

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Иркутский национальный исследовательский
технический университет»

На правах рукописи

Сорокина Вера Евгеньевна

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИМИТАЦИЙ САМОРОДКОВ ЗОЛОТА
И СЕРЕБРА ДЛЯ ЮВЕЛИРНОГО ДИЗАЙНА**

Специальность 17.00.06 – Техническая эстетика и дизайн

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Р.М. Лобацкая д.г.-м.н., профессор

Иркутск - 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. САМОРОДКИ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА И ИХ ИМИТАЦИИ В ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ.....	9
1.1 Самородки золота и серебра в природе.....	9
1.2. Анализ существующих имитаций самородков золота и серебра.....	16
1.3. Выбор металлов для создания имитаций самородков золота и серебра..	19
1.4. Обсуждение результатов.....	26
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИМИТАЦИЙ САМОРОДКОВ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА.....	29
2.1. Эксперименты по получению имитаций самородков золота из латуни...	29
2.2. Эксперименты по получению имитаций самородков серебра из олова...	49
2.3. Обсуждение результатов.....	73
ГЛАВА 3. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИЙ САМОРОДКОВ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В КАЧЕСТВЕ ВСТАВОК В ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ.....	77
3.1. Использование латунных отливок.....	77
3.2. Использование оловянных отливок.....	79
3.3. Обсуждение результатов.....	90
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ С ИМИТАЦИЯМИ САМОРОДКОВ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА.....	92
4.1. Разработка дизайна изделий с имитациями самородков золота и серебра.....	90
4.2. Технология изготовления изделий с имитациями самородков золота и серебра.....	104
4.3. Обсуждение результатов.....	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	114

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	117
Список иллюстративного материала.....	127
Приложение А «Акт внедрения в производство»	133
Приложение Б «Акт внедрения в учебный процесс».....	134
Приложение В «Образцы латуни, полученные при разных условиях эксперимента».....	135
Приложение Г «Количество дендритов в отливках и количество потерь олова при разных температурных режимах воды и металла, %».....	136
Приложение Д «Награды, полученные за результаты представленного научного исследования».....	143

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования.

В ювелирном деле с древних времен самородки благородных металлов занимали особое место и во все времена вызывали большой интерес. В современном дизайне привлекательно использование небольших самородков золота в качестве вставок в ювелирные украшения. Сочетание строгих форм оправы со сложными асимметричными, природными формами самородков придают самобытность и эстетическую привлекательность изделиям, однако они обладают чрезмерно высокой стоимостью, что побуждает дизайнеров ювелирных изделий и технологов к поиску путей создания их имитаций. Сегодня существуют некоторые технологические приемы, позволяющие создавать из различных металлов формы, аналогичные природным самородкам. Как правило, их изготовление сочетает различные способы плавления, пайки, травления, оксидирования, патинырования и прочие технологические приемы, включающие ряд трудоёмких операций, что приемлемо для изготовления единичных изделий, но экономически невыгодно для мелкосерийного ювелирного производства.

В то же время, интерес к этим материалам и несомненная перспективность их широкого использования является основанием для поиска и разработки технологических приемов, позволяющих создавать имитации самородков золота и серебра сложных форм, близких к природным, минимизировав при этом затраты. Решение этой задачи является актуальным, как для теоретических разработок в области получения новых ювелирных материалов, так и для их внедрения в практику современного дизайна ювелирных изделий класса бридж и бижутерии.

Степень разработанности темы.

Проведенное исследование по разработке новых технологических приемов получения имитаций самородков благородных металлов для ювелирного дизайна, носит инновационный характер. Разработанная технология получения имитаций самородков золота и серебра и предлагаемый на их основе дизайн ювелирных

изделий готовы к внедрению в мелкосерийное ювелирное производство при создании сувенирных, ювелирных изделий класса бридж и авторской бижутерии.

Целью диссертационной работы является исследование процесса литья недрагоценных металлов для получения имитаций самородков золота и серебра, сходных по эстетическим характеристикам с природными аналогами. Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие **задачи**:

1. Проанализировать существующие методы создания самородков золота и серебра, выявить их достоинства и недостатки.
2. Осуществить выбор металлов, пригодных для создания имитаций самородков и определить способы их отливки.
3. Установить зависимость эстетических характеристик отливок от таких технологических параметров, как температура и состав охлаждающей жидкости, температура отливаемого металла и условия его кристаллизации.
4. Разработать рекомендации по использованию технологических приемов получения дизайнопригодных имитаций самородков в индивидуальных изделиях и мелкосерийном производстве.
5. Реализовать авторские разработки сувенирных и ювелирных изделий класса бридж в материале.

Объектом исследования являются природные самородки золота и серебра и их имитации, полученные из недрагоценных металлов. **Предметом исследования** являются эстетические и механические характеристики имитаций самородков золота и серебра, физические параметры используемых материалов и технологические параметры литья.

Научная новизна работы

1. Экспериментально доказана возможность получения из неблагородных металлов дизайнопригодных имитаций самородков золота и серебра методом литья.
2. Определены критерии оценки дизайнопригодности имитаций самородков золота и серебра, полученных на основе латуни и олова.

3. Установлено влияние состава охлаждающей жидкости и её температуры на физические и эстетические параметры отливок.

4. Определены условия процесса литья для получения образцов с заданными эстетическими свойствами.

Методы исследования.

Исследование химического состава используемых металлов проводилось на рентгенофлуоресцентном анализаторе металлов и сплавов S1 Titan. Для анализа микроструктуры латуни до и после эксперимента был использован поляризационный микроскоп OLIMPUS BX51. Температура охлаждающей жидкости определялась жидкостным термометром BT-02 с точностью ± 2 °C. Температура металлических расплавов измерялась инфракрасным пирометром HoldPeak HP-1300 с точностью ± 5 °C. Для реализации дизайнерских решений были использованы лицензионные программные средства Adobe Photoshop CS6 и CorelDRAW Graphics Suite X5.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Ускоренная кристаллизация расплава неблагородных металлов, таких как латунь и олово, при литье в неограниченное пространство позволяет получать имитации самородков золота и серебра с заданными свойствами.

2. Технологический режим получения дизайнопригодных имитаций самородков золота обеспечивается сочетанием температуры расплавленной латуни 970 ± 5 °C и охлаждающей жидкости в диапазоне от 0 до 25 °C.

3. Технологический режим получения дизайнопригодных имитаций самородков серебра обеспечивается сочетанием температуры расплавленного олова в диапазоне от 300 до 400 ± 5 °C и охлаждающей жидкости в диапазоне от 0 до 55 °C.

4. Состав охлаждающей жидкости не оказывает значительного влияния на конечные формы имитаций самородков золота и серебра и их эстетические свойства.

Практическая значимость и перспективы использования результатов

1. Разработанные технологические приемы получения имитаций самородков драгоценных металлов из расплавов латуни и олова при отливке в охлаждающие жидкости позволяют получать образцы, обладающие эстетическими свойствами, соответствующими запросам современного ювелирного дизайна.

2. Представлены дизайнерские решения и даны практические рекомендации по использованию имитаций самородков золота и серебра в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

3. Разработанная технология получения имитаций самородков золота и серебра принята к внедрению на предприятии ОАО «Байкалкварцсамоцветы» (акт внедрения представлен в Приложении А).

4. Технологические приемы получения имитаций самородков благородных металлов рассматриваются в учебной дисциплине «Ювелирные металлы и сплавы», а полученные в процессе экспериментальных исследований образцы включены в учебную коллекцию дисциплины «Ювелирное и камнерезное искусство» (акт внедрения в учебный процесс кафедры геммологии ФГБОУ ВО «Иркутский Национальный Исследовательский технический университет» для направления 29.03.04 «Технология художественной обработки материалов» представлен в Приложении Б)

5. Имитации самородков благородных металлов с заданными эстетическими характеристиками могут обеспечить наглядность в учебном процессе и сохранность дорогостоящих и редких музейных образцов. Это позволяет рекомендовать их получение для учебных и музейных коллекций.

Апробация результатов исследования.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры геммологии ИРНИТУ; на XVI и XVII Всероссийской научно-практической конференции по направлению ТХОМ (Москва, 2013; Иркутск, 2015); на ежегодной научно-технической конференции «Геонауки» в ИРНИТУ (Иркутск, 2013-2015). Результаты исследований представлялись на всероссийских и международных конкурсах и получили

высокую оценку: на Международной выставке «Город+Дизайн» присужден Диплом I степени за коллекцию ювелирных украшений со вставками, имитирующими золотые и серебряные самородки (Иркутск, 2013); на всероссийской выставке «Вдохновение и камень. Философия в материале» присужден Диплом II степени за подвес «Самородок» (Иркутск, 2013). За отличные результаты в учебе и достижения в научной деятельности присуждена именная стипендия Губернатора Иркутской области (Иркутск, 2014).

Достоверность разработанной технологии получения имитаций самородков золота и серебра подтверждается воспроизводимостью результатов; практическим применением результатов методики литья при изготовлении ювелирных изделий; апробацией результатов на всероссийских и международных конференциях и конкурсах.

Публикации.

По результатам диссертационного исследования опубликовано 14 статей, в том числе 5 в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и 5 приложений. Текст диссертации изложен на 145 страницах, содержит 49 рисунков, 10 таблиц. Список использованных литературных источников включает 107 наименований.

ГЛАВА 1. САМОРОДКИ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА И ИХ ИМИТАЦИИ В ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

1.1 Самородки золота и серебра в природе

Самородками являются природные относительно крупные сплошные обособления какого-либо металла, происхождение которых обсуждается в течение столетий [1]. Известно, что золото было первым металлом, обнаруженным и использованным человеком. Об этом свидетельствуют обширные материалы, начиная с данных о погребениях с эпохи неолита. Золото привлекло внимание древнего человека, прежде всего, ярким блеском, чистым желтым цветом и легкостью обработки. Обработать мягкий самородок золота, например, сделать в нем отверстие, было гораздо легче, чем использовать осколок кремня или вулканического стекла [2, 3]. Очевидно, первыми металлическими украшениями древних людей были подвески из золотых самородков. В погребениях 4 тысячелетия до нашей эры были обнаружены кремниевые ножи с золотыми полосами, получавшимися при трении об их поверхности самородков [1].

Интерес к красоте самородков, возникший на заре развития человечества, затем периодически повторялся. Из 45 природных самородных элементов с древних времен наиболее интересными для использования в ювелирном деле являются самородки золота, серебра, меди, к которым позже добавились самородки платины. Специфические геологические процессы в областях золотого, серебряного, медного, полиметаллического оруденения позволяют сформироваться весьма привлекательным формам природных самородков и их накоплению в россыпных месторождениях благодаря разрушению поверхностной эрозией коренных рудных месторождений. Сочетание благоприятных для разрушения рудных массивов приповерхностных условий, и близкое

расположение к земной поверхности вершин рудных столбов, в природе случается не так часто, поэтому количество эстетически выразительных самородков металлов, пригодных для ювелирного дизайна, всегда уступает спросу. Крупные самородки необычных, красивых форм ценятся, как экспонаты музейных и частных коллекций, при этом их стоимость намного выше, чем стоимость содержащейся в них массы чистого металла [1, 2]. Большой интерес представляют самородки малых размеров, используемые в необработанном виде, в качестве вставок при изготовлении ювелирных изделий, как на рисунке 1.1.

Высокая ценность самородков золота далеко не всегда принималась во внимание. Длительное время отношение к ним носило исключительно утилитарный характер, они переплавлялись, превращались в монеты, слитки или ювелирные изделия. В нашей стране золотые самородки стали высоко цениться с начала XIX века. По царскому указу крупные скопления самородного золота, как «предметы особо редкие», должны были направляться в государственное хранилище – кунсткамеру. Возникшая в тот период коллекция самородков многократно пополнялась, а затем вошла в «Алмазный фонд РФ» [1, 4, 5].



Рисунок 1.1 – Подвес и браслет с золотыми самородками [6]

Существует теория, согласно которой золото появилось на Земле уже после ее формирования в результате массивного падения небесных тел, содержащих данный металл. Однако большая часть ученых считают, что золото входило в состав материи, изначально сформировавшей Землю [7, 8].

На глубине, при больших температурах и давлении, в присутствии кислот, серы и других веществ, образовывались растворы золота и кварца. В результате процессов естественной конвекции, горячие растворы по разломам и трещинам в коре поднимались вверх к поверхности земли. По мере подъема, температура и давление падали, что приводило к распаду нестабильных соединений золота с серой и кристаллизации кварца. Соединения серы образовывали сульфиды – пирит, галенит и арсенопирит. В результате появлялись кварцевые жилы с включениями золота, а также различные сульфидные месторождения золота [7].

Процессы, приводившие к локальному накоплению золота в трещиноватых участках жильных тел, продолжались длительное время. Носителями самородков являются в основном поля древнего золотого оруденения, развивавшегося на относительно больших глубинах в условиях высокой прогретости минерализовавшихся пород. Однако не все глубинные месторождения содержали сплошные скопления золота, поскольку для возникновения самородков нужен был специфический режим рудообразования, отличающийся высокой активностью потоков глубинного тепла и большей длительностью их жизни, чем при отложении руд, лишенных самородков [9]. Формы самородков подчинены элементам структуры рудных тел, трещинным полостям, контурам в межобломочных участках в брекчированных агрегатах жильного кварца и сульфидов [2, 5].

Самородки распространены преимущественно в россыпях, это объясняется относительно легкой разрушаемостью «мест обитания» первичных скоплений золота – вершин рудных столбов месторождений. Во многих регионах верхние части сульфидно-кварцевых жил и прожилков, особенно древних, полностью или почти полностью, уничтожены эрозией. Накапливаясь у истоков россыпей, самородки подвергались существенным механическим воздействиям перемещающегося кластического материала. Поверхность их сглаживалась, окатывалась тем сильнее, чем длительнее были процессы россыпеобразования, и чем активнее происходило транспортирование рыхлых масс [1, 10].

А.П. Смолин в своей работе «Самородки золота Урала» приводит классификацию форм различных морфологических разновидностей золота и их изменение в процессе окатывания и истирания самородков в россыпях, разработанную Н.В. Петровской и А.И. Фасталович. Эта классификация, представленная на рисунке 1.2, включает основные стадии «жизни» самородков золота.

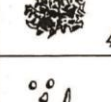
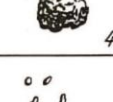
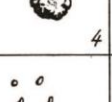
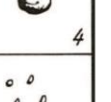
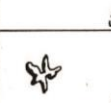
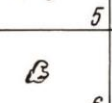
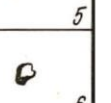
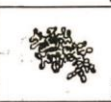
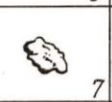
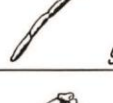
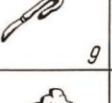
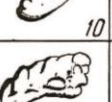
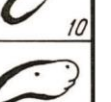
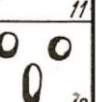
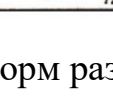
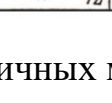
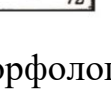
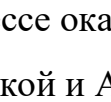
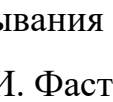
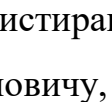
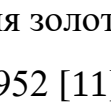
Золото в рудных месторождениях	Золото в россыпях			
	Полу-окатанное	Хорошо окатанное	Совершенно окатанное	
Жилковидно-пластинчатое				
Комковидное				
Плѐнки				
Губчатое				
Каплевидные вкрапления				
Амебообразные вкрапления				
Губчатое друзовидное				
Друзовое				
Проволочное				
Дендритовидное				
Дендриты				
Кристаллы				

Рисунок 1.2 – Изменение форм различных морфологических разновидностей золота в процессе окатывания и истирания золотин в россыпях; по Н.В. Петровской и А.И. Фасталовичу, 1952 [11]

В период формирования рудных месторождений золото отлагается из гидротермальных растворов, приобретает определенные черты внешней формы и внутренней структуры. Форма выделений золота и образование самородков зависит от условий среды: могут ли частицы золота расти свободно или их рост ограничен стенками узких трещин. В соответствии с этим выделения золота формировались в виде кристаллов и их сростков или приобретали ксеноморфные очертания, приготовленные формой заполняемого золотом участка. Черты морфологии самородков золота зависят от условий локализации золота в рудных телах, а также от некоторых региональных особенностей оруденения [11].

Самородки в виде кристаллов и друз редки и особенно ценны. Разные ориентировки и положения зародышевых частиц золота в участке, промываемом металлоносными растворами, определяли предпочтительный (энергетически выгодный) рост одних частиц, консервацию других и растворение третьих, быстро терявших стабильность [1,11].

Во вторую стадию, в период нахождения золота в зоне окисления золоторудных месторождений, оно в основном сохраняет свои морфологические и структурные особенности. Однако на данном этапе золото испытывает коррозию, растворение и частичное переотложение, блестящие поверхности золота становятся матовыми и шагрeneвыми. В последующие стадии, начинающиеся вслед за разрушением коренных месторождений, когда освобождающиеся частицы золота начинают перемещаться и концентрироваться в россыпях, золото в какой-то мере еще сохраняет свои морфологические и структурные особенности. В дальнейшем формы и структуры золотинок и золотых самородков испытывают различные изменения: они окатываются, истираются, деформируются под воздействием ударов кластического материала, претерпевают коррозию, образующую шагрeneвый характер их поверхности [11].

Пробность золота в рудах месторождений зависит от их минералогического состава, температуры образования, давления и характера растворов.

Самородки серебра, также как самородки меди, в отличие от самородков золота встречаются гораздо реже, хотя серебро и является самым

распространенным в природе среди драгоценных металлов. Среднее содержание серебра металла в земной коре составляет 0,075 грамм на тонну, что примерно в 20 раз больше, чем золота или платины, в морской воде примерно 0,00004 грамм на тонну, что также выше концентрации золота и платины. Это объясняется большей химической активностью серебра [7, 12].

В природе серебро встречается в самородном виде и в виде соединений, иногда в виде природного сплава с золотом (электрум) и редко в виде амальгамы. Показательно, что не образуется в природе окислов серебра, его гидратов и солей, характерных для свинца и цинка, а обычно встречаются соединения серебра в зоне выветривания месторождений. Самородное серебро образуется в зонах окисления и вторичного обогащения сульфидных месторождений; также может иметь гидротермальное происхождение. Изредка накапливается в россыпях. Главными минералами серебряных руд являются самородное серебро, аргентит. В медных и свинцово-цинковых месторождениях ему также сопутствуют сульфосоли серебра (пираргирит, прустит), самородная медь, золото. В рудных жилах – кварц, кальцит, доломит; в гидротермальных месторождениях – самородный висмут, арсениды никеля и кобальта (смальтит, мослерит, никколит). В поверхностных условиях часто переходит в кераргирит, акантит и другие минералы серебра, пираргирит, полибазит, прустит, стефанит и серебросодержащий галенит [13, 14].

В.И. Вернадский по происхождению разделял самородное серебро на первичное и вторичное. Месторождения первичного самородного серебра известно немного. Из старых по времени открытия месторождений (в 1623 г.) крупнейшим является Конгсберг в Норвегии. Более распространен и лучше изучен тип месторождений со вторичным серебром. Самородное серебро в этом случае находится в теснейшей связи с другими соединениями серебра и происходит за счет их разложения при участии воздуха и воды. Исходными соединениями для такого серебра являются сульфосоли и сернистые соединения, реже электрум и некоторые другие минералы. В верхних частях месторождений все соединения серебра в конечном счете образуют три типа минералов:

самородное серебро, сернистое серебро и галоидные соединения серебра. Эти минералы иногда находятся между собой в состоянии равновесия, но в конце концов преобладает самородное серебро [13].

Не смотря на меньшую встречаемость по сравнению с золотыми самородками, известны случаи нахождения поистине гигантских серебряных самородков. В 1894 году в шахте «Smuggler Mine» в штате Колорадо, США, был найден крупнейший в мире самородок весом 1065 кг, он представлен на рисунке 1.3. При переплавке из него получили 835 кг чистого серебра [7].

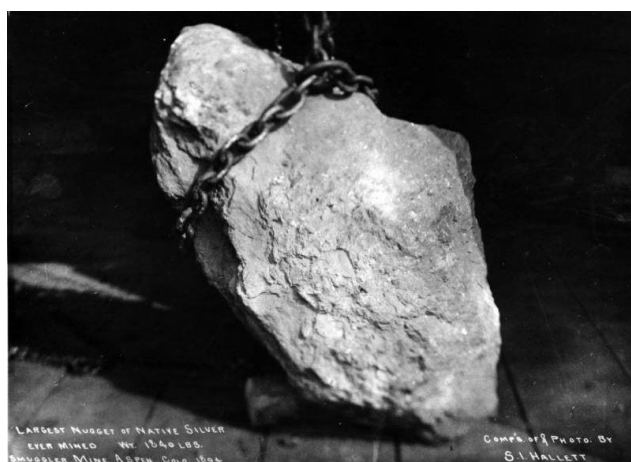


Рисунок 1.3 – Самородок серебра весом 1065 кг, найденный в 1894г в шахте «Smuggler Mine» в штате Колорадо [7]

Самородное серебро имеет кубическую кристаллическую решетку, но в виде многогранников встречается редко: наиболее часты вытянутые кристаллы, имеющие вид тонких нитей до 25 см длиной, которые обычно скручены. И мельчайшие самородки и огромные пластины серебра в общем представляют сростки кристаллов. Наблюдаются дендриты, двойниковые срастания, губчатые массы [13]. Также самородки этого металла обычно встречаются в виде зерен неправильной формы, пластин, дендритов, моховидных, проволоковидных и нитевидных агрегатов; хорошо сформированные кристаллы очень редки. Примеры самородков серебра представлены на рисунке 1.4. Они имеют металлический блеск, а для поверхности характерен темно-серый налет. Окраска на свежем изломе - серебряно-белая, иногда с желтоватым оттенком [13, 14].

*a**б*

Рисунок 1.4 – Примеры самородков серебра: *a* – проволочный самородок серебра длиной около 7 см, Северный Казахстан; *б* – самородок серебра под микроскопом [14]

1.2. Анализ существующих имитаций самородков золота и серебра

Невозможно найти два абсолютно идентичных самородка золота или серебра, природа не создает копии, поэтому использование самородков в качестве вставок в ювелирных изделиях придает им особую индивидуальность и привлекательность. В изделия, как правило, оправляют золотые самородки, они достаточно прочные, износостойкие и встречаются гораздо чаще самородков серебра. Последние, напротив, отличаются более хрупким строением, они редко встречаются в том виде, в каком могут быть использованы в качестве декоративных вставок в изделиях.

Учитывая высокий интерес к изделиям с самородками и, в то же время, их высокую стоимость, многие мастера воспроизводят из других более дешевых металлов формы, напоминающие природные самородки. Преимущественно создают имитации золотых самородков. Для этого в основном используют латунь или алюминиевую бронзу, имеющую золотисто-желтый цвет.

Получение имитаций самородков драгоценных металлов и использование их в дизайне ювелирных изделий достаточно распространенное направление

среди ювелиров, однако, каждый мастер, как правило, разрабатывает свой собственный метод, который он держит в секрете. Поэтому определить, каким образом была достигнута та или иная фактура или форма металла, имитирующего природный самородок, можно лишь при помощи визуального анализа изделий.

Известным примером таких работ является рама для портретов супружеской четы Романовых, выполненная мастером золотых дел Августом Хольмстремом (1829-1903), работавшим в должности главного ювелира в мастерской Фаберже. Ему так полюбились русские золотые самородки, что он стал разрабатывать ювелирную технику, которая впоследствии так и стала называться «Самородок». Рама этих портретов, представленная на рисунке 1.5, выполнена из золота в технике «Самородок» и инкрустирована драгоценными камнями. Фактура поверхности рамы действительно очень напоминает самородное золото, однако таковым не является. Оно лишь имитирует настоящее самородное золото [15].



а



б

Рисунок 1.5 – Складная рамка для фотографий четы Романовых, выполненная с имитацией фактуры золотого самородка. Фаберже, Санкт-Петербург, около 1890. Ювелир — Август Хольмстрем. Золото, сапфиры, изумруды, алмазы. Ширина 11,5 см. Высота 7,9 см [15]

Существует достаточно много технологических приемов для реализации идеи создания имитаций самородков золота из менее дорогих металлов. Наиболее распространенным является метод пайки, при котором можно соединять различные по форме и размеру обрезки металла так, чтобы вместе они

сформировали объемный «слиток» неправильной формы. Некоторые мастера используют технику, похожую на технику зерни, отличающуюся определенной небрежностью, позволяющей при создании и соединении отдельных шариков имитировать природное образование. Иногда при соединении металлических фрагментов разных форм и размеров их нагревают до тех пор, пока поверхность каждого не начнет плавиться, таким образом, все металлические части соединяются друг с другом без использования припоя, при этом образуется своеобразная шероховатая фактура. С целью придания максимального сходства с природными самородками и достижения оригинальности форм многие мастера используют техники травления, патинирования и оксидирования имитаций самородков золота, полученных разными приемами.

К созданию имитаций самородков серебра ювелиры обращаются гораздо реже, при этом используют те же технологические приемы, что и для имитаций самородков золота. В качестве материала для имитирования используют серебро 925 пробы, нейзильбер или мельхиор. Кроме способов, основанных на процессе пайки, получение имитаций самородков также можно добиться путем создания восковой модели и последующим литьем в металл. Пример имитации серебряного самородка в изделии представлен на рисунке 1.6. Фактура лицевой части изображенного кольца, вероятно, была получена из пластины металла раскатанного до минимальной толщины, а затем в буквальном смысле смята до создания неровной фактуры, обеспечивающей схожесть с самородками серебра. Также создают имитации прожилок самородных металлов в кварце. Это сложный процесс, основанный на заполнении трещин в кварце золотом или серебром под воздействием высокой температуры и давления [16].



Рисунок 1.6 – Кольцо с имитацией серебряного самородка [17]

1.3. Выбор металлов для создания имитаций самородков золота и серебра

В следующей главе данной работы представлено подробное описание всех этапов экспериментальной части направленной на создание имитаций самородков золота и серебра из недорогих металлов. Перед выполнением экспериментального исследования был проведен сравнительный анализ основных физических и эстетических свойств цветных металлов и их сплавов с целью выбора наиболее подходящих для создания имитаций природных самородков золота и серебра. Большое внимание при выборе металлов уделялось их цвету, поскольку важным аспектом является внешнее сходство имитаций с природными самородками – их цвет и форма. Поскольку предлагаемая технология заключается в литье металла расплавленного при помощи горелки, не менее важными являются такие свойства, как температура плавления выбранного металла и его жидкотекучесть.

Для имитации золотых самородков наиболее предпочтительными, как уже доказали наши предшественники, являются алюминиевая бронза и латунь. Оловянные бронзы не представляют интереса для данной работы из-за своего цвета. Наиболее выигрышную позицию в этом отношении занимают

алюминиевые бронзы. Они обладают хорошими технологическими и механическими свойствами. Также алюминиевые бронзы обладают высокой коррозионной стойкостью, а благодаря своему красивому золотисто-желтому цвету этот металл применяют в качестве заменителя золота при изготовлении бижутерии, монет, медалей пр. [18, 19].

Еще одним преимуществом алюминиевых бронз является высокая по сравнению с оловянными бронзами жидкотекучесть. Это свойство важно в литейном производстве, оно определяет способность металла заполнять литейную форму и воспроизводить ее рельеф [20, 21].

При определении жидкотекучести металлов чаще всего используют метод спирали: расплавленный металл из тигля заливают в обогреваемую металлическую форму с литейной полостью в виде спирали длиной L . В зависимости от того, насколько расплавленный металл заполнит эту полость, и оценивают его жидкотекучесть. Чем больше жидкотекучесть сплава, тем большей длины участок будет заполнен до затвердевания. Жидкотекучесть сплавов определяется в соответствии с ГОСТ 16438-70 и зависит от физических свойств, интервала кристаллизации, химического состава, температуры расплава, а также от физических свойств, химической активности, смачиваемости и состояния литейной формы [20].

Для некоторых сплавов, содержащих два и более компонентов, характерна связь между жидкотекучестью и положением этого сплава на диаграмме состояния, т.е. жидкотекучесть определяется интервалом кристаллизации. Автор книги «Ювелирное и художественное литье по выплавляемым моделям сплавов меди» поясняет, что минимумы и максимумы жидкотекучести сплавов в зависимости от состава отвечают определенным участкам и критическим точкам на диаграммах состояния. Сплавы с широким интервалом кристаллизации, как правило, обладают минимальной жидкотекучестью, а максимумы на диаграммах «Состав – жидкотекучесть» соответствуют эвтектическим сплавам и химическим соединениям [21, 22]. Такая диаграмма представлена на рисунке 1.7.

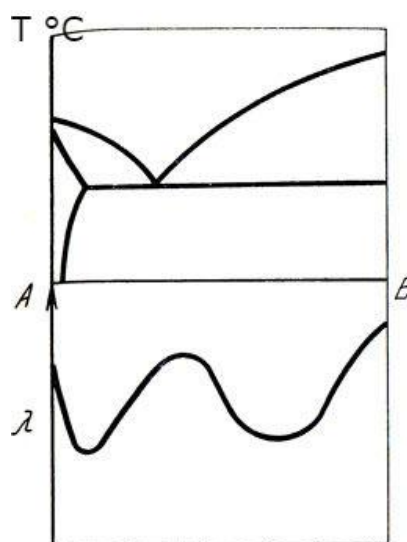


Рисунок 1.7 – Кривая жидкотекучести сплавов системы А-В [21]

Алюминиевые бронзы кристаллизуются в очень узком интервале температур от 15 до 20°C, оловянные бронзы, наоборот, - в широком интервале (выше 100 °C). При исходных условиях заливки сплавов наибольшая жидкотекучесть наблюдается у алюминиевых бронз (длина спирали $L=80\ldots100$ см), наименьшая - у оловянно-свинцовых бронз ($L=20\ldots40$ см) [21].

Несмотря на сравнительно высокую жидкотекучесть и цвет приближенный к золотому, алюминиевая бронза не может быть использована в экспериментах данной работы, из-за высокой температуры плавления, которая колеблется от 1040°C до 1075°C в зависимости от марки сплава. Поэтому, наиболее подходящей по выбранным параметрам для проведения экспериментов является латунь.

Латуни – это сплавы на основе меди, основным легирующим элементом в которых является цинк. Латунь с содержанием от 5 до 20% цинка называется красной (томпаком), с содержанием 20–36% Zn – желтой. На практике редко используют латуни, в которых концентрация цинка превышает 45%. Латуни подразделяют на двойные и многокомпонентные [23]. Они обладают высокими технологическими свойствами и применяются в производстве различных мелких деталях, особенно там, где требуются хорошая обрабатываемость и формуемость. Из них получают хорошие отливки, так как латуни обладают хорошей текучестью и малой склонностью к ликвации [24, 25].

В многокомпонентных латунях кроме меди и цинка присутствуют дополнительные легирующие элементы, основными из которых являются алюминий, железо, марганец, свинец, кремний, никель. Они по-разному влияют на свойства латуней. Двухкомпонентные латуни состоят только из меди и цинка и незначительного количества примесей [23].

Для двухкомпонентной латуни особое значение имеет фазовый состав сплава. Предел растворимости цинка в меди при комнатной температуре равен 39%. При повышении температуры он снижается и при 905 °С становится равным 32%. По этой причине латуни, содержащие цинка менее 39%, имеют однофазную структуру (α -фаза) твердого раствора цинка в меди. Их называют α -латунями. Если в расплав ввести больше цинка, то он не сможет полностью раствориться в меди, и после затвердевания возникнет вторая фаза – β -фаза. Эта фаза очень хрупка и тверда, поэтому двухфазные латуни имеют более высокую прочность и меньшую пластичность, чем однофазные. При увеличении концентрации цинка до 30% возрастают одновременно и прочность, и пластичность. Затем пластичность уменьшается, вначале за счет усложнения твердого раствора, затем при появлении β -фазы происходит резкое ее понижение. Прочность увеличивается до концентрации цинка около 45%, а затем уменьшается так же резко, как и пластичность [19, 24, 26].

Латунь является, пожалуй, самым распространенным металлом, использующимся в качестве заменителя золота благодаря своему красивому цвету и механическим свойствам. Предполагается, что преднамеренное производство сплавов похожих на современную латунь началось около 1-го века до нашей эры. Латунь была использована для украшения церковных памятников и гробниц. Монеты из этого сплава были распространены по всей Римской империи [27].

Температура плавления латуни варьирует от 880°С до 950°С в зависимости от состава, это на порядок ниже, чем у алюминиевой бронзы. Латуни имеют средний интервал кристаллизации и среднюю величину жидкотекучести по сравнению с алюминиевыми и оловянными бронзами [21].

Для разработки технологии, направленной на создание имитаций самородков золота, была выбрана латунь марки Л63. Это двухкомпонентная латунь, содержащая 37% цинка [28]. Этот сплав обладает рядом преимуществ перед другими марками латуней:

- Латунь выбранной марки обладает красивым золотистым блеском и соломенно-желтым цветом, характерным для высокопробного золота;
- Температура плавления латуни Л63 составляет 906°C – более чем на 100°C ниже температуры плавления алюминиевых бронз [28];
- На диаграмме состояния латунь Л63 находится ближе других к эвтектической точке, что говорит о наиболее высокой жидкотекучести по сравнению с другими марками этого сплава [21].

Кроме вышеупомянутых преимуществ латунь Л63, называемая торговой, среди всех латуней занимает первое место по объему производства, а значит, достать такой сплав не составит никакого труда.

Основными параметрами при выборе металла для создания имитаций самородков серебра также являлись цвет, жидкотекучесть и температура плавления. Для этого были рассмотрены свойства мельхиора, нейзильбера, алюминия и олова.

Мельхиор по своим внешним признакам очень похож на серебро, обладает серебристым цветом, высокой коррозионной стойкостью. Он пластичен, хорошо обрабатывается давлением в холодном и горячем состоянии (штампуется, режется, чеканится), паяется, полируется [29, 30]. Сплав широко применяют для изготовления посуды и недорогих ювелирных и художественных изделий. Большинство современных монет серебристого цвета изготавливают из мельхиора (обычно 75 % меди и 25 % никеля с незначительными добавками марганца). Он широко применяется в производстве медицинского инструмента и термогенераторов [24, 30].

Существует похожий сплав на основе меди, содержащий 5-35% никеля и 13-45% цинка. Благодаря содержанию цинка сплав несколько дешевле аналогичного по внешнему виду и механическим свойствам мельхиора.

Нейзильберы отличаются красивым серебристым цветом, не окисляются на воздухе, устойчивы к растворам солей и органических кислот. В дословном переводе с немецкого языка Neusilber означает «новое серебро». Наиболее распространенный среди нейзильберов сплав МНЦ15-20 (15% Cu, 20% Ni и Zn) широко используется в приборостроении, для изготовления технической посуды, медицинских инструментов, а также деталей часов. В ювелирном деле нейзильбер используется для изготовления булавок, посеребренных столовых приборов, игл и прочих художественных изделий [29].

Не смотря на высокое внешнее сходство вышеописанных сплавов с серебром, они не могут быть использованы в экспериментах по созданию имитаций серебряных самородков, поскольку обладают достаточно высокими температурами плавления. У мельхиора температура плавления достигает 1170°C , а у нейзильбера - 1100°C [31].

Алюминий нашел широкое применение как конструкционный материал. Основные достоинства алюминия в этом качестве — лёгкость, податливость штамповке, коррозионная стойкость, высокая теплопроводность. Его соединения не ядовиты и абсолютно безопасны, поэтому алюминий чрезвычайно популярен при производстве кухонной посуды, алюминиевой фольги в пищевой промышленности и для упаковки. Первые же три свойства сделали алюминий основным сырьем в авиационной и авиакосмической промышленности.

Основной недостаток алюминия как конструкционного материала — это малая прочность, поэтому для упрочнения его обычно сочетают с небольшим количеством меди и магния (сплав называется дюралюминий). Алюминиевые сплавы отличаются уникальным комплексом свойств: низкой плотностью, высокой удельной прочностью, хорошей коррозионной стойкостью во многих средах и высокой технологичностью (их плавят и обрабатывают давлением при невысоких температурах в воздушной атмосфере) [23, 32].

Температура плавления чистого алюминия равна 660°C , что позволит без труда расплавить этот металл при помощи горелки. Кроме этого алюминий обладает достаточно высокой жидкотекучестью, которая снижается при

увеличении в составе легирующих элементов [32]. Этот металл имеет серебристо-белый цвет, однако поверхность алюминия всегда покрыта сплошной тонкой (до 5 нм) и прочной оксидной пленкой Al_2O_3 , имеющей хорошее сцепление с металлом, благодаря которой алюминий и защищен от атмосферной коррозии. Эта оксидная пленка придает алюминию серый матовый оттенок [18].

В отношении цвета алюминию хорошую конкуренцию составляет олово. При нормальных условиях олово существует в виде β -модификации (белое олово), устойчивой выше $13,2^\circ\text{C}$ – это пластичный, ковкий и легкоплавкий блестящий металл серебристо-белого цвета, обладающий тетрагональной элементарной ячейкой. Координационное окружение каждого атома олова в нем – октаэдр [33].

Ниже $13,2^\circ\text{C}$ белое олово переходит в другое фазовое состояние. При охлаждении, например, при морозе на улице, белое олово переходит в α -модификацию (серое олово). Серое олово имеет структуру алмаза (кубическая кристаллическая решетка). В сером олове координационный полиэдр каждого атома – тетраэдр, координационное число 4. Переход из одной фазы в другую сопровождается увеличением удельного объема на 25,6%, что приводит к рассыпанию олова в порошок. Чем ниже температура окружающей среды, тем быстрее происходит процесс превращения. При -33°C скорость превращений становится максимальной. Причём соприкосновение серого олова и белого приводит к «заражению» последнего. В старые времена наблюдавшееся во время сильных холодов рассыпание оловянных изделий называли «оловянной чумой». В результате этой «чумы» пуговицы на обмундировании солдат, их пряжки, кружки, ложки рассыпались, и армия могла потерять боеспособность [34, 35].

Олово используется в основном как безопасное, нетоксичное, коррозионностойкое покрытие в чистом виде или в сплавах с другими металлами. Главные промышленные применения олова — в белой жести (лужёное железо) для изготовления тары пищевых продуктов, в припоях для электроники, в домовых трубопроводах, в подшипниковых сплавах и в покрытиях из олова и его сплавов. До 60 % производимого олова используется в виде сплавов с медью,

медью и цинком, медью и сурьмой (подшипниковый сплав, или баббит), с цинком (упаковочная фольга) и в виде оловянно-свинцовых и оловянно-цинковых припоев [35].

Кроме подходящего серебристо-белого цвета чистое олово имеет низкую температуру плавления и высокую жидкотекучесть [35]. Благодаря своим механическим и физическим свойствам, кардинально отличающимся от характеристик других упомянутых металлов, олово в ходе экспериментов может дать интересные и неожиданные результаты. Кроме этого на поверхности чистого олова в отличие от алюминия не образуется оксидная пленка, а значит, оно не теряет со временем свой серебристо-белый цвет, поэтому для создания имитаций самородков серебра было выбрано олово.

1.4. Обсуждение результатов

Обзор литературных источников по проблеме данной работы позволил рассмотреть процессы способствующие образованию самородного золота и условия благоприятные для рождения золотых самородков. Были описаны причины наиболее частой встречаемости самородков в россыпях. Также рассмотрены условия образования самородков серебра. По сравнению с описанием самородков золота информация о серебряных самородках достаточно скудна, а литературных источников намного меньше. Это связано с наименьшей стоимостью, ценностью и распространенностью самородков этого металла в природе, поскольку серебро отличается большой химической активностью и легко образует соединения с другими химическими элементами.

Рассмотрены возможные варианты технологических приемов имитации самородков золота из металлов желтого цвета таких, как латунь или бронза, а также приемов имитации серебряных самородков из нейзильбера, мельхиора или серебра 925 пробы.

Определены основные параметры для выбора наиболее подходящих металлов, которые впоследствии будут использоваться в экспериментах, направленных на разработку технологии создания имитаций самородков золота и серебра. Этими параметрами являются цвет, температура плавления и жидкотекучесть металла, поскольку в основе разрабатываемой технологии лежит процесс литья металлического расплава в охлаждающую жидкость.

При выборе материала для исследования были рассмотрены эстетические, механические и физические свойства недрагоценных металлов, которые могли бы обеспечить максимальное сходство получаемых имитаций с самородками золота и серебра. Результаты проведенного анализа сведены в общую таблицу 1.1, в которой представлены все рассмотренные металлы по выбранным характеристикам. Знак +/- в таблице означает, позволяет ли данная характеристика этого металла использовать его в дальнейших экспериментах или нет.

Таблица 1.1 – Результаты анализа свойств некоторых металлов для использования наиболее подходящего в экспериментальной части работы

Металл	Цвет	Температура плавления	Жидкотекучесть
Алюминиевая бронза	+	-	+
Оловянная бронза	-	-	-
Латунь	+	+	+
Мельхиор	+	-	-
Нейзильбер	+	-	-
Алюминий	-	+	+
Олово	+	+	+

Наиболее подходящими металлами для создания имитаций самородков золота являются алюминиевая бронза и латунь. Благодаря меньшему значению температуры плавления латуни именно этот металл был выбран для

использования в экспериментальном исследовании, несмотря на то, что жидкотекучесть упомянутой бронзы несколько выше. Из многочисленных марок латуней для экспериментов была выбрана латунь марки Л63, поскольку она обладает золотисто-желтым цветом, более высокой жидкотекучестью и низкой температурой плавления по сравнению с другими марками этого сплава.

При выборе металла подходящего для имитации серебряных самородков, было решено использовать олово, так как нейзильбер и мельхиор отличаются высокой температурой плавления и низкой жидкотекучестью, а алюминий образует на поверхности оксидную пленку, что делает его внешний вид эстетически непривлекательным. К тому же предполагалось, что благодаря своим свойствам, сильно отличающимся от свойств других металлов, олово позволит получить интересные и необычные результаты.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИМИТАЦИЙ САМОРОДКОВ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА

Изучение возможностей получения ювелирных имитаций самородков золота и серебра базировались на результатах многочисленных экспериментов. В процессе исследований варьировались используемые материалы, охлаждающие жидкости, условия отливки, температурные режимы. Каждая выполненная серия экспериментов давала возможность для корректировки и изменения параметров в зависимости от получаемых результатов, что является основанием для детального пошагового рассмотрения проведенного исследования.

2.1. Эксперименты по получению имитаций самородков золота из латуни

Данный раздел главы содержит описание экспериментов, в которых для создания имитаций самородков золота использовалась латунь марки Л63. В первой главе уже упоминалось, что латуни – это сплавы меди с цинком. Их делят на простые или двухкомпонентные, легированные только цинком и специальные, то есть содержащие дополнительные легированные элементы (Pb, Sn, Si, Fe, Mn, Al, Ni). Специальные латуни называют по основному дополнительному элементу: алюминиевые, кремниевые, марганцевые, никелевые, оловянные, свинцовые. Структура и свойства латуней определяются диаграммой состояния Cu-Zn, представленной на рисунке 2.1. В соответствии с ней в зависимости от содержания цинка различают однофазные α -латуни с содержанием цинка не более 38%, двухфазные $\alpha+\beta$ -латуни (β -фаза твердый раствор на основе химического соединения CuZn) и β -латуни с содержанием цинка более 48%. Свойства латуней определяют свойства фаз: α -латунь высокопластичная, но малопрочная, β -латунь имеет высокую хрупкость, но твердая и прочная [5, 36].

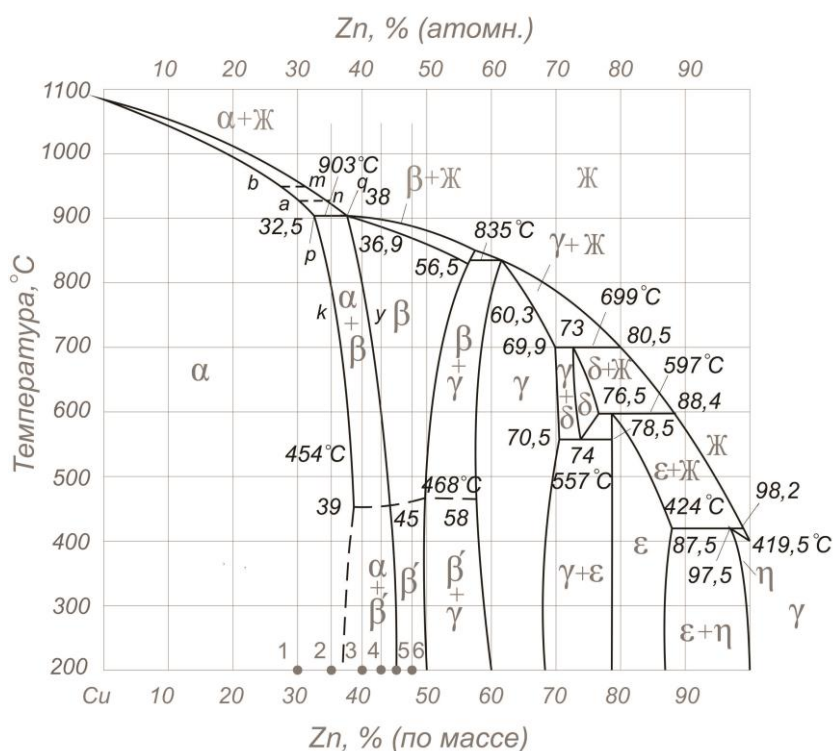


Рисунок 2.1 – Диаграмма состояния Cu-Zn [37]

Используемая латунь марки Л63 содержит 37% цинка и 63% меди. Согласно диаграмме состояния Cu-Zn, представленной на рис. 2.1 этот сплав является однофазной α -латунью. Однако, при нагреве металла до температуры близкой к 700°C растворимость цинка в меди достигает своего предела и появляется β -фаза. Латунь со структурой α -фазы пластичны, имеют высокую технологичность и легко поддаются горячей и холодной обработке давлением. Латунь Л63 занимает первое место по объему производства и широко применяется во всех областях промышленности в виду большого содержания Zn, хороших механических показателей и низкой стоимости, по сравнению со сплавами, содержащими больше Cu. Этот сплав имеет высокую эстетическую ценность, изделия из него хорошо полируются и часто используются в качестве элементов дизайна в ювелирном или в ремесленном деле [36, 38].

На основе изученного материала о природных самородках золота были определены критерии оценки результатов экспериментального исследования для получения качественных дизайнопригодных имитаций золотых самородков:

1. Золотисто-желтый цвет, металлический блеск отливок;

2. Неровный рельеф и форма, характерные для природных золотых самородков, встречающихся в россыпях;

3. Допустимы матовые и шагреньевые участки на поверхности, характерные для золотых самородков претерпевших коррозию, не влияющие на цвет отливки.

Эксперименты, основанные на использовании латуни марки Л63, базировались на двух технологиях:

1. Постепенное охлаждение расплавленного металла на воздухе;
2. Моментальное охлаждение расплавленного металла путем литья в воду.

Первые эксперименты были направлены на получение имитаций самородков золота, при помощи постепенного охлаждения расплавленного металла на воздухе. Эти испытания проводились с использованием проволоки двухкомпонентной латуни марки Л-63. Подготовленный металл массой 3,5 грамма плавился в тигле при помощи бензиновой горелки [39]. Температура пламени горелки (модель ГБ м – 2), используемой во всех экспериментах, может достигать 1300°C – температуры достаточной для плавления небольшого количества таких металлов, как золото, серебро или латунь [40].

У латуни температура плавления колеблется в пределах 800-1000°C в зависимости от процентного соотношения меди и цинка в ее составе. Чем больше цинка в сплаве, тем ниже его температура плавления. У латуни марки Л-63, используемой в данной работе, температура плавления составляет 906 °C. При достижении расплавом температуры 907 °C, цинк начинает испаряться, его пары, соединяясь с кислородом, образуют окись цинка, которая в виде белого налета осаждается на стенках тигля, поэтому работы следует проводить в помещении оснащенном вытяжкой [41, 42].

В процессе эксперимента при плавлении латуни в тигель к металлической массе добавлялось небольшое количество буры в качестве флюса, для предохранения расплава от окисления, насыщения кислородом и другими газами из окружающей среды. Флюс очищает расплавы от нежелательных компонентов, загрязнений и примесей путем окисления и перевода оксидов в шлаки. Кроме этого бура необходима для верхней теплоизоляции расплава [36, 48].

Как только латунь приобрела однородное жидкотекучее состояние и ровную округлую форму, повторяющую форму тигля, ее нагрев прекратился. После того, как металлическая масса затвердела, она с помощью пинцета была извлечена из тигля и подвержена полному охлаждению в воде. В результате на поверхности металла возник необычный фактурный рисунок, получившийся за счет образования на поверхности латунного образца стекловидных сплавов оксидов металла с бурой. С оксидами многих металлов бура при нагревании образует окрашенные соединения - бораты или «перлы буры», имеющие разный окрас, что используется в аналитической химии для определения металлов [40]. Полученный образец латуни был отполирован при помощи муслинового диска и полировальной пасты ГОИ.

В процессе отжига, плавления или пайки поверхность обрабатываемого металла покрывается оксидами или расплавленным флюсом с растворенными в нем оксидами, поэтому после перечисленных операций изделие или его детали всегда подвергаются процессу отбеливания, необходимого для травления окисленного поверхностного слоя и удаления остатков флюса с металла [36, 43, 51].

В данной серии экспериментов особенностью и новизной явилось исключение вышеупомянутого традиционного этапа отбеливания металла, что каждый раз позволяло сохранять на поверхности латунного образца возникавший фактурный рисунок. Пример таких образцов представлен на рисунке 2.2, *а*. Полировка была необходима для удаления механическим путем излишков окислов и флюса, а также более четкого выявления углублений рисунка, за счет придания блеска участкам с ровной поверхностью металла [39]. Следует отметить, что, для получения ярко выраженного фактурного рисунка при плавлении, достаточно лишь маленькой щепотки буры, поскольку излишнее ее количество способствует полному растворению окислов и образованию чистой поверхности латунного образца, пример которого изображен на рисунке 2.2, *б*.

*a**б*

Рисунок 2.2 – Образцы латуни: *a* – образец из латуни с ярко выраженным фактурным рисунком на поверхности; *б* – образец из латуни с неудавшимся фактурным рисунком на поверхности, вследствие использования большого количества буры при плавлении [44]

Образцы, полученные в результате первых экспериментов, не удовлетворяют заданным эстетическим параметрам, однако, они являются интересным материалом для ювелирного дизайна и могут быть использованы в качестве необычных вставок в различных изделиях. Пример таких изделий представлены в главе 4 данной работы на рисунке 3.1.

Поиск наиболее эффективных технологических приемов привел к возникновению идеи о литье расплавленного металла в емкость с охлаждающей жидкостью, на этом основана следующая серия экспериментов [44].

Предварительно нарезанная проволока латуни, как и в первой серии экспериментов, плавилась в тигле при помощи бензиновой горелки. Как только металл достиг однородного жидкотекучего состояния, содержимое тигля было отлито в емкость с водой комнатной температуры. Попад в воду, расплав сформировал отливки с внешними параметрами, характерными для природных золотых самородков: шероховатую поверхность, неровный рельеф и золотисто-желтый цвет. Результаты этих экспериментов представлены на рисунке 2.3, *б*, *в*. В результате нескольких повторений этой операции был сделан вывод, что для получения эстетически пригодных отливок чрезвычайно важно, чтобы в момент литья металл имел однородное жидкотекучее состояние. В противном случае

кристаллизация расплава начинается до его литья в воду, что приводит к формированию отливок с большим количеством окислов на поверхности, или же вовсе не позволяет отлиться латуни должным образом. Чтобы соблюсти данное условие при транспортировке тигля от места плавления до емкости с водой необходимо непрерывно подавать тепло расплавленному металлу.

Многократные повторения вышеописанного эксперимента, варьирование его условиями, анализ и наблюдение результатов позволили сделать вывод о том, что на образование формы и рельефа отливок влияют газы, находящиеся в металле.

В составе даже самых чистых металлов содержится небольшое количество водорода, кислорода и азота. Эти примеси вне зависимости от формы их нахождения, называют «газами в металлах» [45]. Газы всегда имеются и в твердых и в жидких металлах. Они находятся, как в виде самостоятельных элементов, так и в виде различных химических соединений. Газы могут остаться в металле после кристаллизации или перейти в металлическое изделие в процессе эксплуатации вследствие влияния температурных условий, повышенных парциальных давлений, сочетаемых с химическими и электрохимическими воздействиями. В жидком металле газы содержатся в виде растворенных ионизированных частиц (катионов и анионов) и атомов, в виде химических соединений – нитридов и оксидов, или молекул – на поверхности шлаковых включений, не смачиваемых жидким металлом. В твердом металле газы находятся в виде растворенных частиц – ионов и атомов, а также неметаллических включений, а в порах и раковинах – в виде молекул. С присутствием в расплаве кислорода часто связаны такие дефекты, как газовая пористость, оксидные включения, горячие трещины. Водород во многих металлах составляет 60-90 % от общего объема содержащихся газов, он взаимодействует практически со всеми элементами периодической системы [46].

При попадании расплавленного металла в воду кристаллизация начинается с его внешних поверхностных слоев. Они сжимаются, образуя давление внутри металлического тела. Под воздействием такого давления внутриметаллические

газы стремятся вырваться наружу, при этом деформируя еще не застывшие слои металла, тем самым образуя неправильную форму и неровный рельеф поверхности отливки. О стремлении внутриметаллических газов вырваться наружу свидетельствуют поры на поверхности некоторых образцов. Такие поры хорошо просматриваются в образце, представленном на рисунке 2.3, б.

Подобные поры в латунных отливках внешне напоминают участки самородков золота, претерпевшие коррозию, что увеличивает сходство имитаций с их природными аналогами. Чем сильнее была прогрета расплавленная металлическая масса перед ее взаимодействием с водой, тем ярче была выражена деформация, и тем выше была схожесть полученных образцов с самородками золота.

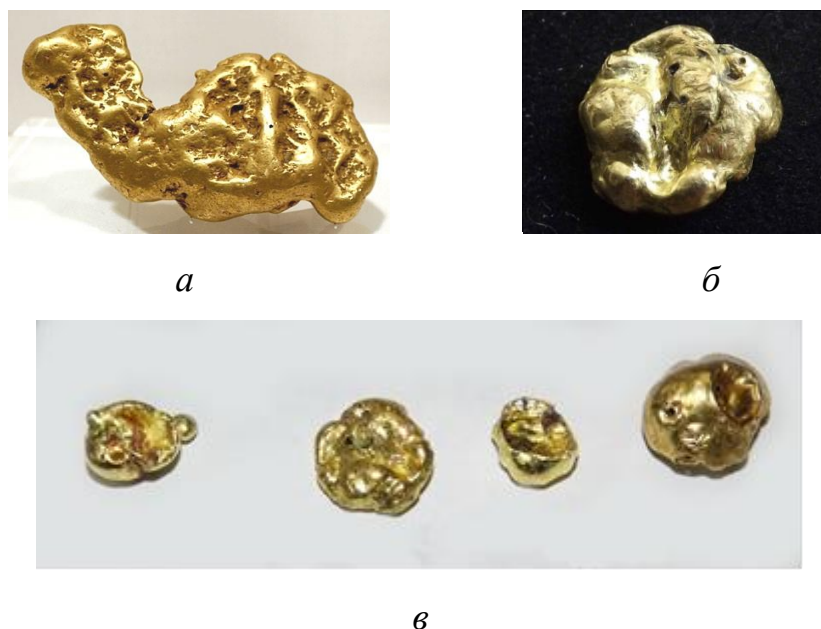


Рисунок 2.3 – Имитация золотого самородка: *а* – природный золотой самородок «Верблюд» [47]; *б* – имитация самородка из расплавленной латуни, отлитой в воду [42]; *в* – имитации, полученные при повторе эксперимента

Следующие этапы экспериментального исследования были направлены на определение условий, влияющих на эстетические характеристики получаемых образцов. Как уже упоминалось в начале данного раздела, для определения качества эстетических параметров латунных отливок были установлены критерии оценки: неправильная форма и неровный рельеф поверхности, золотисто-желтый

цвет и металлический блеск, также допустимо присутствие матовых или шагреновых поверхностей.

В следующем эксперименте была произведена попытка варьировать температурой расплава при попадании его в воду за счет изменения расстояния между тиглем и поверхностью воды в момент литья. Одинаковое количество расплавленной латуни отливалось в воду температурой 15-20 °С на расстоянии от поверхности охлаждающей жидкости равном 0, 5, 10 и 15 см. Литье раскаленного металла с большего расстояния небезопасно. С каждого расстояния было отлито равное количество образцов, в результате было получено 8 золотисто-желтых отливок различных форм и рельефом поверхности. Какой-либо закономерности между эстетическими параметрами данных отливок и условиями их получения в этих экспериментах не выявлено. Результаты, полученные в ходе этих экспериментов представлены в таблице 2.1, они показывают, что расстояние, с которого производится литье расплавленной латуни в диапазоне 0-15 см, не оказывает значимого влияния на эстетические параметры итоговой отливки.

Таблица 2.1. Зависимость форм латунных отливок от расстояния между тиглем с расплавом и поверхностью воды в момент литья

Расстояние между тиглем поверхностью воды в момент литья, см	Внешний вид, полученных отливок
0	
5	
10	
15	

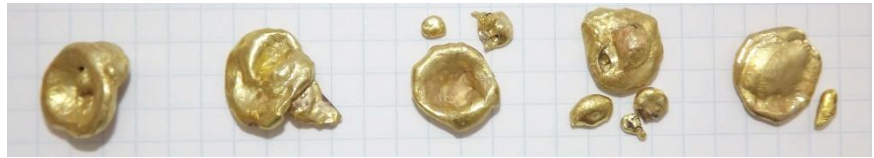
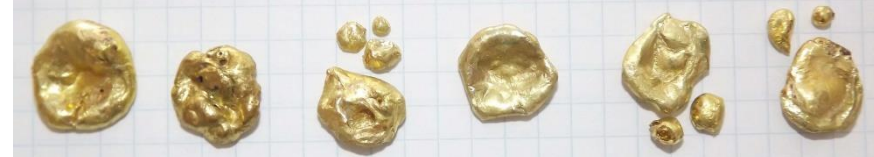
Для достоверности результатов во всех последующих экспериментах литье производилось с одинакового расстояния равного 10-15 см. Также важным условием для наилучшего результата является обеспечение максимального нагрева металла в процессе плавления, чтобы в момент литья латуни имела однородное жидкотекучее состояние. При литье в воду неравномерно расплавленного металла, как правило, образуются отливки достаточно ровных округлых форм, рельеф которых усложнен небольшим количеством выступов и пор. Это можно объяснить тем, что когда металл начинает плавиться, он повторяет округлую форму дна тигля. При его резком опрокидывании, и недостаточном количестве тепла для обеспечения равномерного жидкотекучего состояния (т.е. если кристаллизация начинается еще при нахождении латуни в тигле), давление, возникающее внутри металлической массы, является недостаточным для значительной деформации верхних слоев латуни уже начавших кристаллизоваться. Поэтому форма расплавленной металлической массы при попадании в охлаждающую жидкость изменяется незначительно, это проявляется в виде различного количества и размера выступов и углублений неправильной формы на поверхности образца, а также в виде пор. Примеры таких отливок представлены в Приложении В на рисунке В.1, подобные отливки не удовлетворяют заданным эстетическим параметрам и не могут использоваться в качестве имитаций самородков золота. В редких случаях при таком литье образуются отливки, обладающие сложными формами и шероховатой поверхностью, сформированной в результате частичного расщепления металлической массы при попадании в воду. Такие отливки удовлетворяют заданным эстетическим параметрам имитаций самородков золота. Однако попытки получить подобные формы намеренно успехом не увенчались, поскольку такое расщепление металлической массы происходит за счет динамики внутриметаллических газов, на что повлиять невозможно. Примеры подобных отливок, полученных в результате литья неоднородного расплава, но с удовлетворительными внешними параметрами представлены в Приложении В на рисунке В.2.

Замеры температуры расплава перед опустошением тигля в воду, проводившиеся с использованием инфракрасного пирометра HoldPeak HP-1300, показали, что для получения отливок удовлетворяющих заданным эстетическим параметрам температура латуни в момент литья должна достигать $970 \pm 5^\circ\text{C}$. Данный температурный показатель гарантирует однородное жидкотекучее состояние расплава, необходимое для его литья.

Для определения влияния температуры охлаждающей жидкости на формы отливок из латуни марки Л63 в следующей серии экспериментов использовалась вода разных температурных режимов: 0-5, 10-15, 20-25, 30-35... 80-85 $^\circ\text{C}$. При каждом температурном режиме производилось по 5-6 отливок металла в одинаковом количестве равном 3 г ($\pm 0,1\text{г}$). Литье производилось на расстоянии 10-15 см, подача тепла металлу продолжалась вплоть до опустошения тигля в воду. Использование воды температурой 0-5, 10-15, 20-25 $^\circ\text{C}$ позволило получить латунные образцы с заданными эстетическими параметрами. Эти отливки имеют золотисто-желтый цвет, яркий металлический блеск, неровные формы и сложный рельеф поверхности. На некоторых образцах наблюдаются поры, следы окислов в незначительном количестве представлены в виде тонкой пленки, придающей металлу серый матовый оттенок. Образцы, полученные в воде температурой 30-35 и 40-45 $^\circ\text{C}$, также обладают неправильными формами и сложным рельефом, при этом их фактурная поверхность покрыта тонкой пленкой окислов, что является причиной более темного цвета и частичного отсутствия блеска. Результаты этих экспериментов представлены в таблице 2.2.

При повышении температуры воды до 50-55 $^\circ\text{C}$ рельеф образовавшихся отливок становится более ровным, на их поверхности появляются небольшие участки медного цвета, которые увеличиваются при повышении температуры воды до 60-65 $^\circ\text{C}$. В воде температурой 70-75 $^\circ\text{C}$ получены отливки, обладающие более ровными формами и рельефом поверхностей по сравнению с результатами предыдущих экспериментов, при этом увеличивается площадь поверхности, покрытой пленкой окислов, а ее цвет становится более насыщенным.

Таблица 2.2. Зависимость форм латунных отливок от температуры охлаждающей жидкости

№ экспериментов	Температура воды, °С	Внешний вид отливок
1	0-5	
2	10-15	
3	20-25	
4	30-35	
5	40-45	
6	50-55	
7	60-65	
8	70-75	
9	80-85	

В воде температурой 80-85 °С латунный расплав сформировал отливки с ровной поверхностью, форма которых приближена к кругу. Поверхность

большинства из них полностью покрыта пленкой окислов, придающей их поверхности шероховатую текстуру и темный медно-розовый цвет. Не смотря на относительно ровную поверхность отливок, полученных в горячей воде при 70-75 и 80-85 °С, на ней наблюдаются различные углубления и поры, свидетельствующие о возникновении давления внутри металлического тела во время кристаллизации его внешних слоев. Однако такого давления недостаточно для формирования более сложного рельефа отливки.

Для наглядной демонстрации зависимости морфологических характеристик данных латунных образцов от температуры воды, в которой они были получены, был построен график. Все неровности поверхности каждого образца были представлены числовым показателем. Для определения этого числового показателя для каждой латунной отливки индивидуально было зафиксировано количество ярко выраженных углублений и выступов, формирующих их рельеф, а также количество ярко выраженных выступов, располагающихся по периферии образца, нарушающих правильную овальную или круглую форму его контура. Всего было исследовано по пять образцов, полученных при каждом температурном режиме, и для каждого из этих режимов выведен средний числовой показатель, который в дальнейшем использовался для построения графика. Все числовые показатели рельефа поверхностей каждого из образцов и средние числовые показатели, характерные для каждого температурного режима представлены в таблице 2.3.

Введение числовых показателей позволило построить график зависимости форм и рельефа поверхности латунных отливок от температуры воды, в которой они были получены. Этот график представлен на рисунке 2.4. На нем видно: чем сложнее рельеф поверхности отливок и выше числовой показатель рельефа тем ниже температура охлаждающей жидкости. Примечательно, что числовые показатели рельефа отливок, полученных в воде температурой 0-5 °С, 10-15 °С и 20-25 °С значительно выше показателей других температурных режимов. Это свидетельствует о том, что в этом интервале температур (0-25 °С) охлаждающей жидкости происходит переохлаждение попавшего в нее металла достаточное для

формирования сложного рельефа и неправильных форм отливок, что обеспечивает их наибольшее сходство с природными самородками золота.

Таблица 2.3. Определение числового показателя, характеризующего морфологические особенности латунных отливок, полученных в разных температурных режимах воды.

Температура охлаждающей жидкости, °С	Количество углублений и выступов, формирующих рельеф поверхности отливки					Средний числовой показатель рельефа
	№ образца					
	1	2	3	4	5	
0-5	2	8	5	8	5	5,6
10-15	6	6	2	4	7	5
20-25	4	7	4	3	3	4,2
30-35	4	2	3	2	3	2,8
40-45	3	1	2	4	3	2,6
50-55	1	3	4	2	2	2,4
60-65	2	2	4	1	3	2,4
70-75	2	3	1	3	1	2
80-85	1	1	2	1	1	1,2

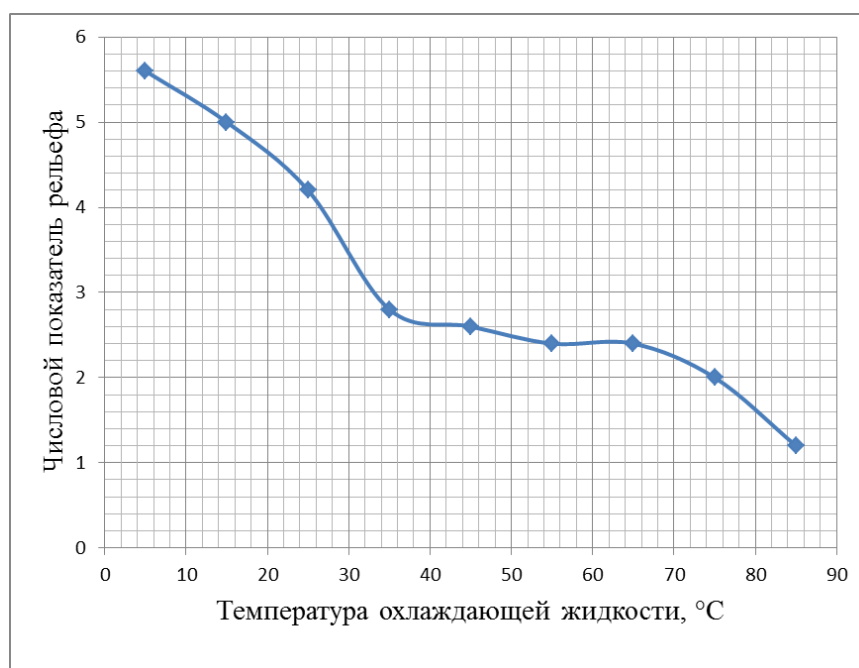


Рисунок 2.4 – График зависимости форм и рельефа латунных отливок от температуры воды, в которой они были получены

Цвет полученных латунных отливок также изменяется в зависимости от температуры охлаждающей жидкости. На него влияет наличие оксидных пленок, которые придают яркому золотисто-желтому металлу серовато-коричневатые оттенки и матовость. Цветовая шкала, представленная на рисунке 2.5, наглядно показывает изменение цветовой палитры латунных отливок при разных температурных режимах воды. Для создания данной шкалы были использованы цвета из каталога CLASSIC RAL международной системы соответствия цветов RAL [52]. Цветовая шкала наглядно показывает, что отливки полученные в горячей воде температурой 70-75 °С обладают темным коричневатым цветом, образованным за счет толстой оксидной пленки, покрывающей большую часть поверхностей образцов. При снижении температуры охлаждающей жидкости уменьшается и количество окислов, пленка, которую они образуют на поверхности металла, становится тоньше, ее цвет менее насыщенным. В образцах, полученных в воде температурой 0-5 °С, 10-15 °С и 20-25 °С, количество поверхностей, покрытых такой пленкой незначительно, и на основной золотисто-желтый цвет она не влияет. Во многих отливках окислы расположены в углублениях и порах, что напоминает темные шагреневые участки поверхности природных самородков, претерпевших коррозию.

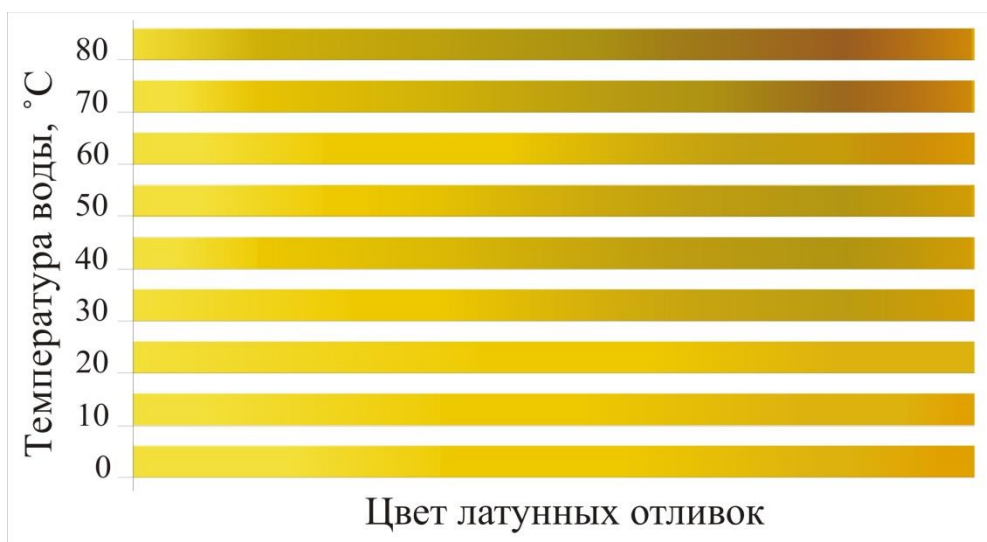


Рисунок 2.5 – Цветовая шкала. Зависимость цвета латунных отливок от температуры воды, в которой они были получены

Присутствие пор на поверхностях латунных отливок предполагает наличие в них пустот. Чтобы убедиться в верности этого предположения были распилены пополам при помощи лобзика две отливки, полученные при разных условиях. Внутри каждой из них обнаружены пустоты. В отливке полученной литьем металла в воду температурой 80-85 °С, которая представлена на рисунке 2.6, *а*, образовалось небольшое воздушное пространство ровной формы, повторяющей контуры самой отливки, минимальная толщина ее стенок достигает 1 мм.

Распил второго образца, полученного в холодной воде 0-5 °С, показал пустоты гораздо большей величины, распространяющиеся по большей части объема металлического тела. Минимальная толщина его наружных стенок гораздо меньше, чем у первого образца – около 0,3 мм. Второй распил представлен на рисунке 2.6, *б* [54].



Рисунок 2.6 – Распил латунных отливок: *а* – характер пустот, обнаруженных в распиле отливки, полученной в горячей воде; *б* - характер пустот, обнаруженных в распиле отливки, полученной в холодной воде [54].

Подобные пустоты в латунных образцах возникают за счет внутриметаллических газов. При литье расплава в воду охлаждение металлической массы ускорено и происходит неравномерно. Кристаллизация латуни начинается с внешних слоев металлической массы, за счет чего внутри нее возникает давление, благодаря которому внутриметаллические газы концентрируются внутри кристаллизующегося расплава и, стремясь вырваться наружу, деформируют еще незастывшие слои металла. Чем сильнее

переохлаждение расплава, тем ярче выражена неравномерность кристаллизации и возникновения давления, что приводит к образованию неровных форм и пустот внутри отливок.

Следует отметить, что в латуни кроме водорода, кислорода и азота, которые встречаются в металлах, в формировании подобных пустот, вероятно, принимает участие цинк, испаряющийся при плавлении. Процесс плавления латуни сопровождается интенсивным испарением цинка, поэтому было решено исследовать химический состав сплава до эксперимента и после, чтобы определить влияют ли потери цинка на формирование имитаций самородков золота. Испарение металла происходит в широком интервале температур. На количество потерь влияет свободная поверхность расплавленного металла, наличие защитного покрова и время, в течение которого сплав находится в жидкой фазе [48, 49].

Определение влияния потерь цинка во время плавления латуни на формирование имитаций самородков золота проводилось при помощи исследования химического состава сплава на рентгенофлуоресцентном анализаторе металлов и сплавов «S1 Titan». Для этого исследования были получены 2 образца с заданными эстетическими параметрами, путем литья латуни в воду температурой 0-5 и 10-15 °С и для сравнения 2 образца с неудовлетворительными внешними характеристиками в воде температурой 70-75, 80-85 °С.

Результаты анализа, представленные в таблице 2.4, показывают, что потери цинка в процессе экспериментов составляют от 2,40 до 2,55 %. Влияние таких небольших потерь цинка на формы отливок маловероятно, однако из таблицы 2.4 видно, что одновременно с потерями цинка возрастает процентная концентрация других элементов в сплаве. Анализ химического состава образцов, полученных при наиболее благоприятных условиях (эксперименты № 1, 2 в таблице 2), показал, что наиболее существенный прирост процентной концентрации приходится на кремний +0,93 и 0,98%, в то время, как в других случаях (№ 3, 4 в таблице 2) он составляет +0,33, 0,37%. Процентная концентрация меди составляет

+1,39% в 1 и 2 экспериментах, а в 3 и 4 +2,02, +1,8% соответственно. Более значительные изменения процентного соотношения компонентов в образцах, полученных в холодной воде и обладающих заданными эстетическими параметрами, не позволяют отрицать влияние испарения цинка на эстетический облик экспериментальных образцов.

Таблица 2.4 – Результаты химического анализа образцов латуни марки Л63 при разных условиях экспериментов

№ экспериментов	Условия исследования латуни	Компонентный состав латуни, %				
		Cu	Zn	Si	S	Fe
-	Исходное состояние металла до испытаний	63,63	35,92	0,35	0,04	0,04
1	Металл, отлитый в воду температурой 0-5 °С	65,02	33,39	1,28	0,14	0,17
2	Металл, отлитый в воду температурой 10-15 °С	65,02	33,37	1,33	0,13	0,10
3	Металл, отлитый в воду температурой 70-75 °С	65,65	33,49	0,68	0,08	0,06
4	Металл, отлитый в воду температурой 80-85 °С	65,43	33,52	0,72	0,1	0,11

Как уже упоминалось, расплавленный металл в жидком состоянии не имеет правильного кристаллического строения, однако расположение атомов не полностью хаотично, как в газообразном состоянии [37]. В расплавленном состоянии сохраняются группы атомов с правильным расположением, характерным для кристаллической решетки данного вещества. Такие группы являются так называемым ближним порядком – упорядоченностью во взаимном расположении атомов, которая в отличие от дальнего порядка в кристаллической решетке повторяется лишь на расстояниях соизмеримых с расстояниями между соседними атомами [49]. Ближний порядок неустойчив, поэтому из-за большой подвижности атомов эти группы нестабильны. Они образуются, распадаются, рассыпаются, возникают в новых местах, то есть происходит так называемая фазовая флуктуация. Каждое фазовое превращение протекает путем возникновения в материнской фазе небольших объемов новой фазы, называемых

зародышевыми центрами, и последующего их роста. При температурах близких к температуре плавления в жидком металле область с ближним порядком имеет такую же атомную упаковку, как твердый кристалл и может стать зародышем твердой фазы [49]. Температура ниже температуры плавления, при которой начинается процесс кристаллизации, для каждого вещества постоянна.

Процесс образования и роста зародышей кристаллизации носит случайный характер, поэтому возникновение кристалла может произойти в любой части объема жидкости. Одновременно формируется несколько или даже множество кристаллов. Скорость зарождения – это число кристалликов появляющихся в единицу времени в единице объема [37].

Рост образованных кристалликов происходит за счет присоединения атомов из окружающей их жидкости. Линейная скорость перемещения грани растущего кристалла называется скоростью роста кристалла. При этом грань растущего кристалла перемещается в сторону жидкой фазы. В ходе роста кристалл теряет правильность своей формы, поскольку она остается правильной, только до тех пор, пока кристалл окружен жидкостью со всех сторон. Так как количество жидкой фазы непрерывно уменьшается, кристаллы сталкиваются, и рост их в сторону друг друга прекращается. Кристалл продолжает расти в тех направлениях, в которых он сталкивается с жидкостью. Таким образом, поликристаллическая структура металлов в твердом состоянии состоит из множества кристаллов (кристаллитов или зерен) неправильной формы [37].

Разность между теоретической и реальной температурой начала кристаллизации называется степенью переохлаждения. В жидкой фазе растут кристаллы твердого раствора. Кристаллизация сплава происходит при понижении температуры и заканчивается при достижении линии солидуса или чуть ниже. Высокие скорости охлаждения вызывают глубокие переохлаждения расплава, достигающие до нескольких сотен градусов. В условиях столь сильного переохлаждения качественно меняется процесс превращения расплава в твердое вещество. Если скорость охлаждения сплава невелика, то в результате кристаллизации структура сплава представляет собой однородный твердый

раствор, состав которого точно отвечает составу сплава. Если же скорость охлаждения и соответственно переохлаждения очень велики, то вследствие роста вязкости и снижения скорости диффузии состав и структура появляющихся кристаллов оказываются иными. В некоторых случаях кристаллизация может вообще не произойти, металлический расплав превращается в затвердевшую аморфную массу, не имеющую кристаллического строения [37, 50]. Однако, чтобы получить аморфный металл нужны очень высокие скорости охлаждения (около 1000 К/с), какие невозможно достичь при обычных условиях. Тонкие пленки аморфных металлов получают конденсацией паров или напылением атомов на специальную холодную подложку. Можно также получить аморфные металлы при электрохимическом осаждении и при облучении кристаллических металлов интенсивными потоками ионов или нейтронов [53, 55].

Особенности кристаллизации латунного расплава могут сказываться на эстетических параметрах отливок. Для изучения микроструктуры были изготовлены два образца: один путем литья латуни в воду с температурой 0-5°C, другой путем литья в воду с температурой 80-85°C, оба на расстоянии 10-15 см от поверхности охлаждающей жидкости. Из полученных отливок были сделаны шлифы. Для получения металлического шлифа, на выпуклой части выбранной отливки грубым напильником был снят небольшой слой металла до образования плоской поверхности. Затем эта плоскость обрабатывалась наждачной бумагой начиная с крупнозернистой (№ 600) и далее постепенно уменьшая зернистость до № 1200. По завершении процесса доводки, обрабатываемая поверхность образца была подвергнута полировке. Таким способом были обработаны обе отливки и небольшой фрагмент латунной пластины марки Л63.

Полученные поверхности образцов были протравлены в течение 10 секунд в растворе соляной кислоты и хлорного железа, смешанных в соотношении 2:1. Микроструктура образцов исследовалась с помощью поляризационного микроскопа «Olimpus BX51» при 400-кратном увеличении. Первой исследовалась латунная пластинка, являющаяся основой для получения всех образцов, ее микроструктура является однофазной (α -фаза) и соответствует заявленной марке

Л63, она представлена на рисунке 2.7, *а*. Эта α -фаза имеет кристаллическую решетку меди (гранецентрированный куб) и является типичным твердым раствором замещения, где часть атомов меди замещается атомами цинка [55].

При достижении температуры, соответствующей предельной растворимости цинка в меди (в случае данной марки 700°C), ее избыточная часть выделяется из α -раствора в виде β -фазы [50]. Фаза β является также твердым раствором, но основой его служит химическое соединение CuZn с решеткой объемноцентрированного куба, то есть атомы меди располагаются в вершинах куба, атомы цинка - в его центре [55].

Известно, что в нормальных условиях при охлаждении сплава растворимость цинка в меди увеличивается с понижением температуры, что приводит к растворению β -кристаллов в α -фазе. При температуре около 700°C при условии медленного охлаждения сплава латуни марки Л63 β -фаза полностью растворяется и при последующем охлаждении вплоть до комнатной температуры сплав находится в однофазном состоянии. Анализ экспериментальных образцов при 400-кратном увеличении показал, что в однофазной латуни после литья в воду сохранилась вторая β -фаза. Структуры этих отливок представлены на рисунке 2.7, *б, в* [56].

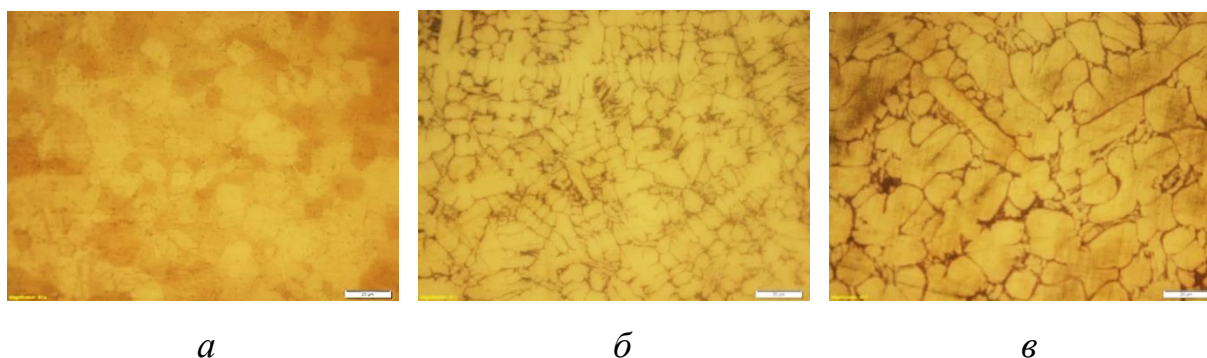


Рисунок 2.7 - Микроструктуры латуни при 400-кратном увеличении:

а – однофазная латунь Л63 до эксперимента; *б* – двухфазная латунь с меньшим размером зерна, полученная литьем расплавленного металла в воду с температурой $0-5^{\circ}\text{C}$; *в* - двухфазная латунь с более крупным зерном, полученная литьем расплавленного металла в воду с температурой $80-85^{\circ}\text{C}$ [56]

Двухфазная структура образцов, полученных в экспериментах по получению имитаций самородков золота, объясняется ускоренным охлаждением за счет литья латунного расплава в воду. Между собой микроструктура образцов, отлитых в холодную и горячую воду, также отличается. Светлые зерна α -фазы в структуре образца на рисунке 2.7, б, полученного при литье металла в холодную воду гораздо меньше таких же зерен в образце, полученном при отливке в горячую воду на рисунке 2.7, в, что свидетельствует о более ускоренном росте центров кристаллизации в металле, отлитом в холодную воду. Таким образом, важными факторами формирования эстетического облика имитаций самородков золота являются переход латуни из однофазного состояния в двухфазное и характер ее кристаллизации при разных условиях отливки.

Результаты проведенного экспериментального исследования дают основание вынести на защиту следующее научное положение:

- Технологический режим получения дизайнопригодных имитаций самородков золота обеспечивается сочетанием температуры расплавленной латуни 970 ± 5 °С и охлаждающей жидкости в диапазоне от 0 до 25 °С.

2.2. Эксперименты по получению имитаций самородков серебра из олова

Получение имитаций самородков серебра, пригодных для использования в ювелирном дизайне, основано на том же принципе, который лег в основу создания имитаций самородков золота: литье расплавленного металла в охлаждающую жидкость.

Как уже упоминалось в первой главе, самородки серебра могут быть самых различных форм: в виде дендритов, зерен, моховидных, проволочных, нитевидных и других агрегатов. Учитывая эти эстетические параметры, для

оценки качества получаемых имитаций серебряных самородков в ходе экспериментального исследования были определены два основных критерия:

- 1) Серебристо-белый цвет и металлический блеск;
- 2) Неправильная форма и сложный рельеф в сочетании с дендритами в виде моховидных, пластинчатых или проволоковидных агрегатов.

Олово является легкоплавким металлом, и в сравнении с латунью быстро обретает жидкое агрегатное состояние под воздействием пламени горелки. В ходе первых экспериментов выяснилось, что технологические параметры литья, используемые для получения имитаций самородков золота из латуни, обеспечивающие максимальный разогрев расплава в момент литья, не могут быть применимы в литье олова, поскольку приводят к расщеплению металлической массы при попадании в воду на мелкие крошки. Чтобы избежать подобного были проведены попытки варьировать температурой расплава. Для этого перед литьем в воду расплавленное олово выдерживалось на воздухе некоторое время без подачи тепла, и только после этого происходило опустошение тигля. Пламя горелки прекращало воздействовать на олово за 5-10 с до его контакта с водой. При этом условии во время ускоренной кристаллизации металлическая масса приобретала вид, сочетающий плотные неправильные формы и дендритовидные хрупкие образования. Пример таких отливок представлен на рисунке 2.8, *а*. Выдержка расплава на воздухе перед контактом с водой способствовала снижению температуры поверхностных слоев металла, уменьшению степени их переохлаждения при попадании в воду и формированию плотных целостных форм. Внутренняя часть расплава, обладающая более высокой температурой, под влиянием давления, образованного за счет кристаллизации внешних слоев и динамики внутриметаллических газов, вырывалась наружу, кристаллизуясь в виде дендритов.

При увеличении времени выдержки металла перед литьем до 10-15 с можно получить плотное целостное образование неправильной формы, как на рисунке 2.8, *б*. При проведении данных экспериментов вода, используемая в качестве охлаждающей жидкости, имела комнатную температуру (18-20°C).

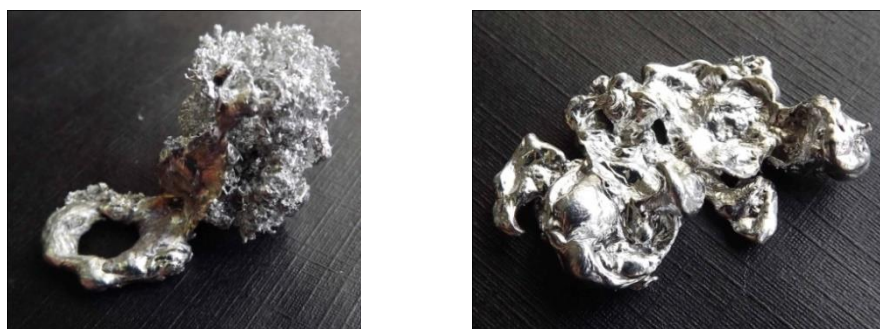
*a**б*

Рисунок 2.8 - Примеры образцов, полученных из олова при разных условиях литья: *a* – при выдержке расплавленного металла перед контактом с водой в течение 5-8 с; *б* – при 15-секундной выдержке металла перед контактом с водой [57]

Латунь или какой-либо другой металл или сплав (мельхиор, медь, золото или серебро) под воздействием высоких температур сначала приобретает красный цвет каления, а затем начинает плавиться. В ходе экспериментов было отмечено, что олово сначала приобретает жидкое агрегатное состояние, а только потом при продолжительном нагреве в расплавленном состоянии приобретает красноватый оттенок. Кроме этого у латуни кристаллизация начинается, как только прекращается подача тепла пламенем горелки, олово же еще какое-то время остается в жидком состоянии. Это объясняется тем, что олово – это легкоплавкий металл с невысокой твердостью (по Бринеллю – 50 МПа, по шкале Мооса – 2), отличной жидкотекучестью и низкой температурой плавления, поэтому его кристаллизация по сравнению с кристаллизацией таких металлов и сплавов как латунь, мельхиор, серебро и др. в нормальных условиях происходит значительно медленней [57, 58].

В ходе дальнейших экспериментов выяснилось, что время выдержки расплавленного олова перед отливкой не является определяющим условием для получения той или иной формы имитаций самородков. На температуру расплава также влияет и продолжительность его нагрева. Для выявления более точной закономерности между условиями литья и конечным результатом был проведен еще ряд экспериментов.

Восемь одинаковых брусков олова весом 4,5 г были поочередно отлиты в емкость наполненную водой. Первые четыре бруска подвергались нагреву пламенем в течение 10-15 с – времени, которого достаточно для приобретения металлом жидкого состояния при таком количестве металла. При обработке первого образца расплав олова отливался моментально, остальные выдерживались на воздухе перед попаданием в воду 5, 10 и 15 с соответственно. В структуре всех полученных образцов преобладают плотные целостные формы, которые сочетаются с небольшим количеством дендритов. Однако в данном случае образованные дендритные элементы совершенно отличаются от хрупких дендритных форм, описанных в первой серии экспериментов. В данном случае олово не расщеплялось на «крошки» и не образовывало «крошкообразных» форм, а деформировалось в плотные ответвления. При этом с увеличением времени выдержки количество таких ответвлений в структуре оловянной отливки уменьшалось, т.е. чем длительнее выдержка расплавленного металла на воздухе, тем большее его количество начинает кристаллизоваться до попадания в охлаждающую жидкость. Отливки, полученные в этом эксперименте, представлены на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 - Образцы имитаций самородков серебра, полученные при плавлении олова в течение 10-15 с: *а* – пример образцов, полученных при моментальной отливке; *б* – пример образцов, полученных при выдержке расплавленного металла в течение 5 с; *в* – пример образцов, полученных при 10-секундной выдержке; *г* – пример образцов, полученных при 15-секундной выдержке [57]

Следующие четыре бруска отливались при таких же условиях, но время воздействия пламени было увеличено до приобретения расплавом красного цвета – 25-30 с. При таком длительном воздействии пламени на металл, как правило, большая часть образца отлитого моментально расщеплялась на тонкие хрупкие дендриты, так, как это показано на рисунке 2.10, *а*. С увеличением времени выдержки расплавленного металла образцы приобретают более плотные формы, однако, они отличаются от форм образцов подвергшихся меньшему нагреву количеством и характером полученных дендритов. Образцы, полученные на первом этапе литья, имеют более плотные целостные формы, в отличие от данных отливок, в структуре которых целостные формы и плотные ответвления сочетаются с расщепленными более хрупкими дендритами [57, 58]. Примеры показаны на рисунке 2.10.

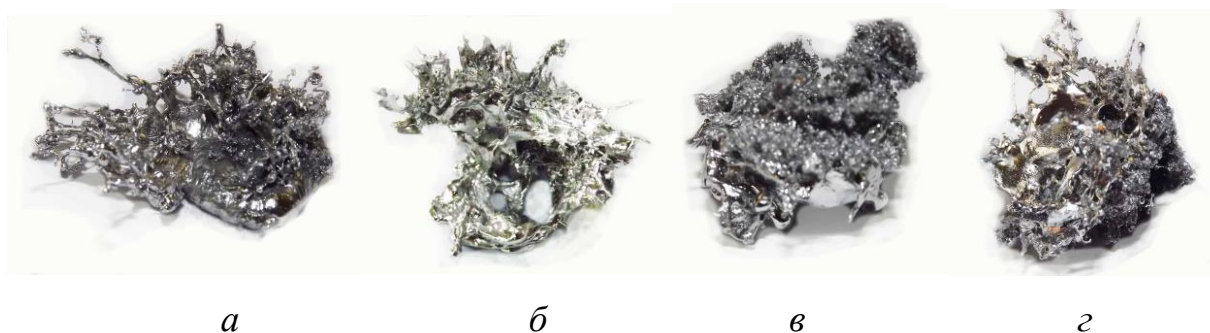


Рисунок 2.10 - Образцы имитаций самородков серебра, полученные при плавлении олова в течение 25-30 с: *а* – пример образца, полученного при моментальной отливке; *б* – пример образца, полученного при выдержке расплавленного металла в течение 5 с; *в* – пример образца, полученного при 10-секундной выдержке; *г* – пример образца, полученного при 15-секундной выдержке [57]

Последние образцы, полученные в результате более длительного воздействия пламени горелки, вызывают наибольший интерес, поскольку имеют формы, в структурах которых заключены хрупкие изящные дендритоподбные элементы, обуславливающие максимальное сходство с природными серебряными самородками, о чем свидетельствует их визуальное сравнение с образцами, изображенными на рисунке 2.11.

*a**б*

Рисунок 2.11 - Примеры природных самородков серебра: *a* – дендрит серебра "Веточка" с медью, рудник Уайт-Пайн, штат Мичиган, США. Горный музей [59];
б – самородок серебра, происхождение неизвестно [14]

Для расширения спектра имитаций эстетически близких к природным самородкам была проведена серия экспериментов с изменением состава металла и охлаждающей жидкости. В качестве материала для литья использовались чистое олово и оловянно-свинцовый сплав. Предполагалось, что сочетание олова и свинца позволит получить отливки новых форм, отличные от предыдущих. Химический состав используемых материалов был исследован при помощи рентгенофлуоресцентного анализатора металлов и сплавов S1 Titan, применяющегося для неразрушающего химического анализа. Данное исследование показало, что оловянно-свинцовый сплав содержит 33.83 % олова и 65.11 % свинца, остальные 1.11 % - примеси. В содержании чистого олова обнаружено 1.63 % примесей. Результат исследования состава металлов показан в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Исследование состава металлов, используемых в экспериментах

Химический элемент	Химический состав олова, %	Химический состав оловянно-свинцового сплава, %
Sn	98,37	33,83
Pb	0,07	65,11
Fe	0,53	0,48
Cu	0,05	-
Cd	0,11	0,20
Cr	0,31	0,22
In	0,38	-
Ti	0,03	-
Ni	0,05	0,02
Co	-	0,03
Zn	0,10	0,16

Исходя из вышеописанных данных, основной направленностью следующей серии экспериментов стало сравнение эстетических параметров итоговых форм отливок, полученных из имеющихся металлов: чистого олова и оловянно-свинцового сплава. В качестве охлаждающих жидкостей использовались вода, масло и масляно-водная эмульсия. Предполагалось, что использование жидкостей с разными консистенциями позволит получить новые интересные результаты, позволяющие добиться максимального сходства эстетических и физических свойств имитаций самородков серебра с природными аналогами.

В данной серии экспериментов при литье олова и оловянно-свинцового сплава в воду, масло и масляно-водную эмульсию соблюдались одинаковые условия. Экспериментальный процесс проходил при комнатной температуре, ту же температуру имели все используемые охлаждающие жидкости. Нагрев металла в тигле продолжался 25-30 с до приобретения расплавом красного цвета и прекращался за 10-15 с до контакта с охлаждающей жидкостью. Всего было расплавлено и отлито по четыре части чистого олова и четыре части оловянно-свинцового сплава по 2,5-3 г каждая.

Первый этап литья осуществлялся в емкость наполненную водой без добавления масла. Основная масса отлитого чистого олова при попадании в воду расщепилась на множество крошек, однако некоторые части сохранили цельную форму, состоящую в основном из хрупких дендритов, такой образец представлен на рисунке 2.12, *а*. Сплав же, в отличие от чистого олова, при заданных технологических параметрах после охлаждения расщепился на несколько частей, имеющих неправильную, но целостную форму, в которой отсутствуют дендриты. Наиболее показательный образец эксперимента приведен на рисунке 2.12, *б*.

*а**б*

Рисунок 2.12 - Примеры образцов, полученных в результате литья металла в воду:

а – из чистого олова; *б* – из оловянно-свинцового сплава [58]

На следующем этапе эксперимента в качестве охлаждающей жидкости было использовано промышленное масло марки И-40А. В стеклянную емкость было налито 100 мл данного масла, в которое поочередно были отлиты металлы. Условия отливки были аналогичны условиям первого этапа. Чистое олово, попав в масло, не расщепилось на крошки, как в предыдущем эксперименте с водой, в результате из отлитого металла сформировались две части отличные по массе, имеющие правильные окатанные формы. Примеры результатов эксперимента показаны на рисунке 2.13.

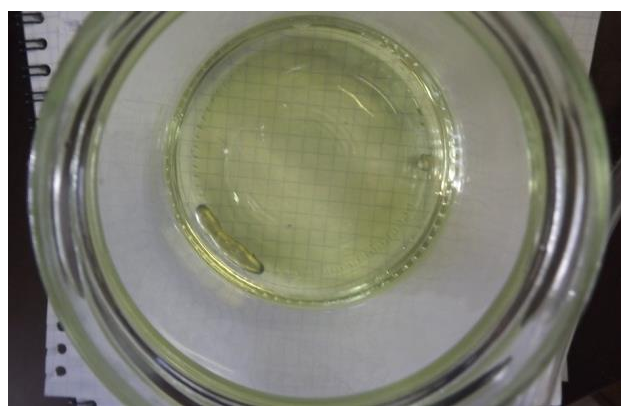
*а**б*

Рисунок 2.13 - Примеры результатов литья чистого олова в промышленное масло

И-40А: *а* – только что отлитый металл в емкости с маслом;

б – после извлечения из емкости [58]

Оловянный сплав при данных условиях литья ведет себя похожим образом. После опустошения тигля в емкость с маслом, как и с чистым оловом, получились плотные оловянные образования с окатанными формами, однако от эксперимента с чистым оловом результаты отличаются количеством сформировавшихся отливок и тонких удлиненных элементов в некоторых из них, как это показано на рисунке 2.14.

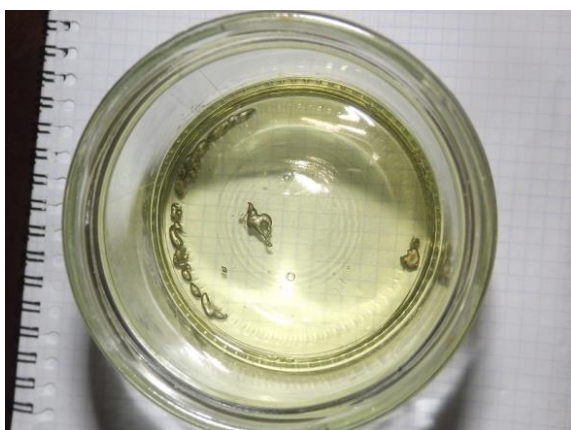
*а**б*

Рисунок 2.14 - Пример результатов литья оловянного припоя в промышленное масло марки И-40А: *а* – только что отлитый металл в емкости с маслом;

б – образцы после извлечения из емкости [58]

Для определения возможного влияния объема охлаждающей жидкости на количество и форму образцов, полученных на этапе литья металла в масло марки И-40 А, его объем был увеличен до 300 мл. Затем при соблюдении прежних условий (нагрев металлической массы в течение 20-25 с и выдержка на воздухе перед опустошением тигля в течение 10 с) в эту емкость был отлит оловянный сплав. В результате получились такие же окатанные формы, отличающиеся от предыдущих лишь несколько большей массой и меньшим количеством. Результат показан на рисунке 2.15.



Рисунок 2.15 - Результат литья оловянно-свинцового сплава в емкость, заполненную 200 мл индустриального масла [57]

Третий этап эксперимента заключался в сочетании двух разных по консистенции охлаждающих жидкостей: воды и масла. Как и в первом случае, здесь было использовано индустриальное масло марки И-40А. Обе жидкости были взяты в равных частях (200 мл воды и 200 мл масла).

Изначально процесс литья протекал с использованием охлаждающей жидкости с послойным расположением ее компонентов. В стеклянную емкость была налита вода, затем масло, после чего емкость на некоторое время была оставлена в покое, чтобы масло полностью и без остатка поднялось на поверхность. В полученный состав было отлито чистое олово при прежних условиях нагрева и выдержки металла. В результате олово расщепилось на части сочетающие в своих формах плотные неровные массы и хрупкие дендритовидные агрегаты. Результат этого эксперимента представлен на рисунке 2.16.

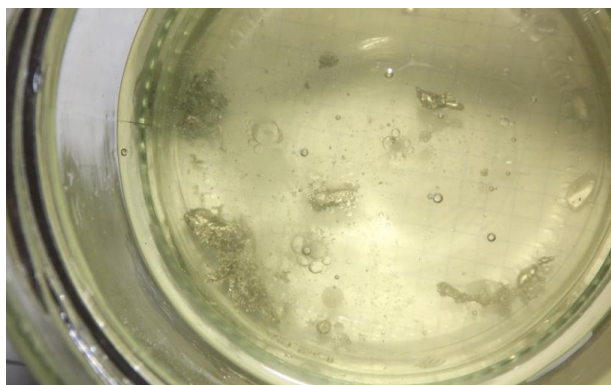
*а**б*

Рисунок 2.16 - Результат литья чистого олова в охлаждающую жидкость, состоящую из слоев воды и индустриального масла марки И-40А: *а* – полученные образцы в емкости с жидкостью; *б* – образцы, извлеченные из емкости [57]

Аналогичный эксперимент при соблюдении тех же условий был проведен с оловянным сплавом. В отличие от чистого олова, сплав после кристаллизации в таком же составе (вода-масло) не расщепился на несколько фрагментов или на крошки, а сформировал единый цельный образец неправильной формы. Результат этих отливок отличался от всех предыдущих характером поверхности, на которой наблюдалось наличие удлиненных тонких плотных элементов, которые можно видеть на рисунке 2.17.

*а**б*

Рисунок 2.17 - Результат литья оловянно-свинцового сплава в охлаждающую жидкость, состоящую из слоев воды и индустриального масла марки И-40А : *а* – только что отлитый металл в емкости с охлаждающей жидкостью; *б* – извлеченный из емкости образец [57]

В следующем эксперименте в качестве охлаждающей жидкости использовалась однородная масляно-водная эмульсия. Для ее получения в емкость были налиты масло и вода в равных частях (200 мл), затем данный состав был подвержен интенсивному перемешиванию вручную при помощи обычного венчика до однородного состояния. В такую охлаждающую жидкость согласно заданным ранее условиям отливались испытываемые расплавы чистого олова и оловянно-свинцового сплава.

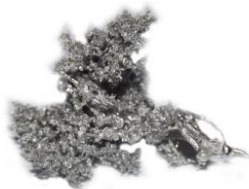
Для обеспечения однородности охлаждающей жидкости во время плавки металла и во время его выдержки перед литьем, необходимо непрерывно взбалтывать масляно-водную эмульсию до момента попадания в нее расплава. В результате литья металлов в масляно-водную эмульсию сформировались отливки аналогичные образцам, полученным литьем расплава в чистое масло. Они обладают ровной поверхностью, на которой отсутствуют хрупкие элементы. При этом их форма не вытянута и не имеет удлиненных элементов в отличие от образцов, полученных в чистом масле, представленных на рисунках 2.13, 2.14, 2.15, а максимально приближена к кругу. Полученные результаты схожи между собой. Чистое олово сформировало три образца овальной формы с абсолютно ровным контуром и немного шероховатой поверхностью, они представлены на рисунке 2.18, *а*. Сплав сформировал один образец, также имеющий округлую форму, но с несколько неровным контуром, он изображен на рисунке 2.18, *б*.

*а**б*

Рисунок 2.18 - Пример результат литья олова и оловянно-свинцового сплава в масляно-водную эмульсию: *а* – чистое олово; *б* – оловянно-свинцовый сплав [57]

Чтобы наглядно показать зависимость характера итоговых форм получившихся оловянных отливок от состава охлаждающей жидкости, а также от состава самого металла все результаты третьей серии экспериментов, описанных выше, были сведены в общую таблицу 2.6.

Таблица 2.6 - Сравнение результатов экспериментов по получению имитаций самородков серебра разными методами [57]

№ экспери-мента	Охлаждающая жидкость	Материал для литья	
		Чистое олово	Оловянно-свинцовый сплав
		Внешний вид отливок	
1	Вода		
	Краткое описание характера форм	Неправильные формы, в структуре которых преобладают хрупкие дендриты	Плотные образования, нередко с воронкообразными открытыми полостями
2	Масло		
	Краткое описание характера форм	Плотные целостные образования, имеющие правильные округлые формы с ровным контуром	Плотные образования, сочетающие окатанные формы и неровный контур периферии
3	Масло + вода (послойное расположение)		
	Краткое описание характера форм	Сочетание плотных образований с хрупкими дендритами, нередко крошкообразными элементами	Прочные образования неправильной формы с небольшим количеством плотных дендритов.

Продолжение таблицы 2.6 - Сравнение результатов экспериментов по получению имитаций самородков серебра разными методами

№ эксперимента	Охлаждающая жидкость	Материал для литья	
		Чистое олово	Оловянно-свинцовый сплав
		Внешний вид отливок	
4	Масло + вода (однородная эмульсия)		
	Краткое описание характера форм	Плотные целостные образования округлой формы с неровной поверхностью	Плотные целостные образования округлой формы с неровным внешним контуром

Таблица 2.6 позволяет увидеть и сравнить все полученные результаты в ходе последней серии экспериментов. Она показывает, что наилучшей средой для получения образцов по эстетическим характеристикам максимально схожих с природными самородками серебра является вода и ее сочетание с маслом с послойным расположением компонентов. Это эксперименты 1 и 3, в которых получены отливки, сочетающие в своих формах хрупкие дендриты и плотные целостные агрегаты. Образцы, полученные литьем в масло и однородную масляно-водную эмульсию во 2 и 4 эксперименте, не удовлетворяют заданным эстетическим параметрам. Использование охлаждающих жидкостей различного состава и консистенции расширяет возможности получения имитаций самородков серебра с заданными эстетическими параметрами близкими по внешнему облику к природным образованиям.

Использование оловянно-свинцового сплава не позволило получить желаемых форм отливок. Свинец делает сплав более темным, а также способствует образованию оксидной пленки темно-серого цвета, которая частично остается на поверхности итоговых образцов, что снижает качество получаемых имитаций самородков серебра. Лучшие результаты получены при использовании чистого олова, образующего при попадании в воду ярко выраженные хрупкие

дендриты, это послужило основанием для отказа от сочетания олова с другими металлами или добавления в него легирующих компонентов.

В формировании внешнего облика образцов, полученных в ходе экспериментов, ведущую роль играет давление внутри металлической массы, возникающее за счет кристаллизации ее внешних слоев. Об этом уже упоминалось в описании экспериментов с использованием латуни. Однако в данном случае при испытании олова из-за его малой твердости и высокой жидкотекучести деформация металлической массы выражена намного ярче, чем объясняется образование дендритовидных элементов. Особенно это проявляется при использовании воды в качестве охлаждающей жидкости. При литье расплавленного металла в масло образуются относительно ровные формы без каких-либо выступающих элементов, поскольку высокая плотность охлаждающей жидкости не позволяет металлической массе сформировать более сложные формы, обволакивая его поверхность и тем самым «погашая» процессы, приводящие к ее значительным деформациям. Похожая картина наблюдается и на последнем этапе экспериментов: равномерно перемешанная до однородного состояния масляно-водная эмульсия, как и чистое масло, имеет плотную консистенцию, которая препятствует образованию сложных металлических форм. При послойном расположении компонентов охлаждающей жидкости (масло, вода) из расплавленного металла получают оловянные образцы, формы которых сочетают в себе как плотные металлические образования, так и хрупкие моховидные дендриты. Такая форма отливки связана с высокой плотностью верхнего слоя охлаждающей жидкости (масла), которое способствует снижению степени переохлаждения металла и формированию в нижнем слое жидкости (в воде) большего количества плотных целостных агрегатов, чем при литье олова в воду.

В ходе проведенных экспериментов было выявлено, что продолжительность нагрева и выдержки олова на воздухе перед литьем не могут использоваться в качестве технологических параметров процесса, поскольку являются относительными и зависят от многих факторов, таких как тип используемой

горелки, марка бензина, мощность компрессора и пр. Для определения точных параметров литья олова, позволяющих получать качественные имитации самородков серебра, был проведен еще ряд экспериментов, направленных на установление зависимости форм итоговых образцов от температуры металлического расплава в момент литья и температуры охлаждающей жидкости.

В качестве охлаждающей жидкости в этих экспериментах использовалась вода разных температурных режимов: 0-5, 10-15, 20-25, 30-35, 40-45, 50-55 и 60-65°C. В воду каждого температурного режима поочередно был отлит оловянный расплав температурой $250 \pm 5^\circ\text{C}$, $300 \pm 5^\circ\text{C}$, $350 \pm 5^\circ\text{C}$ и $400 \pm 5^\circ\text{C}$. Вес каждой порции отливаемого металла составлял $3 \pm 0,05$ г. Замеры температуры оловянного расплава производились при помощи инфракрасного пирометра HoldPeak HP-1300. Примеры полученных отливок при разных температурных режимах расплава и воды представлены в таблице 2.7 на странице 65.

Оценивая результаты проведенных экспериментов визуально можно увидеть тенденцию изменения форм оловянных образцов и количества дендритов в зависимости от температуры охлаждающей жидкости и температуры самого расплава в момент литья. При минимальной температуре олова образуются отливки с наименьшим количеством дендритов, повышение его температуры приводит к росту количества хрупких элементов в объеме отливки. В то же время повышение температуры воды способствует уменьшению количества дендритов в образцах. Форма образующихся дендритов также меняется при варьировании температурными режимами. Для охлаждающей жидкости более низких температур характерно формирование хрупких моховидных дендритов, в горячей воде образуются отливки с более плотными прочными дендритами в виде проволоковидных агрегатов.

Таблица 2.7 – Зависимость форм оловянных отливок от температуры охлаждающей жидкости и температуры расплава

Температура воды, С°	Температура оловянного расплава, $\pm 5\text{C}^\circ$			
	250	300	350	400
0-5				
10-15				
20-25				
30-35				
40-45				
50-55				
60-65				

Для достоверного анализа форм отливок, полученных в данном эксперименте, были произведены замеры их массы. Затем каждая отливка была разделена на хрупкие дендритовидные элементы и плотную целостную металлическую массу, которая также была подвергнута взвешиванию. Таким образом, для каждого образца было зафиксировано по 2 показателя: масса самой отливки и масса ее целостной части. Разница между этими показателями составляет массу дендритов в данном образце. Эти замеры позволили определить количество дендритовидных элементов в процентах от массы исходной отливки. Всего было исследовано по 10 отливок олова, полученных в разных температурных режимах, и вычислен средний показатель количества дендритов в отливках соответствующий каждому режиму.

В Приложении Г представлена таблица, содержащая все замеренные и вычисленные показатели для каждой отливки, полученной при определенном температурном режиме воды и определенной температуре оловянного расплава. Этими показателями являются: масса образца, масса целостного металла в отливке в граммах, масса целостного металла в отливке в процентах, масса дендритов в процентах для каждого образца и среднее количество дендритов, образующихся в отливках, полученных при соблюдении определенных температурных режимов воды и расплава также в процентах. В таблице 2.8 представлено уже вычисленное среднее значение количества хрупких элементов в отливках, получаемых при определенных температурных режимах воды и металла.

Таблица 2.8 – Количество дендритов в отливках при разных температурных режимах воды и металла, % (от общей массы отливки)

Температура металла, °С	Температурный режим воды, °С						
	0-5	10-15	20-25	30-35	40-45	50-55	60-65
250	3,5	2,1	3,1	1,4	1,8	0	0
300	23,2	17,6	15,3	15,1	8,9	4,4	0,7
350	39,5	37,3	35,9	32,8	27,0	8,7	2,7
400	47,2	48,3	46,0	39,3	28,8	17,8	9,3

На основе полученных значений был построен график зависимости форм оловянных отливок от температуры охлаждающей жидкости и температуры оловянного расплава. Этот график, представленный на рисунке 2.19, наглядно демонстрирует, что повышение температуры охлаждающей жидкости неизменно сопровождается снижением количества дендритов в получаемых отливках.

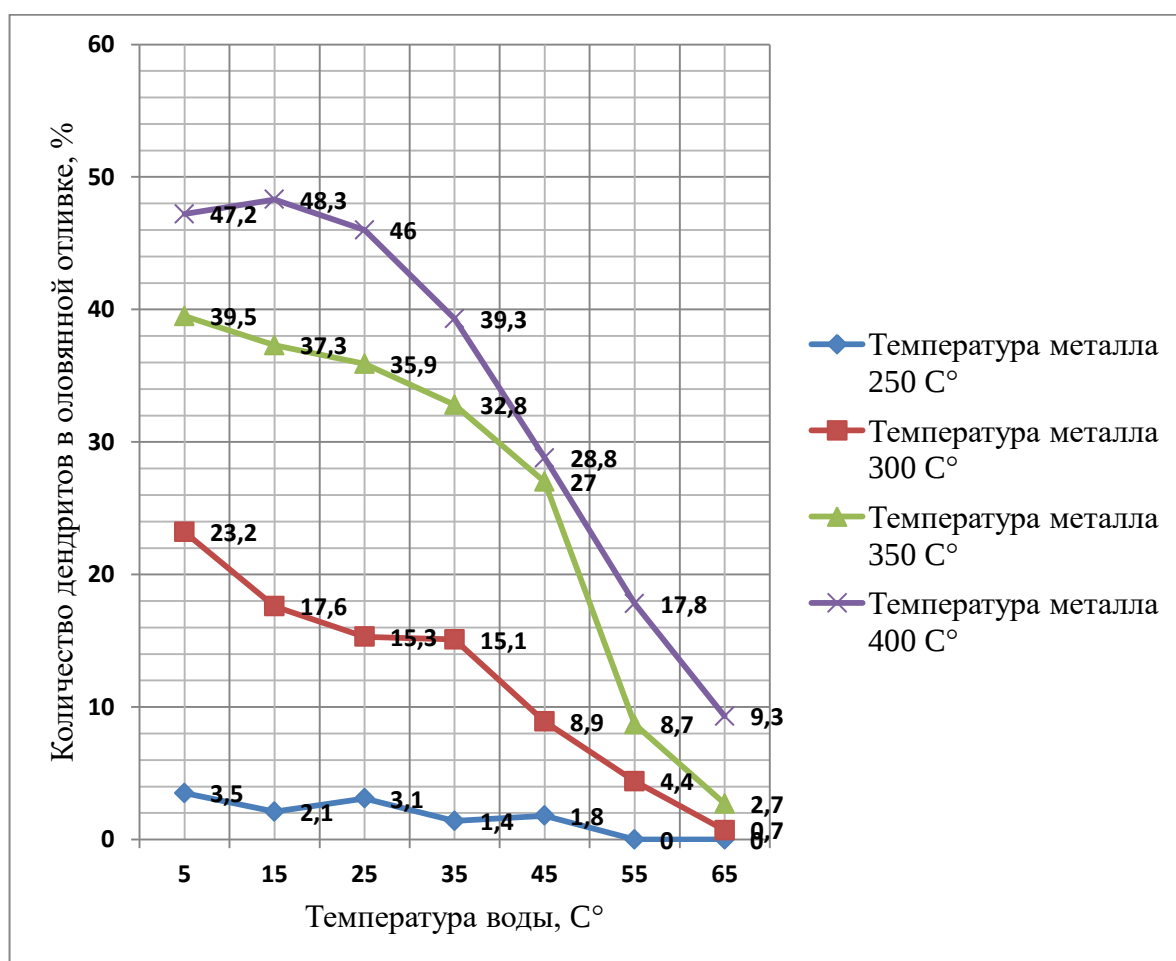


Рисунок 2.19 – Зависимость форм оловянных отливок от температуры охлаждающей жидкости

На графике видно, что при литье расплава минимальной температуры (250 °C) количество дендритов не превышает 5% от общей массы отливки и при повышении температуры воды до 50-55 °C снижается до 0%. Подобные отливки удовлетворяют не всем заданным критериям: они обладают серебристо-белым цветом, но не имеют достаточное количество дендритов в своей форме и не могут являться качественными дизайнопригодными имитациями самородков серебра.

Повышение температуры расплава до 300 ± 5 °С способствует увеличению количества дендритов на 15-20% при температуре охлаждающей жидкости до 30-35 °С. В таком случае образуются отливки с бóльшим количеством дендритов (15,1-23,2 % от общей массы образца) в виде моховидных агрегатов. При литье расплава разогретого до 300°С в воду температурой 40-45 °С образуются отливки с малым количеством дендритов (8,9%), которое достигает минимума (0,7%) при температуре охлаждающей жидкости 60-65°С, что ухудшает эстетические свойства получаемых отливок.

Использование оловянного расплава температурой 350°С позволяет повысить количество дендритов в отливке до 39,5% при температуре воды 0-5°С. Согласно кривой зависимости соответствующей данному металлу повышение температуры воды до 30-35°С сопровождается снижением количества дендритов до 32,8%. В этом интервале температур дендриты в отливках представлены в виде относительно однородных моховидных агрегатов с незначительным количеством проволоковидных элементов, пример таких отливок представлен на рисунке 2.20, а. Увеличение температуры охлаждающей жидкости до 40-45°С способствует образованию отливок с меньшим количеством дендритов (27 %), представляющих сочетание моховидных и проволоковидных агрегатов, как на рисунке 2.20, б. Повышение температуры воды до значений 50-55°С позволяет получить образцы олова значительно отличающиеся от предыдущих дендритами среди которых преобладают проволоковидные агрегаты, что, не смотря на их малое количество (8,7%), в сочетании с неровными формами целостной части отливки положительно влияет на сходство этих образцов с самородками серебра и их дизайнопригодность. Пример подобных образцов представлен на рисунке 2.20, в. При температуре воды 60-65°С качество отливок снижается за счет упрощения форм и снижения количества дендритов до 2,7% от общей массы отливки.

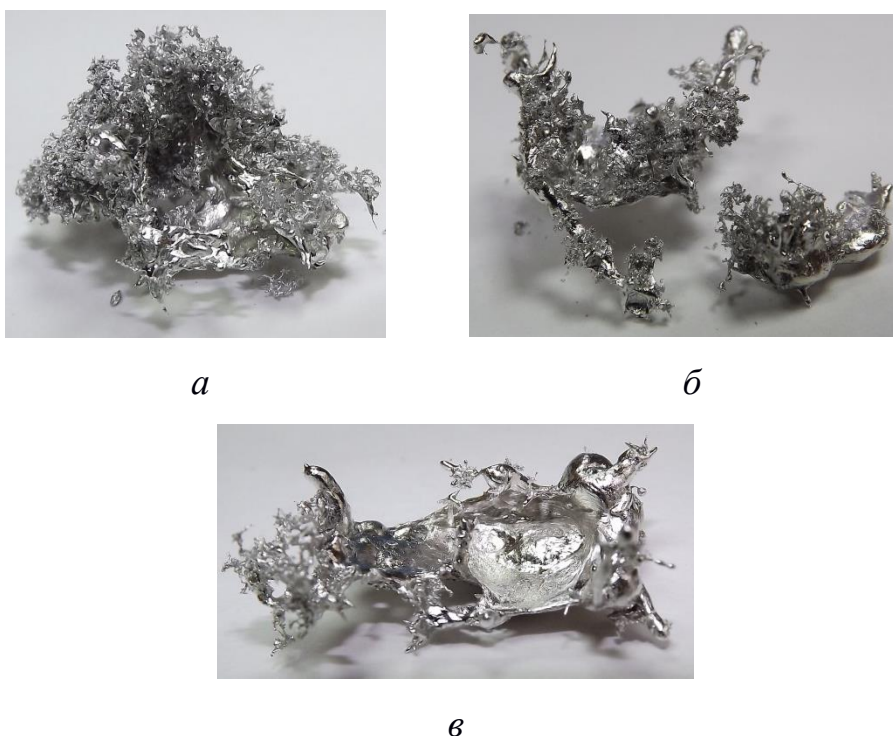


Рисунок 2.20 – Образцы полученные литьем оловянного расплава температурой 350°C: *а* – в воду температурой 20-25°C; *б* - в воду температурой 40-45°C; *в* - в воду температурой 50-55°C

Литье оловянного расплава разогретого до 400°C в воду температурой до 25°C позволяет получить отливки, почти половину объема (46-48,3%) которых занимают хрупкие моховидные дендриты, как это показано на рисунке 2.21, *а*. Повышение температуры воды способствует уменьшению количества дендритов представляющих сочетание моховидных и проволоковидных агрегатов, пример подобных образцов представлен на рисунке 2.21, *б*. В воде температурой 50-55°C кристаллизуются отливки в форме которых преобладают проволоковидные дендриты в сочетании с небольшим количеством моховидных агрегатов составляют 17,8% от общей массы отливки, как на рисунке 2.21, *в*. Дальнейшее повышение температуры охлаждающей жидкости способствует снижению качества получаемых отливок за счет уменьшения количества дендритов и упрощения форм целостной части образца.

*а**б**в*

Рисунок 2.21 – Примеры образцов полученных литьем оловянного расплава температурой 400°C: *а* – в воду температурой 20-25°C; *б* - в воду температурой 40-45°C; *в* - в воду температурой 50-55°C

Увеличение температуры оловянного расплава до 450°C приводит к практически полному его расщеплению в момент литья в воду не зависимо от ее температуры и образованию мелких крошек, вследствие слишком сильного переохлаждения расплава, такой результат представлен на рисунке 2.22, *а*. Это делает невозможным использование подобных отливок в качестве имитаций самородков серебра. Также неудовлетворительными оказались результаты, полученные литьем расплавов разной температуры в воду 70-75°C, которая не может обеспечить степень переохлаждения расплава, достаточную для формирования качественных имитаций. В такой охлаждающей жидкости оловянный расплав кристаллизуется в ровные целостные массы без образования дендритов, как на рисунке 2.22, *б*.

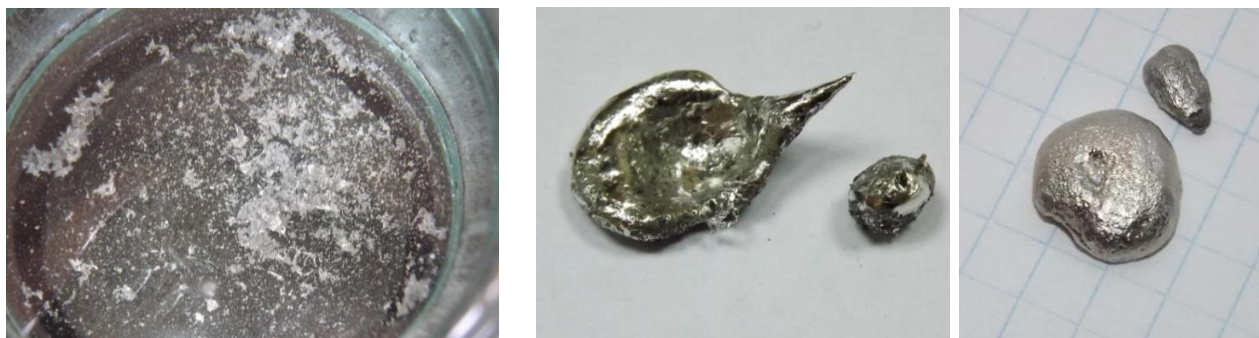
*а**б*

Рисунок 2.22 – Отрицательные результаты литья олова в воду: а – расщепление олова на крошки вследствие слишком сильного переохлаждения при нагреве расплава до 450 °С; б – образование плотных целостных отливок не удовлетворяющих заданным параметрам при литье расплава в воду температурой 70-75°С

В некоторых случаях при попадании в воду отлитый расплав частично расщепляется на отдельные мелкие крошки, которые в дальнейшем использоваться уже не могут и требуют переплавки, с чем связан различный вес итоговых отливок в большинстве случаев меньший начального веса используемого олова ($3 \pm 0,05$ г). В ходе экспериментов было выявлено, что количество таких потерь металла меняется при разных технологических условиях литья. С целью установления данной зависимости было вычислено количество потерянного металла в процентах. Эти значения для каждой отливки, полученной при соблюдении определенных температурных режимов воды и расплава, представлены в Приложении Г. Средние значения потерянного металла для каждого из режимов представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Средние значения потерь олова в зависимости от технологических параметров литья

Температура металла, °С	Температурный режим воды, °С						
	0-5	10-15	20-25	30-35	40-45	50-55	60-65
250	2,4	2,1	2,3	1,0	1,6	0,8	0
300	12,7	11,6	11,3	8,0	6,4	1,9	1,8
350	15,5	13,5	13,3	11,2	10,0	8,5	3,7
400	21,1	22,0	21,3	15,4	15,7	11,9	6,7

На основе вычисленных значений, представленных в таблице 2.8, был построен график зависимости количества олова, потерянного в процессе литья, от используемых температурных режимов воды и расплава. Этот график представлен на рисунке 2.23, он демонстрирует, как потери олова возрастают с повышением температуры расплава и снижением температуры воды и уменьшаются при изменении этих условий в противоположном направлении. Количество потерь, также как и форма итоговых отливок, зависит от степени переохлаждения оловянного расплава, обусловленной температурными режимами охлаждающей жидкости и металла. Максимальное количество потерь зафиксировано при литье олова разогретого до 400°C в воду температурой от $0-5^{\circ}\text{C}$ до $20-25^{\circ}\text{C}$ и составило 21-22% от начальной массы металла, минимальное – 0% при температуре расплава 250°C и температуре воды $60-65^{\circ}\text{C}$. Потери олова более 20 % являются слишком внушительным количеством металла, требующего переработки, это дает основание отказаться от условий литья при температуре расплава равной 400°C в сочетании с температурой воды в диапазоне $0-25^{\circ}\text{C}$.

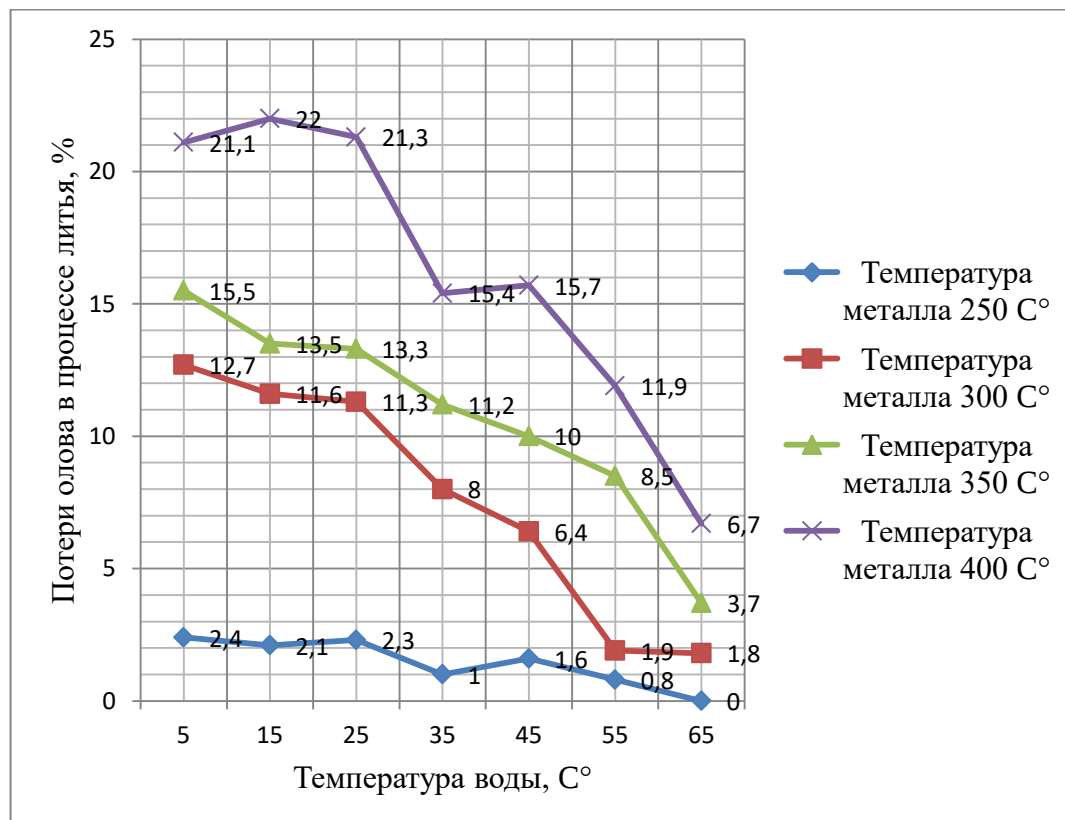


Рисунок 2.23 – График зависимости количества потерь олова в процессе литья от температурных режимов воды и металла

Данный эксперимент позволил убедиться в зависимости количества дендритов в форме оловянных отливок от условий литья, и выявил закономерность: чем выше степень переохлаждения олова, тем больше количество хрупких элементов в отливке. Использование воды разных температурных режимов позволяет расширить спектр эстетических параметров, получаемых оловянных отливок, имитирующих самородки серебра, без использования охлаждающих жидкостей сложных составов.

Результаты проведенного экспериментального исследования дают основание вынести на защиту следующее научное положение:

- Технологический режим получения дизайнопригодных имитаций самородков серебра обеспечивается сочетанием температуры расплавленного олова в диапазоне от 300 до 400 ± 5 °С и охлаждающей жидкости в диапазоне от 0 до 55 °С.

2.3. Обсуждение результатов

В данной главе экспериментально доказана возможность получения из неблагородных металлов дизайнопригодных имитаций самородков золота и серебра методом литья.

Определены критерии оценки дизайнопригодности имитаций самородков золота и серебра, полученных на основе латуни и олова. Это позволило выбрать наиболее качественные отливки максимально схожие с природными самородками из широкого спектра образцов, получаемых в ходе экспериментов. Для оценки имитаций самородков золота этими критериями являлись: 1) Золотисто-желтый цвет, металлический блеск отливок; 2) Неровный рельеф и форма, характерные для природных золотых самородков, встречающихся в россыпях; 3) Допустимы матовые и шагреновые участки на поверхности, характерные для золотых самородков претерпевших коррозию. Для оценки имитаций самородков серебра:

1) Серебристо-белый цвет и металлический блеск; 2) Неправильная форма и сложный рельеф в сочетании с дендритами в виде моховидных, пластинчатых или проволоковидных агрегатов.

В ходе экспериментального исследования установлено влияние температуры охлаждающей жидкости на физические и эстетические параметры отливок. На основе этого определены условия процесса литья для получения образцов имитаций самородков золота и серебра с заданными эстетическими свойствами. Технологический режим получения дизайнопригодных имитаций самородков золота обеспечивается сочетанием температуры расплавленной латуни 970 ± 5 °C и охлаждающей жидкости в диапазоне от 0 до 25 °C. Отливки, полученные в таких условиях имеют золотисто-желтый цвет, яркий металлический блеск, неровные формы и рельеф поверхности. Повышение температуры воды способствует упрощению форм отливок и образованию на их поверхностях пленки окислов. В момент литья расплав латуни должен иметь однородное жидкотекучее состояние, что требует непрерывную подачу тепла металлу. Температурный показатель расплава в момент литья 970 ± 5 °C гарантирует однородное жидкотекучее состояние расплава и, в сочетании с температурным диапазоном воды от 0 до 25 °C, обеспечивает ту степень переохлаждения расплава, которая необходима для формирования отливок с нужными эстетическими свойствами.

Технологический режим получения дизайнопригодных имитаций самородков серебра обеспечивается сочетанием температуры расплавленного олова в диапазоне от 300 до 400 ± 5 °C и охлаждающей жидкости в диапазоне от 0 до 55 °C, а именно:

- Для получения имитаций самородков серебра содержащих в своей форме дендриты в виде моховидных агрегатов в количестве 15-20 % от общей массы отливки необходимо использовать оловянный расплав температурой 300 ± 5 °C и охлаждающую жидкость в диапазоне температур от 0 до 35 °C
- Для получения имитаций самородков серебра содержащих в своей форме дендриты в виде моховидных агрегатов в количестве 35-40 % от общей

массы отливки необходимо использовать оловянный расплав температурой 350 ± 5 °C и охлаждающую жидкость в диапазоне температур от 0 до 35 °C

- Для получения имитаций самородков серебра содержащих в своей форме дендриты в виде сочетания моховидных и проволоковидных агрегатов в количестве 25-30 % от общей массы отливки необходимо использовать оловянный расплав в температурном диапазоне от 350 до 400 ± 5 °C и охлаждающую жидкость температурой 40-45 °C

- Для получения имитаций самородков серебра в форме которых преобладают дендриты в виде проволоковидных агрегатов в количестве 5-10 % от общей массы отливки необходимо использовать оловянный расплав температурой 350 ± 5 °C и охлаждающую жидкость температурой 50-55 °C

- Для получения имитаций самородков серебра в форме которых преобладают дендриты в виде проволоковидных агрегатов в количестве 15-20 % от общей массы отливки необходимо использовать оловянный расплав температурой 400 ± 5 °C и охлаждающую жидкость температурой 50-55 °C

Спектр технологических условий, позволяющих получать имитации самородков серебра, как и спектр самих результатов, гораздо шире, чем при получении имитаций самородков золота. Это объясняется свойствами используемых металлов, значительно отличающимися друг от друга.

Особенность литья металла в воду в том, что отливки формируются в свободном неограниченном пространстве, а потому их форма может зависеть от процессов, происходящих внутри металлической массы. В составе даже самых чистых металлов в любом агрегатном состоянии всегда содержится какое-то количество газов: водорода, кислорода, азота. Под воздействием резкого перепада температур внешние слои сплава, попав в воду, испытывают сильное переохлаждение, высокая скорость их кристаллизации приводит к возникновению давления, влияющего на внутренние зоны отливки. Под действием этого давления внутриметаллические газы компонуются внутри кристаллизующегося расплава и, стремясь вырваться наружу, деформируют еще незастывшие слои металла, в результате чего образуются отливки неровной формы со сложным рельефом.

Степень деформации металла в таких условиях зависит от его физических свойств: твердость, жидкотекучесть, температура плавления. Олово обладает высокой жидкотекучестью и значительно меньшей твердостью и температурой плавления в отличие от латуни, это позволило испытать различные вариации технологических условий и получить большее количество результатов в виде имитаций самородков серебра с разными морфологическими особенностями.

Латунь обладает гораздо более высокой твердостью и температурой плавления, поэтому давления, возникающего внутри металлической массы в момент начала кристаллизации под действием динамики внутриметаллических газов, в которой также принимает участие цинк, испаряющийся в процессе плавления, достаточно лишь для незначительной (по сравнению с оловом) деформации и образования пор и полостей внутри отливок. Ускоренная кристаллизация, обеспечиваемая за счет переохлаждения расплава, приводит к изменению структуры латуни. Изначально однофазная латунь марки Л63 вследствие литья в воду преобразуется в двухфазную. Такие структурные изменения приводят к изменению свойств сплава (повышение твердости, ухудшение пластичности), однако на получаемых имитациях это никак не сказывается и не влияет на эстетические свойства образца. Варьирование температурными режимами воды позволяет расширить спектр эстетических параметров получаемых отливок без использования охлаждающих жидкостей сложных составов.

Результаты, полученные в ходе экспериментального исследования, дают основание вынести на защиту следующие научные положения:

- Ускоренная кристаллизация расплава неблагородных металлов, таких как латунь и олово, при отливке в неограниченном пространстве позволяет получать имитации самородков золота и серебра с заданными свойствами.
- Состав охлаждающей жидкости не оказывает значительного влияния на конечные формы имитаций самородков золота и серебра и их эстетические свойства.

ГЛАВА 3. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИЙ САМОРОДКОВ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА В КАЧЕСТВЕ ВСТАВОК В ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

3.1. Использование латунных отливок

В результате многочисленных экспериментов, подробно описанных в предыдущей главе, были получены латунные и оловянные отливки различных форм и строений, которые благодаря своему внешнему облику имеют удивительные сходства с природными самородками золота и серебра соответственно.

Среди полученных латунных отливок наибольший интерес представляют те, что имеют формы с ярко выраженными неровностями на поверхностях, нарушающими правильность их контуров, углублениями, порами и наименьшим количеством следов окислов. Данные имитации легко использовать в качестве вставок в ювелирные изделия, не подвергая их какой-либо дополнительной обработке, поскольку они получаются достаточно прочными и твердыми и имеют яркий, металлический блеск, соломенно-желтый цвет. Для закрепки вставок таких форм в изделия можно использовать крапановую закрепку. Кроме удобства с технологической точки зрения, она выигрывает и с эстетической, поскольку оставляет вставку максимально открытой, закрепляя ее лишь в нескольких точках, что невозможно достичь при закрепке с использованием каста. Также можно прибегнуть к еще более прочному соединению латунной вставки с изделием, т.е. припаять образец непосредственно к детали украшения. Однако такой способ использования вставки имеет значительный недостаток, он объясняется тем, что в процессе пайки и отбеливания изделия имитация самородка потеряет свой «естественный» блеск, полученный при ее образовании, а восстановить его при

полировке изделия в труднодоступных местах некоторых вставок (поры, углубления) достаточно сложно.

Для предохранения имитаций самородков золота от потери блеска и ухудшения цвета в результате окисления с течением времени полученные латунные отливки можно покрывать тонким слоем золота методом гальванизации, тем самым повышая их эстетические качества.

Латунные образцы с фактурным рисунком на поверхностях, полученные в ходе первой серии экспериментов, также могут быть использованы в качестве вставок в украшениях. Для их использования можно изготавливать касты, крапаны и другие всевозможные закрепки, однако категорически нельзя использовать пайку. Такой способ крепления вставок в процессе самой пайки, а также в процессе отбеливания изделия или его детали приведет к потере фактурного рисунка, а значит и их эстетической ценности. Также удобен способ штифтовой закрепки. Так были закреплены латунные вставки с фактурным рисунком на поверхностях в браслете «Злато», изображенном на рисунке 3.1. Более подробно это изделие рассмотрено в главе 4. Стоит отметить, что такие латунные образцы имеют значительный недостаток - это достаточно большой вес, поэтому крупные образцы или их большое количество не следует использовать в изделиях подобных серьгам.



Рисунок 3.1 - Фрагмент браслета «Злато» с фактурным рисунком на латунных вставках, закрепленных на штифты по принципу крепления жемчужин

3.2. Использование оловянных отливок

В отличие от имитаций самородков золота оловянные отливки, имитирующие серебряные самородки, использовать в качестве вставки непосредственно в изделия практически невозможно. Отливки, представляющие собой плотные неправильные формы и не имеющие в своем строении хрупких дендритных элементов, могут быть использованы в изделии без дополнительной обработки. В отличие от латунных вставок способы закрепки оловянных отливок не так разнообразны. Для этого лучше использовать крапановую или штифтовую закрепку, поскольку неровные контуры формы такой вставки и низкая твердость материала не позволит поместить ее в каст. Изделия с подобными вставками, имитирующими самородки серебра, требуют более бережного отношения в процессе эксплуатации. Но это не отнимает право на существование подобных изделий. Такие необычные вставки будут выглядеть эффектно в серьгах, кулонах или подвесах – изделиях наименее подверженных изнашиванию. В украшениях современного ювелирного дизайна, как на рисунке 3.2, найдется немало примеров использования материалов, которые, казалось бы, совершенно не предназначены для этого, и также требуют бережного к себе отношения.



а



б

Рисунок 3.2 - Примеры использования нетрадиционных материалов в ювелирном дизайне: а – кольцо «Alex & Lee» с использованием перьев [60]; б – браслет из коллекции «Di Amanda», серебро, бриллианты, джинсовая ткань [61]

Наибольший интерес для ювелирного дизайна благодаря своей необычной форме представляют образцы, обладающие моховидными или проволоковидными агрегатами, но использование таких вставок невозможно без создания дополнительной защитной среды. Прочность таких имитаций можно повысить методом гальванопластики, покрыв их слоем меди, а затем слоем серебра для улучшения их эстетических качеств, но все же этого недостаточно для использования подобных вставок непосредственно в изделиях. Материалом, способным создать среду, защищающую хрупкие оловянные дендриты, не нарушая их морфологические особенности, могут послужить эпоксидная смола или жидкий пластик.

Эпоксидные смолы относятся к низкомолекулярным полимерам линейного строения, которые под действием веществ, химически с ними взаимодействующих (отвердители) способны переходить из термопластического в термореактивное состояние, превращаясь в неплавкие нерастворимые продукты [62, 63, 64]. Неотвержденные эпоксидные смолы называются олигомерами, а отвердителями называют органические вещества, которые при введении их в олигомеры вступают с ними в химическую реакцию, приводящую к образованию пространственной макромолекулярной сетки. В результате химической реакции взаимодействия олигомера с отвердителем изменяется физическое состояние системы. Из жидкой вязкотекучей бинарной системы (олигомер + отвердитель) она становится химически определенным твердым телом [63]. Главной особенностью полимеров является специфическое цепное строение молекул, состоящих из многократно повторяющихся структурных группировок. Эти группировки или звенья представляют собой низкомолекулярные вещества (мономеры), молекулы которых в определенных условиях способны к последовательному соединению друг с другом в результате химической реакции синтеза. То есть между собой звенья соединены в цепи химическими связями [58].

Таким же полимером является так называемый жидкий пластик, который аналогично эпоксидным смолам смешивается с отвердителем для полимеризации и образования твердого продукта. Существует оптически прозрачный пластик

Poly-Optik, применяемый для литья декоративных изделий и моделей. В отличие от эпоксидной смолы он имеет более высокую твердость, низкую усадку и устойчивость к ультрафиолету.

На первом этапе создания дополнительной защитной среды для оловянной отливки, имитирующей самородок серебра, была использована эпоксидная смола компании NAS под торговым названием «Клей универсал эпоксидный». Этот продукт, предназначен для склеивания предметов с большими сколами и трещинами, с шероховатыми и пористыми поверхностями, например: предметы интерьера и сантехнику из стекла, керамики, фарфора, спортивный инвентарь. Он также используется в техническом моделировании для изготовления пластиковых и стеклопластиковых деталей, матриц, пресс-форм и т.д.

Сама смола этой марки – достаточно вязкая жидкость с желтоватым оттенком, а отвердитель обладает темно-коричневым цветом и имеет едкий запах. Это объясняется тем, что полиамины – отвердители, чаще всего применяемые с эпоксидной смолой при комнатной температуре – это органические молекулы, содержащие две и более аминогруппы. Аминогруппы по структуре напоминают аммиак, только присоединены к органическим молекулам. И, как и аммиак, амины являются сильными щелочами. Из-за этого сходства отвердители эпоксидных смол зачастую обладают аммиачным запахом, который наиболее ощутим в замкнутом объеме сосуда хранения сразу после его открывания. На воздухе же этот запах мало ощутим, однако, работу лучше проводить в хорошо проветриваемом помещении [66].

Оба компонента смешиваются в весовом соотношении 100 частей эпоксидной смолы и 10-12 частей отвердителя. Приготовленный состав жизнеспособен в течение одного часа после смешивания. В качестве формы была использована одноразовая пластиковая тара, на дно которой был помещен испытуемый оловянный образец, а затем залита полученная смесь. По истечении срока полимеризации (24 часа) полностью затвердевшая смола с запакованной внутри имитацией была извлечена из тары и подвергнута обработке, необходимой для придания нужной формы и создания окончательного вида вставки.

Механическая обработка проводилась на станке с использованием алмазных планшайб, предназначенных для обработки природных или синтетических камней. Поскольку используемый материал достаточно мягкий и вязкий качественной полировки сложно достичь, используя лишь алмазную пасту, для этого необходима финишная полировка на войлочном круге с применением порошка церия. Этот полировочный порошок на основе оксида церия, широко применяется для обработки разных видов стекла, драгоценных и поделочных камней. В результате проделанных операций был получен кабошон овальной формы, прозрачный с насыщенным янтарным цветом и запакрованной внутри имитацией самородка серебра, он представлен на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 - Кабошон из эпоксидной смолы с запакованным внутри оловянным образцом, имитирующим самородок серебра [65]

В настоящее время много производителей предлагают прозрачные эпоксидные смолы, называемые ювелирными. Их использование для создания различной бижутерии становится все более популярным. Самой распространенной из прозрачных эпоксидных смол является смола Rebeo Crystal Resin производства Франции. Компоненты этого продукта смешиваются в соотношении 1:2 (отвердитель:смола), а время полной полимеризации составляет 24-48 часов и зависит от температуры окружающей среды. В результате получается абсолютно прозрачный прочный материал. Эта смола предназначена для отливки бижутерии, декора, украшений, имитации стекла [68].

Также существует широкий выбор аналогов Crystal Resin. Из отечественных производителей подобной продукции стоит отметить Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), предлагающий бесцветные заливочные эпоксидные компаунды ПЭО серии «20/0», предназначенные для герметизации полупроводниковых приборов, могут быть использованы также для изготовления бижутерии и сувениров. По аналогии с Crystal Resin клей-компаунды сразу после смешения компонентов представляют собой бесцветную прозрачную низковязкую гомогенную жидкость без посторонних включений. Компоненты этого продукта смешиваются в пропорции 4 части компонента А и 1 часть компонента В, где компонент А – это смола, а В – отвердитель. Время полимеризации составляет от 42 до 84 часов в зависимости от марки используемой смолы и ее вязкости. В отвержденном состоянии это твердая стеклообразная масса с глянцевой поверхностью. Однако в отличие от Crystal Resin данные компаунды позволяют выбирать состав с необходимой вязкостью, комплектовать его специально подобранными модифицирующими добавками, это позволяет создавать объемные («линзы») и пластифицированные покрытия. Также немаловажным фактом являются заключения по результатам санитарно-эпидемиологической экспертизы №78.01.09.025.П.345 и №78.01.09.025.Т.344 от 14.02.2011 г., проведенной ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург», клей-компаунды ПЭО-10КЭ и ПЭО-510КЭ-20/0 соответствуют действующим санитарным нормам и правилам РФ и могут быть использованы в быту [69, 70].

С целью создания бесцветного защитного покрытия для оловянных отливок с хрупкими дендритами была опробована смола Ероху Crystal компании «Бал и Ко», эта ювелирная смола, как утверждает производитель, является точным аналогом вышеописанной торговой марки Crystal Resin, имеет высокую степень прозрачности и предназначена для бижутерии. Работать с ней безопасно, она не имеет запаха, однако попытки получить желаемый результат закончились неудачей. Данный продукт не полимеризовался в срок, указанный в инструкции, и даже после затвердевания сохранил вязкость и малую твердость, что сделало

невозможным его дальнейшую обработку. На очень длительное по времени затвердевание или незатвердевание эпоксидной смолы вообще могут влиять несколько факторов: высокая влажность, низкая температура, сквозняк, неправильная пропорция, неправильный порядок (очередность), непромес, неправильное хранение материалов [72, 73]. Все эти факторы были учтены, но все же после многократных неудачных попыток получить из данной прозрачной смолы полноценный кабошон с оловянной отливкой внутри, было принято решение о поиске альтернативного состава.

Для дальнейшей работы была найдена смола Ероху 520 («Spolchemie», Чехия). Она также как и предыдущая является аналогом уже известной марки Crystal Resin и смолы ЭД-20 отечественного производства. Эта эпоксидная смола (эпоксидный клей) предназначена для ремонта и изготовления лодок, яхт, самолетов, планеров, в авто-тюнинге (ремонт бамперов), строительстве, моделировании, электро-, радио-технике (заливка схем, катушек), изготовлении сувениров, бижутерии. В комплекте со смолой прилагался отвердитель 921. Отвердители семейства 921 (921, 921(T)) - низковязкие, «мягкие». Композиции, полученные с их использованием, имеют повышенную устойчивость к ультрафиолетовому излучению [73, 74].

Компонент А (смола) и компонент В (отвердитель) смешиваются в соотношении 2:1. Отвердитель следует добавлять в смолу очень медленно, постоянно перемешивая. Необходимо иметь в виду, что процесс смешивания отвердителя со смолой является экзотермическим, то есть состав будет нагреваться. Большая передозировка отвердителя (даже временно) в части емкости может привести к «закипанию» эпоксидной смолы, она приобретет матово-белый оттенок и покроется пеной, весь состав будет испорчен. Точной информации о сроках полной полимеризации Ероху 520 (921) не прилагается, однако отмечено, что для ускорения процесса отверждения нужно нагреть эпоксидную смолу (без отвердителя) до температуры не выше 60°C, после чего она становится более текучей. Если же работа со смолой предполагается быть долгой и кропотливой, то перед добавлением отвердителя ее рекомендуется

остудить до температуры 25-30°C. Обязательным условием для нормального отверждения эпоксидной смолы является отсутствие повышенной влажности [75].

Наиболее продуктивным способом изготовления кабошенов из эпоксидной смолы или жидкого пластика является использование резиновых форм, при заливке в которые эпоксидной композиции, получится готовый кабошон, не требующий механической обработки. Такой способ создания защитного покрытия для имитаций самородков серебра нацелен на сокращение трудозатрат и экономию используемого материала.

В качестве мастер-формы можно использовать уже готовый кабошон из камня, однако он должен быть из такого сырья, структура которого не влияет на текстуру его поверхности. К примеру, кабошон из чароита не может быть использован в качестве мастер-формы, поскольку его тонковолокнистая структура и различные включения кварца, эгирина или тинаксита образуют макроскопические неровности на его поверхности, которые впоследствии отпечатаются на резиновой форме и станут причиной неровной поверхности итогового кабошена из ювелирной смолы [71]. Поэтому при создании резиновой формы использовался овальный двояковыпуклый кабошон из халцедона с ровной полированной поверхностью.

В данной работе для изготовления формы была использована синтетическая силиконовая резина «GS Silicone72», представляющая собой плотную пластичную массу зеленого цвета, она входит в серию резин «Gold Star», разработанных для тиражирования восковых моделей ювелирных изделий. Вулканизируется за 15 минут при толщине слоя 6-10 мм и при температуре 70-90°C. Усадка менее 0,1%.

Благодаря невысокой температуре вулканизации формы из такой резины можно производить в обычном духовом шкафу. В данном случае резиновая форма изготавливалась в муфельной печи с использованием заранее подготовленной металлической рамы, в нее был помещен слой силиконовой резины, толщина которого чуть больше высоты используемой мастер-формы. Затем в полученный слой резины был вдавлен кабошон халцедона. Для обеспечения давления вся эта конструкция была зажата с двух сторон

металлическими пластинами и закреплена струбциной, как показано на рисунке 4.5, *а*. Затем полученная заготовка была помещена в предварительно разогретую до 90°C муфельную печь. Учитывая толщину слоя резины, вулканизация продолжалась 40 минут. В результате, после извлечения кварца была получена резиновая форма, изображенная на рисунке 3.4.

*а**б*

Рисунок 3.4 - Изготовление резиновой формы: *а* – подготовка к термообработке; *б* – готовая форма после извлечения кабашона

Таким же образом, используя готовые отполированные кабашоны кварца разных размеров, были изготовлены формы из той же силиконовой резины зеленого цвета GS Silicone72. Готовые резиновые формы представлены на рисунке 3.5, *а*. В них были помещены оловянные имитации и залита приготовленная эпоксидная смола. Стоит отметить, что внутренняя поверхность резиновых форм дополнительно обрабатывалась силиконовой смазкой. Этот этап обработки необходим для уменьшения сцепления затвердевшей смолы с резиновой формой и для обеспечения более легкого извлечения из нее готового кабашона.

В результате по истечении суток из резиновых форм были извлечены кабашоны из бесцветной смолы разных размеров, которые все же потребовали дополнительной обработки на планшайбе для удаления неровных краев по периферии кабашонов, образовавшихся за счет усадки смолы. В целом такой результат можно считать удовлетворительным для поставленной задачи получить вставки из эпоксидной смолы с запакрованными внутри оловянными отливками, не

прибегая к утомительному обтачиванию большого количества материала на планшайбах ограночного станка.

Вязкость данной эпоксидной смолы и скорость ее полимеризации не позволяет кислороду, насыщавшему смолу в жидком состоянии и попавшему в нее при смешивании с отвердителем, покинуть ее пределы. В результате по всему объему полученных кабошенов распространены многочисленные пузырьки воздуха. Готовые кабошоны из этой смолы изображены на рисунке 3.5, б. В некоторых случаях подобные включения в таких вставках могут оказывать положительное влияние на итоговое изделие, все зависит от задумки автора. Если же идея дизайнера требует чистой вставки без каких-либо включений, то приготовленную смолу перед заливкой в формы необходимо подвергнуть процессу вакуумирования. Как только в смеси не останется ни одного пузырька воздуха, ее можно будет разливать по формам.



а



б

Рисунок 3.5 - Изготовление прозрачных вставок с оловом внутри: а – резиновые молды разных форм и размеров; б – полученные в них кабошоны

Если размеры оловянной отливки, помещенной в резиновую форму, позволяют заполнить собой большую часть ее пространства, то полученный в результате кабошон будет выглядеть очень эффектно со всех ракурсов. Если же имитация самородка серебра невелика по размеру, и занимает лишь дно резиновой формы, то в итоге эта отливка окажется в верхней части вставки. В

таком случае кабошон интересен лишь при просмотре сверху. С боковых ракурсов запакованная внутри имитация практически не просматривается.

Чтобы оловянные образцы такого размера так же, как и крупные, выгодно смотрелись внутри кабошона из эпоксидной смолы, необходимо располагать их не на дне резиновой формы, а в ее центре. Для этого необходима послойная заливка смолы. Сначала в форме затвердевает первый слой смолы, затем туда помещается оловянная отливка, и только после этого заливается второй слой. В результате получится кабошон, в толще которого расположена имитация серебряного самородка, но его поверхность может потребовать дополнительной механической обработки, чтобы скрыть границу между слоями. На рисунке 3.6 представлен кабошон с оловянной отливкой внутри, полученный в результате послойной заливки эпоксидной смолы. На его поверхности, требующей финишной обработки, отчетливо просматривается граница между этими слоями.



Рисунок 3.6 - Результат послойной заливки смолы в резиновую форму

Испытание на изнашиваемость

Использование эпоксидной смолы является самым оптимальным вариантом для сохранения форм хрупких оловянных отливок и внедрения их в дизайн ювелирных изделий. Однако использованию этого способа сопутствовали некоторые сомнения связанные с качеством таких вставок и будущих изделий. Поэтому было решено проверить кабошоны из эпоксидной смолы на износостойкость.

Для этого эксперимента были изготовлены два кабошона одинаковой формы из двух разных смол: смолы компании NASA янтарного цвета и

бесцветной смолы Ероху 520. Оба этих кабошона были вставлены в одинаковые серебряные кольца. Стоит отметить, что при закреплке кабошонов никаких проблем не возникало, процесс проходил также как при закреплке обычных камней. Однако при полировке металлических частей кольца следует избегать прямого контакта вставки с полировальным кругом, т.к. при высоких скоростях полировального станка изделие нагревается, и муслиновый круг может оставить следы на поверхности кабошона, от которых затем будет сложно избавиться.

Эксперимент на износостойкость кабошонов из эпоксидной смолы заключался в воздействии на них различных бытовых продуктов, с которым может столкнуться любое ювелирное изделие в течение его эксплуатации [76]. В число таких продуктов вошли жидкие средства содержащие спирт, хлор, ацетон, эфирные масла. Также кольца были подвергнуты механическому воздействию порошка, содержащего карбонат кальция, карбонат натрия и щавелевую кислоту. По истечении нескольких дней после взаимодействия испытуемых изделий с перечисленными средствами серебро, из которого были выполнены кольца, окислилось и приобрело серый матовый цвет. Полировка и цвет кабошонов в обоих случаях не ухудшилась даже после воздействия порошка и жидкости, основным компонентом которой является ацетон. Однако воздействие на кабошоны порошком более крупной фракции способствует образованию царапин на их поверхности.

Кабошон из эпоксидной смолы защищает заключенную внутри нее оловянную отливку от разрушения на холоде. Как уже упоминалось в первой главе привычное всем белое олово имеет свойство разрушаться при температуре ниже $13,2^{\circ}\text{C}$ и превращаться в серое олово. Однако запакoванная внутри эпоксидной смолы оловянная отливка не подвержена каким-либо изменениям под воздействием отрицательных температур. В этом помогло убедиться еще одно испытание, в ходе которого оба кольца были выдержаны на холоде при температуре 20°C ниже нуля в течение 12 часов. В результате обе вставки из разных эпоксидных смол и заключенных внутри имитаций самородков серебра остались прежними, не потеряв свои внешние и внутренние качества.

Проведение этих двух испытаний позволило удостовериться в том, что подобные кабошоны или любые другие формы из эпоксидной смолы с запакованным внутри оловом являются достаточно износостойкими и являются пригодными для использования их в качестве вставок в различных украшениях, сувенирной или коллекционной продукции.

3.3. Обсуждение результатов

В данной главе даны практические рекомендации по использованию имитаций самородков золота и серебра в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Латунные образцы с фактурным рисунком на поверхности также как и имитации самородков золота, полученные литьем латуни в воду, могут использоваться непосредственно в изделиях. Для их закрепки рекомендуется использовать глухой или ободковый каст, крапановую оправу или штифтовую закрепку.

Образцы олова, представляющие собой плотные целостные отливки без хрупких элементов в виде дендритов, могут быть использованы, как и латунные образцы, непосредственно в изделии, но в таком случае эти изделия будут требовать более бережного отношения в процессе эксплуатации. Для их закрепки в изделиях рекомендуется использование крапанов или штифтов.

Чтобы использовать в качестве вставок хрупкие оловянные образцы, в форме которых имеются дендриты, необходимо создать для них дополнительную защитную среду, позволяющую сохранить их необычное строение. Для создания такой защиты рекомендуется использовать эпоксидную смолу или жидкий пластик. Используя эти материалы можно создавать вставки в виде кабошонов различных размеров и форм, внутри которых будут заключены имитации самородков серебра. В качестве способов получения таких кабошонов в данной главе рассмотрены два варианта: 1 – заливка оловянной отливки эпоксидной

смолой и дальнейшее придание формы будущей вставке при помощи механической обработки; 2 – изготовление резиновых форм для последующей заливки в них полимера. Второй способ позволяет более рационально использовать эпоксидную смолу или другой полимер и получать практически готовые кабошоны, избегая трудоемкого процесса стачивания лишнего материала при формообразовании вставок. Такие резиновые формы можно использовать многократно, что позволит получать серию кабошонов одинаковой формы и размеров, но при этом с разными инклюзиями из имитаций самородков серебра. Второй способ обработки оловянных отливок с хрупкими дендритами подходит, как для изготовления индивидуальных изделий концептуального дизайна, так и для внедрения в мелкосерийное производство по изготовлению ювелирных изделий категории бридж.

Получаемые вставки из эпоксидной смолы или пластика могут быть абсолютно разной формы от плоского кабошона до объемного шара, при этом передавая всю красоту и необычность заключенной внутри хрупкой имитации серебра. Возможность получения большого спектра форм позволяет создавать абсолютно разные изделия от дизайнерских украшений до предметов интерьера.

В данной работе представлены примеры изготовления кабошонов из эпоксидной смолы разных марок, для которых были проведены испытания на изнашиваемость методом прямого воздействия на них продуктов бытового назначения, содержащих такие вещества как спирт, ацетон, хлор и другие добавки. Опытным путем было доказано, что кабошоны из эпоксидной смолы или вставки каких-либо других форм пригодны для изготовления качественных изделий.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ С ИМИТАЦИЯМИ САМОРОДКОВ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА

4.1. Разработка дизайна изделий с имитациями самородков золота и серебра

При разработке дизайна ювелирных изделий в данной работе за основу была взята идея использования имитаций самородков в качестве главного акцента дизайнерского решения – доминанты. Под доминантой понимается сюжетно-композиционный центр любого художественного произведения, в том числе и ювелирного изделия [88, 90, 91].

Композиционный центр далеко не всегда совпадает с геометрическим центром. Однако, дизайнер хорошо знает, что лучше всего визуально воспринимается центральная часть, поэтому он чаще всего идет по линии наименьшего сопротивления и доминанту старается располагать недалеко от геометрического центра композиции. Яркие примеры таких работ можно найти среди ювелирных украшений Эдвардианской эпохи. В их случае доминанта выделяется при помощи разных материалов и узоров: более крупный, ограненный бриллиант, обрамленный металлическими кружевами в центре кольца, является доминантой в общей ритмичной композиции всего изделия. Разумеется, сюжетно-композиционный центр не должен нарушать целостности пространства и колорита, но если его сместить, опираясь на эффекты оптического восприятия, то можно добиться совершенно неожиданных возможностей в формообразовании и колористике проектируемого изделия [87, 91, 92].

Объект можно выделить цветом, светом, расположением в пространстве [77, 87]. Все это можно достичь, используя различные материалы и технологические приемы: сочетание желтого и белого металлов, вставок из натуральных и синтетических камней, фактурирование поверхностей и пр. Примером

подчеркивания доминанты сочетанием цвета и материала может послужить серия колец Buccellati. Это 4 кольца, созданные в 1929-1933 гг. Марио Буччеллати для своей жены, в каждом из которых крупный ограненный самоцвет: изумруд, бриллиант, сапфир и рубеллит [93, 94].

В отличие от доминанты акцент не является сюжетно-композиционным центром, его может и не быть, или он может подчеркивать какой-то элемент в доминанте. Можно встретить ювелирные украшения, в композиции которых присутствуют несколько доминант. Часто это изделия сложных конструкций, выполненные из нескольких различных материалов. Например, подвес «Deep Sea Rising» спроектированный Refractal Designs. Конструкция этого изделия состоит из нескольких модулей, выполненных из желтого и белого золота. Главной доминантой, расположенной чуть ниже геометрического центра, является круглая пластина из синтетического сапфира, на которую нанесен золотой узор. Выше расположена второстепенная доминанта – бриллиант, соединяющий модули из разных металлов в общую композицию [78, 86, 89, 95].

При проектировании изделий с имитациями самородков золота и серебра объекты композиции выделялись при помощи цвета и фактуры материала. Подобные изделия будут относиться к концептуальному дизайну, для которого характерно не простое проектирование предметов, а придание им оригинальности и индивидуальности. В ювелирном искусстве характерной чертой концептуального дизайна также является отказ, как от дорогих ювелирных материалов, так и от ювелирных традиций прошлых художественных эпох [6, 89].

Браслет «Злато». Для использования круглых латунных образцов с фактурным рисунком на поверхности было решено создать эскиз браслета, в котором будут задействованы несколько таких вставок, поскольку они гораздо эффектнее выглядят в группе.

Чтобы акцентировать внимание смотрящего именно на латунных вставках дизайн проектируемого браслета не должен основываться на сложной композиции второстепенных элементов изделия и их строения. Поэтому было

решено отказаться от ассиметричных фрагментов, мелких деталей, усложняющих композиционный сюжет изделия, его общую структуру [79,80].

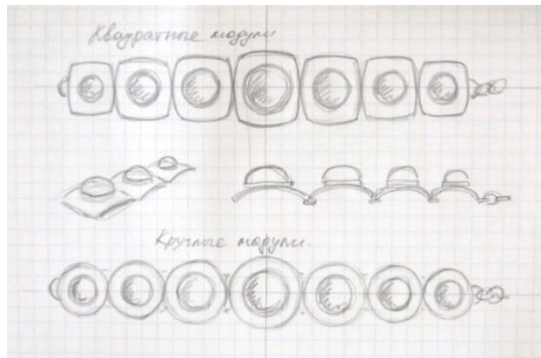
Различные объекты могут визуально «приближаться» или «удаляться» в зависимости от того каким цветовым тоном они обладают: теплым или холодным [90]. Руководствуясь этой теорией, для создания браслета следует выбрать в качестве основного материала белый металл, способствующий «выделению» желтых вставок.

Одним из главных средств построения композиции браслетов разных времен и разных стилей является ритм. Ритм - это чередование различных элементов, которое придает композиции четкость, стройность, особую выразительность. Это наиболее универсальный закон построения художественной формы, проявляющийся во всех видах и жанрах искусств. Существует частный вариант ритма, использующий только закономерность повтора - метр [81, 82]. С помощью метрического ряда достигается строгость и уравновешенность композиции [85]. Метрический ряд часто встречается в браслетах, а также в украшениях основным сюжетом которых является орнамент. Основным элементом метрического ряда в браслете «Злато» будет являться латунная вставка в обрамлении белого металла.

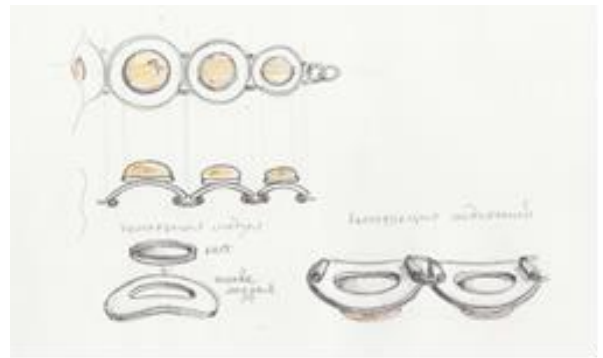
На основе всего вышеизложенного были выполнены несколько карандашных набросков, представленных на рисунке 4.1, а, позволяющих сравнить два варианта разных форм модулей – квадрат и круг, из которых впоследствии соберется браслет.

Оправа по своей форме приближенная к прямоугольнику позволит модулям браслета прилегать друг к другу как можно плотнее. Это визуально придаст готовому изделию более целостный единый силуэт. Однако у второго варианта имеется значительное преимущество с технологической и эргономической точек зрения. Поскольку при использовании подобных вставок возникает проблема, связанная с их немалым весом, это следует учитывать при проектировании изделия, иначе носить подобное украшение будет неудобно. Поэтому оптимальным вариантом для создания браслета со вставками из латуни является

использование оправы наименьшего размера, т.е. круглой формы. Кроме этого для облегчения веса готового изделия было решено использовать модули разного размера: от крупного в центре браслета на уменьшение к краям. Это также внесет динамичность в общую композицию изделия. Каждый из этих модулей слегка изогнут, это позволит элементам будущего браслета плотно прилегать к руке. Эскизные наброски таких модулей представлены на рисунке 4.1, б.



а



б

Рисунок 4.1 – Эскизный поиск будущего изделия: а – карандашные наброски разных вариантов браслета; б – конструкция модулей браслета

Необходимо также продумать характер поверхности оправы, он должен контрастировать с фактурной поверхностью вставок. Поэтому лучше отказаться от различного рода фактурирования металлической поверхности обрамляющей латунь, а использовать гладкий, отполированный металл [96]. Окончательный вариант эскиза браслета, выполненного в графических программах, представлен на рисунке 4.2.

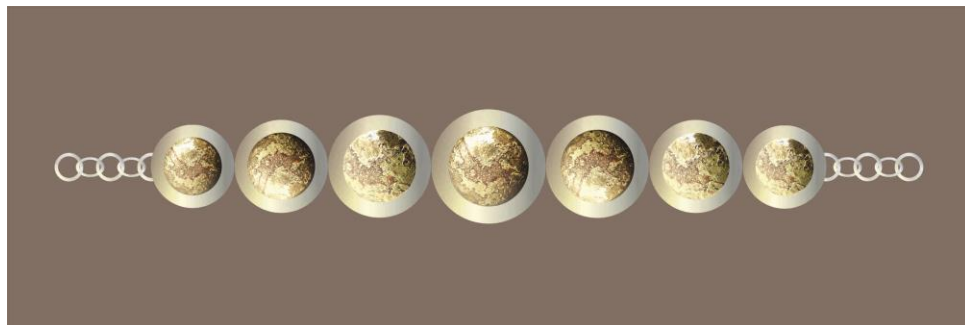


Рисунок 4.2 - Эскиз браслета «Злато» со вставками из латунных образцов с фактурной поверхностью. Предполагаемые материалы: латунь, мельхиор

Колье. Наибольшими преимуществами обладают отливки, полученные путем литья расплавленной латуни в воду, поскольку так они получаются пустотелыми, а значит, имеют гораздо меньший вес в отличие от образцов с фактурным рисунком на поверхности. Кроме этого при их использовании в изделии в качестве вставок не обязательно обращаться к традиционным методам закрепки (кастам, крапанам или штифтам), такие отливки можно припаивать непосредственно к деталям будущего изделия [67].

Для примера использования имитаций самородков золота из латуни в дизайне ювелирных изделий был разработан эскиз колье. Основными композиционными средствами при создании этого эскиза были выбраны симметрия и метр. Достаточно простой композиционный строй изделия, не содержащий сложных элементов и деталей, отдельных доминант и акцентов, заставляет все внимание сконцентрировать на ритмично расположенных имитациях самородков. Отказ от доминантных решений и усложненной композиции в данном случае объясняется достаточно сложной формой и неправильным рельефом используемых имитаций. Так желтые вставки будут выглядеть гораздо ярче, контрастируя с основой изделия, состоящей из деталей простых ровных форм, выполненных из белого металла. Эскиз колье, выполненный акварелью, представлен на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 – Эскиз колье с имитациями самородков золота. Предполагаемые материалы: латунь, мельхиор, кожаный шнур

Шкатулка. Латунь является достаточно прочным и твердым материалом, а потому имитации самородков из этого материала могут использоваться в любом изделии от ювелирного украшения до сувенирной продукции или предметов интерьера. Как уже говорилось выше, такие вставки не обладают большим весом, поскольку получаются полыми, а значит, их можно использовать в большом количестве.

В качестве примера был создан эскиз шкатулки, боковая поверхность которой инкрустирована имитациями золотых самородков. Сама шкатулка согласно эскизу выполнена из темного дерева в форме плоского параллелепипеда, на торцах которого располагаются латунные отливки. Они плотно уложены по всей боковой поверхности шкатулки, тем самым образуя сплошное покрытие со сложным неправильным рельефом. Готовый эскиз шкатулки, выполненный в графической программе Corel Draw, изображен на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 - Эскиз шкатулки инкрустированной имитациями самородков золота

Кольцо с жемчугом. Среди результатов экспериментов по получению имитаций самородков золота из латуни были интересные образцы в форме кратера или чаши. Они были получены путем литья расплава в холодную воду в диапазоне температур от 0 до 20 °С. Благодаря форме полученных отливок, отличающихся от остальных, было решено уделить им особое внимание и создать эскиз изделия, в котором такая вставка могла бы быть доминантой в общей композиции.

Было решено разработать эскиз кольца, в котором латунная вставка будет сочетаться с неметаллическим материалом. Роль этой вставки определила ее форма – то есть роль чаши, в которой словно в раковине будет покоиться жемчужина. Основная конструкция кольца, на которой будет располагаться доминанта, должна быть выполнена из белого металла – серебра или мельхиора. Такой выбор материалов будет способствовать наибольшему выделению и подчеркиванию цвета и формы доминанты.

В результате эскизного поиска был сделан ряд схематических набросков кольца. В основе его конструкции – достаточно простая шинка из белого металла, на которой крепится латунная вставка с черной жемчужиной внутри. В ходе поиска такая незамысловатая композиция изделия была усложнена ритмичным строением шинки и внедрением дополнительных декоративных элементов в лицевую часть кольца – рисунок 4.5, *а*. Итоговый эскиз кольца, созданный акварелью на бумаге, представлен на рисунке 4.5, *б*.

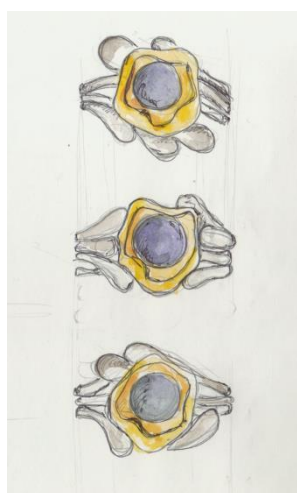
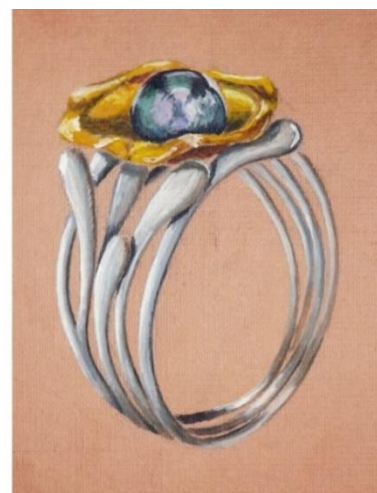
*а**б**в*

Рисунок 4.5 - Кольцо с латунной отливкой и жемчужиной внутри нее:

Кольцо с латунной отливкой, имитирующей самородок золота: *а* – поиск композиционного решения; *б* – карандашные наброски; *в* – итоговый эскиз.

Предполагаемые материалы: имитация самородка золота, серебро, жемчуг

Декоративные элементы шинки являются частью основы украшения, а потому также выполнены из белого металла. За счет этих элементов доминанта смещается от основного геометрического центра, создавая при этом

асимметричность в общей композиции изделия. Стоит также отметить, что добавление декоративных элементов выгодно и с технологической точки зрения, поскольку позволяют увеличить количество мест пайки латунной вставки с шинкой кольца, в результате чего конструкция изделия будет намного прочнее.

Подвес «Самородок». Изделия со вставками из олова будут требовать к себе особого бережного отношения из-за невысокой твердости этого металла [97]. Поэтому лучше выбирать изделия, подвергающиеся наименьшему воздействию окружающей среды при его эксплуатации, среди украшений к таким можно отнести серьги, кулоны и подвесы. При проектировании подвеса «Самородок» основной идеей являлось использование в качестве главного элемента или доминанты оловянную отливку, имитирующую самородок серебра без какой-либо дополнительной защитной среды.

Для разработки дизайна задуманного изделия была выбрана плотная целостная отливка, полученная в процессе первых экспериментов при литье оловянно-свинцового сплава в воду комнатной температуры при выдержке расплавленного металла перед попаданием в воду в течение 15 секунд. Эта оловянная отливка и будет главным доминантным элементом в композиции будущего подвеса.

Под доминантой понимается сюжетно-композиционный центр любого художественного произведения, в том числе и ювелирного изделия. При этом, совершенно не обязательно чтобы композиционный центр совпадал с геометрическим центром. Однако, дизайнер хорошо знает, что лучше всего визуально воспринимается центральная часть, поэтому он чаще всего идет по линии наименьшего сопротивления и доминанту старается располагать недалеко от геометрического центра композиции [79, 91, 98].

В результате эскизного поиска было решено использовать сочетание двух металлов – латуни и мельхиора, при этом мельхиор, как более твердый металл будет служить прямоугольной основой подвеса, а латунь – соединительным элементом между вставкой и основой. Во-вторых, сюжетная композиция

будущего изделия была усложнена добавлением декоративных элементов, являющихся частью латунного фрагмента.

Основа в данном случае представляет собой прямоугольник с вырезанной внутренней частью в форме такой же геометрической фигуры меньшего размера. Внутри этой металлической «рамы» располагается латунный элемент. Он имеет неровную форму, частично повторяющую контуры оловянной отливки, а дополнительные декоративные элементы, являющиеся продолжением этой пластины, должны быть выполнены из латунной проволоки круглого или прямоугольного сечения. Итоговый эскиз этого подвеса, изображенный на рисунке 4.6, был выполнен с использованием графических программ Adobe Photoshop CX6 и CorelDraw Graphics Suite X5.



Рисунок 4.6 - Эскиз подвеса «Самородок». Предполагаемые материалы: олово, латунь, мельхиор

Наличие декоративных элементов из латуни не способствуют увеличению выразительности доминанты, но они, как уже упоминалось, усложняют общую композицию элементов будущего подвеса, делают ее более интересной и живой, создавая ассиметрию в правильном ровном симметричном прямоугольнике из мельхиора. Кроме декоративной эти элементы будут нести также технологическую нагрузку, увеличивая количество мест и площадь сцепления латуни с мельхиором.

Еще один путь к созданию эффектной доминанты – фактурирование используемого металла. Фактурой называют специфический характер поверхности, которого добиваются специальными технологическими приемами в процессе обработки металлов с помощью различных покрытий, декорирования гравировкой, чернением, зернением, травлением, таушированием, матированием [83, 91]. Одним из перечисленных способов можно воспользоваться в данном случае для обработки поверхности латуни, с целью большего выделения доминанты.

Настольный шар. В отличие от плотных целостных оловянных отливок, которые предлагаются для использования в качестве вставок в изделия без дополнительной обработки, спектр использования оловянных образцов заключенных в эпоксидную смолу гораздо шире. Как уже упоминалось в разделе предыдущей главы посвященном возможностям использования имитаций самородков серебра, дополнительная защитная среда не только позволяет сохранить хрупкие дендриты оловянных отливок в их неповторимом первоначальном виде, но и дает возможность создавать совершенно разные по форме и размеру вставки, пригодные для использования всевозможных украшений и даже сувенирной продукции.

В качестве примера, отражающего все вышеперечисленные достоинства предлагаемого варианта по использованию имитаций самородков серебра, был разработан эскиз сувенирного шара. Подобные сувениры достаточно популярны, они изготавливаются из разных материалов: пластика, стекла, натурального камня. Последние очень интересны для коллекционеров природных камней и минералов, а также для людей придающих особое значение так называемым магическим свойствам камней.

Согласно эскизу шар должен быть выполнен из бесцветной ювелирной смолы, внутри которой расположена имитация серебряного самородка из олова. При выполнении такого шара в материале важно, чтобы используемая оловянная отливка имела сложную структуру, то есть сочетала в себе и плотные металлические элементы, и хрупкие дендриты. Чем сложнее строение выбранного

образца тем, интереснее будет результат. Также стоит отметить, что олово должно занимать большую часть объема шара. Поэтому если планируется выполнять изделие больших размеров, можно использовать несколько имитаций.

При создании эскиза этого изделия особое внимание уделялось подставке, на которой располагается шар. Она должна быть выполнена из неметаллического материала темного цвета - дерева или пластика. Согласно разработанному эскизу подставка представляет собой три фигурных опоры, на которые устанавливается шар из эпоксидной смолы. Таким образом, достигается высокая освещенность основной детали изделия и устойчивость его конструкции. Итоговый эскиз представлен на рисунке 4.7. В результате, на первый взгляд традиционный сувенир в таком исполнении приобретает необычную оригинальность и неповторимость.

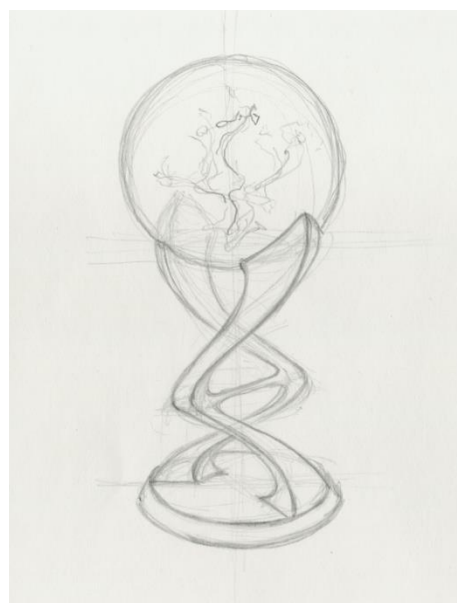


Рисунок 4.7 - Сувенир «Настольный шар». Предполагаемые материалы:

олово, эпоксидная смола, дерево

Подвес с аметистами. Используемая в качестве защитной среды бесцветная ювелирная смола обладает рядом преимуществ в отличие от обычной смолы янтарного цвета, применяемого в качестве клея в быту. Ювелирная смола не имеет запаха, что обеспечивает безопасность при работе с этим материалом. Об этих свойствах упоминалось в предыдущей главе. Также бесцветной прозрачной смоле можно придать практически любой цвет и оттенок. Для этого

подойдут полупрозрачные красящие вещества не на водной основе. К примеру, чернила на основе глицерина. Также могут подойти сухие красящие пигменты, например перманганат калия. На рисунке 4.8 представлены образцы, окрашенные чернилами разных цветов. При использовании чернил черного цвета эпоксидная смола приобретает серый оттенок различной интенсивности, при добавлении красных чернил – желтый, при использовании синих чернил – красный оттенок.



Рисунок 4.8 - Образцы кабошонов из эпоксидной смолы, тонированные чернилами

При добавлении разного количества красящего вещества можно варьировать интенсивностью цвета будущей вставки, при использовании нескольких цветов – получать полихромные образцы. Стоит отметить, что о полученном цвете кабошона из эпоксидной смолы стоит судить только после ее полной полимеризации, поскольку с момента добавления пигмента в отвердитель и последующего смешивания со смолой до полного ее застывания цвет и его интенсивность может изменяться.

Использование имитаций самородков серебра заключенных внутри вставок из эпоксидной смолы различных цветовых оттенков может открыть перед дизайнером новые возможности и перспективы. Для примера использования подобных кабошонов был разработан эскиз подвеса. В целом композиция этого изделия подчинена симметрии, в центре находится доминанта – овальный кабошон, неравномерно окрашенный в слабый фиолетовый цвет, внутри которого располагается оловянная отливка с хрупкими дендритами. Дополнительными

акцентами в композиции служат кабошоны аметиста той же цветовой гаммы, что и доминанта, но более насыщенного цвета. Основная конструкция подвеса должна быть выполнена из белого металла. Она состоит из различных элементов, расположение которых образует ритм в некоторых частях подвеса, а в сочетании с дополнительными акцентами вносит диссимметрию, оживляющую общий композиционный строй изделия. Эскиз, выполненный акварелью, изображен на рисунке 4.9.

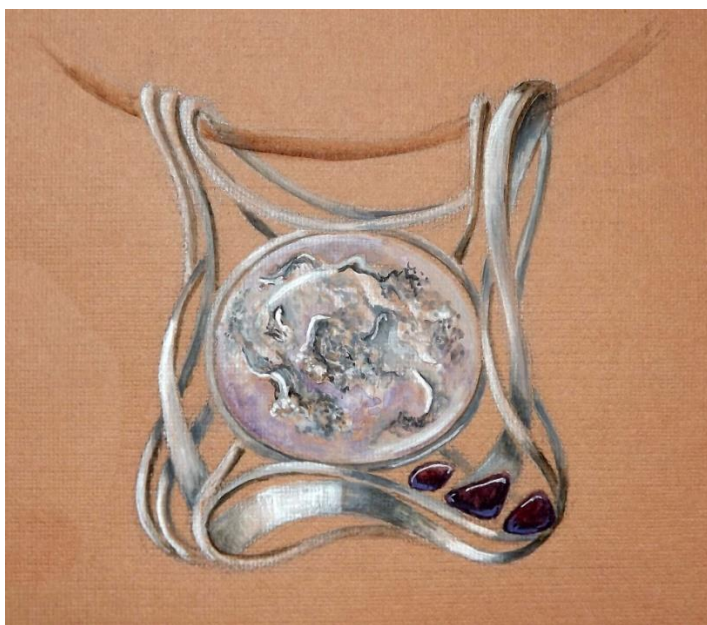


Рисунок 4.9 - Подвес с аметистами. Предполагаемые материалы: олово, эпоксидная смола, серебро, аметисты

4.2. Технология изготовления изделий с имитациями самородков золота и серебра

С позиций дизайна разработка проекта любого изделия предполагает наряду с разработкой оптимального стиля и эстетики изделия необходимость обеспечить его максимальную функциональность и осуществить рациональный выбор материала и технологии его изготовления [99]. Чтобы продемонстрировать

возможности использования имитаций самородков золота и серебра на практике несколько изделий по разработанным эскизам были выполнены в материале. Пошаговое выполнение и описание необходимых ювелирных инструментов представлено ниже.

Технология изготовления подвеса «Самородок»

На первом этапе изготовления подвеса были подготовлены основные его элементы – «рама» из мельхиора и центральный фрагмент из латуни. Для этого согласно выбранному эскизу из медно-никелевой пластины толщиной 0,9 мм при помощи лобзика была выпилена прямоугольная рама. Размеры ее внутренних и внешних длины и ширины указаны на рисунке 4.10 слева. Затем аналогично при помощи того же лобзика согласно эскизу была выпилена латунная фигура с двумя отверстиями внутри, ее ширина совпадает с внутренней шириной прямоугольника из мельхиора – рисунок 4.10 справа. Эти отверстия необходимы для уменьшения веса конструкции. Чтобы выпилить необходимую форму можно наносить контур детали на металл, процарапывая его шилом, однако гораздо удобнее наклеить на пластину рисунок, изображенный на бумаге. Для этого подойдет обычный канцелярский клей-карандаш. Поверхность пластины перед наклеиванием рисунка должна быть чистой.

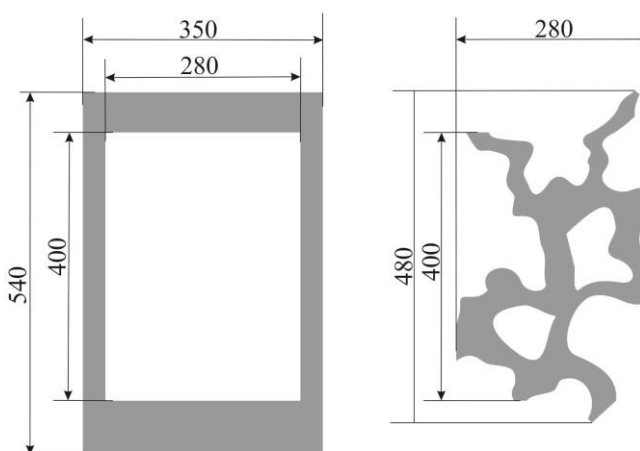


Рисунок 4.10 - Размеры основных деталей подвеса

Изделие во время выпиливания опирают на финагель и одновременно удерживают левой рукой обязательно в горизонтальном положении. При этом лобзик должен находиться в вертикальном положении. Зубцы пилки должны быть обращены к рукоятке. Выпиливая, следует помнить о постоянном поддержании выбранного угла пропила, в противном случае пилка будет ломаться. Натяжение пилки в рабочем состоянии не должно быть ни слабым, ни сильным: слабое натяжение не позволяет достичь точности пропила, сильное приводит к поломкам пилок. Чтобы ход пилки был легким и свободным, ее необходимо периодически смазывать воском [101 - 103].

Слегка изогнув по ширине прямоугольную основу и расположив внутри нее латунный элемент, эти две детали были спаяны в трех местах. Затем к трем свободным концам центральной детали согласно эскизу поочередно припаивались изогнутые элементы из круглой в сечении (диаметр 1,1 мм и 0,9 мм) латунной проволоки, формируя, таким образом, декоративную часть подвеса. Места соприкосновения медно-цинковой проволоки с мельхиоровой «рамой» также спаивались.

Петелька для подвеса была сформирована из мельхиоровой проволоки круглого сечения диаметром 0,7 мм. Это было сделано путем накручивания отоженной проволоки на спицу диаметром 4 мм, также для этого можно использовать круглогубцы, сформировав таким способом пружинку длиной 10 мм. Эта пружинка была припаяна к верхней части основы подвеса. Затем она была укреплена при помощи нескольких латунных элементов.

Чтобы закрепить оловянную вставку на латунной детали подвеса, необходимо наличие крапанов. Для этого замерив и отметив места, в которых должны располагаться крапаны, в них были просверлены отверстия диаметром 0,9 мм. Затем в эти отверстия были впаяны небольшие отрезки латунной проволоки круглого сечения диаметром равным диаметру выполненных отверстий. Лишняя проволока была обрезана при помощи кусачек, оставив над поверхностью латунной пластины по 4 мм для каждого крапана. Готовый подвес опускаем на 10 -15 минут в отбел для удаления остатков флюса.

После процесса отбеливания изделие промываем в проточной воде и просушиваем, затем с помощью различных надфилей доводим поверхность подвеса [103]. Выравниваем места соединения деталей мельхиора и латуни, все стыки, места пайки. Также для этого можно использовать разные насадки бормашинки, такие как алмазные резинки разнообразных форм или держатель со вставленной в него мелкозернистой наждачной бумаги. Необходимо также подпилить напильником все острые углы и выступающие части деталей, которые могут поцарапать кожу или зацепиться за одежду во время носки. Завершающим процессом этого этапа обработки является матирование поверхности латунной пластины, при помощи алмазного бора цилиндрической формы [105].

Как правило, при использовании вставок из камня или стекла перед полировкой изделия выполняют процесс их закрепки. В данном же случае учитывая невысокую твердость оловянной отливки, во избежание ее повреждения, сначала была произведена полировка.

Полирование подвеса производилось на полировальном станке войлочным кругом. В качестве абразива использовалась паста на основе окиси хрома - паста ГОИ [106]. В ее состав также входят стеарин, расщепленный жир, керосин, силикатель. При полировке необходимо пользоваться перчатками и фартуком. Изделие нужно осторожно прижимать к вращающемуся муслиновому кругу, крепко удерживая в руках и постепенно поворачивая его разными сторонами, пытаясь прополировать труднодоступные участки. Работать следует только в нижней четверти полировального круга. Также для полировки можно использовать бормашинку. Очистка изделия после полирования осуществлялась промыванием в ультразвуковой ванне наполненной горячим мыльным раствором, после чего изделие прополаскивалось в чистой проточной воде, а затем высушивалось [103].

Крапановая закрепка обеспечивает лучшее, по сравнению с глухой закрепкой, освещение вставки, позволяет увидеть ее форму. С внутренней стороны примерно на середине каждого крапана, треугольным надфилем делаем неглубокие надпилы, для обеспечения наилучшего сгиба металлической

проволоки. Затем помещаем оловянную отливку между крапанами и сгибаем их при помощи тонкогубцев. Важно аккуратно и не торопясь производить гибку крапанов, поскольку при слишком сильном давлении можно повредить целостность оловянной вставки [106, 107].

После завершения всех технологических операций получился подвес, изображенный на рисунке 4.11, в котором желтый и белый металл сочетаются со вставкой из олова, имитирующей самородок серебра.



Рис. 4.11 - Готовый подвес из мельхиора и латуни со вставкой из олова, имитирующей серебряный самородок

Технология изготовления браслета «Злато»

Согласно выбранному эскизу браслета, он состоит из семи подобных модулей разного размера, каждый из которых имеет круглую слегка выгнутую основу и расположенный на ней каст, для крепления вставки. Изготовление браслета начинается с подготовки этих деталей для каждого модуля отдельно.

На первом этапе были выполнены верхние элементы модулей, на которых впоследствии будут располагаться латунные образцы. Для этого из тонкой пластины мельхиора (толщиной 0,4 мм) под каждый такой образец при помощи

ножниц по металлу были вырезаны круги диаметром на 2-4мм больше диаметра самих вставок. Затем также отдельно под каждую вставку из мельхиоровой проволоки прямоугольного сечения толщиной около 0,4 мм были спаяны кольца внешнего диаметра, которых был чуть меньше диаметра соответствующей вставки. Каждое кольцо припаивалось к вырезанному из пластины кругу. После соединения припоем необходимо обрезать лишние кромки пластин, оставшиеся за пределами кольца и зачистить стык напильником [105].

В результате для каждой вставки получились «гнезда», дно которых необходимо сделать слегка выгнутым, чтобы обеспечить наиболее плотную посадку латунных образцов, обратная сторона которых не плоская, а выпуклая. Для этого была использована анка и пунзеля небольшого диаметра. Такой инструмент предназначен для формирования сферических заготовок пустотелых изделий (изготовление пустотелых шаров, кастов и т.д.) [105]. В итоге получились своего рода чаши. Диаметр этих чаш намеренно был сделан чуть меньше диаметра соответствующей вставки, чтобы при просмотре сверху не было видно краев каста, а только латунный образец, как самостоятельный элемент.

Для изготовления основ модулей была использована пластина мельхиора толщиной 0,9 мм. Каждая из этих основ представляет собой металлический круг в центре, которого отверстие аналогичной формы. Диаметр такого отверстия каждого модуля равен диаметру подготовленной для него мельхиоровой чаши. Эти основы выпиливались при помощи лобзика. Для выпиливания элементов внутри детали, необходимо предварительно просверлить отверстие внутри рисунка, чтобы вставить в него пилку. Сверление начинают и производят несильным мягким нажимом на наконечник бормашинки. Сверлят не за один проход, а в несколько приемов, периодически высвобождая сверло. Главное при сверлении - не допустить перегрева сверла, иначе оно затупится. [100, 103]. По завершении процесса выпиливания должны получиться семь круглых металлических пластин с отверстием внутри, размеры которых указаны на рисунке 4.12.

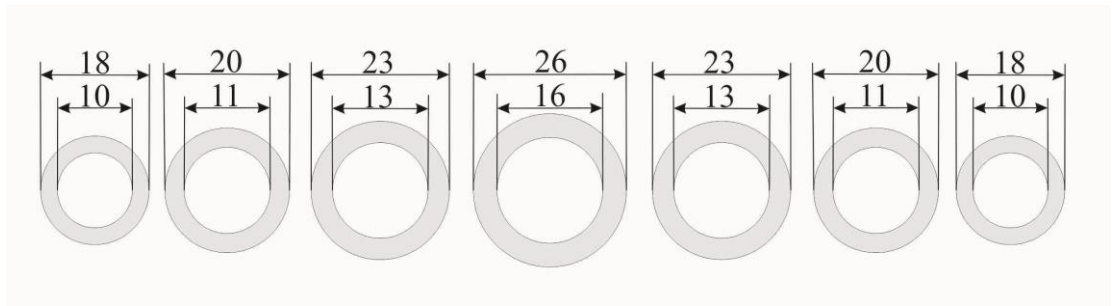


Рисунок 4.12 - Размеры основных модулей браслета

Выпиленные круги слегка выгибаются на ригеле для придания объема деталям, а затем соединяются с кастами-чашами. Для этого каждая чаша аккуратно устанавливается на основе соответствующего размера, расположенной выпуклой стороной вверх и припаивается. На каждый модуль приходится по два места пайки – в точках соприкосновения каста с выступающими краями внутреннего диаметра основы.

Следующим этапом изготовления является сборка браслета. Сначала необходимо припаять соединительные детали к каждому модулю. Для этого отожженная тонкая круглая проволока диаметром 0,45 мм была плотно накручена на спицу диаметром 1,5 мм до образования плотной пружинки. Эта пружинка нарезается на отрезки, по два для каждого модуля. Для центрального большого модуля длина отрезков составляет по 6 мм, следующие пружинки отрезаются чуть меньшего размера в соответствии с меньшим размером модулей. Длина такого отрезка для самого крайнего маленького модуля составляет 4 мм. Затем каждая пара полученных пружинки припаивается к оборотной стороне соответствующего модуля, располагаясь на приподнятых краях основы параллельно оси проходящей через точки соединения верхней и нижней частей модуля.

Все семь частей будущего браслета необходимо расположить в порядке, в котором они должны быть в изделии. Детали необходимые для соединения модулей изготавливались также из проволоки круглого сечения диаметром 1 мм. При помощи плоскогубцев из нее формировались прямоугольники длиной чуть больше длины пружинки, расположенных на нижней части модулей, которые необходимо соединить друг с другом. Ширина этих прямоугольников равна

расстоянию между пружинками соседних модулей. Начиная с крайнего, модули были соединены полученными деталями, а затем были спаяны стыки на каждом из них. К концам браслета с одной стороны был прикреплен карабин, с другой – цепочка, сформированная из колец диаметром 7 мм. Все соединительные детали также как и модули были выполнены из мельхиора.

Фиксировать латунные образцы в верхушках модулей предполагалось по принципу, который используется при креплении жемчужин в ювелирных изделиях. Поэтому в центре каждого каста было просверлено отверстие 0,8 мм, в которое затем была впаяна проволока такого же диаметра и длиной 5-7 мм.

После отбеливания изделия в растворе лимонной кислоты, его поверхность была подвержена процессу доводки для выравнивания плоскостей, удаления натеков лишнего припоя. Также на этом этапе были обрезаны излишки вышеописанных проволок, оставив около 2 мм над поверхностью каста. По завершении этих действий браслет был отполирован на муслиновом круге с использованием пасты ГОИ. Затем после тщательной промывки изделия и последующей сушки необходимо закрепить в нем латунные образцы. Для этого в центре каждого модуля с его оборотной стороны было просверлено отверстие диаметром 0,9 мм и глубиной равной длине проволоки (или чуть больше), впаянной в соответствующий каст. При помощи двухкомпонентного эпоксидного клея каждая вставка была зафиксирована на подготовленном для нее месте. Штырьки в центре кастов и отверстия в латунных образцах были необходимы для более прочного сцепления двух металлов. Перед склеиванием важно убедиться, что все склеиваемые поверхности чистые и сухие, при необходимости следует дополнительно обезжирить их ацетоном. В результате был получен браслет, изображенный на рисунке 4.13, состоящий из семи подобных модулей, в центрах которых расположены латунные вставки с фактурным рисунком на поверхности.



Рисунок 4.13 - Браслет со вставками из латуни с фактурными поверхностями [58]

4.3. Обсуждение результатов

В данной главе представлены дизайнерские решения, демонстрирующие возможности использования имитаций самородков золота и серебра в качестве вставок в ювелирных изделиях. Рассмотренные в эскизы украшений и предметов интерьера демонстрируют различные вариации использования имитаций самородков золота и серебра, а также латунных образцов с фактурным рисунком на поверхности, полученных в ходе первых экспериментов, в изделиях разного назначения.

Разработанные технологические приемы получения имитаций самородков драгоценных металлов из расплавов латуни и олова при отливке в охлаждающие жидкости позволяют получать образцы, обладающие эстетическими свойствами, соответствующими запросам современного ювелирного дизайна. Для демонстрации практического использования подобных вставок некоторые из

представленных на эскизах изделия были выполнены в материале с подробным описанием технологии изготовления и выбором способа заделки имитаций.

Разработанная технология получения имитаций самородков золота и серебра принята к внедрению на предприятии ОАО «Байкалкварцсамоцветы» (акт внедрения представлен в Приложении А). Технологические приемы получения имитаций самородков благородных металлов рассматриваются в учебной дисциплине «Ювелирные металлы и сплавы», а полученные в процессе экспериментальных исследований образцы включены в учебную коллекцию дисциплины «Ювелирное и камнерезное искусство» (акт внедрения в учебный процесс кафедры геммологии ФГБОУ ВО «Иркутский Национальный Исследовательский технический университет» для направления 29.03.04 «Технология художественной обработки материалов» представлен в Приложении Б)

Имитации самородков благородных металлов с заданными эстетическими характеристиками могут обеспечить наглядность в учебном процессе и сохранность дорогостоящих и редких музейных образцов. Это позволяет рекомендовать их получение для учебных и музейных коллекций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретические и экспериментальные исследования, направленные на разработку технологии получения качественных имитаций самородков золота и серебра, позволили сделать следующие выводы:

1. Изучение литературных источников и методов получения имитаций самородков благородных металлов показало, что на сегодняшний день не существует экономичной и эффективной технологии их получения для ювелирного дизайна. В процессе исследования доказана возможность получения таких имитаций из неблагородных металлов и разработаны технологические приемы создания дизайнопригодных имитаций самородков золота и серебра для создания сувенирных и ювелирных изделий класса бридж.

2. Учитывая особенности предлагаемого технологического процесса получения имитаций самородков золота и серебра были определены основные критерии выбора металлов, позволяющих добиться максимального сходства с природными самородками: цвет, температура плавления, жидкотекучесть. Для создания имитаций самородков золота была выбрана латунь марки Л63, для имитаций самородков серебра – чистое олово.

3. На основе экспериментальных данных определены наиболее подходящие условия для создания качественных имитаций самородков золота и серебра. Для получения латунных отливок максимально схожих с природными самородками золота, обладающих золотисто-желтым цветом, неправильной формой и неровным рельефом, необходимо использование воды в интервале температур от 0 до 25 °С в качестве охлаждающей жидкости и обеспечение температуры расплава при его попадании в воду 970 ± 5 °С.

4. Для получения имитаций самородков серебра, содержащих в своей форме дендриты в виде моховидных агрегатов в количестве 15-20 % от общей массы отливки, необходимо использовать оловянный расплав температурой 300 ± 5 °С и охлаждающую жидкость в диапазоне температур от 0 до 35 °С. Для получения

имитаций самородков, серебра содержащих в своей форме дендриты в виде моховидных агрегатов в количестве 35-40 % от общей массы отливки, необходимо использовать оловянный расплав температурой 350 ± 5 °С и охлаждающую жидкость в диапазоне температур от 0 до 35 °С. Для получения имитаций самородков серебра, содержащих в своей форме дендриты в виде сочетания моховидных и проволоковидных агрегатов в количестве 25-30 % от общей массы отливки, необходимо использовать оловянный расплав в температурном диапазоне от 350 до 400 ± 5 °С и охлаждающую жидкость температурой 40-45 °С. Для получения имитаций самородков серебра, в форме которых преобладают дендриты в виде проволоковидных агрегатов в количестве 5-10 % от общей массы отливки, необходимо использовать оловянный расплав температурой 350 ± 5 °С и охлаждающую жидкость температурой 50-55 °С. Для получения имитаций самородков серебра, в форме которых преобладают дендриты в виде проволоковидных агрегатов в количестве 15-20 % от общей массы отливки, необходимо использовать оловянный расплав температурой 400 ± 5 °С и охлаждающую жидкость температурой 50-55 °С.

5. Проанализированы технологические возможности использования полученных имитаций самородков в дизайне ювелирных изделий и обоснована необходимость применения эпоксидной смолы или жидкого пластика в качестве защитного покрова для сохранения образцов с хрупкими дендритоподобными элементами, предложены варианты их обработки для получения ювелирных вставок.

6. Выполнена апробация результатов исследований в проектировании ряда изделий с использованием полученных имитаций самородков золота и серебра и реализации их в материале.

7. Разработанная технология получения имитаций самородков золота и серебра принята к внедрению на предприятии ОАО «Байкалкварцсамоцветы» (акт внедрения представлен в Приложении А).

8. Технологические приемы получения имитаций самородков благородных металлов рассматриваются в учебной дисциплине «Ювелирные металлы и

сплавы», а полученные в процессе экспериментальных исследований образцы включены в учебную коллекцию дисциплины «Ювелирное и камнерезное искусство» (акт внедрения в учебный процесс кафедры геммологии ФГБОУ ВО «Иркутский Национальный Исследовательский технический университет» для направления 29.03.04 «Технология художественной обработки материалов» представлен в Приложении Б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровская, Н.В. Самородное золото / Н.В. Петрова. – М.: Наука, 1973. – 347 с.
2. Потемкин, С.В. Благородный 79-й. Очерк о золоте / С.В. Потемкин. – М.: Недра, 1988. – 176 с.
3. Шмакин, Б.М. История ювелирного искусства. История геммологии – Учеб.пособие / Б.М. Шмакин – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. – 210с.
4. Claudia Gasparini. Gold and other precious Metals – from Ore to Market / Springer-Verlag. – N.Y., 1993. – 336 p.
5. Золото [Электронный ресурс]: Мегаэнциклопедия Кирилла и Мефодия. – Режим доступа: <http://megabook.ru/> (дата обращения: 20.09.2014)
6. Лобацкая, Р.М. Кольцо Прометея. Ювелирные коллекции Иркутска / Р.М. Лобацкая, А.Д. Князев. – Иркутск: Издательство ИрГТУ, 2011 – 304 с.
7. Ювелирные металлы [Электронный ресурс]: Ювелирум. Портал об украшениях и ювелирных секретах. – Режим доступа: <http://juvelirum.ru/spravochnik-po-dragotsennym-metallam/> (дата обращения: 9.04.2015)
8. Бойцов, А.В. Благородные металлы / А.В. Бойцов, Г.Ф. Бойцова, Н.А. Авдони́на. – М.: Металлургиздат, 1946. – 388 с.
9. Петровская, Н.В. Золотые самородки / Н.В. Петровская. – М.: Наука, 1993. – 191 с.
10. Халанский, С.В. Золото Колымы / С.В. Халанский. – Магадан: Дикий Север, 2005. – 296 с.
11. Смолин, А.П. Самородки золота Урала / А.П. Смолин. - М.: «Недра», 1970. – 144 с.
12. Венецкий, С.И. Загадки и тайны мира металлов / С.И. Венецкий. – М.: МИСиС, 1999. – 374 с.

13. Максимов, М.М. Очерк о серебре. 3-е изд., перераб. и доп. / М.М. Максимов – М.: Недра, 1981. – 207 с.

14. Серебро самородное [Электронный ресурс]: Волшебный мир драгоценных камней. – Режим доступа: <http://pro-kamni.ru/serebro-samorodnoe/> (дата обращения: 12.04.2015)

15. Тройская унция. Ювелирный портал [Электронный ресурс]: Редкие антикварные вещицы. Август Холмстром. Ювелирные фотографии / сост. Веселов О. – Режим доступа: <http://www.тройскаяунция.рф/redkie-antikvarnye-veshhiicy/> (дата обращения: 10.05.2015)

16. Manufactured gold/silver-in-quartz / M.L. Brendan // Gems & Gemmology. – 2005. – vol.XIX. – pp. 63-64.

17. Кольцо из серебра «Самородок» [Электронный ресурс]: Электронный каталог. – Режим доступа: http://andre-eva.yapokupayu.ru/buy/3217738-koltso_iz_serebra_samorodok/ (дата обращения: 12.04.2015)

18. Еланский, Г.Н. Основы производства и обработки металлов: учеб. для вузов / Г.Н. Еланский, Б.В. Линчевский, А.А. Кальменев // Моск. гос. вечер. металлург. ин-т. – М.: МГВМИ, 2005. – 417 с.

19. Кнорозов, Б.В. Технология металлов и материаловедение / Б.В. Кнорозов, Л.Ф. Усова, А.В. Третьяков [и др.]. – М.: Металлургия, 1987. – 800 с.

20. Жидкотекучесть металлов [Электронный ресурс]: Большая энциклопедия нефти и газа. – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru.id18470p1.html/> (дата обращения: 12.02.2015)

21. Урвачев, В.П. Ювелирное и художественное литье по выплавляемым моделям сплавов меди / В.П. Урвачев, В.В. Кочетков, Н.Б. Горина - Челябинск: Металлургия, 1991 – 166 с.

22. Жидкотекучесть сплавов [Электронный ресурс]: Большая советская энциклопедия. – Режим доступа: <http://bse.sci-lib.com/> (дата обращения: 9.04.2015)

23. Новиков, И.И. Металловедение, термообработка и рентгенография / И.И. Новиков. – М.: МИСИС, 1994. – 480 с.

24. Миллер, Л.Е. Металловедение и обработка цветных металлов и сплавов / Л.Е. Миллер. – М.: Металлургиздат, 1957. – 280 с.
25. Латуни. Цветное литье [Электронный ресурс]: Завод металлоконструкций «Гефест» /СПб.- 2007. – Режим доступа: <http://www.gefestmaster.ru/latuni/> (дата обращения: 13.11.2014)
26. Knott, J.F. Fracture Mechanics: Worked examples / J.F. Knott, P.A. Witney. – London : The Institute of Materials, 1993. – 108 p.
27. История латуни [Электронный ресурс]: Все о металлах. – Режим доступа: <http://radiatori-kba.ru/stati/76-latun.html/> (дата обращения: 8.10.2014)
28. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1999. – 413 с.
29. Куманин, В.И. Материалы для ювелирных изделий / В.И. Куманин, В.Б. Лившиц // под ред. д-ра техн. наук Голубятникова И.В. – М.: Астрель; Кладезь, 2012. – 224 с.
30. Гелин, Ф. Д. Металлические материалы : пособие для проф.-техн. учеб. заведений машиностроит. профиля / Ф. Д. Гелин, А. С. Чаус . – Минск: Дизайн ПРО, 1999. – 350 с.
31. Городничий, Н.И. Литейное производство цветных металлов и сплавов / Н.И. Городничий. – М.: Металлургия, 1989. – 102 с.
32. Aluminium properties [Электронный ресурс]: European aluminium. – Режим доступа: <http://www.european-aluminium.eu/> (дата обращения: 10.05.2015)
33. Олово [Электронный ресурс]: Википедия – свободная энциклопедия. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/> (дата обращения: 15.02.2014)
34. Россошинский, А.А. Олово в процессах пайки / А. А. Россошинский, Ю.К. Лапшов, Б.Н. Яценко . – Киев: Наук. думка, 1985. – 200 с.
35. Олово. Физические свойства [Электронный ресурс]: Все о металлах. – Режим доступа: <http://www.allmetals.ru/metals/tin/> (дата обращения: 16.05.2015)

36. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов: учеб. для машиностроит. и металлург. спец. вузов / Ю. М. Лахтин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1993. – 446 с.

37. Плошкин, В.В. Материаловедение: Учебное пособие для вузов / В.В. Плошкин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2013. – 463 с.

38. Коттрелл, А.Х. Строение металлов и сплавов / Коттрелл А.Х. – М.: Металлургиздат, 1961. – 288с.

39. Сорокина, В.Е. Эксперименты по получению имитаций самородных металлов для использования в ювелирном дизайне / В.Е. Сорокина, Р.М. Лобацкая // Дизайн. Теория и практика / МГУПИ. – М., 2014. - № 15. – С. 53-64

40. Инструмент. Оборудование. Технологии [Электронный ресурс]: Интернет-магазин «Сапфир». – Режим доступа: <http://www.sapphire.ru/> (дата обращения: 5.11.2014)

41. Пикунов, М.В. Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание отливок: Учебное пособие для вузов / М.В. Пикунов. – М.: МИСИС, 1997. – 376 с.

42. Сорокина, В.Е. Цветные металлы в качестве вставок в ювелирных изделиях и имитаций золотых и серебряных самородков / В.Е. Сорокина, Р.М. Лобацкая // XVI Всероссийская научно-практическая конференция и смотр конкурс творческих работ по направлению подготовки «Технология художественной обработки материалов»: сб. ст. / МАМИ. – М., 2013. – 334 с. – С. 282-286

43. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, Елагин В.И. - М.: Металлургия, 1981. – 416 с.

44. Сорокина, В.Е., Использование цветных металлов в качестве вставок в дизайне ювелирных украшений / В.Е. Сорокина, Р.М. Лобацкая // Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Геонауки-2013: актуальные проблемы изучения недр»: сб. ст. / ИрГТУ. – Иркутск, 2013. – Выпуск 13. – 340 с. – С. 207-211

45. Туровцева, З.М., Анализ газов в металлах / З.М. Туровцева, Л.Л. Кунин. – Москва-Ленинград.: Изд-во Академии Наук СССР, 1959. – 391 с.
46. Чернега, Д.Ф. Газы в цветных металлах и сплавах / Д.Ф. Чернега, О.М. Бялик. - М.: Металлургия, 1982. – 176 с.
47. Техника молодежи. Электронный журнал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tehnika-molodezhi.com/> (дата обращения: 10.03.2015)
48. Химические вещества. Бура [Электронный ресурс]: Книжный интернет-магазин. – Режим доступа: <http://www.cniga.com.ua/index.files/bura.htm/> (25.04.2015)
49. Структура металлов [Электронный ресурс]: Материаловедение. – Режим доступа: <http://www.irelat.ru/> (дата обращения: 21.03.2015)
50. Латуни [Электронный ресурс]: Машиностроительный завод «Автолитмаш» / Воронеж, 2007. – Режим доступа: <http://avtolitmash.ru/> (дата обращения: 13.11.2014)
51. Отбеливание металлов [Электронный ресурс]: Ювелирное дело. – Режим доступа: <http://uwelir.ru/dealership/> (дата обращения: 9.04.2015)
52. Цвета RAL [электронный ресурс]: Инструмент для подбора цветов и генерации цветовых схем. – Режим лоступа: <http://colorscheme.ru/gal-colors> (дата обращения: 4.10.2016)
53. Микроструктура и фазовый состав сплавов [Электронный ресурс]: Предприятие мелкооптовой торговли металлопрокатом «ЧП «Нормис», Донецк. – Режим доступа: <http://normis.com.ua/2012-05-11-18-13-45> (дата обращения: 17.12.2014)
54. Сорокина, В.Е. Особенности кристаллизации латуни в охлаждающей жидкости / В.Е. Сорокина // Вестник ИрГТУ / Изд-во ИРНИТУ. – Иркутск, 2017. - № 6. – С. 128-134
55. Мальцев, М.В. Металлография цветных металлов и сплавов / М.В. Мальцев, Т.А. Барсукова. – М.: Металлургиздат, 1960. – 373 с.

56. Сорокина, В.Е. О формировании отливок из сплава Cu-Zn в условиях ускоренного охлаждения / В.Е. Сорокина // Литейное производство / Издательский дом «Литейное производство». – М., 2017. - № 9. – С. 18-21

57. Сорокина, В.Е. Эксперименты по отливке олова в охлаждающие жидкости и получение имитации самородков серебра для ювелирного дизайна / В.Е. Сорокина, Р.М. Лобацкая // Дизайн. Теория и практика / МГУПИ. – М., 2015. – № 19. – С. 17-30

58. Сорокина, В.Е. Технология нестандартной обработки олова с целью получения имитаций серебряных самородков / В.Е. Сорокина, Р.М. Лобацкая // XVII Всероссийская научно-практическая конференция и смотр-конкурс творческих работ по направлению подготовки «Технология художественной обработки материалов»: сб. ст. / ИрГТУ. – Иркутск, 2014 – 432 с. – С. 337-340

59. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spmi.ru/> (дата обращения: 26.04.2015)

60. Древнее будущее «Alex & Lee» // Графо Platinum. – 2006. № 3. – С. 14- 6

61. Junwex 2007 // Графо Platinum. – 2007. № 2. – С. 8-11

62. Матвеев, И.И. Эпоксидные смолы и их применение / И.И. Матвеев, Н.Н. Настай. - Ленинград: Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1957. – 29 с.

63. Крыжановский, В.К. Технические свойства пластмасс: Учебное пособие В.К. Крыжановский. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. – 256 с.

64. Лапицкий, В.А. Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков / В.А. Лапицкий, А.А. Крицук. - Киев: Наук.думка, 1986. – 96 с.

65. Худяков, В.А. Современные композиционные строительные материалы / В.А. Худяков, А.П. Прошин, С.Н. Кислицына. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 220 с.

66. Composites market [Электронный ресурс]: Ероху. URL: <http://www.b-composites.net/> (дата обращения: 15.03.2015)

67. Сорокина, В.Е. Способы использования имитаций самородков золота и серебра в ювелирном дизайне / В.Е. Сорокина, Р.М. Лобацкая // Всероссийская научно-технической конференция с международным участием «Геонауки-2015: актуальные проблемы изучения недр»: сб. ст.. / ИРНТУ. – Иркутск, 2015. – Выпуск 15. – 352 с. – С. 96-101

68. Эпоксидные смолы [Электронный ресурс]: Производство и продажа композитных материалов различного назначения, Киев. – Режим доступа: <http://elastoform.prom.ua/> (дата обращения: 2.04.2015)

69. Эпоксидные компаунды ПЭО [Электронный ресурс]: Интернет-магазин для творчества «Нестандарт». – Режим доступа: http://artfinding.ru/dokumentaciya/epoksidnye_kompaundy/ (дата обращения: 2.04.2015)

70. Экспертное заключение №78.01.09.025.П.345 по результатам экспетизы клей-компаунда [Электронный ресурс]: Санкт-Петербургский Государственный Технологический Институт. – Режим доступа: http://www.lfpti.ru/lp_article_08.htm/ (дата обращения: 5.04.2015)

71. Корнилов, Н.И. Ювелирные камни / Н.И. Корнилов, Ю.П. Солодова. – М.: Недра, 1987. – 282 с.

72. Работа с эпоксидными смолами [Электронный ресурс]: Эпоксидные смолы, отвердители, пластификаторы. – Режим доступа: <http://www.epoksid.ru/> (дата обращения: 12.03.2015)

73. Смола эпоксидная Ероху 520 [Электронный ресурс]: Интернет-магазин эпоксидных смол и сопутствующих товаров, Винница. – Режим доступа: <http://эпоксидная-смола.in.ua/> (дата обращения: 20.02.2014)

74. Свойства и области применения эпоксидных смол [Электронный ресурс]: Новые химические технологии. Аналитический портал химической промышленности. – Режим доступа: <http://newchemistry.ru/> (дата обращения: 15.09.2014)

75. Маркова, Л. В. Технология облагораживания горелых пород для ювелирного дизайна / Л.В. Маркова, Р.М. Лобацкая // Дизайн. Теория и практика. – 2014. № 18. – С. 100-113
76. McClure, S. F. Identification and durability of lead glass-filled rubies / Shane F. McClure, Christopher P. Smith, Wuyi Wang, Matthew Hall // Gems and Gemology. – San Diego, 2006. – P. 22-34
77. Розенсон, И. Основы теории дизайна / И. Розенсон. – СПб.: Питер, 2006. – 224 с.
78. Куманин, В.И. Дизайн. Материалы. Технологии: Энциклопедический словарь / под ред. В.И. Куманина, М.С. Кухта. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 320 с.
79. Куманин, В.И. Дизайн. История, современность, перспективы: Учебное пособие / В.И. Куманин, Р.М. Лобацкая, М.М. Черных [и др.] / под ред. И.В. Голубятникова. – М.: Мир энциклопедий Аванта+; Астрель, 2011. – 224 с.
80. Хохрин, Е.В. Дизайн: Учебное пособие / Е.В. Хохрин, Н.В. Воронцова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 128с.
81. Нестеренко, О.И. Краткая энциклопедия дизайна / О.И. Нестеренко. – М.: Мол. гвардия, 1994. – 315с.
82. Олвер, Э. Искусство ювелирного дизайна. От идеи до воплощения / Элизабет Олвер / Пер. с англ. В.Ю. Уфимцев. – Омск: Издательский дом «Дедал-Пресс», 2008 – 172 с.
83. Степанов, А.В. Объемно-пространственная композиция: Учебник для вузов / А.В. Степанов, В.И. Мальгин, Г.И. Иванова и др. – М.: Издательство «Архитектура-С», 2004. – 256с.
84. Шорохов, Е.В. Композиция: Учебное пособие / Е.В. Шорохов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Просвещение, 1986. – 207 с.
85. Иконников, А.В. Эстетические ценности предметно-пространственной среды / А.В. Иконников, М.С. Каган, В.Р. Пилипенко [и др.]: Под общ. ред. А.В. Иконникова; ВНИИ техн. эстетики. – М.: Стройиздат, 1990. – 335с.

86. Логвиненко, Г.М. Декоративная композиция: учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений / Г.М. Логвиненко - М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2004. – 144 с.
87. Даглдиян, К.Т. Декоративная композиция / К.Т. Даглдиян. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 312 с.,ил.
88. Von Neumann R. The design and creation of jewelry. – Philadelphia; New York: [б.и.], 1963.
89. Claude Mazloun. Designer jewellery. The world`s top artists / Gremese International. – Rome, 1993. – 192 p.
90. Лобацкая, Р.М. Фантазийные огранки, как основа объемно-доминантных решений в дизайне ювелирных украшений / Р.М. Лобацкая, П.С. Генеральченко, В.Е. Сорокина // XVI Всероссийская научно-практическая конференция и смотр конкурс творческих работ по направлению подготовки «Технология художественной обработки материалов»: сб. ст. / МАМИ. – М., 2013. – 334 с. – С. 131-136
91. Сорокина, В.Е.. Новые дизайнерские решения для создания ювелирных украшений / В.Е. Сорокина, Р.М. Лобацкая, П.С. Генеральченко // Дизайн. Теория и практика / МГУПИ. – М., 2013. - № 12. - С. 9-30
92. Jewels of the Edwardians / E.B. Misiorowski, N.K. Hays // Gems & Gemmology. – 1993. – №3. – pp. 152-171.
93. Untrucht O. Jewelry concepts and technology. – London. Hale: [б.и.], 1983.
94. Buccelatti. Timeless art / Edited by Sylvia Luzzatto. – Milan: 5 Continents, 2008. – 200 p.
95. Johnson, M.L. Synthetic sapphire assemblage with a gold «fractal» design / M.L. Johnson, J.I. Koivula // Gems & Gemmology. – 1996. – № 4. – pp. 291-292.
96. Sprintzen, A. Jewelry: Basic techniques and design / A. Sprintzen. – Chilton: [б.и.], 1980.
97. Сорокина, В.Е. Имитации самородков в дизайне ювелирных изделий / В.Е. Сорокина, Р.М. Лобацкая // Всероссийская научно-техническая конференция

с международным участием «Геонауки-2014: актуальные проблемы изучения недр»: сб. ст. / ИрГТУ. – Иркутск, 2014. – Выпуск 14. – 240 с. – С. 119-124

98. Аносова, С.С. Основы композиции: учебное пособие / С. С. Аносова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 159 с.

99. Пирайнен, В.Ю. Технология художественной обработки металлов: Учебное пособие / В.Ю. Пирайнен, М.А. Иоффе, О.Н. Магницкий. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 487 с.

100. Новиков, В.П. Книга начинающего ювелира / В.П. Новиков. – СПб., 2001. – 416с.

101. Новиков В.П. Ручное изготовление ювелирных украшений / В.П. Новиков. – СПб.: Политехника, 1991. – 208 с.

102. Простаков, С.В. Ювелирное дело: Учебный курс / С.В. Простаков. – Ростов н/Д.: Феникс, 1999. – 463 с.

103. МакКрайт, Т. Полное руководство по обработке металлов для ювелиров. Иллюстрированный справочник / Тим МакКрайт / Пер. с англ. – Омск: Издательский дом «Дедал-Пресс», 2006 – 206 с.

104. Shoenfelt, J.F. Designing and making handwrought jewelry / J.F. Shoenfelt. – London; Mc Graw Hill: [б.и.], 1960.

105. Бреполь, Э. Теория и практика ювелирного дела / Эрхард Бреполь / Пер. с нем. В. П. Кузнецова; Под ред. Л. А. Гутова и Г. Т. Оболдуева. – 3-е изд. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1977. – 382 с.

106. Никифоров, Б.Т. Ювелирное искусство / Б.Т. Никифоров, В.В. Чернова. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 249с.

107. Wicks, S. Jewellery making manual / S. Wicks. – London; Sydney; Macdonald: [б.и.], 1985

Список иллюстративного материала

1. Рисунок 1.1 – Подвес и браслет с золотыми самородками - С. 10
2. Рисунок 1.2 – Изменение форм различных морфологических разновидностей золота в процессе окатывания и истирания золотинок в россыпях; по Н.В. Петровской и А.И. Фасталовичу, 1952 - С.12
3. Рисунок 1.3 – Самородок серебра весом 1065 кг, найденный в 1894г в шахте «Smuggler Mine» в штате Колорадо - С.15
4. Рисунок 1.4 – Примеры самородков серебра: *а* – проволочный самородок серебра длиной около 7 см, Северный Казахстан; *б* – самородок серебра под микроскопом - С.16
5. Рисунок 1.5 – Складная рамка для фотографий четы Романовых, выполненная с имитацией фактуры золотого самородка. Фаберже, Санкт-Петербург, около 1890. Ювелир - Август Хольмстрем. Золото, сапфиры, изумруды, алмазы. Ширина 11,5 см. Высота 7,9 см - С.17
6. Рисунок 1.6 – Кольцо с имитацией серебряного самородка - С. 19
7. Рисунок 1.7 – Кривая жидкотекучести сплавов системы А-В - С. 21
8. Рисунок 2.1 – Диаграмма состояния Cu-Zn - С. 30
9. Рисунок 2.2 – Образцы латуни: *а* – образец из латуни с ярко выраженным фактурным рисунком на поверхности; *б* – образец из латуни с неудавшимся фактурным рисунком на поверхности, вследствие использования большого количества буры при плавлении - С. 33
10. Рисунок 2.3 – Имитация золотого самородка: *а* – природный золотой самородок «Верблюд»; *б* – его имитация из расплавленной латуни, отлитой в воду - С. 35
11. Рисунок 2.4 – График зависимости форм и рельефа латунных отливок от температуры воды, в которой они были получены – С.41
12. Рисунок 2.5 – Цветовая шкала. Зависимость цвета латунных отливок от температуры воды, в которой они были получены – С.42

13. Рисунок 2.6 – Распил латунных отливок: *а* – характер пустот, обнаруженных в распиле отливки, полученной в горячей воде; *б* – характер пустот, обнаруженных в распиле отливки, полученной в холодной воде – С. 43

14. Рисунок 2.7 - Микроструктуры латуни при 400-кратном увеличении: *а* – однофазная латунь Л63 до эксперимента; *б* – двухфазная латунь с меньшим размером зерна, полученная литьем расплавленного металла в воду с температурой 0-5°C; *в* – двухфазная латунь с более крупным зерном, полученная литьем расплавленного металла в воду с температурой 80-85°C – С. 48

15. Рисунок 2.8 - Примеры образцов, полученных из олова при разных условиях литья: *а* – при выдержке расплавленного металла перед контактом с водой в течение 5-8 секунд; *б* – при 15 секундной выдержке металла перед контактом с водой – С. 50

16. Рисунок 2.9 - Образцы имитаций самородков серебра, полученные при плавлении олова в течение 10-15 с: *а* – пример образцов, полученных при моментальной отливке; *б* – пример образцов, полученных при выдержке расплавленного металла в течение 5 с; *в* – пример образцов, полученных при 10-секундной выдержке; *г* – пример образцов, полученных при 15-секундной выдержке – С. 52

17. Рисунок 2.10 - Образцы имитаций самородков серебра, полученные при воздействии пламени горелки на олово в течение 25-30 с: *а* – пример образца, полученного при моментальной отливке; *б* – пример образца, полученного при выдержке расплавленного металла в течение 5 с; *в* – пример образца, полученного при 10-секундной выдержке; *г* – пример образца, полученного при 15-секундной выдержке – С. 59

18. Рисунок 2.11 - Примеры природных самородков серебра: *а* – дендрит серебра "Веточка" с медью, рудник Уайт-Пайн, штат Мичиган, США. Горный музей; *б* – самородок серебра, происхождение неизвестно – С. 53

19. Рисунок 2.12 - Примеры образцов, полученных в результате литья металла в воду: *а* – из чистого олова; *б* – из оловянно-свинцового сплава – С. 55

20. Рисунок 2.13 - Примеры результатов литья чистого олова в индустриальное масло И-40А: *а* – только что отлитый металл в емкости с маслом; *б* – после извлечения из емкости – С. 56

21. Рисунок 2.14 - Пример результатов литья оловянного припоя в индустриальное масло марки И-40А: *а* – только что отлитый металл в емкости с маслом; *б* – образцы после извлечения из емкости – С. 56

22. Рисунок 2.15 - Результат литья оловянно-свинцового сплава в емкость, заполненную 200 мл индустриального масла – С. 57

23. Рисунок 2.16 - Пример результатов литья чистого олова в охлаждающую жидкость, состоящую из не перемешанных слоев воды и индустриального масла марки И-40А: *а* – полученные образцы в емкости с жидкостью; *б* – полученные образцы, извлеченные из емкости – С. 58

24. Рисунок 2.17 - Пример результатов литья чистого олова в охлаждающую жидкость, состоящую из не перемешанных слоев воды и индустриального масла марки И-40А : *а* – только что отлитый металл в емкости с охлаждающей жидкостью; *б* – извлеченный из емкости образец, вид сбоку – С. 58

25. Рисунок 2.18 - Пример результат литья олова и оловянно-свинцового сплава в масляно-водную эмульсию: *а* – чистое олово; *б* – оловянно-свинцовый сплав – С. 59

26. Рисунок 2.19 – Зависимость форм оловянных отливок от температуры охлаждающей жидкости – С. 65

27. Рисунок 2.20 – Образцы полученные литьем оловянного расплава температурой 350°C – С. 67

28. Рисунок 2.21 – Примеры образцов полученных литьем оловянного расплава температурой 400°C – С. 68

29. Рисунок 2.22 – Отрицательные результаты литья олова в воду – С. 69

30. Рисунок 2.23 – График зависимости количества потерь олова в процессе литья от температурных режимов воды и металла – С.70

31. Рисунок 3.1 - Фрагмент браслета «Злато» с фактурным рисунком на латунных вставках, закрепленных на штифты по принципу крепления жемчужин – С. 76

32. Рисунок 3.2 - Примеры использования нетрадиционных материалов в ювелирном дизайне, требующих к себе бережного отношения при эксплуатации: *а* – кольцо «Alex & Lee» с использованием перьев; *б* – браслет из коллекции «Di Amanda», серебро, бриллианты, джинсовая ткань – С. 77

33. Рисунок 3.3 - Кабошон из эпоксидной смолы с запакованным внутри оловянным образцом, имитирующим самородок серебра – С. 80

34. Рисунок 3.4 - Изготовление резиновой формы: *а* – подготовка к термообработке; *б* – готовая форма после извлечения кабошона – С. 84

35. Рисунок 3.5 - Изготовление прозрачных вставок с оловом внутри: *а* – резиновые молды разных форм и размеров; *б* – полученные в них кабошоны – С. 85

36. Рисунок 3.6 - Результат послойной заливки смолы в резиновую форму – С. 86

37. Рисунок 4.1 – Эскизный поиск будущего изделия: *а* – карандашные наброски разных вариантов браслета; *б* – конструкция модулей браслета – С. 93

38. Рисунок 4.2 - Эскиз браслета «Злато» со вставками из латунных образцов с фактурной поверхностью. Предполагаемые материалы: латунь, мельхиор – С. 93

39. Рисунок 4.3 - Колье с имитациями самородков золота. Предполагаемые материалы: латунь, мельхиор, кожаный шнур – С. 94

40. Рисунок 4.4 - Эскиз шкатулки инкрустированной имитациями самородков золота – С. 95

41. Рисунок 4.5 - Кольцо с латунной отливкой и жемчужиной внутри нее: *а* – карандашные наброски; *б* – итоговый эскиз. Предполагаемые материалы: латунь, серебро, жемчуг – С. 96

42. Рисунок 4.6 - Эскиз подвеса «Самородок». Предполагаемые материалы: олово, латунь, мельхиор – С. 98

43. Рисунок 4.7 - Сувенир «Настольный шар». Предполагаемые материалы: олово, эпоксидная смола, дерево – С. 100
44. Рисунок 4.8 - Образцы кабошонов из эпоксидной смолы, тонированные чернилами – С. 101
45. Рисунок 4.9 - Подвес с аметистами. Предполагаемые материалы: олово, эпоксидная смола, серебро, аметисты – С. 102
46. Рисунок 4.10 - Размеры основных деталей подвеса – С. 103
47. Рисунок 4.11 - Готовый подвес из мельхиора и латуни со вставкой из олова, имитирующей серебряный самородок – С. 106
48. Рисунок 4.12 - Размеры основных модулей браслета – С. 108
49. Рисунок 4.13 - Браслет со вставками из латуни с фактурными поверхностями – С. 110
50. Таблица 1.1 – Результаты анализа свойств некоторых металлов для использования наиболее подходящего в экспериментальной части работы с. 27
51. Таблица 2.1 - Зависимость форм латунных отливок от расстояния между тиглем с расплавом и поверхностью воды в момент литья – С. 36
52. Таблица 2.2 - Зависимость латунных отливок от температуры охлаждающей жидкости – С.39
53. Таблица 2.3. Определение числового показателя, характеризующего морфологические особенности латунных отливок, полученных в разных температурных режимах воды – С. 41
54. Таблица 2.4 – Результаты химического анализа образцов латуни марки Л63 при разных условиях экспериментов – С. 45
55. Таблица 2.5 - Исследование состава металлов, используемых в экспериментах – С. 54
56. Таблица 2.6 - Сравнение результатов экспериментов по получению имитаций самородков серебра разными методами – С. 60
57. Таблица 2.7 – Зависимость форм оловянных отливок от температуры охлаждающей жидкости и температуры расплава – С. 63

58. Таблица 2.8 – Количество дендритов в отливках при разных температурных режимах воды и металла, % (от общей массы отливки) – С. 65

59. Таблица 2.9 – Средние значения потерь олова в зависимости от технологических параметров литья - 69

Приложение А (справочное)

Акт внедрения в производство

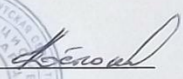
ОАО «БАЙКАЛКВАРЦСАМОЦВЕТЫ»

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Дан Сорокиной Вере Евгеньевне в том, что ее научно-техническая инновационная разработка «Технология получения имитаций самородков золота и серебра для ювелирного дизайна» представляет значительный интерес для практического использования в ювелирной отрасли, экономически эффективна и внедрена в производство ювелирных изделий на производственном предприятии ОАО «Байкалкварцсамоцветы». Имитации самородков золота и серебра, полученные по технологии предложенной В.Е. Сорокиной, используются в качестве вставок в ювелирных изделиях, выпускаемых предприятием.

Генеральный директор




Д.С. Костюков

Приложение Б (справочное)

Акт внедрения в учебный процесс

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**
664074 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 83
телефон: +7(3952)405-000, факс: +7(3952)405-100
E-mail: info@istu.edu
ОКПО 02068249, ОГРН 1023801756120
ИНН/КПП 3812014066/381201001



№ _____
на № _____ от _____

Акт внедрения

Научно-техническая инновационная разработка преподавателя кафедры геммологии ФГБОУ ВПО «Иркутский Национальный исследовательский технический университет» Веры Евгеньевны Сорокиной, являющаяся результатом ее диссертационного исследования, внедрена в учебный процесс дисциплины «Ювелирные металлы и сплавы», используются в процессе лабораторных работ по теме «Ювелирные сплавы на основе меди». Имитации самородков золота и серебра используются на практических занятиях дисциплины «Ювелирное и камнерезное искусство» при разработке дизайна ювелирных изделий и реализации их в материале. Ювелирные изделия, выполненные студентами по технологии, разработанной В. Е. Сорокиной, представляются кафедрой на выставках ювелирного дизайна.

Рассмотрено на заседании учебно-методической комиссии института недропользования

Председатель учебно-методической комиссии

/ Б.Л. Тальгамер

Секретарь учебно-методической комиссии

/ Е.В. Клевцов

Секретарь учебно-методической комиссии
кафедры геммологии

/ Н.В. Воронцова

1980-08674

Приложение В (справочное)

Образцы латуни, полученные при разных условиях эксперимента



a



б

Рисунок В.1 - Образцы, полученные литьем неоднородного расплава в воду 10-15 °С, внешние характеристики которых не удовлетворяют заданным параметрам: *a* – отливки округлых форм с неровным рельефом; *б* – оборотные стороны тех же отливок, соприкасавшиеся с дном емкости, покрыты большим количеством окислов и пор



Рисунок В.2 - Образцы неровных форм и сложного рельефа, удовлетворяющих заданным эстетическим параметрам, полученные литьем неоднородного расплава в воду 10-15 °С

Приложение Г
(справочное)

**Количество дендритов в отливках и количество потерь олова при
разных температурных режимах воды и металла, %**

Темп. метал- ла, °С	Темп. ре- жим воды, °С	№ об- раз- ца	Мас-са образ- ца, г	Масса целост- ного металла в отливке, г	Масса целост- ного металла в отливке, %	Масса денд- ритов, %	Сред- нее зна- чение коли- чест- ва денд- ритов, %	По- тери, %	Сред- нее зна- чение коли- чества потерь, %
250	0-5	1	2,94	2,8	95,2	4,8	3,5	2	2,4
		2	2,98	2,91	97,6	2,4		0,7	
		3	3,02	2,93	97,0	3,0		0	
		4	2,87	2,74	95,5	4,5		4,4	
		5	2,93	2,80	95,6	4,4		2,4	
		6	3,00	2,93	97,6	2,4		0	
		7	2,83	2,77	97,9	2,1		5,7	
		8	2,84	2,73	96,1	3,9		5,4	
		9	2,98	2,82	94,6	5,4		0,7	
		10	2,92	2,86	97,9	2,1		2,7	
250	10-15	1	3,01	2,91	96,7	3,3	2,1	0	2,1
		2	2,80	2,67	95,3	4,7		6,7	
		3	3,05	3,05	100	0		0	
		4	2,83	2,78	98,2	1,8		5,7	
		5	2,96	2,96	100	0		1,4	
		6	3,01	2,95	98,0	2,0		0	
		7	2,98	2,93	98,3	1,7		0,7	
		8	3,00	2,88	96,0	4,0		0	
		9	2,86	2,76	96,5	3,5		4,7	
		10	2,95	2,95	100	0		1,7	
250	20-25	1	2,82	2,56	94,0	6,0	3,1	6,0	2,3
		2	2,98	2,75	92,3	7,7		0,7	
		3	2,87	2,84	99,0	1,0		4,4	
		4	3,00	2,98	99,3	0,7		0	
		5	2,97	2,83	95,3	4,7		1,0	
		6	2,89	2,74	94,8	5,2		3,7	
		7	2,92	2,87	98,3	1,7		2,7	

		8	2,96	2,90	98,0	2,0		1,4	
		9	2,91	2,88	99,0	1,0		3,0	
		10	3,00	2,96	98,6	1,4		0	
250	30-35	1	3,04	3,02	99,3	0,7	1,4	0	1,0
		2	3,00	2,98	99,3	0,7		0	
		3	2,95	2,88	97,6	2,4		1,7	
		4	3,00	2,98	99,3	0,7		0	
		5	2,97	2,92	98,3	1,7		1,0	
		6	3,01	2,95	98,0	2,0		0	
		7	2,94	2,89	98,3	1,7		2,0	
		8	2,98	2,91	97,6	2,4		0,7	
		9	2,90	2,87	98,9	1,1		3,4	
		10	2,95	2,90	98,3	1,7		1,7	
250	40-45	1	3,05	2,94	96,4	3,6	1,8	0	1,6
		2	3,03	2,98	98,3	1,7		0	
		3	2,73	2,73	91,0	0		9	
		4	3,01	2,98	99,0	1,0		0	
		5	3,00	2,91	97,0	3,0		0	
		6	2,93	2,89	98,6	1,4		2,4	
		7	3,02	3,02	100	0		0	
		8	2,98	2,90	97,3	2,7		0,7	
		9	2,87	2,78	96,8	3,2		4,4	
		10	3,00	2,96	98,6	1,4		0	
250	50-55	1	3,00	3,00	100	0	0	0	0,8
		2	3,04	3,04	100	0		0	
		3	3,02	3,02	100	0		0	
		4	3,00	3,00	100	0		0	
		5	3,01	3,01	100	0		0	
		6	2,97	2,97	100	0		1,0	
		7	3,00	3,00	100	0		0	
		8	2,95	2,95	100	0		1,7	
		9	2,94	2,94	100	0		2,0	
		10	3,00	3,00	100	0		0	
250	60-65	1	3,05	3,05	100	0	0	0	0
		2	3,00	3,00	100	0		0	
		3	3,02	3,02	100	0		0	
		4	3,03	3,03	100	0		0	
		5	3,01	3,01	100	0		0	
		6	3,00	3,00	100	0		0	
		7	3,00	3,00	100	0		0	
		8	3,04	3,04	100	0		0	
		9	3,00	3,00	100	0		0	
		10	3,01	3,01	100	0		0	
300	0-5	1	2,94	2,64	89,8	10,2	23,2	2,0	12,7

		2	2,14	1,18	55,0	45,0		28,7	
		3	2,65	1,72	65,0	35,0		11,7	
		4	2,70	2,38	88,1	11,9		10,0	
		5	2,54	2,04	80,3	19,7		15,4	
		6	2,92	2,26	77,4	22,6		2,7	
		7	2,56	2,10	82,0	18,0		14,7	
		8	2,78	2,12	76,2	23,8		7,4	
		9	2,63	1,87	71,1	28,9		12,4	
		10	2,34	1,95	83,3	16,7		22,0	
300	10-15	1	2,54	2,09	82,3	17,1	17,6	15,4	11,6
		2	2,69	2,19	81,4	18,6		10,4	
		3	2,74	2,28	83,2	16,8		8,7	
		4	2,68	2,24	83,6	16,4		10,7	
		5	2,78	2,17	78,0	22,0		7,4	
		6	2,47	2,25	91,1	8,9		17,7	
		7	2,65	2,21	83,4	16,6		11,7	
		8	2,54	2,03	79,9	20,1		15,4	
		9	2,75	2,34	85,1	14,9		8,4	
		10	2,70	2,06	76,3	23,7		10,0	
300	20-25	1	2,93	2,70	92,0	8,0	15,3	2,4	11,3
		2	2,66	2,02	76,0	24,0		11,4	
		3	2,40	2,06	85,8	14,2		20,0	
		4	2,84	2,54	89,4	10,6		5,4	
		5	2,65	2,26	85,3	14,7		11,7	
		6	2,73	2,29	83,9	16,1		9,0	
		7	2,58	2,13	82,5	17,5		14,0	
		8	2,67	2,10	78,6	21,4		11,0	
		9	2,62	2,31	88,2	11,8		12,7	
		10	2,54	2,17	85,4	14,6		15,4	
300	30-35	1	2,71	2,13	78,6	21,4	15,1	9,6	8,0
		2	2,69	2,17	80,6	19,4		10,4	
		3	2,89	2,35	81,3	18,7		3,7	
		4	2,58	2,38	83,5	16,5		5,0	
		5	2,73	2,41	88,3	11,7		9,0	
		6	2,82	2,65	94,0	6,0		12,7	
		7	2,69	2,32	86,2	13,8		10,4	
		8	2,78	2,35	84,5	15,5		7,4	
		9	2,90	2,47	85,2	14,8		3,4	
		10	2,75	2,39	86,9	13,1		8,4	
300	40-45	1	3,02	2,68	88,7	11,3	8,9	0	6,4
		2	2,94	2,72	92,5	7,5		2,0	
		3	2,61	2,39	91,6	8,4		13,0	
		4	2,69	2,50	92,9	7,1		10,4	
		5	2,86	2,48	86,7	13,3		4,7	

		6	2,91	2,63	90,4	9,6		3,0	
		7	2,80	2,61	93,2	6,8		6,7	
		8	2,67	2,44	91,4	8,6		11,0	
		9	2,84	2,72	95,8	4,2		5,4	
		10	2,76	2,43	88,0	12,0		8,0	
300	50-55	1	2,93	2,84	96,9	3,1	4,4	2,4	1,9
		2	2,92	2,89	98,9	1,1		2,7	
		3	2,98	2,74	91,9	8,1		0,7	
		4	2,96	2,89	97,6	2,4		1,4	
		5	2,94	2,75	93,5	6,5		2,	
		6	2,95	2,80	94,9	5,1		1,7	
		7	2,97	2,84	95,6	4,4		1,0	
		8	3,00	2,88	96,0	4,0		0	
		9	2,89	2,79	96,5	3,5		3,7	
		10	2,90	2,74	94,5	5,5		3,4	
300	60-65	1	3,03	3,03	100	0	0,7	0	1,8
		2	2,80	2,77	98,9	1,1		6,7	
		3	2,91	2,88	98,9	1,1		3,0	
		4	2,98	2,98	100,0	0		0,7	
		5	2,90	2,87	98,9	1,1		3,4	
		6	3,00	2,96	98,6	1,4		0	
		7	2,96	2,94	99,3	0,7		1,4	
		8	2,93	2,89	98,6	1,4		2,4	
		9	2,97	2,95	99,3	0,7		1,0	
		10	3,00	3,00	100,0	0		0	
350	0-5	1	2,65	1,56	58,9	41,1	39,5	11,7	15,5
		2	2,74	1,59	58,0	42,0		8,7	
		3	2,38	1,55	65,1	34,9		20,7	
		4	2,55	1,48	58,0	42,0		15,0	
		5	2,34	1,53	65,4	34,6		22,0	
		6	2,47	1,50	60,7	39,3		17,7	
		7	2,58	1,53	59,2	40,7		14,0	
		8	2,73	1,67	61,2	38,8		9,0	
		9	2,36	1,41	59,7	40,3		21,4	
		10	2,80	1,64	58,6	41,4		16,7	
350	10-15	1	3,06	1,92	62,7	37,3	37,3	0	13,5
		2	2,28	1,45	63,6	36,4		24,0	
		3	2,53	1,52	60,0	40,0		15,7	
		4	2,66	1,59	59,8	40,2		11,4	
		5	2,56	1,58	61,7	38,3		14,7	
		6	2,53	1,62	64,0	36,0		15,7	
		7	2,69	1,68	62,4	37,6		10,4	
		8	2,38	1,61	67,6	32,4		20,7	
		9	2,78	1,74	62,6	37,4		7,4	

		10	2,54	1,60	63,0	37,0		15,4	
350	20-25	1	2,54	1,77	70,0	30,0	35,9	15,4	13,3
		2	2,67	1,27	47,5	52,5		11,0	
		3	2,46	0,77	31,4	68,6		18,0	
		4	2,62	1,98	75,6	24,2		12,7	
		5	2,68	1,82	67,9	32,1		10,3	
		6	2,66	1,37	51,3	48,5		11,4	
		7	2,67	2,25	84,3	15,7		11,0	
		8	2,54	1,76	69,3	30,7		15,4	
		9	2,71	2,02	74,5	25,5		9,7	
		10	2,47	1,70	68,8	31,3		17,7	
350	30-35	1	2,68	1,73	64,5	35,5	32,8	10,7	11,2
		2	2,45	1,31	53,5	46,5		18,4	
		3	2,56	1,82	71,1	28,9		14,7	
		4	2,63	1,78	67,7	32,3		12,4	
		5	2,74	1,97	71,9	28,1		8,7	
		6	2,69	1,92	71,4	28,6		10,4	
		7	2,85	1,81	63,5	36,5		5,0	
		8	2,65	2,03	76,6	23,4		11,7	
		9	2,71	1,68	61,9	38,1		9,7	
		10	2,68	1,86	69,4	30,6		10,7	
350	40-45	1	2,89	2,51	86,8	13,2	27,0	3,7	10,0
		2	2,55	1,41	55,3	44,7		15,0	
		3	2,49	1,12	44,9	55,1		17,0	
		4	2,69	2,09	77,6	22,4		10,4	
		5	2,67	1,74	65,2	34,8		11,0	
		6	2,87	2,44	85,0	15,0		4,4	
		7	2,61	1,94	74,3	25,7		13,4	
		8	2,72	2,15	79,0	21,0		9,4	
		9	2,68	2,20	82,0	18,0		10,7	
		10	2,83	2,25	79,5	20,5		5,7	
350	50-55	1	2,52	2,48	98,4	1,6	8,7	16,0	8,5
		2	2,75	2,53	92,0	8,0		8,4	
		3	2,70	2,25	83,3	16,7		10,0	
		4	2,92	2,76	94,5	5,5		2,7	
		5	2,66	2,39	89,8	10,2		11,4	
		6	2,71	2,58	95,2	4,8		9,7	
		7	2,95	2,68	90,8	9,2		1,5	
		8	2,75	2,54	92,4	7,6		8,4	
		9	2,81	2,55	90,7	9,3		6,4	
		10	2,69	2,32	86,2	13,8		10,4	
350	60-65	1	3,06	2,96	96,8	3,2	2,7	0	3,3
		2	3,03	2,87	94,8	5,2		0	
		3	2,89	2,88	99,6	0,4		3,7	

		4	3,00	2,92	97,3	2,7		0	
		5	2,73	2,69	98,5	1,5		9,0	
		6	2,92	2,81	96,2	3,8		2,7	
		7	2,87	2,85	99,3	0,7		4,4	
		8	2,95	2,91	98,6	1,4		1,7	
		9	2,78	2,65	95,3	4,7		7,4	
		10	2,89	2,78	96,2	3,8		3,7	
400	0-5	1	1,79	0,86	48,0	52,0	47,2	40,4	21,1
		2	1,93	0,94	48,7	51,3		35,7	
		3	2,92	1,93	66,0	34,0		2,7	
		4	2,22	1,07	48,2	51,8		26,0	
		5	2,33	1,44	61,8	38,2		22,4	
		6	2,62	1,29	49,2	50,8		12,7	
		7	2,05	1,12	54,6	45,4		31,7	
		8	2,72	1,43	52,6	47,4		9,4	
		9	2,23	1,16	52,0	48,0		25,7	
		10	2,87	1,34	46,7	53,3		4,4	
400	10-15	1	2,35	1,25	53,2	46,8	48,3	21,7	22,0
		2	2,01	0,62	30,8	69,2		33,0	
		3	1,91	1,22	63,8	36,2		36,4	
		4	2,45	1,27	51,8	48,2		18,4	
		5	2,58	1,77	68,6	31,4		14,0	
		6	2,23	1,01	45,3	54,7		25,7	
		7	2,69	1,45	53,9	46,1		10,4	
		8	2,37	1,21	51,0	49,0		21,0	
		9	2,34	1,12	47,8	52,2		22,0	
		10	2,48	1,25	50,4	49,6		17,4	
400	20-25	1	2,41	1,39	57,7	42,3	46,0	19,7	21,3
		2	2,33	1,39	59,6	40,4		22,4	
		3	2,04	0,76	37,3	62,7		32,0	
		4	2,23	1,22	54,7	45,3		25,7	
		5	2,45	1,52	62,0	38,0		18,4	
		6	2,35	1,40	59,6	40,4		21,7	
		7	2,55	1,33	52,2	47,8		15,0	
		8	2,16	1,02	47,2	52,8		28,0	
		9	2,68	1,73	64,5	35,5		10,7	
		10	2,42	1,09	45,0	55,0		19,4	
400	30-35	1	2,39	1,46	61,1	38,9	39,3	20,4	15,4
		2	2,72	1,63	59,9	40,1		9,4	
		3	2,48	1,59	64,1	35,9		17,4	
		4	2,69	1,95	72,5	27,5		10,4	
		5	2,53	1,57	62,0	38,0		15,7	
		6	2,36	1,33	56,4	43,6		21,4	
		7	2,65	1,69	63,8	36,2		11,7	

		8	2,54	1,33	52,4	47,6		15,4	
		9	2,61	1,45	55,6	44,4		13,0	
		10	2,43	1,44	59,3	40,7		19,0	
400	40-45	1	2,57	1,92	74,7	25,3	28,8	14,4	15,7
		2	2,18	0,98	44,9	55,1		27,4	
		3	2,70	2,49	92,2	7,8		10,0	
		4	2,62	1,96	74,8	25,2		12,7	
		5	2,71	2,15	79,3	20,7		9,7	
		6	2,48	2,10	84,7	15,3		17,4	
		7	2,37	1,66	70,0	30,0		21,0	
		8	2,54	1,69	66,5	33,5		15,4	
		9	2,56	1,42	55,4	44,6		14,7	
		10	2,57	1,78	69,3	30,7		14,4	
400	50-55	1	2,81	2,65	94,3	5,7	17,8	6,4	11,9
		2	2,46	1,78	72,3	27,7		18,0	
		3	2,23	1,80	80,7	19,3		25,7	
		4	2,69	2,30	85,6	14,4		10,4	
		5	2,86	2,34	81,8	18,2		4,7	
		6	2,55	2,27	89,0	11,0		15,0	
		7	2,66	2,06	77,4	22,6		11,4	
		8	2,89	2,16	74,7	25,3		3,7	
		9	2,62	2,17	82,8	17,2		12,7	
		10	2,65	2,21	83,4	16,6		11,7	
400	60-65	1	3,01	2,86	95,1	4,9	9,3	0	6,7
		2	2,69	2,43	90,3	9,7		10,4	
		3	2,67	2,25	84,3	15,7		11,0	
		4	2,84	2,63	92,6	7,4		5,4	
		5	2,98	2,61	87,6	12,4		0,7	
		6	2,78	2,55	91,7	8,3		7,4	
		7	2,82	2,67	94,7	5,3		6,0	
		8	2,65	2,30	86,8	13,2		11,7	
		9	2,81	2,56	91,1	8,9		6,4	
		10	2,77	2,56	92,4	7,6		7,7	

Приложение Д (справочное)

Награды, полученные за результаты представленного научного исследования



Рисунок Д.1 – Диплом 1 степени, полученный за коллекцию украшений со вставками, имитирующими золотые и серебряные самородки, представленную на международной выставке «Город+Дизайн»



Рисунок Д.2 – Диплом II степени за подвес «Самородок» со вставкой, имитирующей самородок серебра, представленный на выставке «Вдохновение и камень. Философия в материале»



Рисунок Д.3 – Свидетельство об именной стипендии Губернатора Иркутской области за отличные результаты в учебе и достижения в научной деятельности