не ограничивался только пасхальными подарками, он необычайно разнообразен – это и ювелирные украшения, рамки, все виды коробочек, скульптура, сервизы, предметы культа, быта и туалета (рис. 29). Изысканность, эстетизм форм, сочетание цвета – главная черта изделий фирмы. В одном небольшом произведении могли сочетаться различные металлы, утончённая гамма эмалей и драгоценных камней.

Фирма работала с эмалью и была лучшей в их производстве. Наиболее характерна – эмаль по гильошировке – обычно прозрачная, которая в сочетании с изысканной графикой резного узора фона украшала самые разные предметы. Мастера фирмы владели сложнейшими передовыми технологиями также в областях чеканки, отливки, резьбы, черни и других. Поэтому неудивительно, что русское ювелирное искусство рубежа XIX–XX столетий было на таком высоком уровне, завоевав мировое признание.

В создании ювелирных изделий Карл Фаберже принимал непосредственное участие, делал эскизы, лично наблюдал за процессом изготовления. Каждая новая модель и все стадии её изготовления обговаривались кругом специалистов. Обсуждение проходило в личной конторе К. Фаберже, тщательно подбирались материалы, цвета и качества эмалей, температуры обжига и прочие подробности. Готовый проект обязательно утверждался самим К. Фаберже [121].

В советское время предприятия России уже больше делали упор на массовый выпуск ювелирной продукции. Начался уход от предметов роскоши, ювелирные изделия становились более массивные с минимальным количеством или полным отсутствием декоративных элементов. С 40-х годов XX века основными центрами ювелирного производства становятся: Красное-на-Волге, Великий Устюг и Кубачи. Большое распространение получают столовое серебро и сервизы из серебра со сканными и чернёными резными узорами (рис. 30). Хотя большая часть рынка ювелирных украшений была представлена изделиями из

золота 583 пробы.

В наше время, начиная с 2010-15 годов, серебро снова набирает популярность по отношению к золоту по весовым и по количественным показателям. На это указывает и увеличение доли серебряных изделий на рынке ювелирных украшений, и всё большее открытие ювелирных магазинов, специализирующихся на серебре. Такая же тенденция наблюдается и в отношении ювелирных заводов, которые переходят на серебряный ассортимент изделий. Причём видна тенденция на облегчение ювелирных украшений, что сказывается на их внешнем виде и форме. Они становятся более ажурными и тонкими, с дополнительными поднутрениями и выборками. Хотя, по-прежнему, на рынке популярны и габаритное столовое серебро, и сложнопрофильная сувенирная продукция из серебра.

### **ВЫВОДЫ ПО МАТЕРИАЛУ ГЛАВЫ**

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 вариант – нанесение декоративного покрытия поверх фактурной поверхности; второй вариант – отделка (выделение) фактуры (орнамента) чернью или патиной. Оба варианта применяются для усиления декоративного эффекта друг друга.

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

## **ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭХО ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ СЕРЕБРА**

### **3.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭХФ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ СЕРЕБРА**

В современных ювелирных изделиях широко используется различное фактурирование металлических поверхностей с целью декорирования. Фактура может быть различной – мелкочечной, мелкоштриховой, матовой и т. д. Её можно получить литъём, соответствующим образом подготовив восковую модель; штамповкой, используя фактурированную поверхность штампа; химической и электрохимической обработкой в электролитах различных составов; матированием механическим способом (штихелем, молотой пемзой, крацеванием и др.); прокаткой через вальцы с фактурным материалом [14, 49, 66, 122, 123].

Все способы нанесения фактуры, кроме химического и электрохимического травления, имеют ряд недостатков – декоративный вид фактуры имеет регулярный характер, либо её нанесение весьма трудоёмко. Химическому и электрохимическому фактурированию некоторых металлов и сплавов с использованием постоянного тока посвящён ряд исследований, однако полученные фактуры или относительно мелкогабаритны или недостаточно декоративны [63–66].

#### **3.1.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

При исследованиях моделируется процесс импульсного ЭХФ, изучаются закономерности, сопровождающие прохождение непрерывной последовательности импульсов тока прямоугольной формы через ванну и границу раздела «анод–электролит». Применяется оборудование, заимствованное из работы [58], а также методики, позволяющие диагностировать изучаемые явления и обрабатывать результаты экспериментальных исследований [124].

Приборы и оборудования для процесса ЭХФ включает (рис. 31):

- ванну из винипласта и систему термостабилизации электролита;
- импульсный источник питания, генерирующий непрерывную последовательность импульсов тока с независимым изменением амплитудно-временных параметров (АВП);
- систему контроля и регистрации технологического тока.

Ванна из винипласта, пластинчатые катоды из стали 12Х18Н9Т. Система термостабилизации электролита состоит из «водяной рубашки» и термометра.

В систему контроля и регистрации электрических параметров входят: коаксиальный шунт для измерения амплитуды и формы импульсов, запоминающий осциллограф с памятью, фиксирующий поляризационные и токовые зависимости от времени и персональный компьютер (ПК) с необходимым программным обеспечением (ПО).

Образцы размером  $20 \times 10 \times 1,1$  мм выполнены литьём по выплавляемым моделям из сплавов, состав которых представлен в табл. 3.1 [125–130]. Выбор технологии изготовления образцов обуславливается распространённостью литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) для изготовления ЮХИ.

Электролит – водный раствор тиосульфата натрия  $Na_2S_2O_3 \times 5H_2O$  – 790–830 г/л. Для приготовления электролита использовались химические реактивы марки «хч» и дистиллированная вода.

Температура электролита варьировалась в пределах  $25 \dots 35^\circ C$ . Обработка велась в стационарном и слабо перемешиваемом электролите. Импульсы тока подавались от генератора импульсов прямоугольной формы с независимой регулировкой всех АВП (рис. 32) [125]:  $t_{имп} = 0,1 \dots 10$  мс;  $t_{отр.имп} = 0,1 \dots 10$  мс;  $t_3 = 0,1 \dots 10$  мс;  $t_{паузы} = 0,1 \dots 10$  мс;  $i_{имп} = 0 \dots 10$  А/см<sup>2</sup>,  $i_{отр.имп} = 0 \dots 10$  А/см<sup>2</sup>. Продолжительность обработки  $\tau = 1 \dots 5$  мин.

Зависимости «поляризация–время» и «ток (падение напряжения на шунте) – время» фиксировались цифровым двухканальным запоминающим осциллографом марки *GRS-6052A*. Изображение обрабатывается в графической программе *Adobe Photoshop* [127].

Составы исследованных сплавов (ГОСТ 6836–2002)

Марка сплава	Состав сплава, %		
	Ag	Cu	Zn
СрМ 92,5	92,5	7,5	–
СрМЦ 92,5	92,5	6,5	1

Микрогеометрические параметры измерялись с помощью микроскопов МИИ–4 и МИС–11. Шероховатость поверхности определяется по  $R_z$  с помощью микроинтерферометр Линника МИИ–4 по 7 точкам поверхности. Крайние значения полученных данных не используются при последующей статистической обработке. В работе приводятся средние значения и среднее процентное отклонение для среднего арифметического. Шероховатость поверхности определялась до и после процесса ЭХФ. Измерения до обработки (исходные значения  $R_z$ ) обуславливаются учётом шероховатости, образовавшейся в результате первичной обработки изделий после ЛВМ [129].

Изображение поверхности, полученное с двойного микроскопа МИС–11, обрабатывались с помощью программы *Adobe Photoshop*, а затем в графической программе «Компас». Фиксировались пограничные значения вершин, впадин и средняя линия профилограммы, соответствующая среднеарифметическому значению величин вершин и впадин. Определялись отношения общей площади выступов  $S_{\text{выст}}$  и впадин  $S_{\text{впад}}$  к их количеству  $n_{\text{выст}}$  и  $n_{\text{впад}}$  соответственно, а затем суммировались. Чем больше значения  $S_{\text{проф}} = S_{\text{выст}} + S_{\text{впад}}$ , тем декоративнее внешний вид поверхности. Чем меньше число  $n_{\text{неровн}} = n_{\text{выст}} + n_{\text{впад}}$ , тем выше отражательная способность (блеск) поверхности. Коэффициент профильности  $K_{\text{проф}}$  [ $\text{мкм}^2$ ] характеризует среднюю площадь фактурной неровности:  $K_{\text{проф}} = S_{\text{проф}}/n_{\text{неровн}}$ .

Показатель профильности  $\text{ППр} = K_{\text{проф}} \times R_z$  [ $\text{мкм}^3$ ] характеризует фактурность поверхности. Данный показатель учитывает коэффициент профильности поверхности ( $\text{мкм}^2$ ) и показатель шероховатости поверхности ( $\text{мкм}$ ). Мелкоразмерной считается фактура с  $\text{ППр} < 200 \text{ мкм}^3$ , среднеразмерной  $200 \leq \text{ППр} < 1000 \text{ мкм}^3$  и крупноразмерной  $\text{ППр} \geq 1000 \text{ мкм}^3$ . Показатель

эффективности фактурирования ПЭФ [ $\text{см}^2/\text{г}\cdot\text{А}\cdot\text{ч}$ ] характеризует эффективность ЭХФ на различных режимах. Он учитывает коэффициент удельного съема металла ( $\text{г}/\text{см}^2$ ) и количество пропущенного электричества через ванну ( $\text{А}\cdot\text{ч}$ ) [126].

Для определения удельного съема металла пакет образцов взвешивался на аналитических весах *Vibra HT* ( $\pm 0,0001$  г) до и после ЭХ обработки. В пакет входило три пары образцов с обрабатываемой площадью 1, 2 и 4  $\text{см}^2$ . Разность площадей достигается покрытием необрабатываемых участков поверхности защитным лаком. На каждом исследуемом режиме одновременно обрабатывалось по пять образцов для проверки воспроизводимости результатов обработки. Разница в отснятых экспериментальных данных внутри пакета составляет 2...4%, что подтверждает воспроизводимость получаемых результатов обработки.

Микроструктурному травлению подвергались образцы, прошедшие различную предварительную термической обработку [128]:

- отжиг в муфельной печи при температуре 620, 680, 720°С.
- охлаждение: длительное (вместе с печью), быстрое (5 мин на воздухе с последующим охлаждением в воде).

Микроструктурное травление проводилось в травителе следующего состава [59]: вода дистиллированная  $\text{H}_2\text{O}$  100 мл, оксид хрома  $\text{CrO}_3$  0,2 г, серная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,5 мл. Продолжительность обработки 60 с.

После травления образцы фотографировались на металлографическом микроскопе «МЕТАМ 32–ЛВ» с увеличением 1000. Полученные фотографии обрабатывались в программе *SIAMS Photolab*.

Ошибки измерений минимизировались использованием специальных методов, выбор и обоснование которых подробно проведены в работе [124]; регулярным проведением эталонных измерений; периодической поверкой приборов и аппаратуры Центром стандартизации и метрологии г. Костромы.

### 3.1.2. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЭХФ ИМПУЛЬСНЫМ ТОКОМ

Эффект обработки определяется соотношением скоростей процессов электрохимического растворения металла и формирования на его поверхности пассивирующего слоя, причём скорости этих процессов должны быть достаточно высоки [96]. Явления пассивации и активации анодной поверхности позволяют формировать поверхность с различной высотой микронеровностей. Столь сложные анодные процессы неизбежно отражаются на зависимостях «поляризация–время» и «ток–время». Проведённые исследования показали, что максимальные величины поляризации, связанные с анодным растворением и пассивацией, развиваются с различной динамикой в микро- и миллисекундном диапазоне времён. Поэтому, варьируя амплитудой и длительностью импульсов тока в этом временном диапазоне, можно сформировать анодный потенциал, обеспечивающий оптимальное соотношение скоростей растворения и пассивационных процессов. Выбором длительности паузы между импульсами с учётом динамики спада поляризации поддерживается требуемое состояние поверхности анода и границы раздела «анод–электролит». Для каждой пары «анодный материал–электролит определённого состава» скорости развития процессов разные, отличаются и оптимальные величины потенциалов для обработки, соответственно отличаются и АВП импульсов тока (амплитудная плотность, длительности импульсов и паузы между импульсами), обеспечивающие необходимый результат обработки [61].

На обобщённой анодной поляризационной кривой (рис. 33), в определённой степени характеризующей процессы, происходящие на границе раздела «анод–электролит», есть два участка (*CD* и *EF*), на которых возможно ЭХФ.

Они соответствуют переходу поверхности из активного состояния в пассивное (*CD*) и из пассивного состояния в транспассивное (*EF*). На этих участках и соблюдается примерное равенство между скоростями пассивирования и активного растворения поверхности. Подбором состава и температуры электролита, гидродинамических



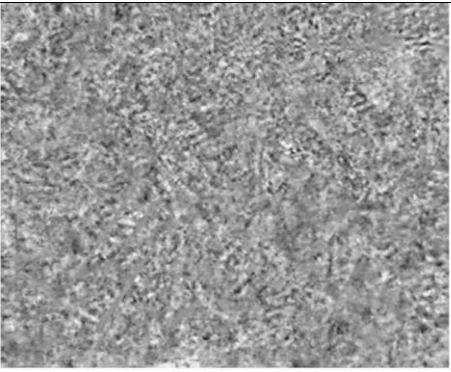
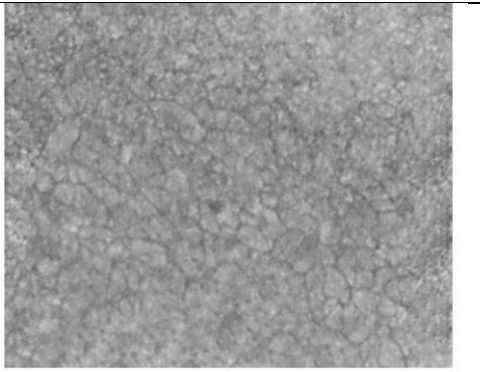

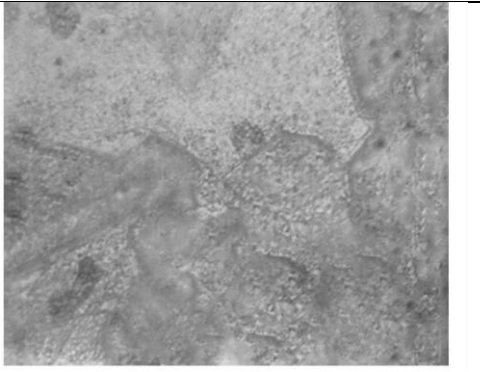


условий в приэлектродной области и АВП импульсов обеспечивается поддержание величины анодного потенциала в необходимой области  $CD$  или  $EF$ .

### 3.1.3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В табл. 3.2 приведены результаты микроструктурного травления поверхности исследуемых сплавов. Результаты обработки фотографий шлифов по определению размера зёрен представлены в табл. 3.3 [127].

Таблица 3.2

Микроструктура сплава серебра 925 пробы

 <p>1 – 620°C, быстрое охлаждение</p>	 <p>2 – 620°C, длительное охлаждение</p>
 <p>3 – 680°C, быстрое охлаждение</p>	 <p>4 – 680°C, длительное охлаждение</p>
 <p>5 – 720°C, быстрое охлаждение</p>	 <p>6 – 720°C, длительное охлаждение</p>

Анализ зависимости результатов ЭХФ от размера зёрен обрабатываемого сплава показал, что для формирования высокодекоративных фактур необходима

мелкозернистая структура сплава. Под высокими декоративными свойствами фактур понимается их декоративная нерегулярность при визуально определяемой высоте неровностей. Когда же размеры зёрен соизмеримы с характерными неровностями фактуры, то превалирует травление и фазообразование на межзёренных границах и определённых кристаллографических плоскостях, отрицательно влияющее на декоративность фактур [128].

Таблица 3.3

Размеры зёрен исследованных микроструктур, мм

№ образца	Минимальный	Максимальный	Средний
1	0,0002	0,020	0,0010
2	0,0003	0,018	0,0011
3	0,0020	0,079	0,0025
4	0,0010	0,098	0,0053
5	0,0010	0,149	0,0059
6	0,0030	0,143	0,0132

Данные приведены для сплава №2 в связи с широким использованием в ювелирной промышленности трёхкомпонентных сплавов СрМЦ.

Таблица 3.4

Режимы ЭХФ поверхности импульсным униполярным током

Режим	Покачивание образцов	$t_{\text{имп}}$ , мкс	$\tau_{\text{обр}}$ , мин	$K_{\text{пр}}$ , мкм <sup>2</sup>	$R_z$ , мкм	ППр <sub>3</sub> , мкм <sup>3</sup>	ПЭФ, [см <sup>2</sup> /(Г·А·ч)]×10 <sup>6</sup>
1	–	100	1	6,99	4,43	30,96	943,40
2	+	100	1	21,08	4,80	101,19	174,22
3	+	500	1	23,92	4,23	101,18	171,53
4	–	100	3	46,52	8,70	404,75	33,11
5	+	500	3	26,44	8,57	226,62	25,20
6	+	500	4	54,69	9,51	520,09	15,02
7	–	100	5	109,37	9,50	1039,02	6,62
8	+	100	4	113,19	10,50	1188,52	3,94
9	+	500	5	113,85	11,20	1275,08	6,38

В табл. 3.4, 3.5 приведены наиболее интересные с точки зрения декоративного эффекта и эффективности обработки результаты ЭХФ поверхности при различных АВП униполярных импульсов тока при  $t = 25...30^\circ\text{C}$  [127]. Зелёным цветом выделены среднефактурные поверхности, красным – крупнофактурные, мелкофактурные – без выделения.

Фактурированная поверхность после обработки импульсным униполярным током

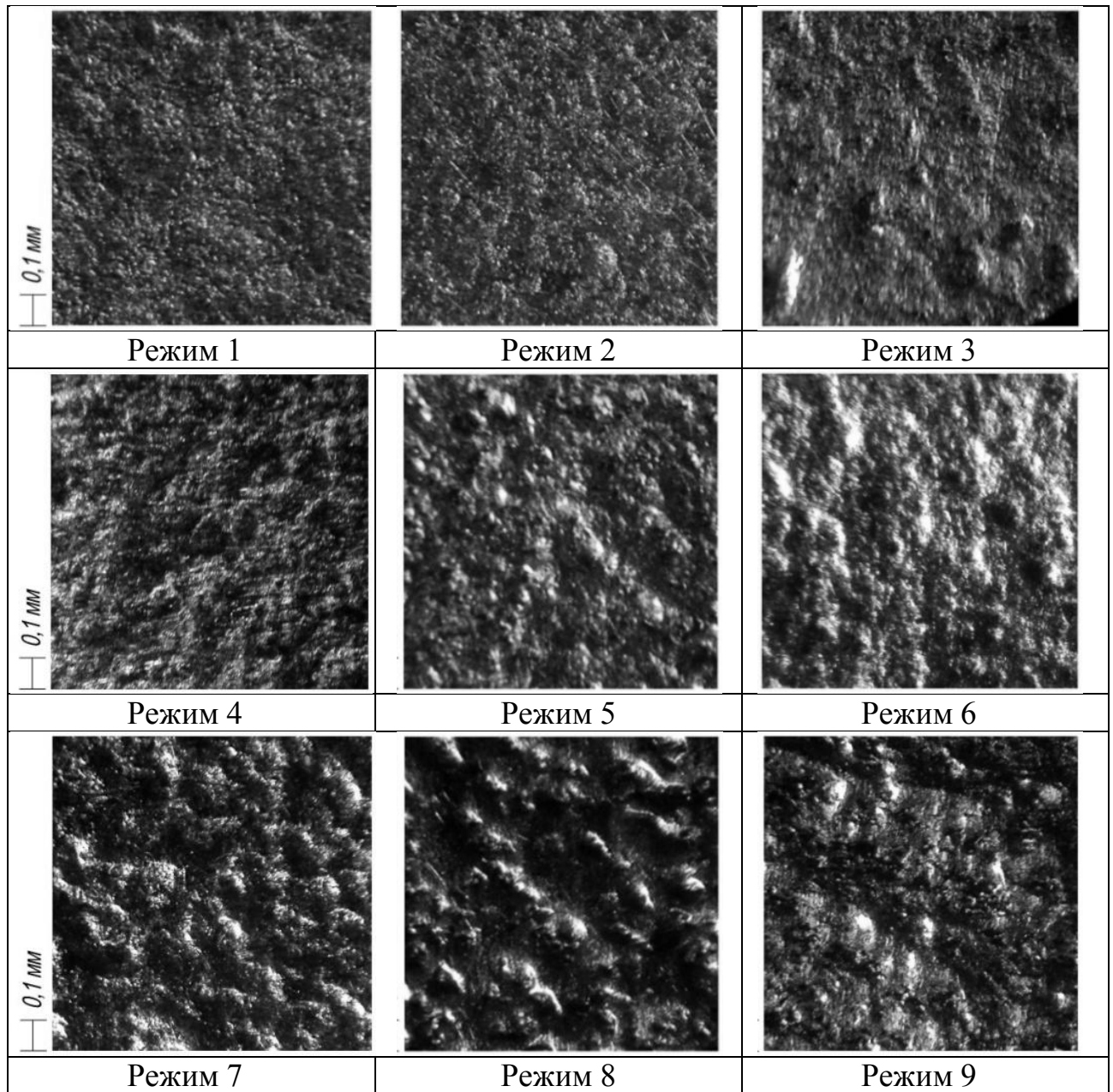


Таблица 3.6

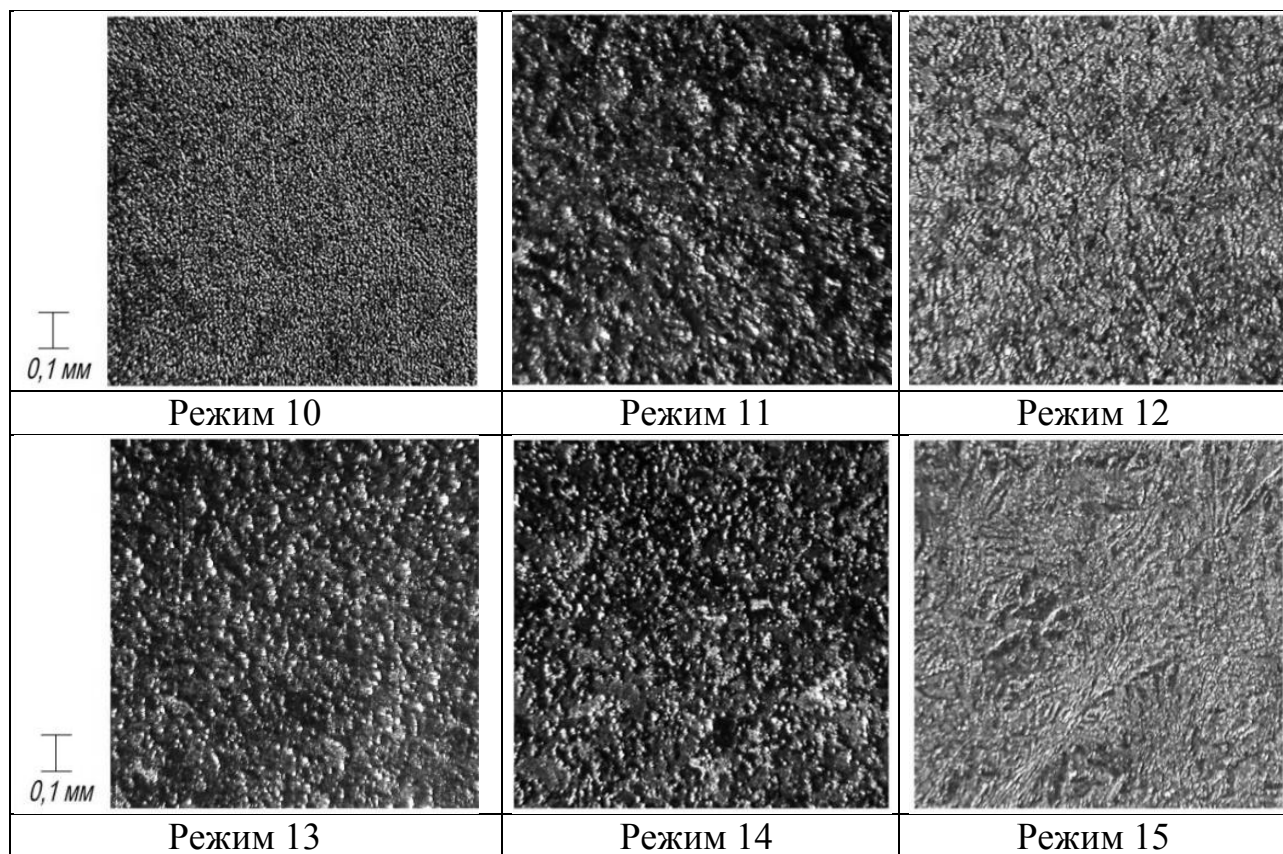
Режимы ЭХФ поверхности импульсным биполярным током

Режим	Покачивание образцов	$t_{\text{имп}}$ МКС	$t_{\text{отр.имп}}$ МКС	$\tau_{\text{обр}}$ МИН	$K_{\text{пр},2}$ МКМ <sup>2</sup>	$R_z$ МКМ	ППр, МКМ <sup>3</sup>	ПЭФ, [см <sup>2</sup> /(Г·А·ч)]×10 <sup>6</sup>
10	—	500	100	1	34,14	3,32	113,36	90,58
11	—	500	100	4	34,14	5,53	188,82	5,62
12	—	500	400	1	23,91	3,64	87,02	40,88
13	—	500	300	1	46,96	4,42	207,55	40,45
14	—	500	300	2	46,96	6,50	305,23	10,40
15	—	500	600	4	30,05	8,16	245,18	1,55

В табл. 3.6, 3.7 приведены наиболее интересные с точки зрения декоративного эффекта и эффективности обработки результаты ЭХФ поверхности при различных АВП биполярных импульсов тока при  $t = 25...30^{\circ}\text{C}$  [127].

Таблица 3.7

Фактурированная поверхность после обработки импульсным биполярным током



В табл. 3.8, 3.9 приведены профилограммы фактурированных поверхностей в результате ЭХФ поверхности при различных АВП униполярных и биполярных импульсов тока при  $t = 25...30^{\circ}\text{C}$  [127].

ЭХФ поверхности металлов и сплавов эффективно осуществляется в области транспассивного растворения, когда процессы пассивации поверхности и разрушения пассивной плёнки конкурируют между собой с превалированием второго процесса и началом активации поверхности металла. В этом случае в достаточно узком диапазоне потенциалов и плотностей токов возможно создание условий неравномерности скоростей растворения различных участков анодной поверхности и формирование нерегулярной структуры и микрошероховатости поверхности с явно выраженным визуальным декоративным эффектом.

Таблица 3.8

Профилограммы поверхностей после обработки импульсным униполярным током

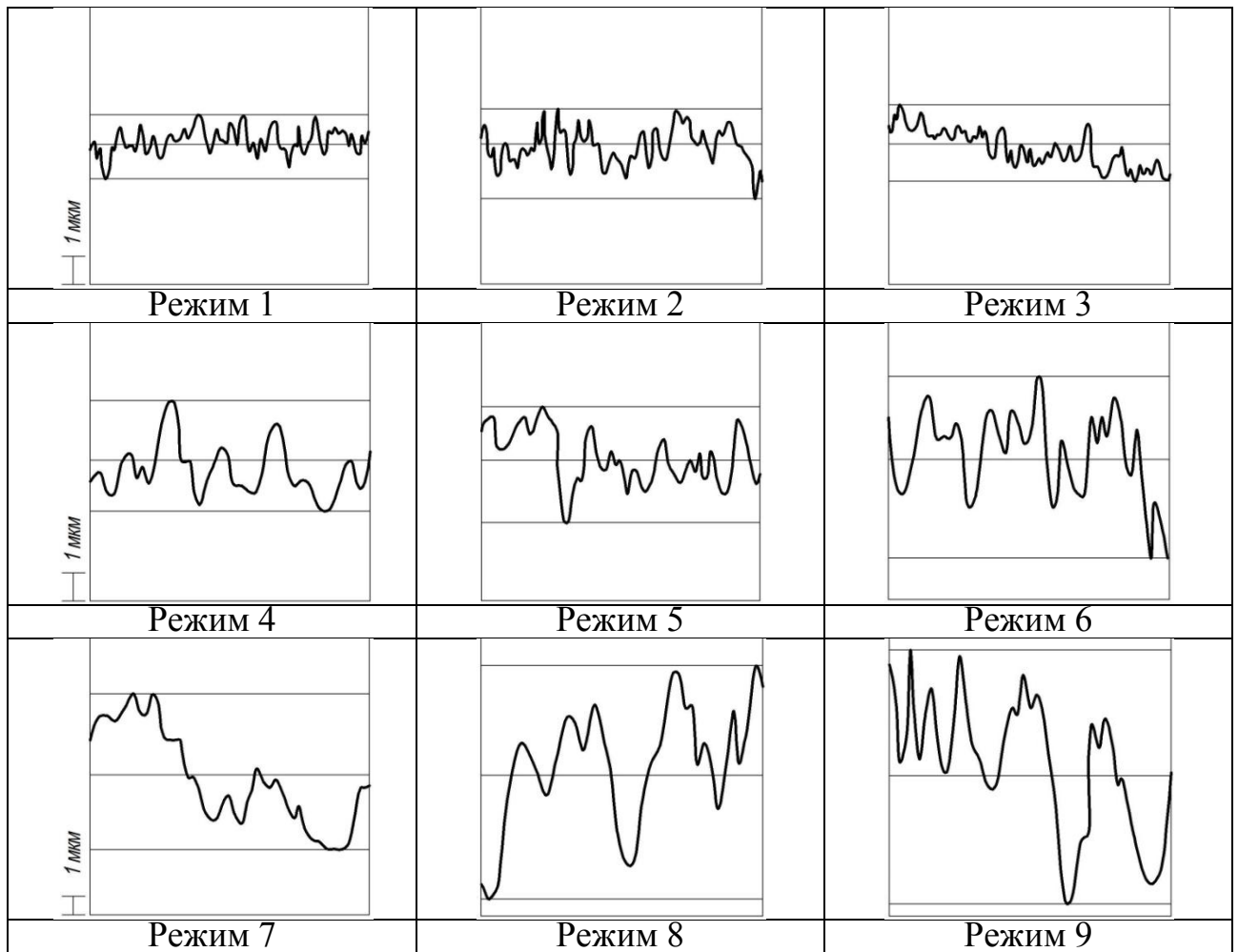
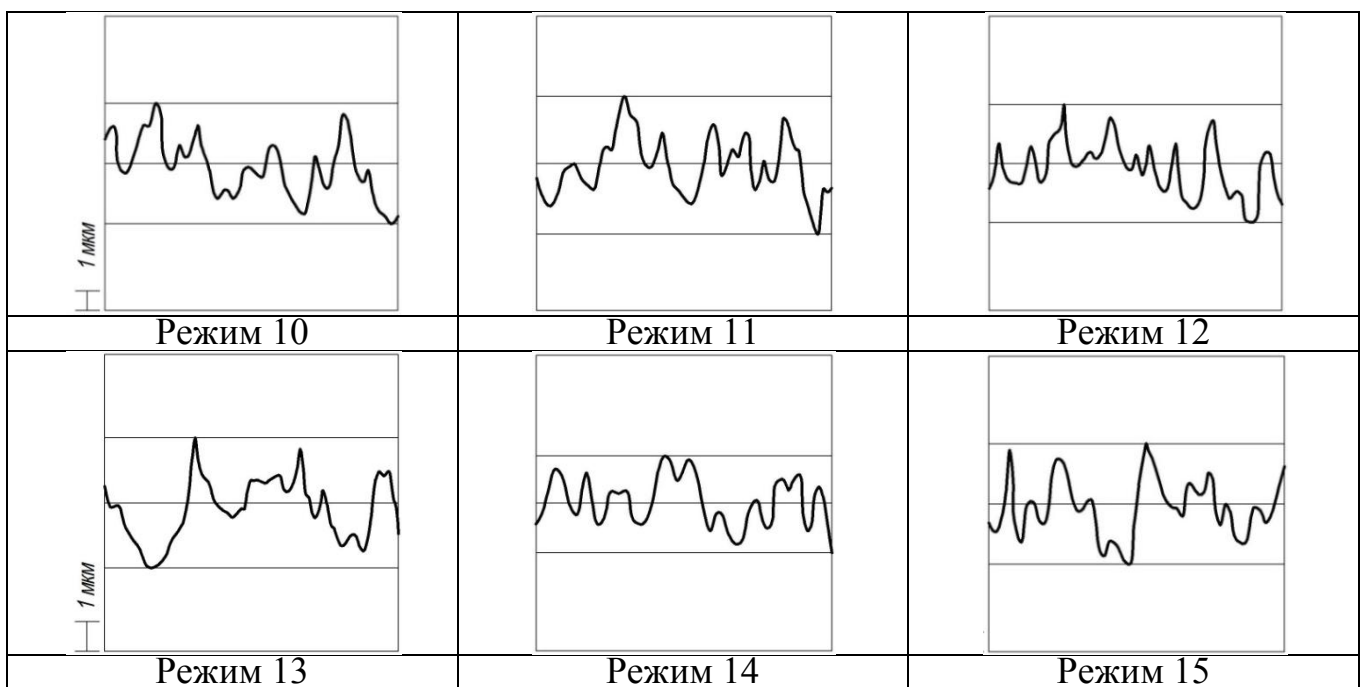


Таблица 3.9

Профилограммы поверхностей после обработки импульсным биполярным током



На постоянном токе поддерживать необходимые условия на границе «обрабатываемая поверхность – электролит» достаточно трудно, так как состояние поверхности быстро изменяется из-за подкисления электролита обильно выделяющимся кислородом. Изменяется состояние пассивирующей плёнки, она срывается обильно выделяющимся газом, в результате поверхность травится вся. На импульсном токе удерживать поверхность в необходимом диапазоне проще: в паузах между импульсами пузырьки удаляются, а при обратном импульсе происходит релаксация границы раздела [128].

Изучен состав плёнки, формируемой на аноде в процессе ЭХФ. Исследованы образцы с легко удаляемой плёнкой, образцы с удалённой плёнкой, а также отдельно сама плёнка. Данные получены на рентгеновском экваториальном дифрактометре ДРОН УМ–1 с приставкой для поликристаллических образцов. Излучение кобальтовое  $\lambda CoK_{\alpha}$ ,  $\beta$ -фильтр,  $U = 35$  кВ,  $I = 12$  мА,  $\theta$ – $2\theta$  сканирование, щели Соллера с углом расходимости  $2^{\circ}$ , щель перед детектором 0,5 мм, скорость перемещения детектора 0,5 град/мин, постоянная интегрирующей RC-цепи 2 с, скорость счёта импульсов  $3 \cdot 10^3$  с<sup>-1</sup>, вращение образца. Дифрактограмма образца, с которого удалили плёнку, показывает наличие двух ярко выраженных фаз –  $Ag_2S$  и  $Ag$  (рис. 34).

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 тяжелые атомы.

Дифрактограмма отдельно отснятой плёнки образца (рис. 35) даёт под малыми углами ( $17...25^{\circ}$ ) протяжённый аморфный пик, характеризующий ближний порядок в расположении атомов. Соответствующие ему межатомные расстояния лежат в интервале от 6,1 до 4,1 Å, среднее значение 5,1 Å. Дифракционные пики, характеризующие кристаллические фазы, имеют малую интенсивность. Вычисленные межплоскостные расстояния свидетельствуют о наличии в плёнке кристаллических фаз  $Ag_2S$ ,  $ZnO$  и  $ZnO_2$ ,  $CuO$  и  $Cu_2O$  [129, 130].

Рентгеноструктурное определение размеров кристаллитов (зёрен) плёнки проведено по формуле Шеррера-Селякова из анализа уширения экспериментальных линий:

$$L = \frac{\lambda}{\beta \cos \Theta}$$

Физическое уширение  $\beta$ , вызванное малыми размерами кристаллитов и микронапряжениями, определялось как разность экспериментальной ширины пика и инструментальной ширины  $b$ , зависящей от геометрии съёмки, расходимости пучка, размера фокуса трубки и т.д. Инструментальная ширина определялась с помощью монокристалла кремния для отражения (111) ( $2\theta = 33,15^\circ$ ) и составила  $0,16^\circ$ . Экспериментальная ширина для пика  $Ag_2S$  для  $d_n=3,07 \text{ \AA}$  ( $2\theta = 33,91^\circ$ ) составила  $0,25^\circ$ . Расчёт даёт среднее значение размеров кристаллитов  $1190 \text{ \AA}$ .

На рис. 36 представлена зависимость величины показателя профильности поверхности от продолжительности ЭХФ на униполярном токе. Формируемые фактуры практически совпадают по величине на первых трёх минутах обработки. При увеличении  $\tau$  процессы на поверхности, зависящие от режима электролиза, начинают определять размерность фактур. Крупноразмерная формируется при обработке на режиме №9, среднеразмерная на режиме №6, мелкоразмерная – на режиме №2. Данная закономерность связана, по-видимому, со снижением интенсивности образования анодной пассивирующей плёнки, сильно влияющей на формирование фактуры, с увеличением  $\tau$ .

На рис. 37 показана зависимость величины неровностей фактурированной поверхности (а, значит, блеска) от  $\tau$  при ЭХФ.

В начале обработки формируются матовые фактуры (высокие значения количества неровностей на  $10 \text{ мкм}^2$ ). На биполярных токах возможно формирование блестящих среднеразмерных фактур уже на третьей минуте обработки (режим №15). На униполярном токе (режим №9), начиная с четвертой минуты, формируются средне- и крупноразмерные фактуры с достаточно высокой отражательной способностью. На рис. 38 и 39 показаны некоторые из этих фактур.

На рис. 40 представлено изменение величины удельного растворения металла при ЭХФ униполярными и биполярными токами. На униполярном токе (режим №9) показатель съёма в несколько раз выше, чем на биполярном (режим №15), при незначительно отличающейся размерности получаемых фактур по показателю  $R_z$ . Это видно из рис. 41, на котором представлено изменение шероховатости поверхности при ЭХФ униполярными и биполярными токами.

На рис. 42 представлена зависимость шероховатости поверхности от температуры электролита при ЭХФ униполярными токами. Оптимальна температура  $25^{\circ}\text{C}$ , при ней  $\tau$  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 (рис. 43).

При ЭХФ формирование ярко выраженных декоративных структур возможно на сложнопрофилированных поверхностях без приложения к ним каких-либо механических усилий и без использования инструмента. Это позволяет обрабатывать с высокой скоростью поверхности тонкостенных и тонколистовых ювелирных изделий любых площадей и сложной формы [125–130].

### 3.1.4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЭХФ проводится на режимах и в электролитах, обеспечивающих на обрабатываемой поверхности сплава  $\text{CrM925}$  протекание конкурирующих процессов анодного растворения и образования пассивной плёнки, то есть поддержание условий «активность–пассивность», которые соблюдаются в начале пассивации и в начале области транспассивного растворения. Это подтверждают следующие экспериментальные факты:

- образование пассивной плёнки на обрабатываемой поверхности в процессе ЭХФ;



– влияние гидродинамики (перемешивания электролита) на процесс фактурирования.

Формирование таких условий лучше всего обеспечивается при использовании импульсных токов и электролитов, предназначенных для электрохимического полирования (ЭХП) [125–131].

При исследованиях отмечены следующие экспериментальные зависимости и особенности.

1. 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 с 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 (рис. 36). 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.

2. В общем случае слабое перемешивание электролита приводит к оттягиванию во времени начала пассивации анодной поверхности, замедлению плёнокообразования, 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.

3. Увеличение количества электричества в обратном импульсе тока тормозит процесс плёнокообразования на аноде, что приводит к неизбежному возрастанию тока в анодном (прямом) импульсе. Действие обратного импульса во

многим аналогично влиянию перемешивания электролита на процесс плёнообразования, поэтому при использовании биполярных импульсов перемешивание можно не использовать.

4. 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 (рис. 37).

5. Крупные фактуры формируются предпочтительно при использовании униполярных импульсов тока, при образовании достаточно устойчивой плёнки на обрабатываемой поверхности и при слабом перемешивании электролита (рис. 38). Обратные импульсы тока снижают интенсивность образования плёнки, что приводит к уменьшению размера неровностей формируемых фактур (рис. 39).

6. 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.

7. Использование импульсного тока позволяет проводить ЭХФ с бóльшей эффективностью, при которой скорость изменения величины микронеровностей обрабатываемой поверхности, отнесённая к общему съёму металла, значительно возрастает при использовании (рис. 40, рис. 41) биполярных импульсов тока.

8. Повышение температуры электролита при ЭХФ в общем случае не приводит к увеличению шероховатости поверхности по  $R_z$ . Оптимальна температура  $25^{\circ}\text{C}$ , при ней  $\tau$  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 (рис. 42); во-вторых, увеличивает удельное растворение металла (рис. 43).

9. Форма импульса тока отражает процессы на анодной поверхности. При использовании относительно длительных униполярных импульсов (500 мкс) небольшой пик в их начале с дальнейшим спадом свидетельствует о плёнообразовании (рис. 44 *a*). Возрастание амплитуды импульса к его окончанию отражает превалирование процесса анодного растворения над плёнообразованием (рис. 44 *б*).

10. При использовании коротких униполярных импульсов тока (100 мкс) и интенсивном образовании плёнки в начале импульса формируется небольшой пик (рис. 45 *a*). При замедлении плёнообразования крыша импульса приобретает колоколообразную форму с более пологим передним фронтом (рис. 45 *б*). При этом образующаяся плёнка не препятствует анодному растворению либо за счёт своей несплошности, либо полупроводимости.

11. При использовании биполярных импульсов тока протекающие на поверхности процессы ярче отражаются на форме импульсов. Выраженный пик в начале импульса свидетельствует об активном плёнообразовании (рис. 46 *a*). Чем он меньше, тем слабее образующаяся плёнка экранирует анодную поверхность к окончанию импульса (рис. 46 *б,в*). При его отсутствии влияние плёнки совсем незначительно (рис. 46 *г*).

Влияние конкурирующих процессов плёнообразования и анодного растворения на форму импульсов тока рассматривалось ранее в работах по исследованию электрохимического полирования (ЭХП) поверхности серебра и золота [99, 126]. Несомненным является близость процессов на поверхности анодно обрабатываемых металлов в течение ЭХП и ЭХФ. По форме импульсов и при ЭХП и при ЭХФ можно определять протекание тех или иных явлений или процессов на анодной поверхности и прогнозировать результат обработки.

В общем виде процесс ЭХФ представляется следующим образом. Образование фактуры начинается в области потенциалов, соответствующих концу спада тока на анодной обобщённой поляризационной кривой, когда начинает превалировать пассивация поверхности.

Частичное покрытие поверхности анода плёнкой приводит к неравномерному её растворению и образованию мелких или средних матовых фактур. При дальнейшем увеличении продолжительности обработки плёнка нарастает и полностью покрывает собой уже сформированные фактуры. Перемешивание и применение обратных импульсов тока замедляет этот процесс во времени. При увеличении продолжительности обработки структура плёнки изменяется, становится неоднородной и неустойчивой. В результате её разрушения анодная поверхность переходит в область транспассивного растворения. В этом случае формируются крупные, выраженные, блестящие фактуры. Обратный импульс замедляет процесс плёнообразования, способствуя образованию мелких и средних фактур. Блестеть они начинают на более ранних этапах обработки по сравнению с использованием униполярных импульсов, так как не успевают сформироваться плёнка значительной толщины и совершенной структуры.

### 3.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭХФКП НА ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ СЕРЕБРА

При изготовлении ЮХИ широко используются декоративные покрытия, придающие изделию различные визуальные эффекты. Одним из наиболее распространённых технологических приёмов является электрохимическое формирование конверсионных плёнок (ЭХФКП) на поверхности анодно обрабатываемого металла, составляющее серьёзную конкуренцию другим методам за счёт высокой производительности, простоты и возможности обработки тонкостенных изделий со сложнопрофилированными поверхностями большой площади [3, 92, 132–135]. Существующие способ формирования цветных конверсионных плёнок обладают рядом существенных недостатков: плёнки обладают низкой механической прочностью и склонны к потемнению под воздействием среды, предположительно связанным с доокислением составляющих компонентов [91, 92]. Нами экспериментально доказана возможность формирования тёмных разноцветных конверсионных, обладающих

устойчивым декоративным эффектом плёнок на поверхности серебра 925 пробы при использовании импульсного тока [136].

### 3.2.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Методика проведения эксперимента подробно описана в главе 2. Температура электролита варьировалась в пределах 25...40°С. Обработка велась в стационарном электролите. Образцы выполнены из сплава №2 (Ag 92,5 %, Cu 6,5 %, Zn 1 %), в связи с распространённостью в ювелирной промышленности трёхкомпонентных сплавов серебра СрМЦ.

Декоративность получаемых при ЭХА покрытий оценивалась по цвету (оттенку) плёнки и по её толщине  $b_{пл}$  [мкм]. Технологичность формирования – по удельному электрохимическому (ЭХ) съёму металла  $K_{съёма}$  [г/см<sup>2</sup>].

Для измерения толщины плёнок использовался винтовой окуляр-микрометр МОВ-1-15 [137]. Измерения проводятся не менее пяти раз на отрезке длиной 5 мм (в поле зрения окуляра) в установленном месте образца. Крайние значения полученных данных не используются при последующей статистической обработке. В работе приводятся средние значения и среднее процентное отклонение для среднего арифметического. Среднее арифметическое значение толщины покрытия вычисляется по формуле, мкм:

$$H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i ,$$

где  $n$  – количество проведенных измерений;  $H_i$  – толщина покрытия  $i$ -го измерения, мкм.

Не менее важной характеристикой покрытий является устойчивость к истиранию, которая определялась трением образца поочередно полировальной салфеткой *Microfiber* (устойчивые образцы выделены курсивом) и наждачной влагостойкой бумагой *SIA P2000* (зерно 7–9 мкм) (жирный шрифт). Давление, приложенное к образцам, имитирует условия эксплуатации ЮХИ.

Для определения характеристик цвета использовались программы *ColorPicker Eyedropper*, *ColorHexa – Color Information and Conversion*. Программа *ColorPicker*

*Eyedropper* обнаруживает, фиксирует и распознаёт цвета на изображении. Отсканированные изображения плёнок загружались в интернет-браузере, с помощью программы идентифицировался HEX код цвета, который вводился в программу *ColorHexa – Color Information and Conversion*. Данная программа определяет название этого цвета и его обозначение в цветовых координатах *RGB* [138].

### 3.2.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЭХФКП, как и ЭХФ, проводятся на режимах и в электролитах, обеспечивающих поддержание условий «активность–пассивность», наблюдаемые либо в начале области пассивации, либо в начале области транспассивного растворения (см. раздел 3.1.2).

Таблица 3.10

Режимы ЭХФКП поверхности импульсным униполярным током

Режим	$t_{\text{имп}}$ , мкс	$q$	$\tau_{\text{обр}}$ , мин	$t_{\text{обр}}$ , °C	$i_a$ имп, А/см <sup>2</sup>	$K_{\text{съёма}}$ , г/см <sup>2</sup>	$b_{\text{пл}}$ , мкм	<i>RGB</i>
1	1000	4	3	35	0,6	0,0031	1,02	45, 45, 45
2	1000	4	4	35	0,6	0,0036	1,22	37, 37, 37
3	500	4	5	35	0,08	0,0096	1,53	29, 29, 29
4	1000	2	3	35	0,3	0,0037	2,41	21, 21, 21
5	10000	2	3	35	0,3	0,0030	1,36	18, 18, 18

Таблица 3.11

Режимы ЭХФКП поверхности импульсным биполярным током

Режим	$t_{\text{имп}}$ , мкс	$q$	$\tau_{\text{обр}}$ , мин	$t_{\text{обр}}$ , °C	$i_a$ имп, А/см <sup>2</sup>	$i_a$ обр имп, А/см <sup>2</sup>	$K_{\text{съёма}}$ , г/см <sup>2</sup>	$b_{\text{пл}}$ , мкм	<i>RGB</i>
6	10000	1,5	5	35	0,05	0,05	0,0014	0,97	47, 49, 48
7	100	4	4	25	0,05	0,02	0,0052	1,17	52, 56, 57
8	100	4	4	35	0,8	0,2	0,0055	1,32	44, 39, 45
9	100	4	5	35	0,8	0,2	0,0051	1,48	38, 38, 38
10	100	4	2	40	0,74	0,91	0,0055	2,41	38, 34, 35
11	500	4	4	35	0,33	0,05	0,0047	1,25	34, 34, 36
12	500	4	2	40	0,12	0,01	0,0043	1,14	48, 55, 48
13	500	4	3	40	0,12	0,01	0,0054	1,19	40, 40, 40
14	1000	1,5	4	35	0,12	0,02	0,0041	1,05	41, 46, 42
15	10000	1,5	4	35	0,05	0,01	0,0029	2,56	39, 38, 33

Цветовая гамма плёнок при ЭХФКП импульсными токами

Импульсный униполярный ток				
<i>RGB (45,45,45)</i>	<i>RGB (37,37,37)</i>	<i>RGB (29,29,29)</i>	<i>RGB (21,21,21)</i>	<i>RGB (18,18,18)</i>
<i>Very dark gray (mostly black)</i>				
Импульсный биполярный ток				
<i>RGB (47,49,48)</i>	<i>RGB (52,56,57)</i>	<i>RGB (44,39,45)</i>	<i>RGB (38,38,38)</i>	<i>RGB (38,34,35)</i>
<i>Very dark cyan - lime green</i>	<i>Very dark grayish cyan</i>	<i>Very dark magenta</i>	<i>Very dark gray</i>	<i>Very dark red</i>
<i>RGB (34,34,36)</i>	<i>RGB (48,55,48)</i>	<i>RGB (40,40,40)</i>	<i>RGB (41,46,42)</i>	<i>RGB (39,38,33)</i>
<i>Very dark blue</i>	<i>Very dark grayish lime green</i>	<i>Very dark cyan</i>	<i>Very dark lime green</i>	<i>Very dark olive</i>

В табл. 3.10 и 3.11 приведены наиболее интересные с точки зрения декоративности и технологичности формирования результаты ЭХФКП поверхности при различных АВП импульсов тока при  $t = 20...40^{\circ}\text{C}$ : табл. 3.10 – униполярных, табл. 3.11 – биполярных.

Результаты свидетельствуют, что использование импульсного тока, по сравнению с постоянным, обеспечивает получение более декоративно

выразительных плёнок на поверхности сплава серебра 925 пробы в экологически безвредном тиосульфатном электролите при незначительном его подогреве при изменении АВП импульсов и продолжительности обработки.

При использовании униполярных импульсов тока формируются плёнки только серой гаммы. Их тон изменяется от светлого к тёмному в зависимости от толщины. Использование биполярных импульсов позволяет расширить их цветовую гамму в тёмной области оттенков, но в данном случае зависимость оттенка цвета от толщины плёнки не выявлена. Цветовая гамма, получаемая при использовании импульсного тока, представлена в табл. 3.12 [136].

### 3.2.3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЭХФКП проводится на режимах и в электролитах, обеспечивающих на обрабатываемой поверхности протекание конкурирующих процессов анодного растворения и образования пассивной плёнки с превалированием второго процесса [138-140]. При исследованиях отмечены следующие экспериментальные зависимости и особенности.

1. С первых минут обработки на поверхности образца начинается формирование оксидно-солевой плёнки. С увеличением продолжительности обработки  $\tau$  растёт толщина плёнки и её устойчивость к истиранию, а также съём металла. На рисунках представлены соответственно изменения удельного ЭХ съёма металла  $K_{\text{съёма}}$  и толщины плёнки  $b_{\text{пл}}$  с ростом  $\tau$  в результате ЭХФКП импульсными токами при температуре 35°C. Как видно из рис. 3.17 и 3.18, оптимальная продолжительность ЭХА составляет 4...5 минут, что связано с резким ростом удельного ЭХ съёма к шестой минуте.

2. Оптимальная температура электролита для ЭХА 35°C. Её понижение приводит к образованию дефектов плёнки (неоднородность, трещины) вследствие низкой её адгезии к поверхности образца и, в конечном итоге, к снижению устойчивости к механическим воздействиям (рис. 49). Повышение температуры приводит к росту съёма драгоценного металла, что нежелательно в условиях промышленного использования ЭХФКП (рис. 50).



3. Однотонные, устойчивые плёнки формируются предпочтительно на униполярных импульсах тока. Применение обратных импульсов тока позволяет получать более широкую гамму оттенков цвета плёнок.

4. На начальном этапе обработки параллельно с плёнообразованием протекает процесс фактурирования поверхности с превалированием плёнообразования к концу процесса обработки (рис. 51), что позволяет получать более интересный декоративный эффект после обработки (рис. 52).

5. Форма импульса тока отражает процессы, происходящие на анодной поверхности. При использовании униполярных импульсов небольшой пик в начале импульса с дальнейшим спадом свидетельствует о плёнообразовании (рис. 53 *а*). Выравнивание амплитуды импульса к его окончанию отражает конкурирование процессов анодного растворения и плёнообразования (рис. 53 *б*).

6. При использовании биполярных импульсов тока протекающие на поверхности процессы ярче отражаются на форме импульсов. Выраженный пик в начале импульса свидетельствует об активном плёнообразовании (рис. 54).

## **ВЫВОДЫ ПО МАТЕРИАЛУ ГЛАВЫ**

1. ЭХФ возможно при наличии параллельно протекающих процессов анодного растворения и образования пассивной плёнки на обрабатываемой поверхности. От соотношения скоростей этих процессов и свойств образующейся плёнки существенно зависят свойства формируемых фактур.

2. Продолжительность процесса ЭХФ определяет свойства плёнки и, в конечном итоге, вид формируемых фактур. Состав плёнок смешанный, имеющий кристаллическую и аморфную составляющую. В него входят оксиды и сернистые соединения металлов, присутствующих в сплаве – серебра, меди и цинка. Можно предположить возможности доокисления компонентов плёнки в процессе обработки, изменения её структуры, что приводит к снижению её устойчивости и способствует переходу анодной поверхности из зоны пассивации в зону транспассивного растворения.

3. Несомненным является близость процессов на поверхности анодно обрабатываемых металлов в течение ЭХП и ЭХФ. По форме импульсов можно прогнозировать результат обработки.

4. Для формирования ярко выраженных блестящих фактур необходимо создание условий транспассивного растворения на анодной поверхности, что эффективнее осуществлять при использовании униполярных импульсов тока. Для формирования матовых высокодекоративных фактур и фактур с шелковистым декоративным блеском лучше использовать биполярные импульсы тока.

5. 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.

6. Оптимальная температура электролита при ЭХФ составляет  $25^{\circ}\text{C}$ , в этом случае процесс наиболее эффективен, так как скорость изменения показателя величины микронеровностей обрабатываемой поверхности, отнесённая к общему показателю съёма металла, значительно возрастает.

Повышение температуры в общем случае приводит к повышению показателя удельного съёма металла. Однако на первых минутах обработки при повышенных температурах электролита возможно получение более крупноразмерной фактуры с соразмерными показателями потерь металла, особенно при температуре  $35^{\circ}\text{C}$ .

7. Полученные экспериментальные результаты позволили предложить способ электрохимического фактурирования поверхности серебра 925 пробы с использованием импульсных токов [131].

1. Формирование плёнки происходит в области анодных потенциалов, когда обрабатываемая поверхность находится в состоянии пассивации.

2. Однотонные, устойчивые (к воздействию наждачной бумагой *SIA P2000*) плёнки формируются предпочтительно при использовании униполярных

импульсов тока. Применение обратных импульсов тока позволяет получать более широкую гамму оттенков цвета плёнок.

3. Биполярные импульсы тока предпочтительнее униполярных, так как при прочих равных условиях формируются плёнки соизмеримых толщин, но удельный съём металла с обрабатываемой поверхности ниже.

4. Одновременно с плёнкой на поверхности формируется фактура. В начале обработки скорости формирования фактуры и плёнки соизмеримы. С третьей минуты скорость плёнообразования возрастает. В результате утолщающаяся плёнка начинает покрывать ранее сформированную фактуру. При этом при использовании униполярных токов увеличивается насыщенность оттенков цвета плёнок. При использовании биполярных импульсов тока подобная зависимость отсутствует.

5. Оптимальная температура для процесса ЭХФКП  $35^{\circ}\text{C}$ , при ней формируется покрытие с высокими декоративными свойствами при лучших технологических параметрах процесса: максимальная толщина плёнки при минимальном удельном съёме металла.

6. Оптимальная продолжительность процесса ЭХФКП 4...5 минут. Её увеличение приводит к превалированию растворения металла над процессом формирования плёнки.

7. ЭХФКП имеет ряд преимуществ перед другими способами декорирования поверхности, так как позволяет формировать устойчивые плёнки широкой цветовой гаммы в области тёмных оттенков на параллельно создаваемой мелкофактурной поверхности. Естественное совмещение этих двух процессов усиливает декоративность получаемых конверсионных покрытий.

8. Полученные экспериментальные результаты позволили предложить способ электрохимического анодирования поверхности серебра 925 пробы с использованием импульсных токов [132].

## **ГЛАВА IV. ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЮХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТНЫХ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ФАКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ**

### **4.1. ДИЗАЙН ЮХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТНЫХ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ФАКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ**

Современные ювелирные изделия отличаются огромным разнообразием форм и особенностей поверхности. Часто в одном изделии сочетаются разнофактурность, элементы разнообразных геометрических форм и т. д. Для изделий подобных типов рационально использовать электрохимическую декоративную обработку (ЭХДО), так как другие способы для них неприемлемы или имеют ряд существенных недостатков.

Недостатки существующих способов фактурирования и формирования конверсионных покрытий.

#### **1. Фактурирование**

##### *1.1. Механические способы фактурирования:*

1.1.1) возможность деформирования выступающих элементов, тонких стенок и тонких элементов конструкции;

1.1.2) сложность, а иногда и невозможность обработки сложнопрофилированных участков и поднутрений, а также элементов больших площадей;

1.1.3) скорость процесса зависит от сложности поверхности обрабатываемого изделия;

1.1.4) невозможность обработки малых окон и элементов конструкции из-за не проникновения или застревания свободного абразива.

1.1.5) высокий уровень отходов драгоценных металлов и получение их в виде, затратном для аффинажа.

##### *1.2. Формирование фактур при литье по выплавляемым моделям:*

1.2.1) сложность или невозможность фактурирования тонкостенных и тонких элементов конструкции из-за их непролива или громоздкой литниковой системы;

1.2.2) вероятность удаления фактуры при последующих операциях обработки.

### 1.3. *Химические способы фактурирования:*

1.3.1) сложность контролирования скорости процесса и его зависимость от количества уже обработанной площади в определённом объёме раствора;

1.3.2) в определённом объёме раствора можно обработать ограниченную площадь;

1.3.3) процесс реализуется в агрессивной среде (растворы кислот и щелочей, требующие последующей утилизации) при высоких температурах.

## 2. Чернение и оксидирование поверхности.

### 2.1. *Чернение:*

2.1.1) сложность или невозможность обработки тонкостенных и тонких элементов конструкции из-за необходимости подготовки ячеек для прокладывания черни;

2.1.2) специфический дизайн изделий;

2.1.3) скорость процесса зависит от сложности обрабатываемого изделия;

2.1.4) высокая стоимость процесса.

### 2.2. *Химическое оксидирование:*

2.2.1) в определённом объёме раствора можно обработать поверхность ограниченной площади;

2.2.2) ограниченность цветовой гаммы покрытий в растворе одного состава;

2.2.3) ограниченность «жизненного цикла» раствора из-за его разложения.

### 2.3. *Электрохимическое оксидирование на постоянном токе:*

2.3.1) ограниченность цветовой гаммы покрытий в электролите одного состава.

## Особенности поверхности и внешний вид ЮХИ [141]

Сложнопрофильность		
		
1.1.2; 1.1.4; 1.2.1; 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1		
Мелкоразмерные детали (касты, закрепочные корнеры и др.)		
		
1.1.1, 1.1.2, 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1		
Тонкие стенки и гальванопластика		
		
1.1.1, 1.1.2, 1.1.4; 1.2.1; 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1; 2.3.2		
Поднутрения и изгибы		
		
1.1.1, 1.1.2, 1.1.4; 1.2.1; 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1		

Легко деформируемые элементы		
		
1.1.1, 1.1.2, 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1		
Окна небольшого размера		
		
1.1.1, 1.1.4; 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1		
Выступающие элементы		
		
1.1.1, 1.1.2, 1.1.4; 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1		
Рельефные надписи и изображения		
		
1.1.1, 1.1.4; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.3; 2.1.4; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1		

Мелкая пластика			
			
1.1.1, 1.1.2, 1.1.4; 1.2.1; 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1			
Легко доступная поверхность большой площади			
			
1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.1.3; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1			
Подвижные элементы конструкции			
			
1.1.1, 1.1.2, 1.1.4; 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1			
Скань, филигрань, ажурные элементы			
			
1.1.1, 1.1.2, 1.1.4; 1.2.1; 1.2.2; 1.3.1; 1.3.2; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; 2.3.1			





В таблице 4.1. представлены некоторые особенности поверхности ЮХИ, а так же причины целесообразности использования ЭХДО. Процесс ЭХДО оптимально использовать для обработки сложнопрофилированных поверхностей, обработка которых затруднена или невозможна при использовании ручного абразивного инструмента или автоматизированных машин. В этом случае эффект по экономии ручного труда и снижению себестоимости продукции при одновременном повышении её качества максимален.

Проектирование ювелирных украшений – это синтез множества областей: композиции, пропорций, перспективы, графики и колористики. Одна из особенностей производства ювелирных изделий в том, что при их изготовлении необходимо максимально выявить и показать своеобразную красоту и декоративные свойства используемого материала – в данном случае серебра. Не менее важное требование – учёт технологических особенностей изготовления ЮХИ.

Например, одна из возможных технологий изготовления представляет следующую последовательность операций.

1. Изделие изготавливается с применением технологии ЛВМ.
2. Первичная обработка. Состоит из операций зачистки от литниковой системы, шлифовки и монтировки изделий.
3. Полировка. Данной обработке подвергается поверхность, не подлежащая последующей операции ЭХФ. Обработанная поверхность закрывается защитным

лаком. [Предлагается отказ или минимальное использование данной операции].

4. ЭХФ. Операция в зависимости от дизайна может проводиться в несколько этапов с целью формирования разнофактурной поверхности, с последовательным нанесением защитного лака.

5. ЭХФКП.

6. Глянцовка (при необходимости).

Учитывая технологические особенности, можно выявить дизайнерские особенности предполагаемых серебряных изделий:

1. *Фактурность* (рисунок 55).

1.1. Обработка всей поверхности изделия.

1.2. Чередование разноразмерной фактуры и полированной поверхности.

2. *Оксидировка* (рисунок 56).

2.1. Обработка фактурированной поверхности с последующей полировкой для подчёркивания фактуры.

2.2. Совмещение оксидированной и фактурной с полированной поверхностей.

3. *Ажурность*. Сочетание ажурной разнофактурированной поверхности в совокупности с цветным оксидированием (рис. 57).

Причём можно отказаться от полировки (вручную или с применением специальных машин и установок), являющуюся технологическим и временным слабым звеном при изготовлении большинства ЮХИ.

#### 4.2. ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЮХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТНЫХ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ФАКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ

Как показали исследования, изложенные в разд. 2 и 3, ЭХДО с использованием импульсных униполярных и биполярных токов можно с успехом использовать на заключительных этапах обработки поверхности заготовок ювелирных изделий, как в виде отдельных операций, так и цикла операций – ЭХФ с последующим ЭХФКП.

Указанные особенности определяют последовательность технологических операций обработки ювелирных изделий при использовании ЭХФ и ЭХФКП импульсными токами.

Процессы ЭХФ или ЭХФКП проводятся на специально разработанном оборудовании, заимствованном из работы [61] (рис. 58). В качестве рабочей установки принимается установка на 200 А в импульсе (рис. 58 а).

Технологический процесс ЭХДО состоит из следующих операций:

*Электрохимическое фактурирование (ЭХФ):*

1. сортировка изделий на группы. Общая площадь поверхности каждой группы не должна превышать:

при мелкогазмерном фактурировании – 50 см<sup>2</sup>;

при среднеразмерном фактурировании – 40 см<sup>2</sup>;

при крупногазмерном фактурировании – 30 см<sup>2</sup>;

2. определение рабочего тока (в амперах) для обработки каждой группы изделий;

3. загрузка группы изделий в корзину;

– обработка изделий в обезжиривающем растворе;

– промывка изделий в проточной холодной воде;

– сушка изделий;

4. установка корзины с изделиями на покачивающее устройство в ванну;

– осуществление обработки в течение 3–5 мин в зависимости от желаемого результата;

5. промывка изделий в ванне с холодной водой;

– последовательно промыть подвесочное приспособление с изделиями от остатков электролита в ваннах, совершая колебательные движения;

– обработка изделий в депассивирующем растворе;

– промывка изделий в ваннах улавливания с дистиллированной водой;

– промывка изделий в ванне с холодной водой;

– сушка изделий;

6. визуальный контроль качества поверхности.

*Электрохимическое формирование конверсионных покрытий (ЭХФКП):*

1. сортировка изделий на группы. Общая площадь поверхности каждой группы не должна превышать 100 см<sup>2</sup>;
2. см. п. 2 раздел ЭХФ;
3. см. п. 2 раздел ЭХФ;
4. завешивание изделий в ванну;
  - осуществление обработки в течение 3–5 мин в зависимости от желаемого результата;
5. промывка изделий в ванне с холодной водой;
  - сушка изделий в течение 10 минут;
  - УФО в течение 10 минут;
6. см. п. 6 раздел ЭХФ.

Технологическая карта процесса ЭХФ и ЭХФКП представлена в Приложении 1.

Составы технологических растворов приведены в Приложении 2.

*Рекомендации при осуществлении операций технологического процесса ЭХФ:*

1. Рабочая температура электролита  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ .
2. Регенерация драгоценных металлов из электролита электрохимического декорирования и депассивирующего раствора производится аналогично соответствующим операциям при процессе электрохимического травления поверхности сплавов серебра.
3. Проверку состава электролита и его корректировку необходимо производить периодически в начале работы.
4. Во избежание брака на операции электрохимического фактурирования необходимо обеспечивать надёжный контакт изделий с подвесочным приспособлением. Необходимо учитывать возможность «всплытия» лёгких изделий за счёт обильного газовыделения при обработке, приводящего к резкому ухудшению их контакта с подвесочным приспособлением. Поэтому

рекомендуется производить обработку изделий насыпью в подвесочных корзинах с непрерывным их покачиванием в процессе обработки.

5. Во избежание перегрузки источника питания в процессе работы (короткого замыкания) рекомендуется избегать контактов анодного подвесочного приспособления с пластинчатыми катодами, загруженными в ванну.

*Рекомендации при осуществлении операций технологического процесса ЭХФКП:*

1. Рабочая температура электролита  $35 \pm 2^\circ\text{C}$ .

2. Регенерация драгоценных металлов из электролита электрохимического декорирования и депассивирующего раствора производится аналогично соответствующим операциям при процессе электрохимического травления поверхности сплавов серебра.

3. Проверку состава электролита и его корректировку необходимо производить периодически в начале работы.

4. Во избежание подтравливания поверхности обрабатываемых изделий в местах соприкосновения с подвесочным приспособлением средний ток через один подвесной зажим не должен превышать величину 5 А. При обработке изделий с большой площадью поверхности рекомендуется их завешивать на 2 и более зажимов.

5. Во избежание перегрузки источника питания в процессе работы (короткого замыкания) рекомендуется избегать контактов анодного подвесочного приспособления с пластинчатыми катодами, загруженными в ванну.

Безвозвратные потери от общего съёма металла на различных операциях обработки составляют следующие величины:

- обработка в пескоструйных установках фирмы «Renfert» – 30%;
- обработка вручную на бормашинах «Foredom» с абразивом – 9–10%;
- ЭХФ и ЭХФКП – 0,5–1,5%.

Таким образом, почти весь металл, удалённый с поверхности изделий и заготовок при ЭХФ и ЭХФКП возвращается в производство, что составляет дополнительную экономию.

## ВЫВОДЫ ПО МАТЕРИАЛУ ГЛАВЫ

1. Проведена классификация особенностей поверхности ЮХИ с выявлением причин неэффективности традиционных методов ручной, механизированной, химической обработок и ЭХДО постоянными токами.

2. Процесс ЭХДО оптимально использовать для обработки поверхностей, обработка которых затруднена или невозможна при использовании ручного абразивного инструмента или автоматизированных машин. В этом случае эффект по экономии ручного труда и снижению себестоимости продукции при одновременном повышении её качества максимален.

3. Использование способов ЭХФ и ЭХФКП позволяет для ЮХИ с определёнными особенностями дизайна и конструкции минимизировать или полностью отказаться от технологической операции – полировка.

4. Предложены технологический процесс и рекомендации по изготовлению серебряных изделий с применением ЭХДО (фактурирования и ФКП) импульсными токами.

5. Полученные результаты внедрены в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Костромской государственной технологической университет» на кафедре технологии художественной обработки материалов, художественного проектирования, искусств и технического сервиса (ТХОМ, ХПИ и ТС) при преподавании дисциплин по следующим направлениям подготовки:

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».

6. Разработанные способы декорирования поверхности изделий из сплавов серебра 925 пробы прошли производственные испытания и рекомендованы к внедрению на ювелирные предприятия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определена историческая и современная распространённость лёгких и ажурных ювелирных украшений со сложнопрофилированной и разнофактурированной 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 аналогичными технологиями;

- 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 предприятии «ИП Якушева Елена Николаевна» (Кострома, 2016).



**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ермаков М.П. Основы дизайна. Художественная обработка металла : учебное пособие / М.П. Ермаков. – М. : ЛитераФорте, 2014. – 460 с.
2. Соколова М.Л. Дизайн : учебник для вузов / М.Л.Соколова, И.Ю. Мамедова, М.Ш. Фурникэ; под ред. Б.М. Михайлова. – М. : МГАПИ, 2005. –127 с.
3. Галанин, С.И. Дизайн, материалы и технология изготовления современных ювелирно-художественных изделий : Монография / С.И. Галанин, К.Н. Колупаев. – Кострома : Изд-во Костромс. госуд. технол. ун-та, 2014. – 183 с.
4. Сорокина М.В. Взаимосвязь операций обработки поверхности ювелирных изделий из сплавов золота с принципами их художественного проектирования / М.В. Сорокина // Современные наукоёмкие инновационные технологии развития промышленности региона: сборник трудов международной научно-технической конференции (Лён-2006). – Кострома : Изд-во Костромс. госуд. технол. ун-та. – 2006. – С. 177–178.
5. Галанин С.И. Проектирование ювелирных изделий с учётом технологии обработки их поверхности / С.И. Галанин, М.В. Сорокина, А.С. Галанина, Е.А. Воробьёва // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб. : СПГУТД. – 2008. – № 4 (7). – С. 3–8.
6. МакКрайт Т. Двенадцать техник работы по металлу / Тим МакКрайт. – Омск : Дедал-Пресс, 2004. – 143 с.
7. Knott J. Creating textured surfaces / J. Knott // The painter's journal. – 2005. – Vol. 3. – № 1. – P. 1–6.
8. Мельников И.В. Художественная обработка металла / И.В. Мельников. – Ростов н/Д : Феникс, 2005. – 448 с.
9. Пирайнен В.Ю. Технология художественной обработки металлов : учебное пособие / В.Ю. Пирайнен, М.А. Иоффе, О.Н. Магницкий. – СПб. : Изд-во политехнического университета, 2009. – 487 с.
10. Crowe J. Jeweller's directory of gemstones / J. Crowe. – L. : A&C Black, 2006. – p. 176.

11. Черных М.М. Эстетика неровностей поверхности изделий в художественном материаловедении / М.М. Черных, В.В. Сергеева // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб. : СПГУТД. – 2008. – Вып. 1. – №4. – С. 22–25.
12. Сергеева В.В. Взаимовлияние эстетических свойств фактуры изделий из древесины и технологических аспектов их обработки : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Сергеева Вера Владимировна. – М., 2008. – 23 с.
13. Поярков А.В. Эстетика текстурированных изделий из древесины : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Поярков Андрей Валерьевич. – М., 2007. – 27 с.
14. McGrath J. The jeweler's directory of decorative finishes: from enameling and engraving to anodizing and mokume gane / J. McGrath. – L. : Bloomsbury Publishing PLC, 2005. – p. 128.
15. Лебедева Т.В. Исследование способов фактурирования поверхности ювелирных изделий методом ретикуляции и станочной текстуры [Электронный ресурс] / Т. В. Лебедева, М. К. Закалина // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. – М. : МГУПИ. – 2010. – Вып. 16. – С. 23–41. – URL : <http://enidtp.ru>.
16. Маталин А. А. Технология механической обработки / А.А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1977. – 387 с.
17. McGrath J. The complete jewelry making course / J. McGrath. – L. : Quarto Publishing, 2007. – p. 145.
18. Колачёв Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачёв и др. – М. : Металлургия, 1992. – 480 с.
19. McGrath J. The jeweler's directory of decorative finishes / J. McGrath. – L. : Krause Publications, 2005. – p. 128.
20. Untracht O. Metal techniques for craftsmen finishes / O. Untracht. – L. : Robert Hale, 1985. – p. 491.
21. Еланский Г.Н. Основы производства и обработки металлов : учебник / Г.Н. Еланский, Б.В. Линчевский, А. А. Кальменев. – М: МГВМИ, 2005. – 416 с.
22. Нектасов С.С. Технология материалов / С.С. Нектасов, Г.М. Зильберман. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.

23. Марченков В.И. Ювелирное дело : практическое пособие / В.И. Марченков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1992. – 256 с.
24. McGrath J. Complete jewellery-maker / J. McGrath. – L. : A&C Black, 2012. – p. 320.
25. Untracht O. Jewelry concepts and technology / O. Untracht. – L. : Doubleday, 1982. – p. 791.
26. McCreight T. Jewelry : fundamentals of metalsmithing technology / T. McCreight. – Rockport : Hand Books Press, 1997. – p. 144.
27. Флёров А.В. Техника художественной эмали, чеканки иковки : учебное пособие / А.В. Флёров, М.Т. Дёмина, А.Н. Елизаров, Ю.А. Шеманов. – М. : Высшая школа, 1986. – 191 с.
28. Лиллико Дж.В. Приёмы ручнойковки / Дж.В. Лиллико. – М. : Государственное научно-техническое издательство по машиностроению, металлообработке и черной металлургии, 1932. – 230 с.
29. McCreight T. The metalsmith's book of boxes and locket / T. McCreight. – Brunswick : Brynmorgen Press, 2007. – p. 144.
30. McCreight T. Complete metalsmith : professional edition / T. McCreight. – Brunswick : Brynmorgen Press, 2005. – p. 312.
31. Постникова-Лосева М.М. Золотое и серебряное дело XV–XX вв. / М.М. Постникова-Лосева, Н.Г. Платонова, Б.Л. Ульянова – М. : ЮНВЕС, ТРИО, 1995. – 376с.
32. Bennett D. Understanding jewellery edition / D. Bennett, D. Mascetti. – Woodbridge : Antique Collectors' Club, 2008. – p. 496.
33. Olver E. The art of jewelry design : from idea to reality / E. Olver. – Cincinnati : North Light Books, 2002. – p. 160.
34. Olver E. Jewelry design : the artisan's reference / E. Olver. – Cincinnati : North Light Books, 2000. – p. 80.
35. Gollberg J. Making metal jewelry : projects, techniques, inspiration / J. Gollberg. – N.Y. : Lark Crafts, 2006. – p. 112.

36. Codina C. The complete book of jewelry making : a full-color introduction to the jeweler's art / C. Codina. – N.Y. : Lark Books, 2006. – p. 160.
37. Fisch A. Textile techniques in metal : for jewelers, textile artists & sculptors / A. Fisch. – N.Y. : Lark Books, 2001. – p. 128.
38. Sartin J. The complete photo guide to making metal jewelry / J. Sartin. – Newfoundland : Creative Publishing, 2013. – p. 224.
39. Корягин С.И. Способы обработки материалов : учебное пособие / С.И. Корягин, И.В. Пименов, В.К. Худяков. – Калининград : Изд-во Калининградского университета, 2000. – 448 с.
40. Суворов И.К. Обработка металлов давлением / И.К. Суворов. – М. : Высшая школа, 1993. – 383 с.
41. Ювелирная мастерская. Алмазная обработка ювелирных изделий [Электронный ресурс]. – URL : [http://золотой-купец.рф/publ/almaznaja\\_obrabotka\\_juvelirnykh\\_izdelij/1-1-0-3](http://золотой-купец.рф/publ/almaznaja_obrabotka_juvelirnykh_izdelij/1-1-0-3) (дата обращения: 06.03.2015).
42. Новиков В.П. Практика по ювелирному делу / В.П. Новиков. – СПб. : Континент, 2005. – 944 с.
43. Луговой В.П. Технология ювелирного производства: учебное пособие / В. П. Луговой. – Минск : Новое знание, 2013. – 526 с.
44. Одноралов Н.В. Декоративная обработка скульптуры и художественных изделий из металла : учебное пособие / Н.В. Одноралов. – М. : Изобразительное искусство, 1989. – 208 с.
45. Никифоров Б.Т. Ювелирное искусство : учебное пособие / Б.Т. Никифоров, В.В. Чернова. – Ростов н/Д : Феникс, 2006. – 330 с.
46. Гарбер М.И. Декоративное шлифование и полирование/ М.И. Гарбер. – М : Машгиз, 1964. – 326 с.
47. Новиков В.П. Ручное изготовление ювелирных украшений / В.П. Новиков, В.С. Павлов. – Л. : Политехника, 1991. – 208 с.
48. Галанин С.И. Декоративная электрохимическая обработка поверхности металлов и сплавов : Монография / С.И. Галанин, С.А. Шорохов. – Кострома : Изд-во Костромс. госуд. технол. ун-та, 2015. – 151 с.

49. Бреполь Э. Теория и практика ювелирного дела / Эрхард Бреполь. – СПб : Соло, 2000. – 528 с.
50. Faccenda V. Handbook on finishing / V. Faccenda. – L. : World Gold Council, 1999. – p. 68.
51. Галанин С.И. Теория и практика анодной электрохимической обработки короткими импульсами тока : дис....докт. техн. наук / Галанин Сергей Ильич. – Кострома, 2001. – 278 с.
52. Галанин С.И. Проблемы дизайна отечественных ювелирных изделий [Электронный ресурс] / С.И. Галанин, К.Н. Колупаев // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. – М. : МГУПИ. – 2011. – Вып. 6. – С. 62–70. – URL : <http://enidtp.ru>.
53. Беркович М.И. Ювелирное производство в России / М.И. Беркович, С.И. Галанин // ЭКО. – 2009. – №7. – С. 163–174.
54. Галанин С.И. Проблемы российской ювелирной отрасли / С.И. Галанин, С.А. Шорохов // Вестник РАЕН. – 2011. – №2. – С. 85–90.
55. Горыня А.С. О главном / А.С. Горыня // Русский ювелир. – 2010. – Ноябрь. – С. 20.
56. Горыня А.С. Российская ювелирная промышленность. Состояние и проблемы / А.С. Горыня // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб. : СПГУТД. – 2007. – №2 (3). – С. 81–83.
57. Галанин, С.И. Дизайн и технология ювелирных изделий: российские особенности / С. И. Галанин, К. Н. Колупаев // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб. : СПГУТД. – 2011. – 2(17). – С. 60–63.
58. Калинин И.В. Повышение качества поверхности сплавов золота 585 пробы электрохимическим полированием биполярными импульсами тока : дис. ... канд. техн. наук / Калинин Илья Владимирович. – Кострома, 2010. – 137 с
59. Беккерт М. Справочник по металлографическому травлению / М. Беккер, Х. Клемм. – Пер. с нем. – М. : Металлургия, 1979. – 336 с.
60. Грилихес С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов / С.Я. Грилихес. – Л. : Машиностроение, 1983. – 254 с.

61. Галанин С.И. Дизайн ювелирно-художественных изделий с использованием электрохимической отделки поверхности металлов импульсными токами : монография / С.И. Галанин. – Кострома : Изд-во Костромс. госуд. технол. ун-та, 2008. – 187 с.
62. Галанин С.И. Влияние предварительной механической и термической обработки на микроструктуру и эффективность полировки сплава Ag–7,5Cu / С.И. Галанин, Е.П. Гришина, О.А. Иванова, Ю.Л. Нельмина // Физика и химия обработки материалов. – 2004. – №2. – С. 56–60.
63. Галанин С.И. Химическое и электрохимическое травление (текстурирование) поверхности меди [Электронный ресурс] / С.И. Галанин, А.Ю. Худобина // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. – М. : МГУПИ. – 2010. – Вып. 5. – С. 51–85. – URL : <http://www.enidtp.ru>.
64. Галанин С.И. Исследование процесса электрохимического фактурирования поверхности сплавов серебра 925 пробы [Электронный ресурс] / С.И. Галанин, Ю.В. Галамий // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. – М.: МГУПИ. – 2010. – Вып. 5. – С. 1–15. – URL : <http://www.enidtp.ru>.
65. Галанин С.И. Электрохимическое полирование и фактурирование поверхности медных сплавов [Электронный ресурс] / С.И. Галанин, С.А. Шорохов, Ю.Л. Дубова // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. – М. : МГУПИ. – 2012. – Вып. 11. – С. 59–71. – URL : <http://www.enidtp.ru>.
66. Грилихес С.Я. Электрохимическое травление, полирование и оксидирование металлов / С.Я. Грилихес. – М. : Машгиз, 1957. – 322 с.
67. Справочник по электрохимии / Под общ. ред. А.М. Сухотина. – Л. : Химия, 1981. – 315 с.
68. Никулин В.Н. Электролитическая полировка серебра в растворах тиосульфата натрия / В.Н. Никулин, М.З. Цыпин // Журнал прикладной химии. – 1960. – Вып. 39. – № 2. – С. 469–471.
69. Cabane-Bronte F. Polissage electrolyrique de l'argent en bain de thiosulfate / F. Cabane-Bronte, B. Ruze // Metaux (corros-inds.) – 1964. – Vol. 39. – № 469. – P. 343–345 (Франция).

70. Способ электрохимического полирования изделий из серебра и его сплавов : Пат. 2117718 РФ : МПК<sup>8</sup> С 25 F 3 / 22 / Мирзоев Р.А., Стыров М.И., Степанова Н.И. и др. ; Заявитель и патентообладатель ОАО «Русские самоцветы». – Заявл. 25.09.1996 ; Оpubл. 20.08.1998.

71. Электролит для электрополирования серебра и его сплавов : Пат. 2288301 РФ : МПК<sup>8</sup> С 25 F 3/18 / Балмасов А.В., Лилин С.А. ; Заявитель и патентообладатель Ивановский государственный химико-технологический университет, институт химии растворов РАН. – № 2005113659/02 ; Заявл. 04.05.05 ; Оpubл. 27.11.06, Бюл. № 33.

72. Способ электрохимического полирования серебра и его сплавов импульсным током : Пат. 2227818 РФ : МПК<sup>8</sup> С 25 F 3/16 / Галанин С.И., Гришина Е.П., Иванова О.А. : Заявитель и патентообладатель Костромской государственный технологический университет. – Заявл. 28.11.02 ; Оpubл. 27.04.04.

73. Способ электрохимического полирования поверхности серебра : Пат. 2233353 РФ : МПК<sup>8</sup> С 25 F 3/16 / Галанин С.И., Гришина Е.П., Иванова О.А. : Заявитель и патентообладатель Костромской государственный технологический университет. – Оpubл. 27.07.04.

74. Юзикис Л.А. Электрохимическое полирование серебра в аммиачно-нитратном электролите / Л.А. Юзикис, Т.Ю. Янкаускас, Д.А. Бучинскас и др. // Журнал прикладной химии. – 1979. – Вып. 52. – № 7. – С. 1659–1661.

75. Metal plating processes and methods of measuring surface hardness and thickness of coatings : technical report TR-105. – Pauling : Bal Seal Engineering Co, Inc, 2003. – p. 15.

76. Schlesinger M. Electrodes and electro deposition of silver. Modern Electroplating / M. Schlesinger, M. Paunovic. – Fifth edition. – N. Y. : John Wiley & Sons, Inc., 2010. – p. 138.

77. Румянцева К.Е. Физические и технологические свойства покрытий : учебное пособие / К.Е. Румянцева. – Иваново : Изд-во Ивановск. госуд. хим.-технол. ун-та, 2007. – 80 с.

78. Галанин С.И. Теоретические основы электрофизикохимических методов обработки металлических поверхностей и нанесения гальванических покрытий : учебное пособие / С.И. Галанин. – Кострома : изд-во Костромск. госуд. технол. ун-та, 2005. – 132 с.

79. Гой М.В. Дизайн ювелирных изделий из золотых сплавов 585 пробы различной цветовой палитры : дис. ... канд. техн. наук / Гой Мария Валентиновна. – М. : МГУПИ, 2009. – 102 с.

80. Багаев С.Н. Оксидная лазерная нанокерамика : технология и перспективы [Электронный ресурс] / С.Н. Багаев, А.А. Каминский, Ю.Л. Копылов, В.Б. Кравченко. – URL : [http://rusnanotech08.rusnanoforum.ru/sadm\\_files/disk/Docs/1/46/1.pdf](http://rusnanotech08.rusnanoforum.ru/sadm_files/disk/Docs/1/46/1.pdf) (дата обращения: 14.02.2016).

81. Гленис Л.М. Эмали. Эмалирование. Эмальеры / Л.М. Гленис. – Омск : Издательский дом «Дедал-Пресс», 2006. – 212 с.

82. Патлах В.В. Энциклопедия технологий и методик [Электронный ресурс] / В.В. Патлах. – URL : [http://patlah.ru/etm/etm-03/stroi-rem/stroi-material/lak\\_olifa/lak\\_olifa-6.htm](http://patlah.ru/etm/etm-03/stroi-rem/stroi-material/lak_olifa/lak_olifa-6.htm) (дата обращения: 14.02.2016).

83. Нераскрытая тайна [Электронный ресурс] – URL : [kotlaslib.aonb.ru/doc/Neraskrytaja\\_tajna.pdf](http://kotlaslib.aonb.ru/doc/Neraskrytaja_tajna.pdf) (Дата обращения: 10.02.2016 г.)

84. Оксидированное серебро [Электронный ресурс] – URL : <http://oserebre.info/jewelry/109-oksidirovannoe-serebro.html> (Дата обращения: 10.02.2016 г.)

85. Великоустюжская чернь [Электронный ресурс] – URL : <http://russia.rin.ru/guides/4232.html> (Дата обращения: 10.02.2016 г.)

86. Чернь (ниелло) [Электронный ресурс] – URL : <http://www.tehno-line.ru/files/theory/Artprocessing/3-30.htm> (Дата обращения: 10.02.2016 г.)

87. Художественная обработка металла [Электронный ресурс] – URL : <http://www.npprusmet.ru/articles.php?id=76> (Дата обращения: 10.02.2016 г.)

88. Грилихес С. Я. Электролитические и химические покрытия. Теория и практика / С.Я. Грилихес, К.И. Тихонов. – Л.: Химия, 1990. – 268 с.



89. Новиков В.П. Ручное изготовление ювелирных украшений / В.П. Новиков, В.С. Павлов. – Л. : Политехника, 1991. – 208 с.
90. Березков Б.Н. Защитные, декоративные и специальные покрытия деталей РЭС : методические указания / Б.Н. Березков, А.В. Архипов. – Самара : Изд-во Самарского госуниверситета аэрокосмического ун-та, 2001. – 40 с.
91. Галанин С.И. Исследование формирования цветных конверсионных плёнок на поверхности серебра [Электронный ресурс] / С.И. Галанин, Ю.В. Галамий // ЭНИ Дизайн. Теория и практика. – М. : МГУПИ. – 2010. – Вып. 5. – С. 86–99. – URL : <http://www.enidtp.ru>.
92. Галанин С.И. Электрохимическое формирование декоративных цветных пленок на поверхности сплава серебра  $\text{CuM925}$  при использовании импульсных токов / С.И. Галанин, О.А. Иванова // Сборник научных трудов молодых учёных КГТУ. – Кострома : КГТУ. – 2003. – С. 203–205.
93. Puippe J. Cl. Theory and practice of pulse plating / J.Cl. Puippe, F.H. Leaman. – Orlando : AESF, 1986 – 247 p.
94. Cheh H.Y. Electrodeposition of gold by pulsed current / H.Y. Cheh // Journal of the Electrochemical Society. – 1971. – Vol. 118. – №4. – P. 551–557.
95. Иванова О.А. Осциллографическое исследование процесса ЭХП серебра и его сплавов  $\text{CuM92,5}$  и  $\text{CuM75,0}$  импульсным током в тиосульфатном электролите / О.А. Иванова // Вестник КГТУ. – Кострома : изд-во Костромск. госуд. технол. ун-та. – 2004. – №9. – С. 69-71.
96. Галанин С.И. Электрохимическая обработка металлов и сплавов микросекундными импульсами тока : Монография / С.И. Галанин. – Кострома : КГТУ, 2001 – 118 с.
97. Галанин С.И. Определение амплитудно-временных параметров импульсов тока для формирования заданной зависимости «анодная поляризация-время» в условиях ЭХО деталей машин / С.И. Галанин, В.А. Калинин // Сб. статей к 60-летию механического факультета КГТУ. – Кострома : изд-во Костромск. госуд. технол. ун-та. – 1999. – С. 81–88.

98. Рыбалко А.В. Разработка процессов ЭХРО микросекундными импульсами и оборудования для их реализации : автореф. ... дис. докт. техн. наук / Рыбалко Александр Васильевич. – Воронеж, 1997. – 32 с.
99. Rybalko A.V. Unsteady electrolysis features / A.V. Rybalko, S.I. Galanin // ISE. 37-th Meeting Ext. Abstr. – Vilnius. – 1986. – Vol. 4. – P. 362–364.
100. Рыбалко А.В. Амплитудно-временные характеристики нарастания и спада поляризации анода в условиях импульсной ЭХО / А.В. Рыбалко, С.И. Галанин // Электронная обработка материалов. – 1990. – №4. – С. 3–7.
101. Галанин С.И. Импульсный источник биполярного напряжения / С.И. Галанин, А.В. Рыбалко, О.В. Чокырлан // Проблемы преобразовательной техники. Тезисный доклад IV ВНТК. – Киев. – 1987. – Ч. 2. – С. 74–75.
102. Рыбалко А.В. Импульсная электрохимическая обработка биполярным током / А.В. Рыбалко, А.Г. Атанасянц, С.И. Галанин // Электронная обработка материалов. – 1993. – №3. – С. 3–6.
103. Балмасов А.В. Повышение качества поверхности металлов методами электрохимической и химической обработки : закономерности и технологические решения : дис. ... докт. техн. наук / Балмасов Анатолий Викторович. – Иваново, 2006. – 325 с.
104. Galanin S.I. Polarization of jewelry gold alloys by bipolar current pulses in a polishing electrolyte / S.I. Galanin, I.V. Kalinnikov // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2008. – Vol. 44. – No 5. – P. 359–366.
105. Галанин С.И. Электрохимическое полирование сплава серебра  $\text{SrM}925$  импульсным током / С.И. Галанин, А.В. Чекотин, М.В. Никонова // Журнал прикладной химии. – 2001. – Т. 74. – Вып. 10. – С. 1633–1635.
106. Ругне В.Ф. Основы теории и методологии дизайна. Учебное пособие (конспект лекций) [Текст] / В.Ф. Ругне, В.В. Сеньковский. – М. : МЗ-Пресс, 2003. – 252 с.
107. Байер В.Е. Материаловедение для архитекторов, реставраторов, дизайнеров [Текст] : учеб. пособие для вузов / В.Е. Байер. – М. : «Архитектура-С», 2005. – 264 с.

108. Степанов А.В. Объемно-пространственная композиция [Текст] : учеб. пособие для вузов / А.В. Степанов, В.И. Мальгин, Г.И. Иванова и др. – М. : Стройиздат, 1993. – 254 с.
109. Айрапетов Д.П. Архитектурное материаловедение [Текст] : учебник дляarchit. спец. вузов / Д.П. Айрапетов. – М. : Стройиздат, 1983. – 310 с.
110. Кринский В.Ф. Элементы архитектурно-пространственной композиции [Учеб пособие для студентов специальности «Архитектура» вузов] / В.Ф. Кринский и др. – М. : Стройиздат, 1968. – 168 с.
111. Нестеренко О.И. Краткая энциклопедия дизайна [Текст] / О.И. Нестеренко. – М. : Мол. гвардия, 1994. – 334 с.
112. Картинные галереи и художники – Древний Египет [Электронный ресурс] URL: <http://gallart.by/istoriya-ukrasheniy/drevniy-egipet.html> (дата обращения 18.11.2017)
113. Gregorietti G. Jewelry: History & Technique from the Egyptians to the Present / G. Gregorietti. – L. : Chartwell Books Inc., 1989. – p. 166.
114. Evans J. A history of jewelery 1100–1870 / J. Evans. – L. : Faber & Faber Ltd, 1989. – p. 448.
115. Black J.A. A History of Jewelry: Five Thousand Years / J.A. Black. – L. : Random House Value Publishing, 1988. – p. 336.
116. Phillips C. Jewelry: From Antiquity to the Present (World of Art) / C. Phillips. – L. : Thames & Hudson Ltd, 1996. – p. 224.
117. Галанин С.И. Материалы и технологии Рене Лалика / С.И. Галанин, Е.А. Сильянова. – Кострома : Изд-во Костромск. госуд. технол. ун-та, 2017. – 124 с.
118. Сизова Т.И. Ювелирное искусство России / Т.И. Сизова и др. – М. : Интербук-бизнес, 2002. – 277 с.
119. Камыгина Г.А. Скать и филигрань: история, дизайн, технология: монография / Г.А. Камыгина, С.И. Галанин. – Кострома : Изд-во Костромск. госуд. технол. ун-та, 2011. – 124 с.

120. Ненарокова И.С. Художественные сокровища Государственных музеев Московского Кремля / И.С. Ненарокова, Е.С. Сизов. – М. : Советский художник, 1978. – 185 с.

121. Скурлов В.В. Фаберже и русские придворные ювелиры / В.В. Скурлов, Г.Г. Смородинова. – М. : ТЕРРА-Книжный клуб, 2001. – 336 с.

122. Бех Н.И. Технология художественного литья : учебник для вузов / Н.И. Бех, М.А. Иоффе, О.Н. Магницкий. – СПб. : СПбГПУ, 2006. – 455 с.

123. Мак Грас Д. Декоративная отделка ювелирных изделий / Д. Мак Грас. – М. : Арт-родник, 2007. – 129 с.

124. Рыбалко, А. В. О повышении точности измерений электрических характеристик межфазной границы металл-электролит импульсным методом [Текст] / А. В. Рыбалко, С. И. Галанин // Электронная обработка материалов. – 1985. – №3. – С. 85–88.

125. 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.

126. Галанин С.И. Особенности процесса электрохимического декорирования поверхности серебра [Электронный ресурс] / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета. – 2016. – Т. 327. – № 3. – С. 75–86. – URL : <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/18955>.

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

128. Galanin S.I. Electrochemical Surface Texturing of Silver / S.I. Galanin, I.V. Viskovaty // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2015. – Vol. 51. – No 4. – P. 332–338.

129. 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.

130. Галанин С.И. Оксидирование поверхности фурнитуры швейных изделий [Электронный ресурс] / С. И. Галанин, И. С. Висковатый // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – Иваново: Изд-во Ивановской государственной текстильной академии. – 2016. – Т. 366. – № 6. – С. 175–182. – URL : <http://ttp.ivgpu.com>.

131. Способ декоративного электрохимического фактурирования поверхности серебра : Пат. 2569876 Рос. Федерация : МПК<sup>8</sup> С 25 F 3 / 02 / Галанин С.И., Висковатый И.С.; Заявитель и патентообладатель Костромской государственный технологический университет. – № 2014130872/02 ; – заявл. 24.07.14 ; опубл. 03.11.15, Бюл. № 33. – 2 с.

132. Способ декоративного электрохимического анодирования поверхности серебра : Пат. 2643290 Рос. Федерация : МПК<sup>8</sup> С 25 F 3 / 18 / Галанин С.И., Висковатый И.С.; Заявитель и патентообладатель Костромской государственный университет. – № 2016102517 ; – заявл. 26.01.16 ; опубл. 31.01.18, Бюл. № 4. – 2 с.

133. Галанин С.И. Закономерности плёнообразования при электрохимическом полировании серебра и его сплавов с медью в тиосульфатных растворах / С.И. Галанин, Е.П. Гришина, О.А. Иванова // Журнал прикладной химии. – 2004. – Вып. 77. – №8. – С. 1299–1302.

134. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытие. Справочник по применению / Ю.Д. Гамбург. – М. : Техносфера, 2006. – 216 с.

135. Синдеев Ю.Г. Гальванические покрытия / Ю.Г. Синдеев. – Ростов н/Д. : Феникс, 2000. – 256 с.

136. Галанин С.И. Электрохимическое формирование декоративных плёнок на поверхности серебра 925 пробы / С.И. Галанин, И.С. Висковатый // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб. : СПбГУТД. – 2015. – Вып. 4. – №39. – С. 56–60.

137. Вячеславов П.М. Контроль электролитов и покрытий. – 2-е изд., перераб. и доп. / П.М. Вячеславов, Н.М. Шмелева. – Л. : Машиностроение, 1985. – 97 с.

138. Галанин С.И. Декоративное электрохимическое анодирование поверхности сплава серебра 925 пробы / С.И. Галанин, И.С. Висковатый, Ю.П. Гладий // 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. 56–65.

139. Галанин С.И. Оксидирование и чернение ювелирных изделий из серебра / С. И. Галанин, И. С. Висковатый // Труды Академии технической эстетики и дизайна. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью СТТ. – 2017. – № 1. – С. 20–28.

140. Галанин С.И. Формирование конверсионных декоративных покрытий на серебре 925 пробы с использованием импульсных токов / С. И. Галанин, И. С. Висковатый // Практика противокоррозионной защиты. – М. : Ассоциация разработчиков и производителей средств противокоррозионной защиты для топливно-энергетического комплекса. – 2016. – Вып. 82. – № 4. – С. 45–51.

141. Ярмарка Мастеров [Электронный ресурс] – URL : <http://www.livemaster.ru> (Дата обращения: 10.08.2016 г.)

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

ПРИЛОЖЕНИЕ I

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО  
ФАКТУРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ  
НА ПОВЕРХНОСТИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА СРМ 925



## ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ФАКТУРИРОВАНИЯ

№ п/п	Наименование и содержание операции	Оборудование	Инструмент, приспособления, вспомогательные материалы	Состав электролита, раствора		Режим работы	Время п/п, мин
				Компоненты	Количество, г/л (мл/л)		
1	2	3	4	5	6	7	8
01	Транспортирование Получить изделия из кладовой цеха, согласно наряда по количеству и весу	Стол ГОСТ 16371-93	Тара специальная, халат ГОСТ 25294-03				
02	Загрузка изделий в корзину	Стол ГОСТ 16371-93	Корзина из титана марки ВТ-3-1				
03	Подготовка электролита полирования	Полипропиленовая ванна, шкаф вытяжной	Резиновые перчатки ГОСТ 3-88	Тиосульфат натрия $Na_2S_2O_3$ ГОСТ 244-76	790-830		
				Дистиллированная вода ГОСТ 6709-02	до 1 л		
<b>ЭХФ</b>							
04	Установление режима процесса	Источник импульсного питания, полипропиленовая ванна, шкаф вытяжной	Термометр 0-100 ГОСТ 400-90, средства индивидуальной защиты			$T_1 = 500\text{мкс}$ , скважность $q = 4$	
05	Загрузка корзины с изделиями в ванну						
06	Осуществление процесса обработки				Аналогично пункту 3		$25-30^\circ\text{C}$ $4 \text{ A/cm}^2$

07	Выгрузка корзины с изделиями						
08	Промывка×2*	Полипропиленовая ванна, шкаф вытяжной	Средства индивидуальной защиты	Вода проточная ГОСТ 6709-92		15–25°C	1
Примечание: соотношение поверхности катода к аноду $S_k:S_a = 4:1$ , материал катодов – нержавеющая сталь ХВГ ГОСТ 1980–04							
* Последовательно промыть подвесочное приспособление с изделиями от остатков электролита в ваннах, совершая колебательные движения							

1	2	3	4	5	6	7	8
09	Демонтаж изделий с приспособления	Стол ГОСТ 16371-93	Корзина сетчатая, пинцет ГОСТ 21241-98				
10	Депассивация Промыть изделия от остатков солей	Полипропиленовая ванна, шкаф вытяжной	Корзина сетчатая, термометр 0-100 ГОСТ 400-90, средства индивидуальной защиты	Этаноламин $C_2H_7NO$ ГОСТ 8981-78	50–100	18–23°C	1
				Каптакс $C_7H_5NS_2$ ГОСТ 739-74	5–10		
				Висмутол II	1–2		
				Дистиллированная вода ГОСТ 6709-02	до 1 л		
Примечание: окончание процесса депассивации определяют по прекращению газовыделения							
11	Промывка×2* Промыть изделия от остатков раствора	Полипропиленовая ванна, шкаф вытяжной	Средства индивидуальной защиты	Дистиллированная вода ГОСТ 6709-02		15–25°C	1
12	Промывка*	Полипропиленовая ванна		Вода проточная ГОСТ 6709-92			

13	Сушка	Шкаф сушильный ГОСТ 102-1455-04	Поддон специальный, тара специальная, средства индивидуальной защиты			60–100°C	10
14	Контроль качества**	Стол ГОСТ 16371- 93	Тара специальная, лампа ГОСТ 10632–89, средства индивидуальной защиты			300 люкс	
<p>** Контроль внешнего вида изделий визуально 100%. Поверхность изделий должна быть чистой, блестящей, без следов растравливания.</p> <p>Не допускается наличие прижогов, царапин, следов не отмытого электролита, продуктов коррозии.</p> <p>При необходимости повторить операции 02-13</p>							
15	<b>Транспортирова ние</b> Готовые изделия передать в кладовую цеха, согласно наряда по количеству и весу	Стол ГОСТ 16371-93	Тара специальная, халат ГОСТ 25294-03				

**ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ КОНВЕРСИОННЫХ ПЛЁНОК**

№ п/п	Наименование и содержание операции	Оборудование	Инструмент, приспособления, вспомогательные материалы	Состав электролита, раствора		Режим работы	Время п/п, мин
				Компоненты	Количество, г/л (мл/л)		
1	2	3	4	5	6	7	8
01	<b>Транспортирова ние</b>	Стол ГОСТ 16371-93	Тара специальная, халат ГОСТ 25294-03				

	Получить изделия из кладовой цеха, согласно наряда по количеству и весу						
02	Монтаж изделий на приспособление	Стол ГОСТ 16371-93	Подвесочное приспособление из титана марки ВТ-3-1				
03	Подготовка электролита полирования	Полипропиленовая ванна, шкаф вытяжной	Резиновые перчатки ГОСТ 3-88	Тиосульфат натрия $Na_2S_2O_3$ ГОСТ 244-76	790-830		
				Дистиллированная вода ГОСТ 6709-02	до 1 л		
<b>ЭХФКП</b>							
04	Установление режима процесса	Источник импульсного питания, полипропиленовая ванна, шкаф вытяжной	Термометр 0-100 ГОСТ 400-90, средства индивидуальной защиты			$T_1 = 1000\text{мкс}$ , скважность $q = 2$	
05	Загрузка подвески с изделиями в ванну						
06	Осуществление процесса обработки			Аналогично пункту 3	$35-35^\circ\text{C}$ $0,3 \text{ А/см}^2$	4	
07	Выгрузка подвески с изделиями						
08	Промывка*	Полипропиленовая ванна, шкаф вытяжной	Средства индивидуальной защиты	Вода проточная ГОСТ 6709-92		$15-25^\circ\text{C}$	1

Примечание: соотношение поверхности катода к аноду $S_k:S_a = 4:1$ , материал катодов – нержавеющая сталь ХВГ ГОСТ 1980–04							
09	Демонтаж изделий с приспособления	Стол ГОСТ 16371-93	Корзина сетчатая, пинцет ГОСТ 21241-98				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
10	Сушка	Шкаф сушильный ГОСТ 102-1455-04	Поддон специальный, тара специальная, средства индивидуальной защиты			60–100°C	10
11	УФО	Установка ультрафиолетового отверждения	Поддон специальный, средства индивидуальной защиты				10
12	Контроль качества**	Стол ГОСТ 16371-93	Тара специальная, лампа ГОСТ 10632–89, средства индивидуальной защиты			300 люкс	
<p>** Контроль внешнего вида изделий визуальнo 100%. Поверхность изделий должна быть блестящей, покрытие однородным тёмного оттенка.</p> <p>Не допускается наличие прижогов, царапин, следов не отмытого электролита, продуктов коррозии.</p> <p>При необходимости повторить операции 02-12</p>							
13	<b>Транспортирование</b> Готовые изделия передать в кладовую цеха, согласно наряда по количеству и весу	Стол ГОСТ 16371-93	Тара специальная, халат ГОСТ 25294-03				

ПРИЛОЖЕНИЕ II

СОСТАВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ  
ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО  
ФАКТУРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ  
КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ  
ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА СРМ 925

## ЭЛЕКТРОЛИТ ФОРМИРОВАНИЯ ФАКТУР И КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

тиосульфат натрия  $Na_2S_2O_3 \times 5H_2O$  – 790–830 г/л;

вода дистиллированная – до 1 л;

рабочая температура раствора –  $25 \pm 5^\circ C$ ;

плотность свежеприготовленного электролита (при  $t = 20^\circ C$ ) –  $1,365 \text{ г/см}^3$ ;

плотность приработанного электролита (отстоянного) –  $1,377 \text{ г/см}^3$ ;

плотность перемешанного приработанного электролита –  $1,383 \text{ г/см}^3$ ;

кислотность (измеряется универсальной индикаторной бумагой) – 6,5.

## ДЕПАССИВИРУЮЩИЙ РАСТВОР

Этаноламин  $C_2H_7NO$  – 50–100 мл/л,

Каптакс  $C_7H_5NS_2$  – 5–10 г/л,

Висмутол II – 1–2 г/л,

Вода дистиллированная – до 1 л.

Для приготовления раствора химической пассивации 8 г каптакса и 1,5 г висмутола II последовательно растворяли в 75 мл этаноламина при температуре  $25^\circ C$ . Затем объем раствора доводили до 1 л водой.

Приготовление, корректирование электролита и депассивирующего раствора аналогично приготовлению соответствующих растворов для операции электрохимического травления изделий из сплавов серебра.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

СПОСОБОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ФАКТУРИРОВАНИЯ  
И ФОРМИРОВАНИЯ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ  
НА ПОВЕРХНОСТИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА СРМ 925  
ИМПУЛЬСНЫМИ ТОКАМИ



Утверждаю:  
ректор КГУ

А.Р. Наумов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящий Акт составлен в том, что результаты диссертационного исследования Висковатого Ивана Сергеевича «Декорирование поверхности серебра 925 пробы с использованием электрохимической обработки импульсными токами», посвящённого разработке технологии декорирования поверхности и рекомендаций по совершенствованию дизайна сложнофактурированных ювелирно-художественных изделий из серебра 925 пробы, внедрены в учебный процесс кафедрой технологии художественной обработки материалов, художественного проектирования, искусств и технического сервиса (ТХОМ, ХПИ и ТС) при преподавании следующих дисциплин:

*по направлению подготовки 29.03.04 «Технология художественной обработки материалов» (бакалавриат)*

- «Теоретические основы электрообработки поверхности изделий»;
- «Электрофизикохимические методы обработки поверхности металлов»;
- «Дизайн ювелирных изделий»;

*по направлению подготовки 54.03.03 «Искусство костюма и текстиля» профиль «Художественное проектирование ювелирных изделий» (бакалавриат)*

- «Электрофизикохимические методы обработки поверхности металлов»;
- «Проектирование и конструирование ювелирных изделий»;

*по направлению подготовки 54.03.02 «Декоративно-прикладное искусство и народные промыслы» профиль «Художественный металл» (бакалавриат)*

- «Электрофизикохимические методы обработки поверхности металлов»;
- «Эстетика ювелирных изделий»;

*по направлению подготовки (магистратура) 29.04.04 «Технология художественной обработки материалов»*

- «Новые технологии декорирования и модифицирования поверхности ювелирно-художественных изделий»;

- «Новые технологии художественной обработки материалов»;

*по направлению подготовки 50.06.01 «Искусствоведение» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), направленности «Техническая эстетика и дизайн» (технические науки) (аспирантура)*

- «Техническая эстетика и дизайн».

Проректор по научной работе,  
д.ю.н., доцент

В.В. Груздев

Директор Института дизайна и технологий,  
к.т.н., доцент

Е.Н. Борисова

Заведующий кафедрой ТХОМ, ХПИ и ТС,  
к.т.н., доцент

С.А. Шорохов

Утверждаю:

Е.Н. Якушева

30.08.2016 г.

М.п.

**АКТ**  
**промышленного использования научно-технических разработок**

Настоящий акт составлен в том, что результаты научно-технических разработок Висковатого Ивана Сергеевича, полученные в процессе выполнения диссертационного исследования «Декорирование поверхности серебра 925 пробы с использованием электрохимической обработки импульсными токами», приняты к использованию на ювелирном предприятии «ИП Якушева Елена Николаевна»:

- технология электрохимического фактурирования поверхности серебра 925 пробы с использованием импульсных токов;

- технология электрохимического формирования конверсионных декоративных покрытий на поверхности серебра 925 пробы с использованием импульсных токов.

Начальник производства

П.А. Якушев



Рис. 1. Основные этапы создания современного ЮХИ [3]

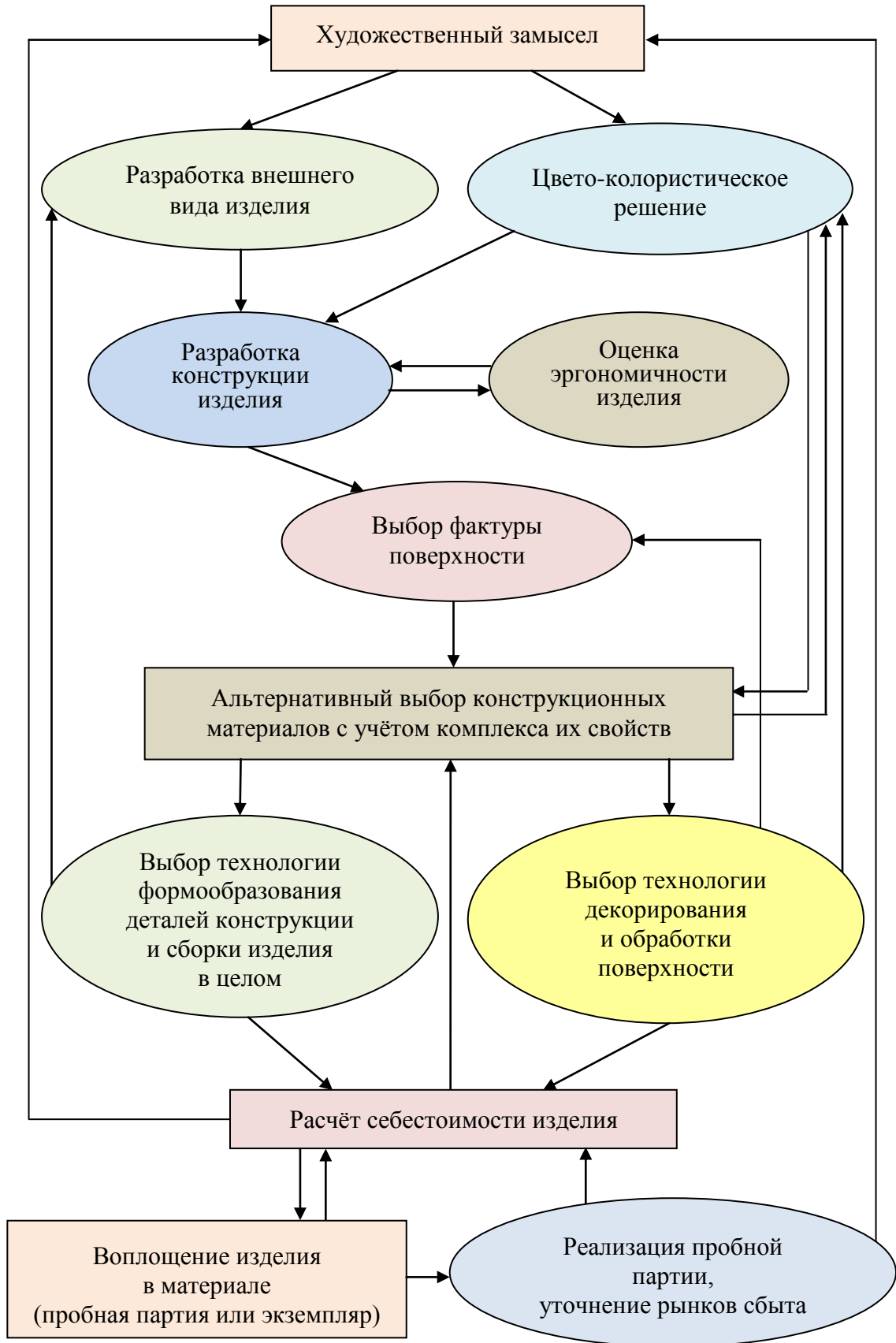


Рис. 2. Блок-схема процесса создания ЮХИ [3]

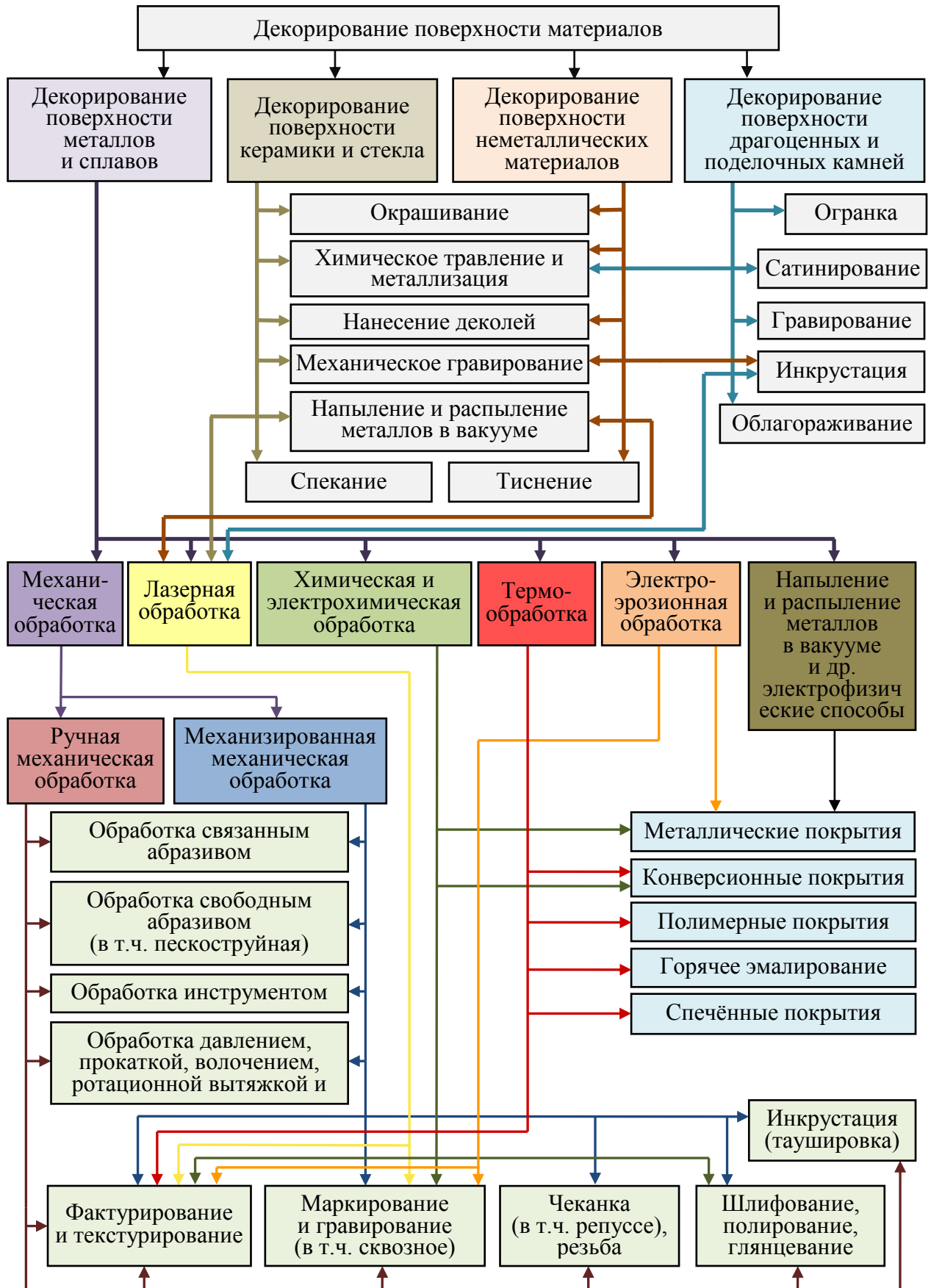


Рис. 3. Виды декорирования поверхности материалов, используемых при изготовлении ЮХИ [3]

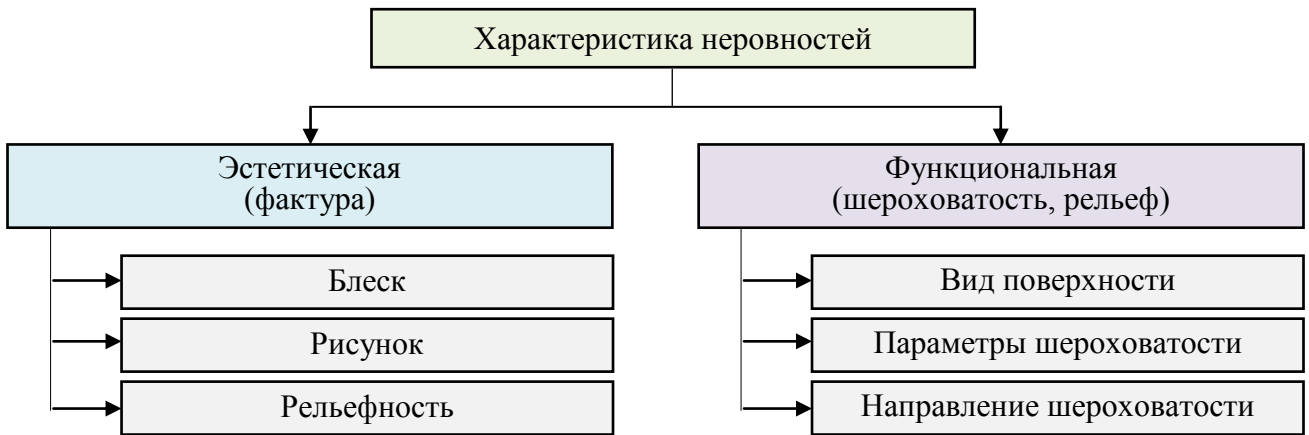


Рис. 4. Структура классификации неровностей поверхности

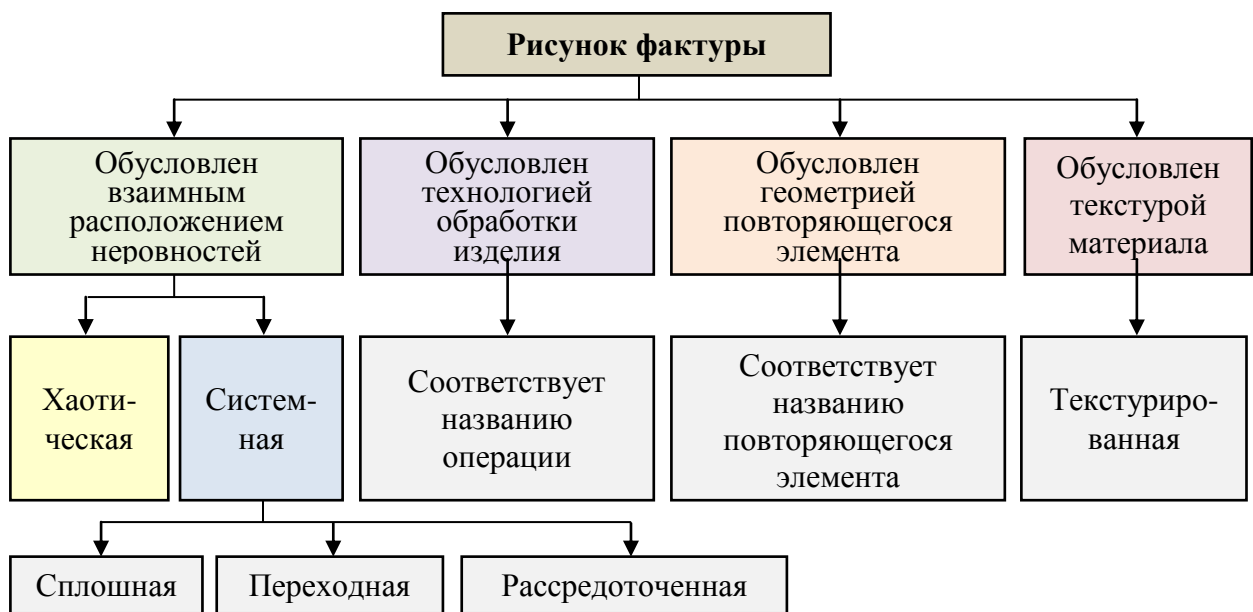


Рис. 5. Классификация неровностей по признаку «Рисунок» [3]

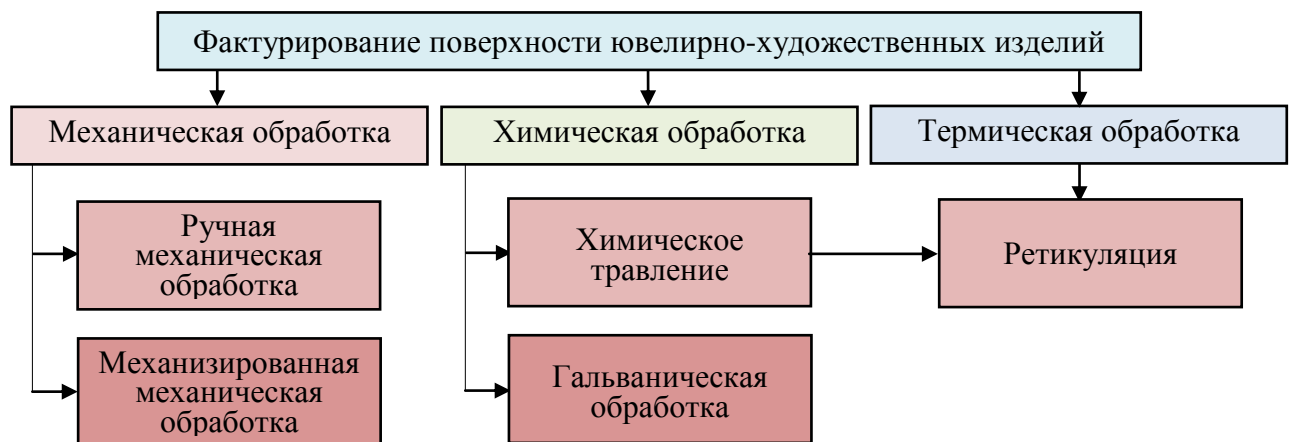


Рис. 6. Способы декоративного фактурирования поверхности металлов

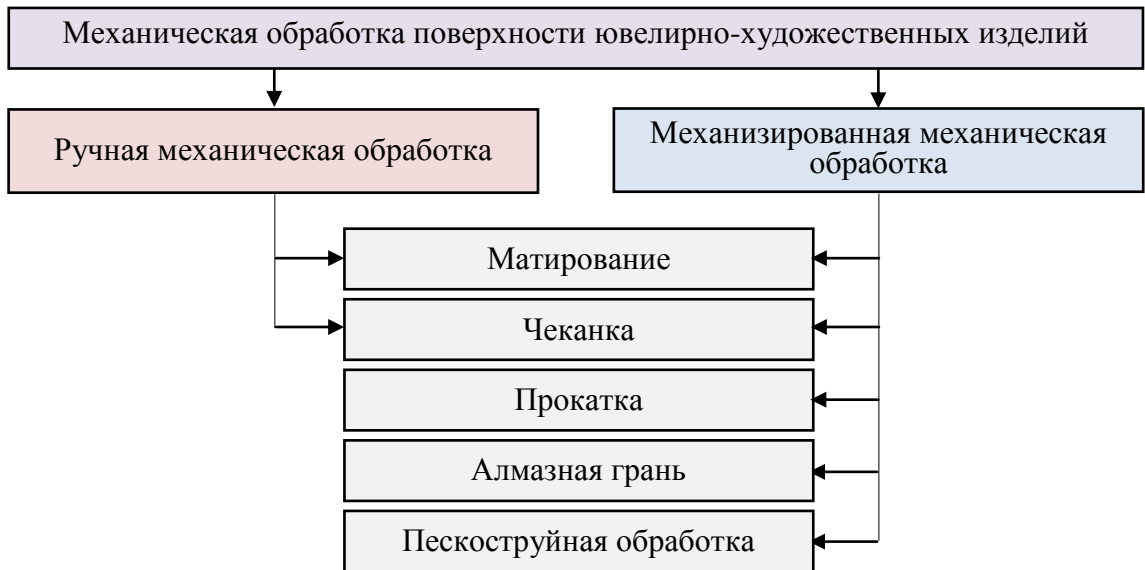


Рис. 7. Механические способы декоративной обработки поверхности металлов



Рис. 8. Химические способы декоративной обработки поверхности металлов

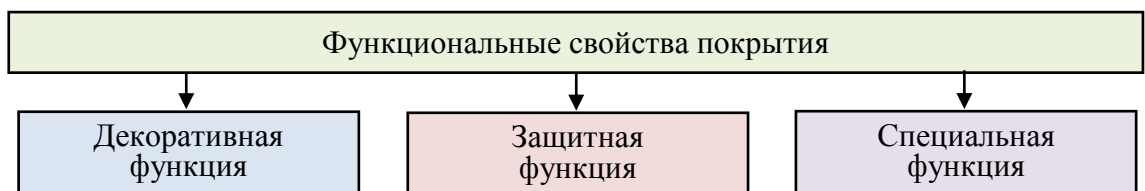


Рис. 9. Классификация покрытий по функциональным свойствам

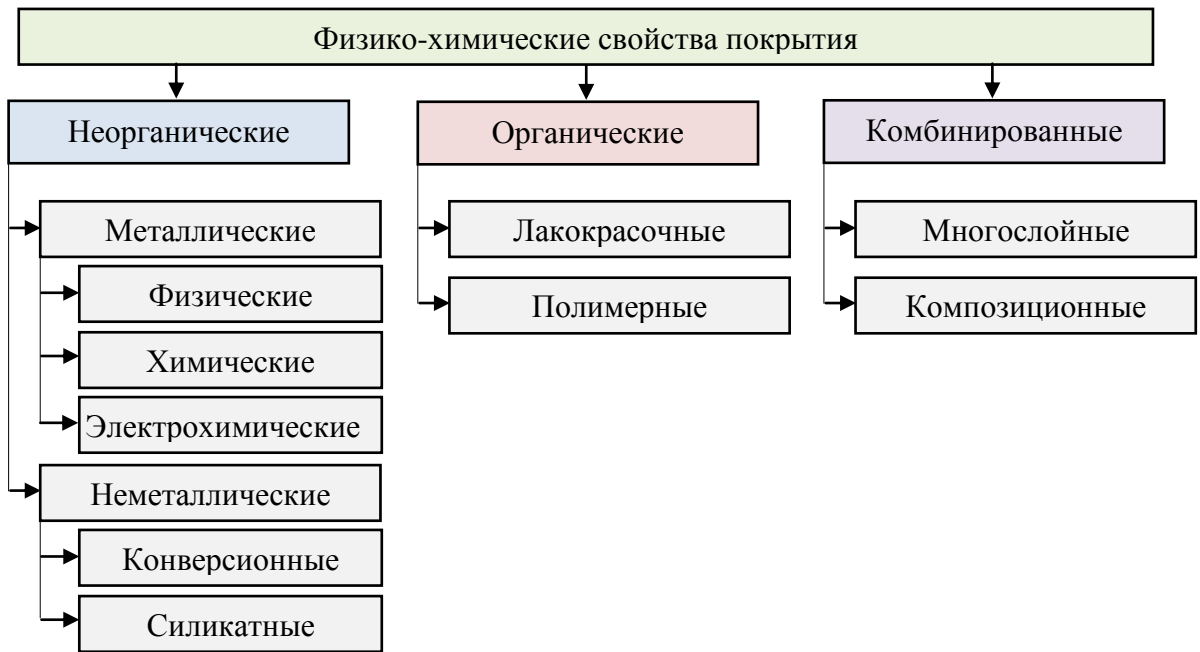


Рис. 10. Классификация покрытий по физико-химической природе

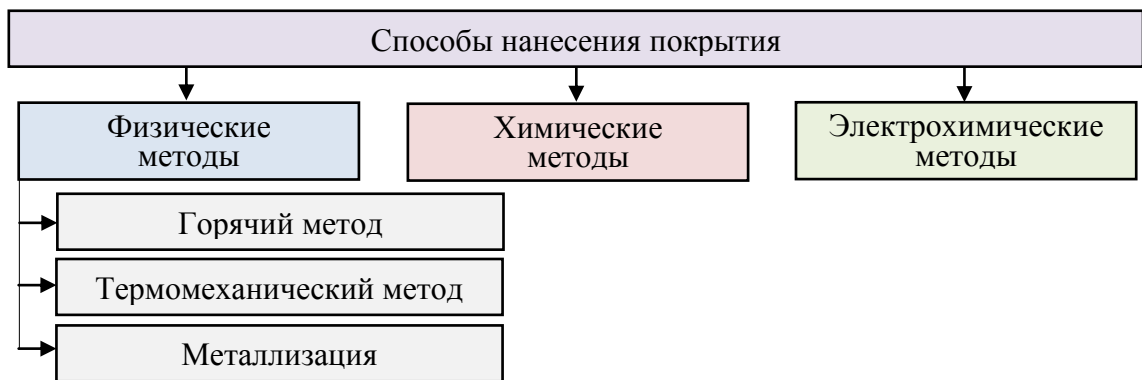


Рис. 11. Классификация покрытий по способам нанесения на поверхность



Рис. 12. Декоративное блюдо. 1961 год.

Мастер Р. Алиханов. Серебро.

Чеканка, гравировка, чернение



Рис. 13. Графин. 1908–1917 годы.

Фирма семьи Болин. Серебро,  
двухцветное стекло. Чеканка, ковка,  
оксидирование





а



б



в

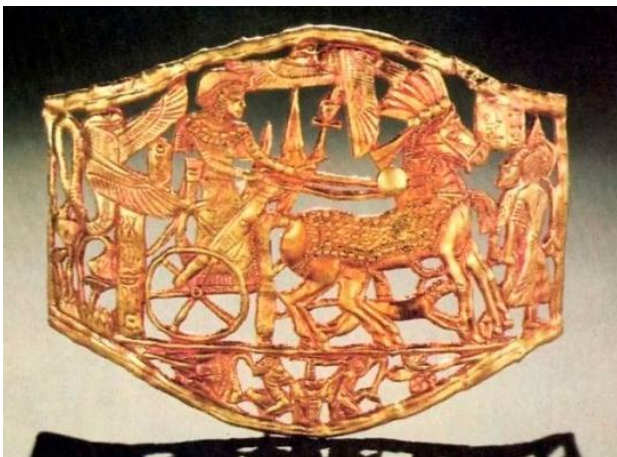


г

Рис. 14. Образцы серебряных изделий с чернью: а – колты, XI–XII век; б – наручный браслет, XIII век; в – чайный сервиз тобольского губернатора Д.И.Чичерина, 1774 год; г – шкатулка, крышка, XX век



Рис. 15. Рукоять ружья

*а**б*Рис. 16. Образцы серебряных изделий с оксидным покрытием: *а* – серебряная супница, XIX век; *б* – икона нательная «Георгий Победоносец»*а**б*Рис. 17. Предметы искусства времён Древнего Египта: *а* – пряжка (Каир, ок.1334–1328 до н. э., золото); *б* – пектораль царевны Меререт (Египет, ок.1840 г. до н. э., золото, сердолик, лазурит, фаянс) [7]

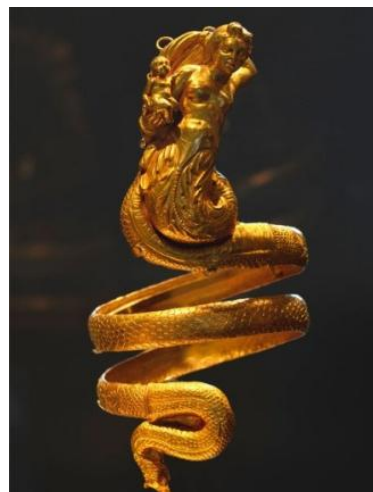
*а**б**в**г*

Рис. 18. Предметы искусства времён античности: *а* – диадема (Греция, IV-III в. в. до н. э., золото); *б* – браслет для предплечья (Греция, II в. до н. э., золото); *в* – греческие браслеты (Греция, IV в. до н. э., золото); *г* – этрусский перстень (Греция, IV-III в. в. до н. э., золото, молочно-серый камень) [8]

*а**б**в*

Рис. 19. Предметы искусства эпохи Средневековья: *а* – аграф (Франция, XV в., серебро, кабошоны); *б* – поясная застёжка (Франция, V в., золото, чернь); *в* – украшения, декорированные чернью и драгоценными камнями (Византия, IV–VI в. в., серебро, кабошоны, перегородчатая эмаль, позолота, чернь) [9]

*а**б**в**г**д*

Рис. 20. Предметы искусства эпохи Возрождения: *а* – гемма "Птолемей II" (Рим, XV в., серебро, сардоникс, резьба, позолота, эмаль); *б* – кувшин (Италия, XV в., серебро, чеканка); *в* – ваза Да Фиренце, Джусто (Флоренция, 1485 г., серебро, яшма, позолота, эмаль); *г* – нагрудная подвеска (Италия, XVI в., золото, сапфир, эмаль); *д* – браслет (Италия, XV в., серебро, сапфир, позолота, эмаль) [9]

*a**б**в**г**д**е*

Рис. 21. Предметы искусства Нового века: *a* – настольные часы (Аугсбург, 1680 г., серебро, золото, драгоценные и полудрагоценные камни, резьба, позолота, эмаль); *б* – брошь эпохи барокко (Франция, XVII в., золото, жемчуг и полудрагоценные камни, резьба); *в* – брошь эпохи рококо (Франция, XVIII в., серебро, богемское стекло, позолота, перламутровая эмаль); *г* – брошь в виде цветка (Венгрия, XVIII в., золото, серебро, драгоценные камни, чеканка, резьба, позолота, эмаль); *д* – кувшин работы Ж. Б. Одио (Франция, начало XIX в., серебро, штамповка, чеканка, золочение); *е* – ваза работы М. Г. Бьенне (Париж, 1819 г., серебро, литьё, чеканка, штамповка, золочение) [10]

*a**б**в*

Рис. 22. Предметы искусства XX века в стиле ар-нуво: *a* – брошь работы Ж. Фуке (Франция, 1902 г., золото, жемчуг, эмаль); *б* – пряжка работы Р. Лалика (Франция, 1903-1904 г.г., золото, опал, сапфир, эмаль); *в* – браслет работы Л. Масриера (Барселона, 1904-1905 г.г., золото, чеканка, эмаль) [11]

*a**б**в*

Рис. 23. Предметы искусства XX века в стиле ар-деко: *a* – ценная венецианская маска-брошь (Франция, 1920 г., золото, серебро, слоновая кость, бриллианты, рубины, сапфиры, изумруды); *б* – брошь работы Oscar Neuman & Bros (Нью-Йорк, 1936 г., золото, платина, бриллианты, цветные сапфиры); *в* – браслет (Париж, 1916-1918 г.г., платина, бриллианты) [11]

*a**б**в*

Рис. 24. Образцы декора ювелирных украшений: *a* – золотая табакерка (Швейцария, последняя четверть XVIII в., золото, серебро, бриллианты, гравировка, эмаль гильоше, финифть, патина); *б* – гильошированная эмаль синего цвета; *в* – орнаментированный пояс из патинированного серебра [10]



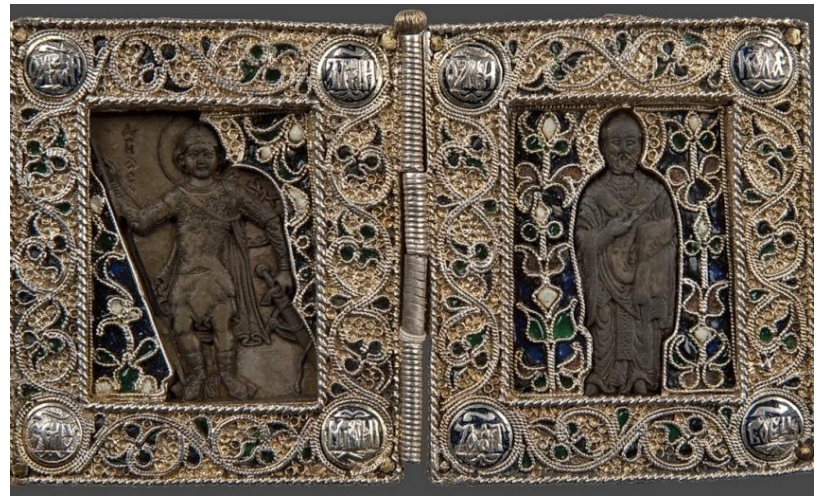
*а**б**в**г*

Рис. 25. Предметы русского ювелирного искусства XII–XV веков: *а* – Сион большой. Апостолы (Новгород, первая четверть XII в., серебро, стекловидная паста, чеканка, литьё, резьба, золочение); *б* – бармы (Киев, XI в., серебро, драгоценные камни, резьба, чеканка, золочение, перегородчатая эмаль); *в* – Спас Вседержитель (Москва, XV в., яшма, серебро, резьба, скань, золочение); *г* – складень двустворчатый (Суздаль, XIII в., серебро, камень, гравировка, резьба по камню, скань, золочение, перегородчатая эмаль) [13]

*а**б**в**г*

Рис. 26. Предметы русского ювелирного искусства XVI-XVIII веков: *а* – Евангелие (Москва, 1571 г., серебро, драгоценные камни, литьё, чеканка, скань, чернь, эмаль, золочение); *б* – скань и эмаль в окладе Евангелия; *в* – ендова (Москва, XVII в., серебро, чеканка, резьба, чернь, золочение); *г* – браслет (Великий Устюг, XIX в., серебро, резьба, чернь, золочение) [15]



Рис. 27. Предметы русского ювелирного искусства XIX–XX веков: *а* – ковш наградной фирмы Хлебникова (Москва, 1880 г., серебро, цветные камни, чеканка, чернь); *б* – ваза фирмы Овчинникова (Москва, XX в., серебро, цветные камни, скань, эмаль); *в* – декоративный элемент вазы для вина фирмы Сазикова (Санкт-Петербург, 1880 г., серебро, протяжка, литьё, чеканка, резьба); *з* – подстаканник фирмы Егорова (Москва, 1894 г., серебро, литьё, скань, эмаль); *д* – кружка фирма Губкина (Москва, 1842 г., серебро, литьё, резьба, чернь, золочение) [16]

*а**б**в**г**д*

Рис. 28. Пасхальные яйца фирмы К. Фаберже: *а* – пасхальное яйцо «Коронационное», 1897; *б* – пасхальное яйцо «Ландыши», 1898; *в* – пасхальное яйцо-часы «Петушок», 1900; *г* – пасхальное яйцо «Лавровое дерево», 1911; *д* – пасхальное яйцо «Пятнадцатилетие царствования», 1911



Рис. 29. Предметы ювелирного искусства фирмы Карла Фаберже: *а* – баночка (1908 г., серебро, гильошированная эмаль, золочение); *б* – кувшин (1896 г., серебро, резьба, перегородчатая эмаль, золочение); *в* – часы настольные (1901 г., серебро, малахит, золочение); *г* – фоторамка (1910 г., разноцветное золото, платина, эмаль); *д* – набор для игры в карты (1904 г., серебро, родонит, чернь); *е* – портсигар (1911 г., серебро, резьба, чернь, золочение)

*а**б**в*

Рис. 30. Предметы ювелирного искусства советской эпохи: *а* – сервиз (Красное-на-Волге, XX в., серебро, скань, золочение); *б* – чашка с блюдцем (Великий Устюг, XX в., серебро, резьба, чернь, золочение); *в* – кувшин (Кубачи, XX в., серебро, резьба, чернь, золочение) [13]

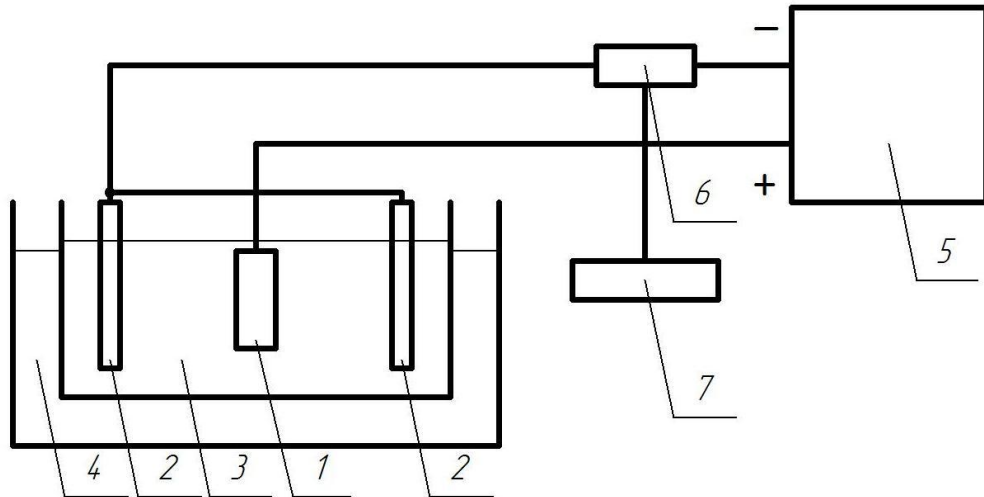


Рис. 31. Схема лабораторно-исследовательского стенда: 1 – образец из сплава серебра 925 пробы; 2 – катоды; 3 – ванна; 4 – система термостабилизации электролита; 5 – импульсный источник питания; 6 – коаксиальный шунт; 7 – система контроля и регистрации технологического тока (запоминающий осциллограф и персональный компьютер)

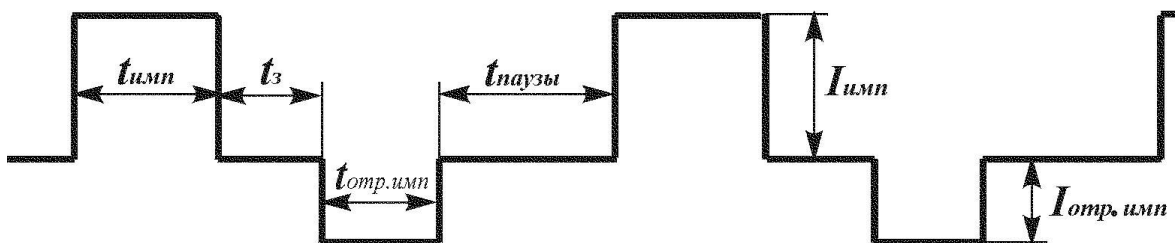


Рис. 32. Вид биполярного импульсного выходного тока:  $t_{имп}$  – длительность импульса тока положительной полярности (ИТПП);  $t_{отр.имп}$  – длительность импульса тока отрицательной полярности (ИТОП);  $t_з$  – задержка между окончанием ИТПП и началом ИТОП;  $t_{паузы}$  – пауза между окончанием ИТОП и началом последующего ИТПП;  $I_{имп}$  – амплитуда ИТПП;  $I_{отр.имп}$  – амплитуда ИТОП;  $i_{имп}$  – амплитудная плотность тока в импульсе положительной полярности;  $i_{отр.имп}$  – амплитудная плотность тока в импульсе отрицательной полярности

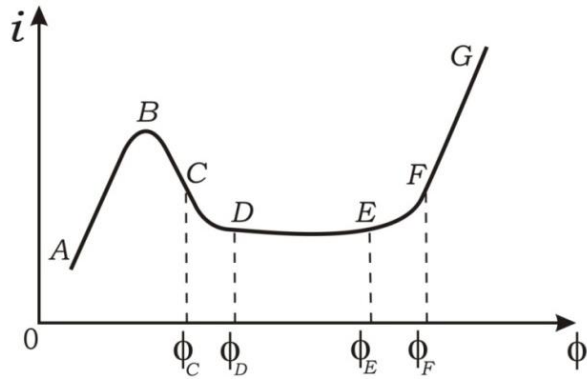


Рис. 33. Обобщённая анодная поляризационная кривая:  $i$  – плотность тока,  $\varphi$  – анодный потенциал

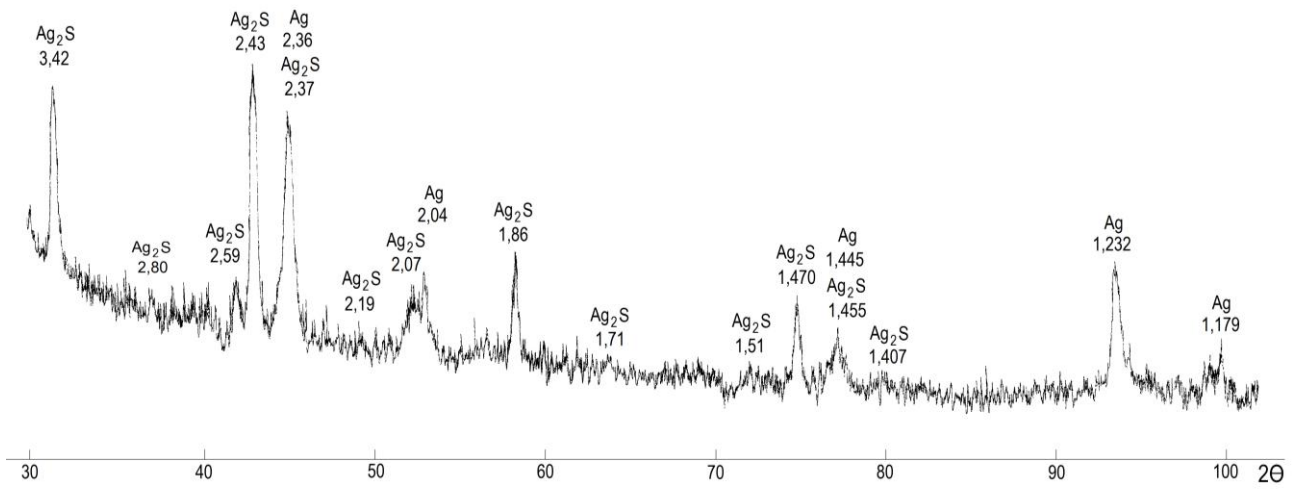


Рис. 34. Дифрактограмма образца с удалённой плёнкой

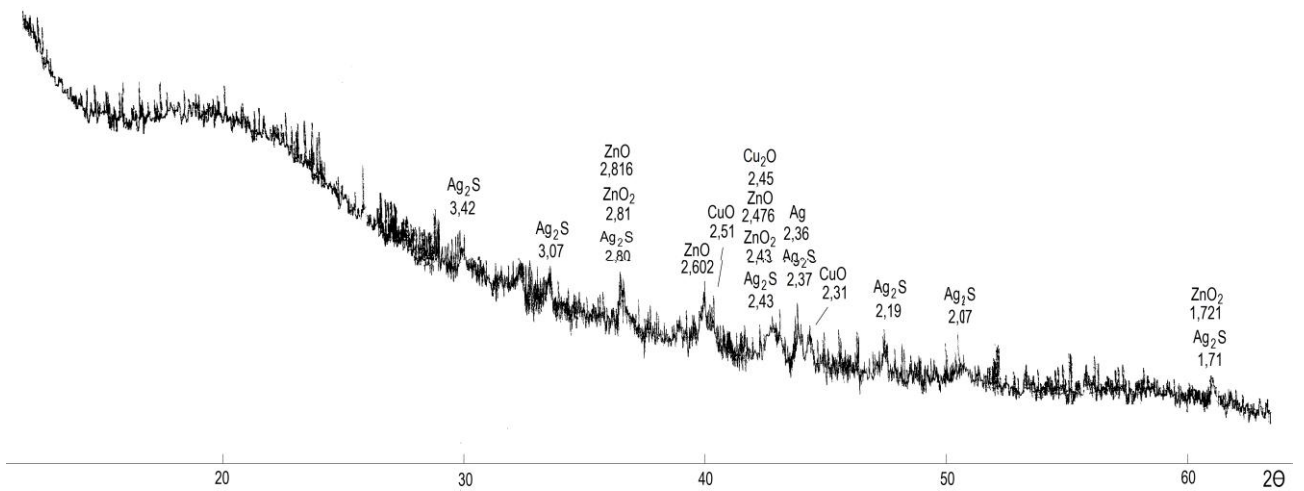


Рис. 35. Дифрактограмма плёнки образца



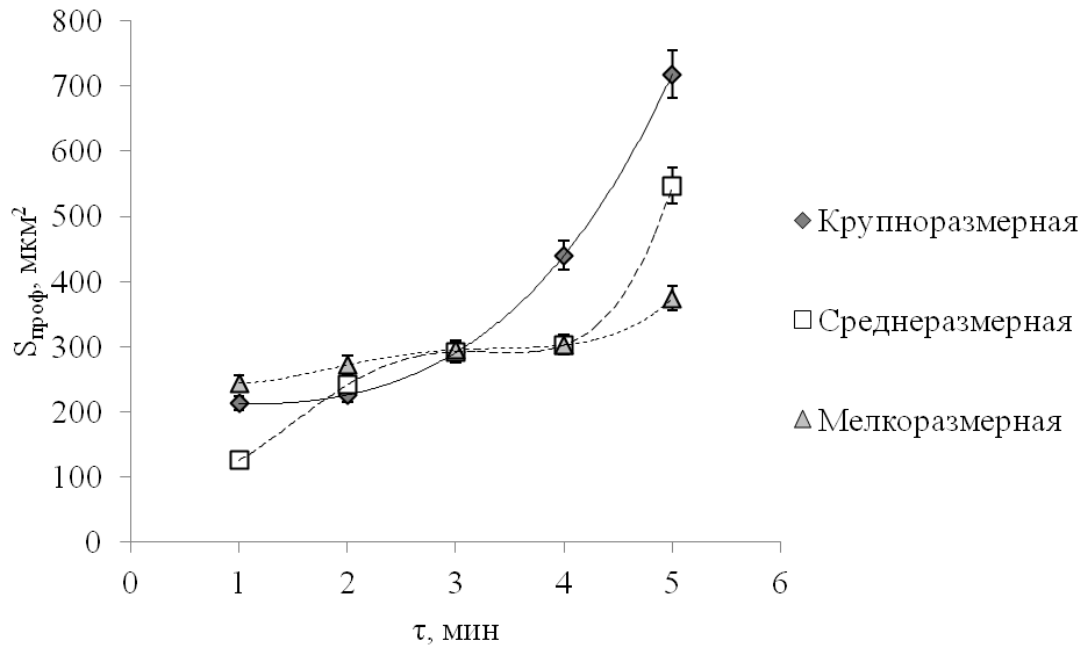


Рис. 36. Зависимость изменения величины профильности поверхности металла от продолжительности обработки униполярном режиме №9

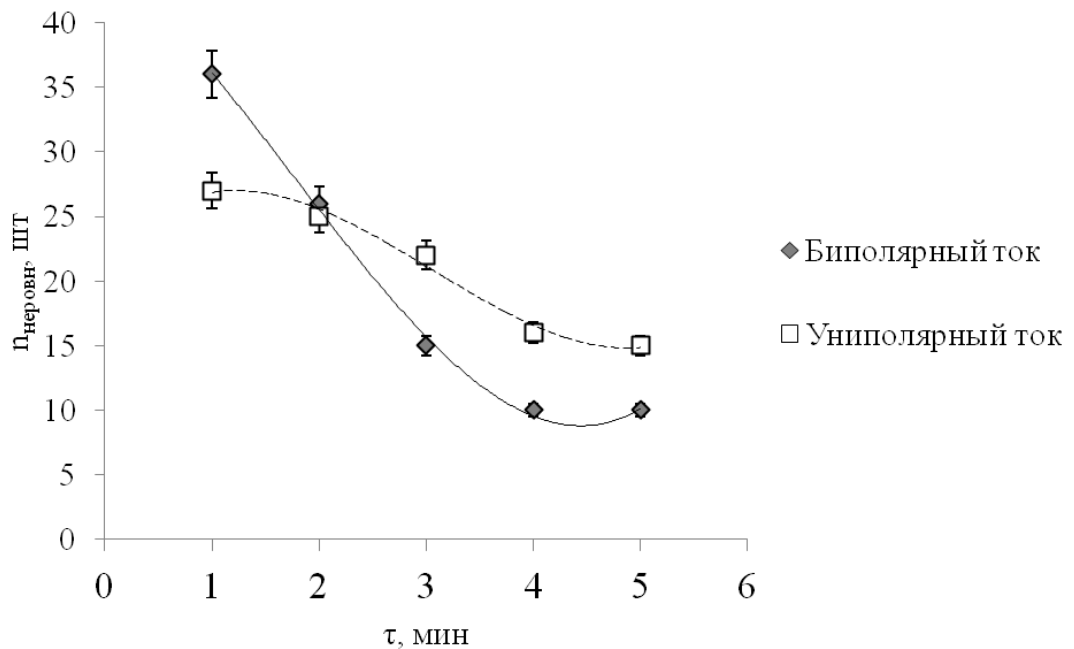


Рис. 37. Зависимость изменения величины неровностей поверхности металла от продолжительности обработки на режимах: униполярном №9, биполярном №15

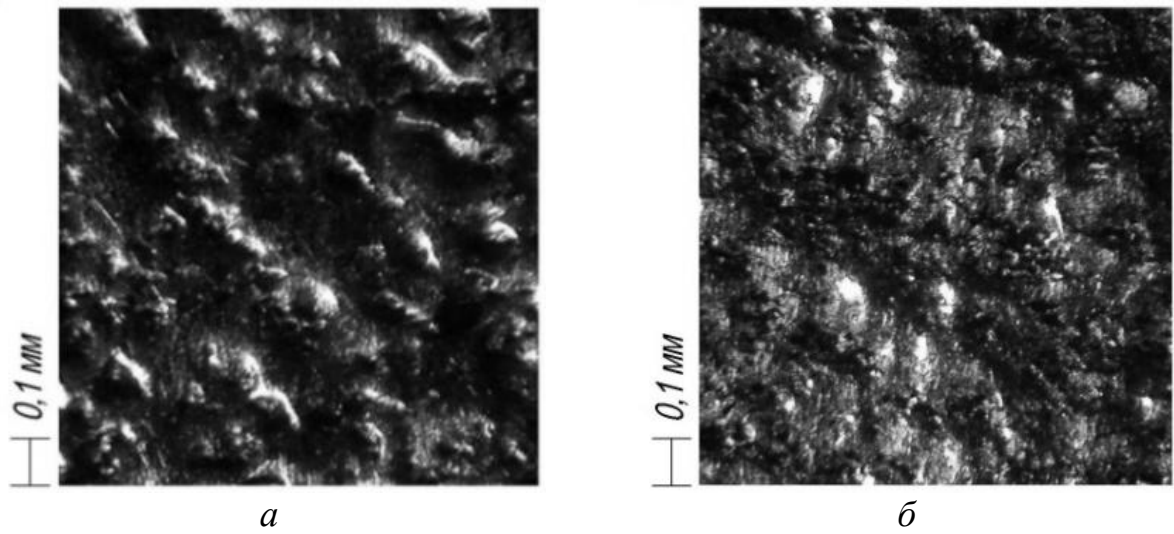


Рис. 38. Крупнофактурные блестящие поверхности, сформированные на униполярных импульсах тока при слабом перемешивании электролита: *а* – режим №8; *б* – режим №9

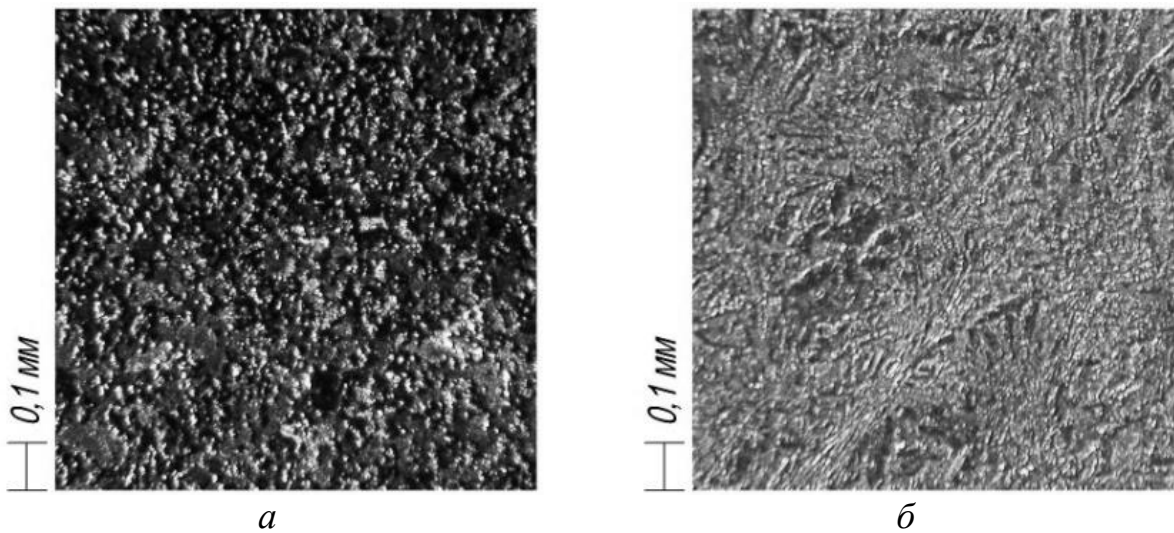


Рис. 39. Среднефактурные блестящие поверхности, сформированные на биполярных импульсах тока: *а* – режим №14; *б* – режим №15

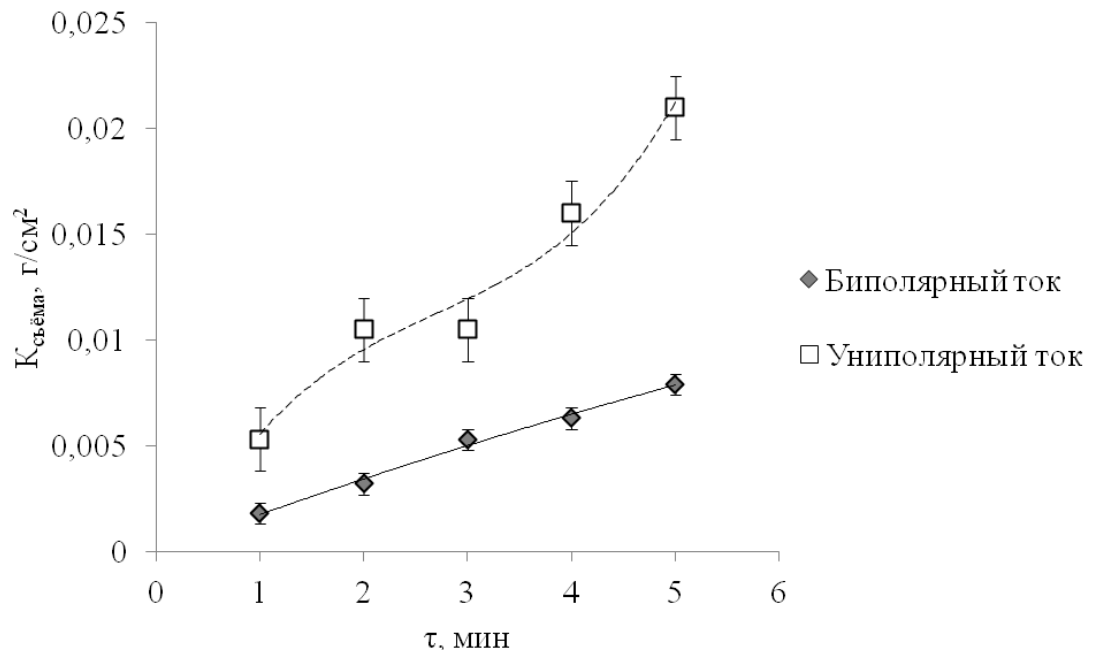


Рис. 40. Зависимость изменения величины удельного растворения металла от продолжительности обработки на режимах: униполярном №9, биполярном №15

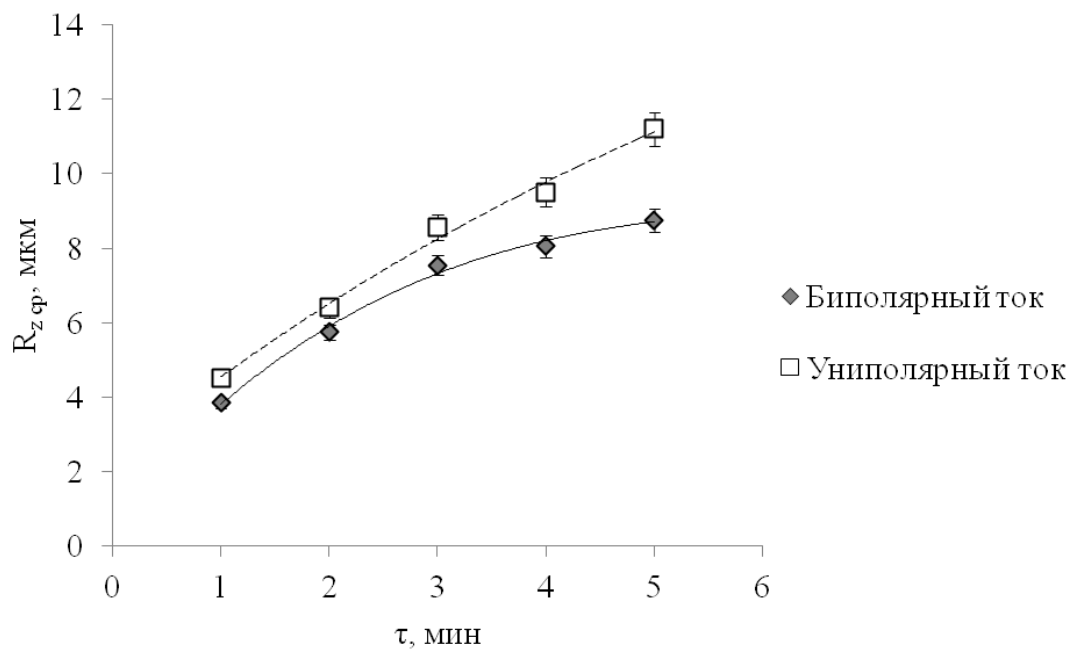


Рис. 41. Зависимость изменения величины шероховатости поверхности от продолжительности обработки на режимах: униполярном №9, биполярном №15

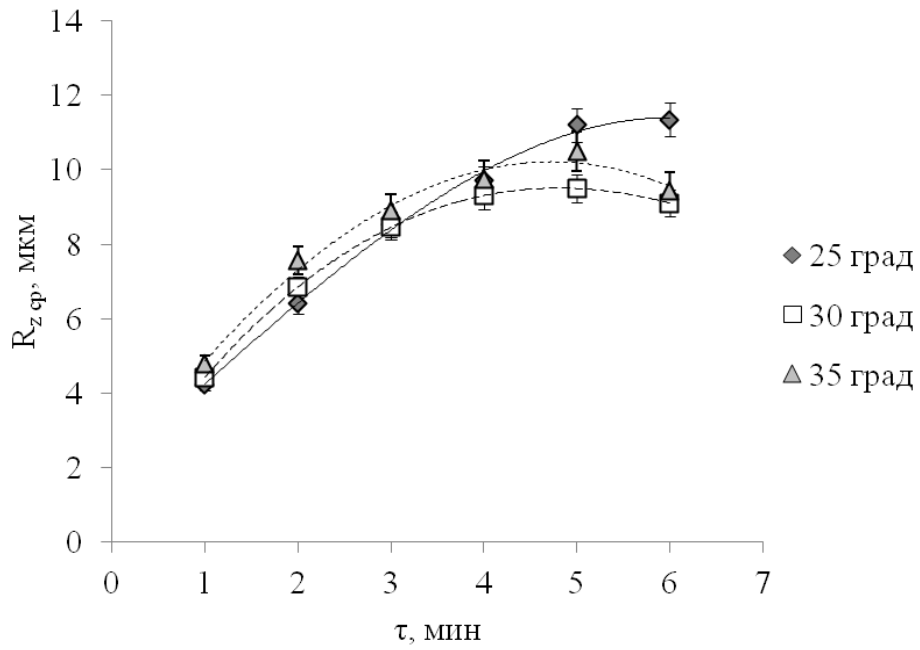


Рис. 42. Зависимость изменения величины шероховатости поверхности сплава SrM92,5 от температуры электролита на униполярном режиме №9

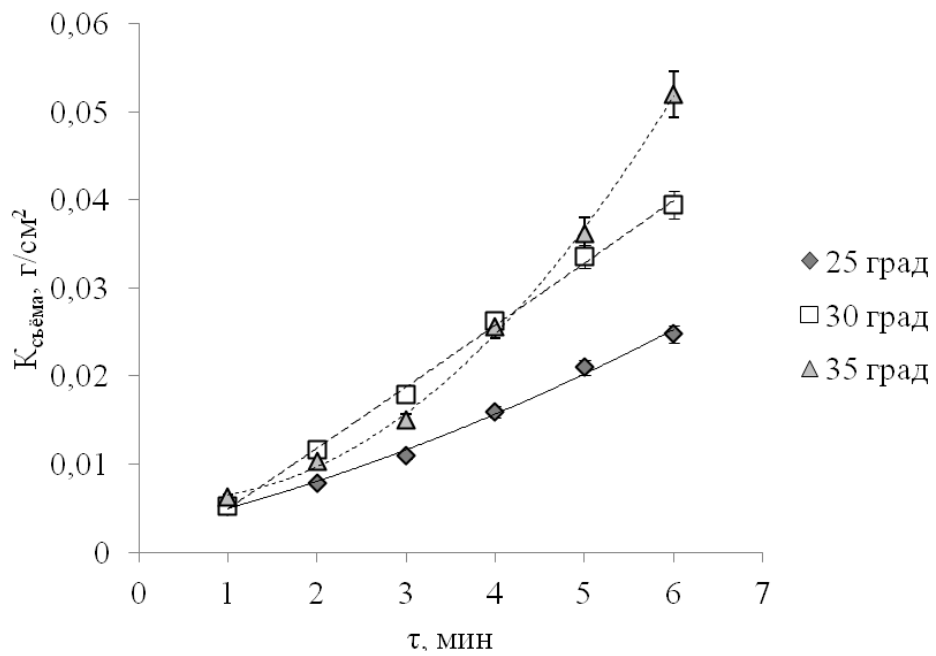


Рис. 43. Зависимость изменения величины удельного растворения сплава SrM92,5 от температуры электролита на униполярном режиме №9

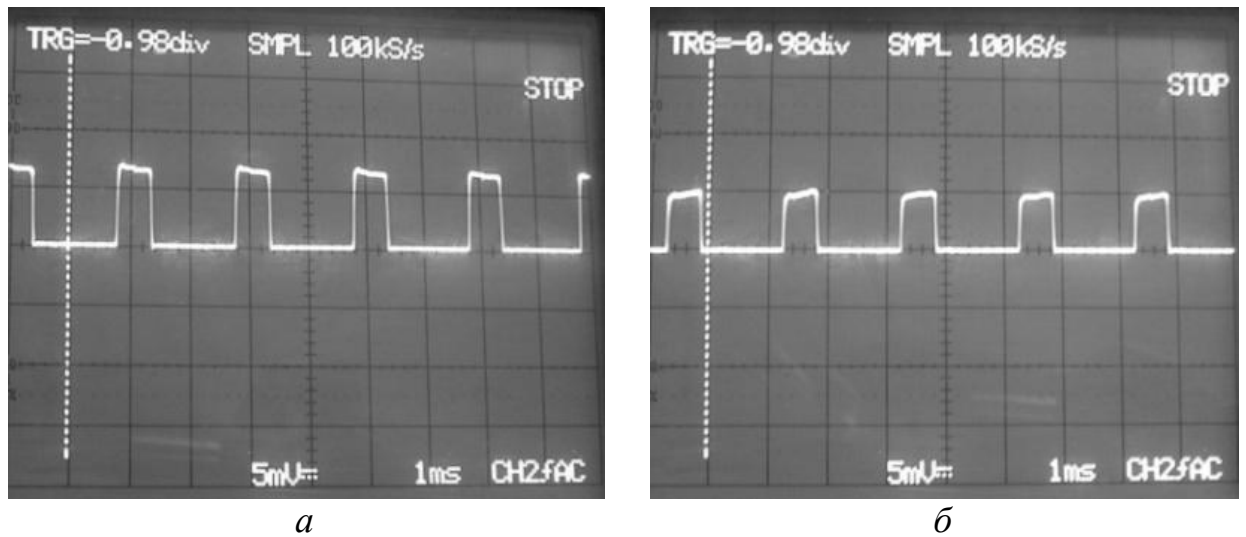


Рис. 44. Осциллограммы униполярных импульсов тока при ЭХФ с перемешиванием электролита: *a* – режим №6, поверхность блестящая; *б* – режим №3, поверхность матовая

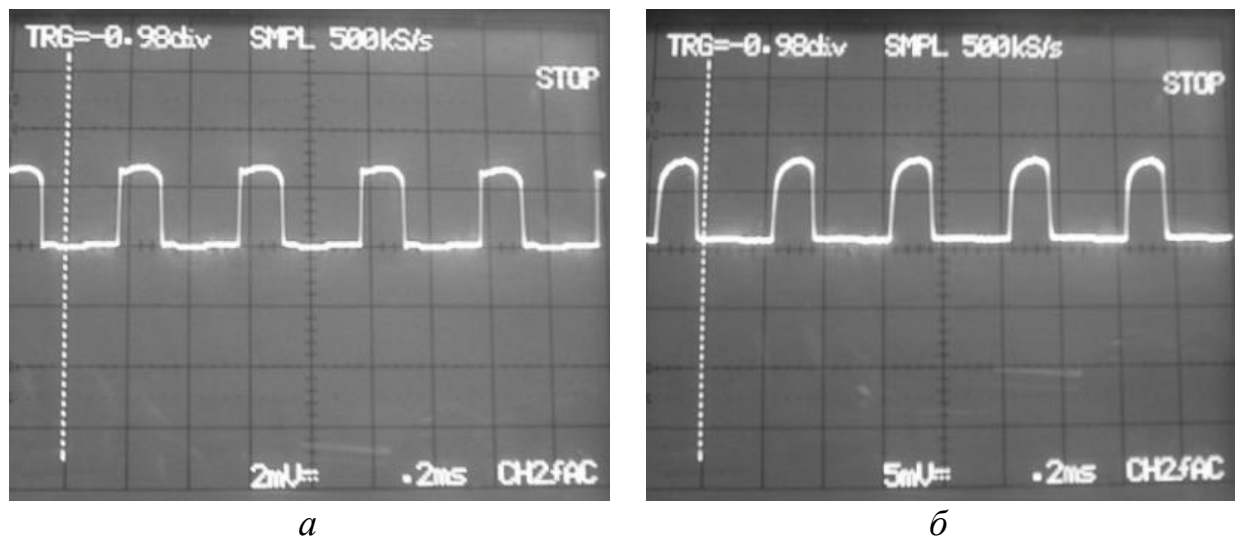


Рис. 45. Осциллограммы униполярных импульсов тока при ЭХФ: *a* – режим №4, без перемешивания электролита, поверхность матовая; *б* – режим №8, перемешивание электролита, поверхность блестящая

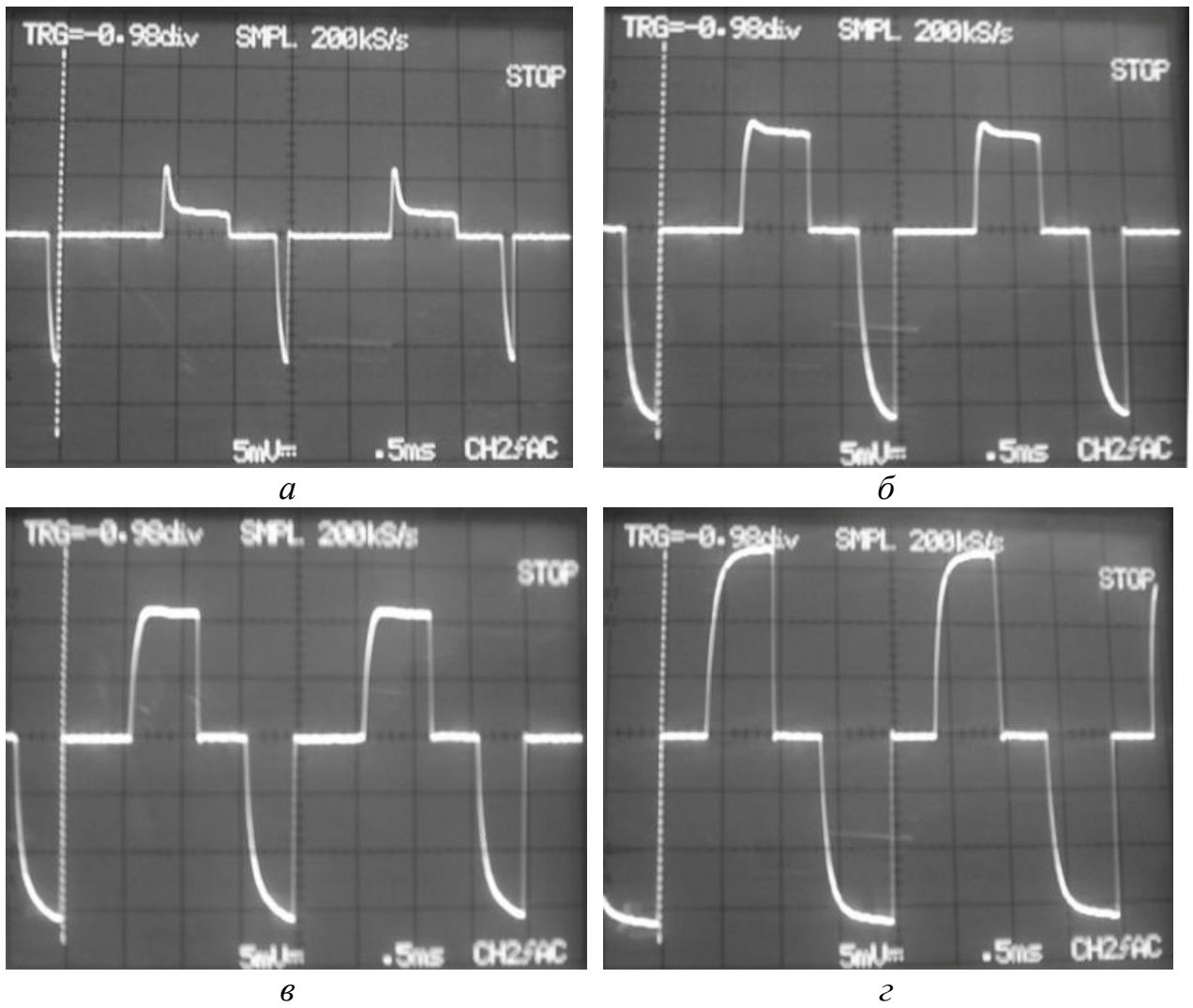


Рис. 46. Осциллограммы биполярных импульсов тока при процессе ЭХФ без перемешивания электролита: *а* – режим №10; *б* – режим №13; *в* – режим №12; *г* – режим №15; *а, б, в* – поверхность матовая, *г* – поверхность блестящая

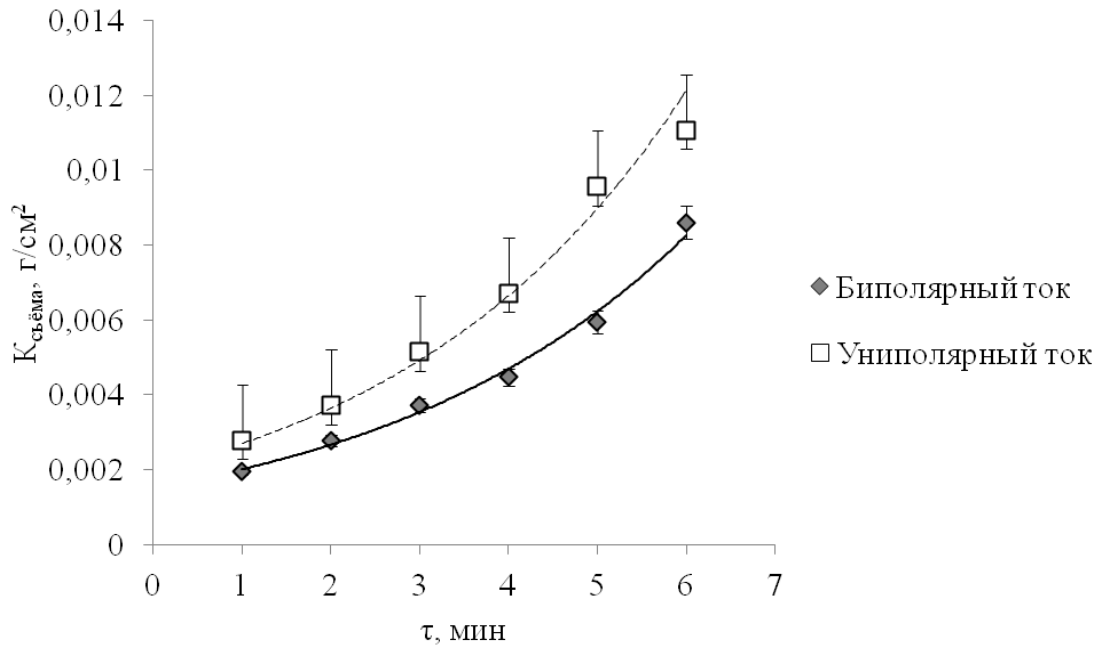


Рис. 47. Изменение удельного ЭХ растворения металла при ЭХФКП на режимах: униполярном №3 и биполярном №11

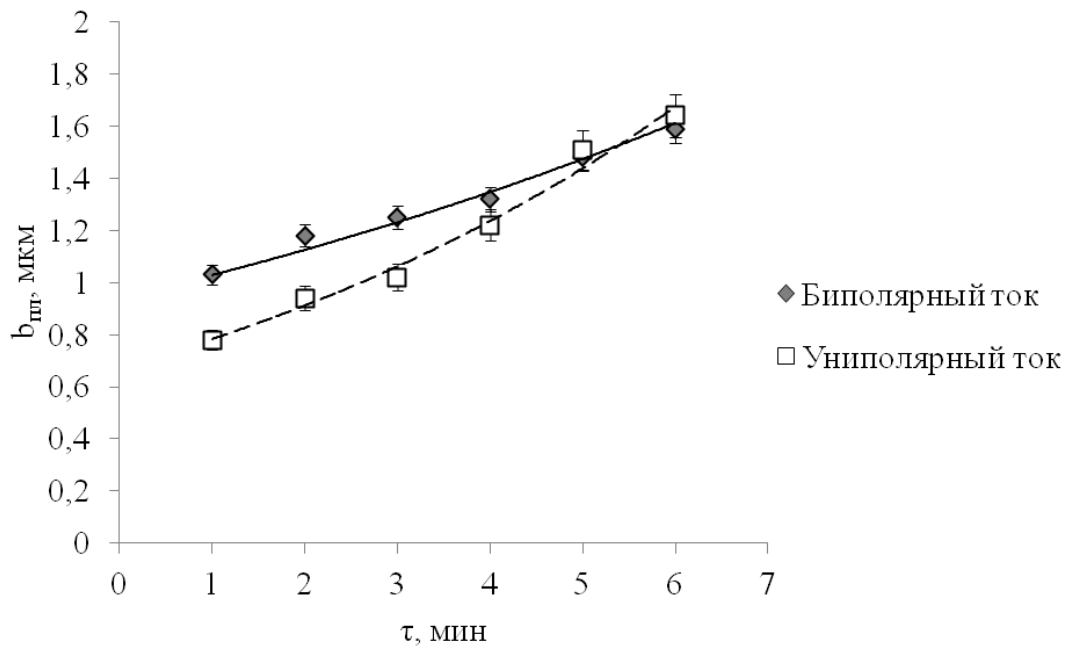


Рис. 48. Изменение толщины плѣнки при ЭХФКП на режимах: униполярном №3 и биполярном №11

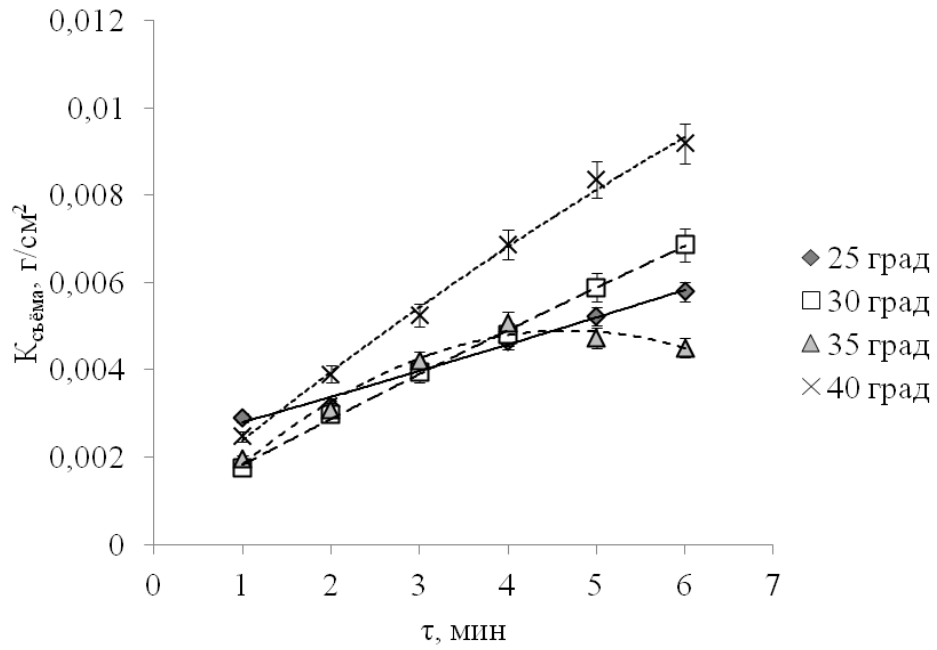


Рис. 49. Зависимость величины удельного ЭХ растворения металла от температуры электролита на униполярном режиме №5

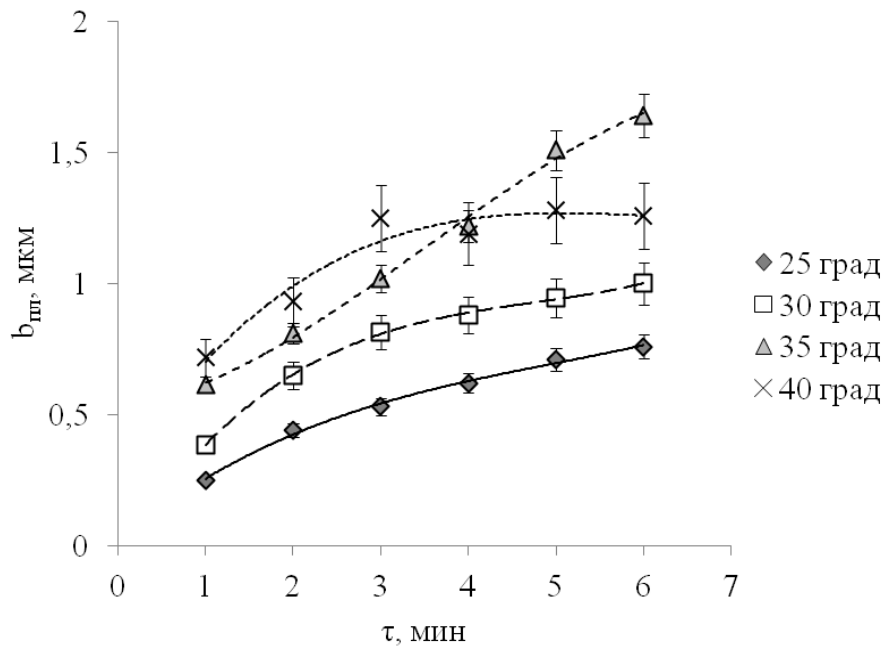


Рис. 50. Зависимость толщины плёнки от температуры электролита на униполярном режиме №5



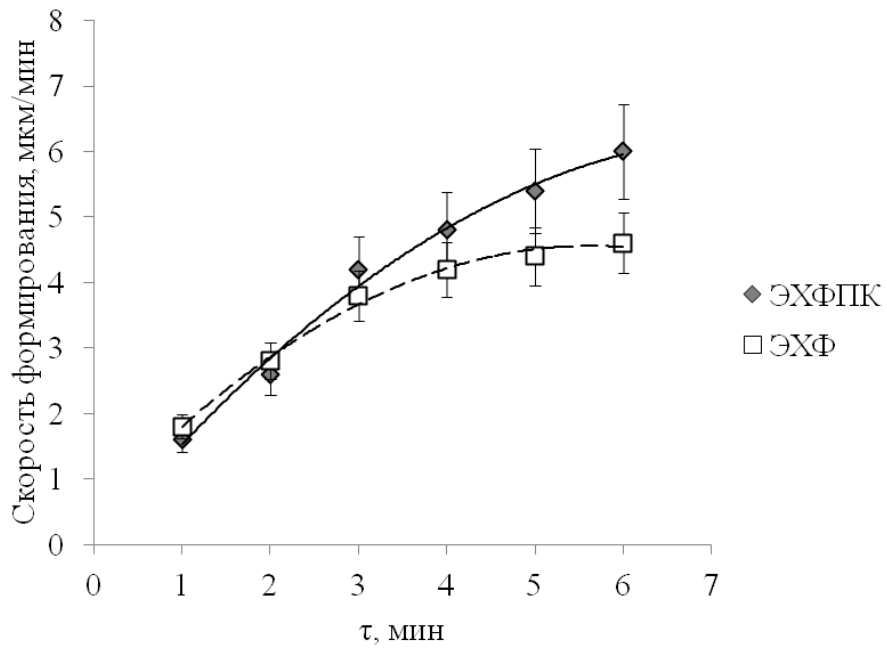


Рис. 51. Процессы, протекающие на поверхности на униполярном режиме  
№3

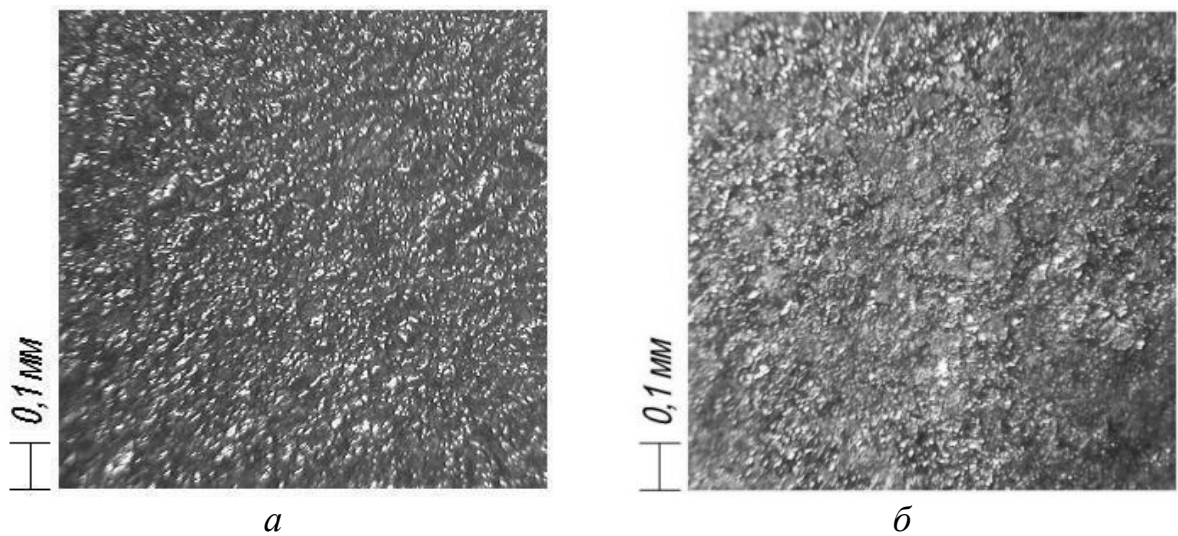


Рис. 52. Фактурированные блестящие поверхности, сформированные на режимах: *a* – униполярном №3; *б* – биполярном №11

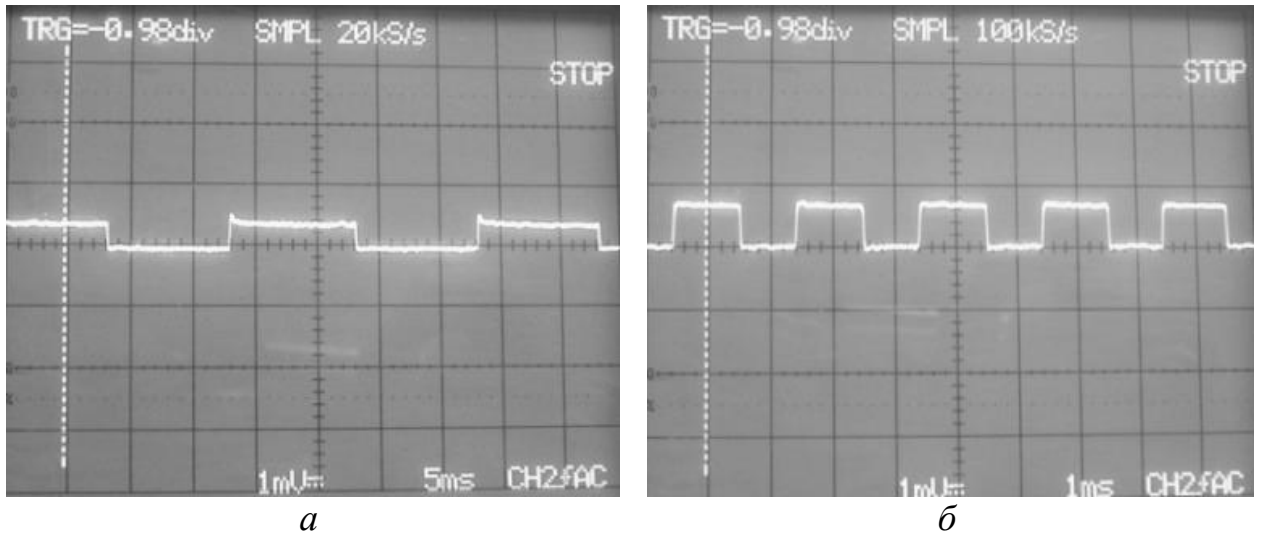


Рис. 53. Осциллограммы униполярных импульсов тока: *а* –  $\tau = 3$  мин,  $i_{a \text{ имп}} = 0,03 \text{ A/cm}^2$ ,  $t_{\text{имп}} = 1000 \text{ мкс}$ ,  $q = 2$ ; *б* –  $\tau = 5$  мин,  $i_{a \text{ имп}} = 0,05 \text{ A/cm}^2$ ,  $t_{\text{имп}} = 1000 \text{ мкс}$ ,  $q = 2$

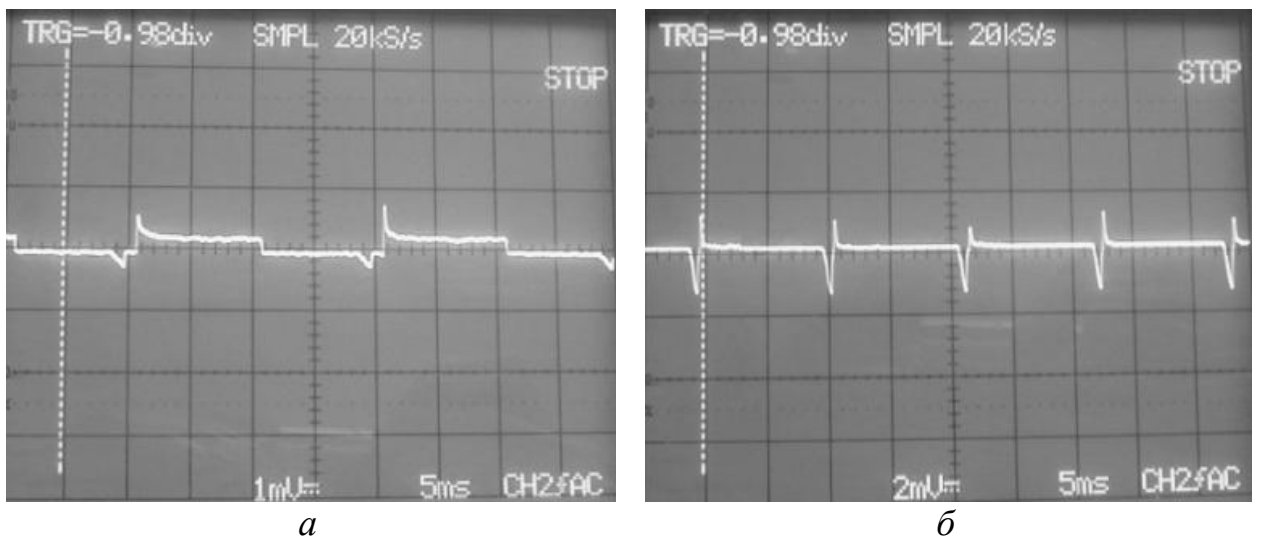


Рис. 54. Осциллограммы биполярных импульсов тока: *а* –  $\tau = 4$  мин,  $i_{a \text{ имп}} = 0,05 \text{ A/cm}^2$ ,  $t_{\text{имп}} = 1 \text{ мс}$ ,  $i_{a \text{ имп.обр}} = 0,02 \text{ A/cm}^2$ ,  $t_{\text{имп.обр}} = 100 \text{ мкс}$ ,  $q = 2$ ; *б* –  $\tau = 5$  мин,  $i_{a \text{ имп}} = 0,05 \text{ A/cm}^2$ ,  $t_{\text{имп}} = 10 \text{ мс}$ ,  $i_{a \text{ имп.обр}} = 0,05 \text{ A/cm}^2$ ,  $t_{\text{имп.обр}} = 600 \text{ мкс}$ ,  $q =$



Рис. 55. Внешний вид ЮХИ с фактурой



Рис. 56. Внешний вид ЮХИ с оксидными покрытиями



Рис. 57. Внешний вид ЮХИ

*a**б*

Рис. 58. Цифровые установки для осуществления процесса ЭХФ и ЭХФКП импульсными биполярными токами [61]: *a* – на 200 А в импульсе и 100 А среднего тока; *б* – на 20 А в импульсе и 10 А среднего тока