

Л. А. Иванова, С. В. Котлик,
С. В. Пономаренко, О. П. Соколова

**Применение
инновационных
технологий и 3D-печати
в дизайне
ювелирных изделий**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Одесская национальная академия пищевых технологий

**ПРИМЕНЕНИЕ
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И 3D-ПЕЧАТИ В ДИЗАЙНЕ
ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Монография

Одесса
«Астропринт»
2018

УДК 669.2/.8:004.94
П764

Авторы:

Лина Александровна Иванова, д-р техн. наук, профессор;
Сергей Валентинович Котлик, канд. техн. наук, доцент;
Максим Алексеевич Помазенко, ассистент;
Оксана Петровна Соколова, ассистент

Рецензенты:

В. М. Плотников, д-р техн. наук, профессор, зав. каф. ИТиКБ ОНАПТ;
И. В. Прокопович, д-р техн. наук, доцент, директор Института медицинской инженерии ОНПУ;
О. К. Шириков, канд. техн. наук, доцент каф. ИТ ОНМУ

Рекомендовано к изданию ученым советом Одесской национальной академии пищевых технологий (*протокол № 6 от 07.11.2017 г.*)

Применение инновационных технологий и 3D-печати в дизайне ювелирных изделий : монография / Л. А. Иванова, С. В. Котлик, М. А. Помазенко, О. П. Соколова. — Одесса : Астропринт, 2018. — 260 с.

ISBN 978–966–927–351–2

В монографии отображены результаты анализа современных исследований в области технологий литья и дизайн-проектирования ювелирных изделий. Обоснована перспективность применения технологии повышения жидкотекучести сплавов меди, имитирующих цветовой дизайн сплавов золота, и использование 3D-принтеров для печати мастер-моделей из пластика при ювелирном литье.

Монография предназначена для специалистов в области дизайна, литья ювелирных изделий и печати моделей на принтерах. Может быть также полезна для аспирантов и студентов, изучающих дизайн, маркетинг и 3D-графику.

УДК 669.2/.8:004.94

© Иванова Л. А., Котлик С. В.,
Помазенко М. А., Соколова О. П.,
2018

ISBN 978–966–927–351–2

Содержание

<i>Вступление</i>	6
-------------------------	---

Раздел 1

КЛАССИФИКАЦИЯ И ДИЗАЙН ХУДОЖЕСТВЕННЫХ И ЮВЕЛИРНЫХ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

1.1. Эстетические показатели дизайна художественных и ювелирных изделий	8
1.2. Классификация художественного литья	14
1.3. Особенности классификации ювелирных изделий	17
Выводы	41

Раздел 2

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧКОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК

2.1. Формообразование и группа сложности отливок	42
2.2. Изготовление оболочковых керамических форм для литья по выплавляемым моделям	45
2.3. Свойства и классификация материалов для изготовления выплавляемых моделей	52
2.4. Диссертационные исследования и новые изобретения по изготовлению оболочковых керамических форм	61
Выводы	71

Раздел 3

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ГИПСОВЫХ ФОРМ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК

3.1. Свойства материалов для гипсовых объемных форм	72
3.2. Свойства формовочных масс для гипсовых объемных форм	77

3.3. Анализ патентуемых изобретений на способы и составы смесей для гипсовых форм при литье по выплавляемым моделям	89
3.4. Современные диссертационные исследования по технологиям и дизайну при литье в гипсовые формы	103
3.5. Физико-химические и термические характеристики микроталька и его водных суспензий как нового огнеупорного материала для гипсовых форм	108
Выводы	120

Раздел 4

СПЛАВЫ И ЦВЕТОВОЙ ДИЗАЙН ДЛЯ ЛИТЬЯ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

4.1. Металлы и сплавы для ювелирных изделий	122
4.2. Новые мастер-сплавы (лигатуры) для литья изделий из золота и серебра	131
4.3. Технологические и литейные свойства сплавов на основе меди	136
4.3.1. Оловянные литейные бронзы	136
4.3.2. Латунни литейные	141
4.4. Цветовой дизайн сплавов на основе меди и методы его количественного оценивания	146
4.5. Патентуемые изобретения на составы сплавов на основе меди для ювелирного литья	158
4.6. Влияние состава сплава на основе меди на его цветовой тон, коррозионную стойкость и жидкотекучесть	164
4.7. Характеристика цветового дизайна драгоценных камней и возможности литья искусственного камня на примере изумруда	
4.7.1. Промышленная классификация и художественная выразительность ювелирных камней	171
4.7.2. Характеристика и цветовой дизайн природных, синтетических и искусственных изумрудов	176
4.7.3. Патенты на составы сырьевых смесей и литье искусственных изумрудов	184

4.7.4. Методы определения показателей преломления и цветности изделий из стекла	189
Выводы	197

Раздел 5

**ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ И 3D-ПЕЧАТЬ
В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ЮВЕЛИРНЫХ
ИЗДЕЛИЙ**

5.1. Дизайн-проектирование литых ювелирных изделий	199
5.2. Примеры патентуемых изобретений по совершенствованию дизайна литых ювелирных изделий	202
5.3. Семиотический подход в проектировании ювелирных изделий	214
5.4. Программы и устройства для 3D-моделирования и 3D-печати в производстве ювелирных изделий	223
Выводы	246

<i>Литература</i>	247
-----------------------------	-----

Приложение

Авторский дизайн литых ювелирных изделий, выполненных технологией литья в гипсовые формы по выплавляемым моделям на предприятии «Одесский торговый дом Фаберже» (г. Одесса)	256
--	-----

Вступление

В XXI веке изделия, получаемые промышленным способом, кроме заданных технических показателей, должны обладать высокими эстетическими характеристиками. Под промышленным дизайном следует понимать как художественно-технический процесс в сфере проектирования, так и результаты этого процесса в виде эскизов, виртуальных 3D-моделей, чертежей и изделий различного назначения. В ювелирном литье такими изделиями преимущественно являются украшения (кольца, серьги, браслеты и др.), выполненные из драгоценных сплавов, либо цветных сплавов, имитирующих дизайн драгоценных металлов из золота, серебра, платины и др. В отличие от изделий промышленного назначения, основной характеристикой которых являются их пригодность к выполнению различных технических функций в устройствах, ювелирные украшения имеют спрос только при высоком уровне эстетических показателей, характеризующихся художественной выразительностью и совершенством производственного исполнения. Поэтому современные подходы к проектированию дизайна ювелирных изделий должны обеспечивать создание художественного образа украшения и его исполнение методом литья, стимулировать возникновение эмоционального желания у потребителя для совершения покупки. Технология приготовления расплава, изготовления форм и моделей, а также доработки украшения на базе отливки, реализует исполнение дизайна посредством совершенствования внешнего вида изделия: качества поверхности, формы рельефа, декорирования вставками из природных и искусственных камней.

В современных книгах по техническому дизайну и художественному или ювелирному литью [1; 2; 6; 8; 10] вопросы дизайна и литья рассматриваются раздельно: промышленный дизайн и технология литья. Номенклатура эстетических показателей и классификация литых ювелирных украшений требует уточнения, так как художественные и ювелирные изделия резко отличаются по своей массе и размерам [11]. Используемые в странах СНГ смеси для изготовления гипсовых форм — различны, однако наиболее высокое качество ювелирных изделий обеспечивают только импортные смеси на основе кристобалита и связующего из высокопрочного гипса.

В предлагаемой монографии вопросы технологии литья и дизайна ювелирных изделий рассмотрены комплексно и представлены на базе анализа современных достижений в области разработки новых сплавов формовочных материалов и дизайн-проектирования с использованием 3D-технологии. Обоснована перспективность применения микроталька в качестве импортозамещающего материала для изготовления объёмных гипсовых форм для литья украшений из различных сплавов. Показаны технологические возможности литья в кокиль и гипсовые формы с графитовым покрытием фасонных заготовок с использованием шихты на основе отходов (боя) хрустала для изготовления вставок (камней), имитирующих цветовой дизайн природного изумруда.

Монография включает пять разделов: классификация и дизайн художественных и ювелирных изделий; технология изготовления тонкостенных керамических форм* и качество поверхности отливок; технология изготовления объёмных гипсовых форм** и качество поверхности отливок; сплавы и цветовой дизайн для литья ювелирных изделий; дизайн-проектирование и 3D-печать в технологии изготовления литых ювелирных изделий.

Монография предназначена для специалистов, магистров и студентов вузов, занимающихся разработкой технологий и дизайна литых изделий.

* для литья по выплавляемым моделям

** их влияние на качество отливок

Раздел 1

КЛАССИФИКАЦИЯ И ДИЗАЙН ХУДОЖЕСТВЕННЫХ И ЮВЕЛИРНЫХ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Классификация художественных и ювелирных изделий позволяет объединить или разделить их на группы по какому-либо общему или особому признаку.

1.1. ЭСТЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗАЙНА ХУДОЖЕСТВЕННЫХ И ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Художественные и ювелирные изделия в качестве товаров народного потребления должны иметь высокий уровень дизайна, так как именно эстетические показатели указанных изделий является определяющим фактором в принятии решения об их покупке. Поэтому дизайн — это не только общий, но и главный признак художественного и ювелирного литья.

Значение англоязычного понятия дизайн (design) охватывает несколько смысловых рядов:

первый ряд — определение декоративного порядка (состояние поверхности, узор, орнамент, декор, украшение);

второй ряд — определение проектно-графическое (набросок, эскиз, рисунок, проект, чертеж, конструкция);

третий ряд — определение предпроектных работ (план, предложение, замысел, намерение);

четвертый ряд — затея, ухищрение, интрига [1; 2].

Таким образом, первооснова понятия — это внешний вид изделия, характеризующийся его формой, качеством поверхности (гладкой, шероховатой или рельефной), цветом (тоном) или фактурой.

На начало XXI в. под техническим (промышленным) дизайном понимают художественно-технический процесс в сфере проектной деятельности и результаты этого процесса в виде рисунков, эскизов, чертежей, 3D-моделей, материальных объектов и изделий различного назначения. Одним из видов таких изделий являются художественные и ювелирные отливки из различных металлических и не-

металлических материалов [3–8]. При этом часть художественных отливок и все литые ювелирные изделия относятся к группе товаров народного потребления.

В таблице 1.1 представлена номенклатура и классификация эстетических показателей для одного из видов товаров народного потребления — бытовой техники [9; 10].

Применительно к изделиям художественного и ювелирного литья, с учетом их специфики, показатели, приведенные в таблице 1.1, предлагается уточнить следующим образом (табл. 1.2).

Таблица 1.1

Номенклатура и эстетические показатели бытовых машин и устройств

Комплексный показатель 1-го уровня	Комплексный показатель 2-го уровня	Единичный показатель
Художественная выразительность	Образная выразительность	Соответствие образа изделия его назначению. Соответствие образа изделия современным представлениям об изделиях данного вида
	Оригинальность	Своеобразие использования принципов формообразования изделия: пластических, композиционных, компоновочных. Своеобразие декоративных и цвето-графических элементов изделия. Адекватность приемов достижения оригинальности изделия требованиям целесообразности. Соответствие цвето-графического решения, отделки изделия «модным» приемам декорирования
	Соответствие моде	Соответствие композиционно-пластических характеристик изделия «модным» приемам формообразования
	Декоративная выразительность	Декоративная выразительность использованных материалов, покрытий. Адекватность приемов достижения декоративной выразительности изделия потребностям целесообразности

Комплексный показатель 1-го уровня	Комплексный показатель 2-го уровня	Единичный показатель
	Стилевое единство	Соответствие признаков внешнего вида изделия друг другу в рамках выбранного стиля (уровень эклектичности)
Рациональность формы	Функционально-конструктивная обусловленность	Соответствие формы назначению изделия и условиям эксплуатации. Соответствие формы изделия его конструктивно-компоновочной схеме
	Технологическая обусловленность формы	Адекватность использования конструктивных приемов организации элементов формы. Соответствие формы изделия требованиям технологии его изготовления
Целостность композиционно-пластического решения формы	Гармоничность объемно-пространственной структуры	Соподчиненность основных и второстепенных элементов формы изделия по размерам, пропорциям и масштабу. Степень масштабности изделия и его элементов (визуальное соответствие размерам тела человека)
	Архитектоничность формы	Выявленность в форме характера нагрузки ее элементов. Зрительная уравновешенность объемно-пространственной и композиционно-пластической структуры изделия
	Пластичность формы	Целостность объемно-пластического решения формы изделия. Адекватность объемно-пластического решения формы изделия примененным материалам, технологии изготовления
	Художественно-графическая выразительность	Композиционная обусловленность размещения графических элементов на изделии. Степень соответствия характера шрифтов смысловому назначению надписей. Выразительность функциональной графики

Комплексный показатель 1-го уровня	Комплексный показатель 2-го уровня	Единичный показатель
	Цвето-графическая сочетаемость элементов	Соподчиненность цветовых и графических элементов формы изделия друг другу. Подчиненность цветовых и графических элементов общему композиционному и цвето-графическому решению
	Цвето-фактурная сочетаемость	Сочетаемость различных видов материалов, фактур, текстур, покрытий с формой, назначением и условиями эксплуатации изделия
Совершенство производственного выполнения и сохранность товарного вида	Чистота исполнения контуров	Качество исполнения контуров, закруглений и сопряжений элементов формы изделия
	Качество обработки поверхности	Качество обработки поверхности. Качество нанесения декоративно-защитных покрытий
	Четкость знаков и сопроводительной документации	Качество изготовления графических элементов изделия, сопроводительной техдокументации и рекламно-информационных материалов к изделию
	Стойкость к повреждению	Сохранность элементов формы и поверхности изделия от повреждений, стирания и изменения качества декоративного покрытия

Из приведенной номенклатуры комплексных эстетических показателей для художественных и ювелирных отливок основными комплексными показателями являются их художественная выразительность и совершенство производственного исполнения методом литья.

Таблица 1.2

**Номенклатура и эстетические показатели изделий художественного
и ювелирного литья**

Комплексный показатель 1-го уровня	Комплексный показатель 2-го уровня	Единичный показатель
Художественная выразительность	Образная выразительность	Соответствие образа изделия современным или историческим, национальным, либо модным (авангардным) представлениям автора об изделии
	Оригинальность	Своеобразие используемых в изделиях материалов (металлических, неметаллических), влияющих на образную выразительность: форму, цвет, тон и качество поверхности
	Декоративная выразительность	Декоративная выразительность (цвет, блеск, тон, рельеф, рисунок и др.), влияющая на выразительность изделия
	Стилевое единство	Соответствие внешнего вида изделия его художественной конструкции и принятому автором образу изделия
	Функционально-конструктивная обусловленность	Соответствие формы назначению изделия и условиям эксплуатации. Соответствие формы изделия его конструктивно-компоновочной схеме
Рациональность формы	Функционально-конструктивная обусловленность	Соответствие формы принятому автором образу изделия
	Технологическая обусловленность формы	Соответствие формы изделия требованиям литейной технологии ее изготовления
Целостность композиционно-пластического решения формы	Гармоничность объемно-пространственной структуры	Соподчиненность основных и второстепенных элементов формы изделия по размерам, пропорциям и масштабу. Степень масштабности изделия и его элементов (визуальное соответствие размерам тела человека)

Комплексный показатель 1-го уровня	Комплексный показатель 2-го уровня	Единичный показатель
	Архитектоничность формы	*)Выявление в форме характера нагрузки ее элементов. Зрительная уравновешенность объемно-пластического решения формы изделия
	Пластичность формы	Целостность объемно-пластического решения формы изделия. Адекватность объемно-пластической формы изделия применяемым материалам и литейной технологии изготовления
	Цвето-фактурная сочетаемость	Сочетаемость различных видов материалов, фактур, текстур, покрытий, используемых в изделии. Согласованность различных видов материалов фактур, текстур, покрытий с формой, назначением и условиями эксплуатации изделия
Совершенство производственного исполнения и сохранность товарного вида	Точность исполнения формы и контуров	Воспроизводимость расплавом или обработкой изделия контуров, профиля или рельефа изделий
	Соответствие качества поверхности заданному уровню шероховатости	Выполнение в литье или дополнительной обработке поверхности с заданным классом шероховатости (R_z, R_a)
	Стойкость к повреждению	Сохранность элементов формы и поверхности изделия от повреждений, стирания и изменения качества декоративного покрытия или иного её украшения (камень, декорирование и др.)

*) Только монументальные литые художественные изделия.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ЛИТЬЯ

Литье — это способ изготовления изделий посредством заливки материала (металлы, сплавы, неметаллы и др.) и его затвердевания в полости формы (неметаллической, металлической и др.) с целью получения заготовки или изделия, не требующего дополнительной обработки.

В работе [11] предложено классифицировать художественные отливки по следующим показателям (критериям): по массе, способам изготовления, виду сплавов, по назначению, по тематике.

В зависимости от массы художественные отливки делятся на восемь групп:

1. Уникальные тяжелые (более 20000 кг): памятник в Киеве Богдану Хмельницкому (39 т) и др.

2. Очень тяжёлые (более 2500 кг): памятник Суворову (6 т), памятник в Одессе Дюку де Ришелье (6 т) и др.

3. Тяжелые (более 250 кг): бюсты, крупные барельефы, ограды, решетки и др.

4. Средние (более 25 кг): садовая мебель, фонари, малые барельефы, детали фонтанов и др.

5. Малые (более 2,5 кг): кабинетные скульптуры, вазы, напольные подсвечники, подчасники и др.

6. Мелкие (менее 2,5 кг): малые кабинетные скульптуры, чернильницы, тарелки, бра, подсвечники, канделябры и др.

7. Очень мелкие (менее 0,5 кг): медали, накладки и ручки для дверей, сувениры, солдатки и др.

8. Миниатюрные (менее 0,05 кг): ювелирные изделия из драгоценных металлов (кольца, перстни, серьги) и др. [12].

При выборе способа изготовления художественных отливок определяющими являются следующие факторы: материал отливки, её масса, габариты, сложность конфигурации и др. Поэтому выделяется еще одна классификация художественного литья, в основании которой лежат технологические разновидности отливок:

1. Гравитационное литье в песчано-глинистые формы.

2. Литье по выплавляемым моделям.

3. Литье по газифицируемым моделям из пенополистирола.

4. Литье в керамические формы по постоянным моделям.

5. Литье в металлические формы (кокиль).

6. Гравитационное литье в формы, изготовленные вакуумно-пленочным способом.

7. Литье под давлением.
8. Литье в гипсовые формы.
9. Центробежное литье.
10. Комбинированные способы литья.

По тематике художественное литье делится на следующие группы:

1. Художественные отливки, посвященные патриотической теме (памятники, скульптуры, статуэтки великих полководцев, выдающихся деятелей военной сферы).

2. Художественные отливки, соответствующие исторической тематике (скульптурные композиции, панно, имеющие непосредственную связь с историческими событиями или посвященные деятелям культуры, искусства и др.).

3. Художественные отливки, выполненные на анималистическую тему (скульптуры, статуэтки, сувениры, включающие в себя изображения представителей животного мира).

4. Художественные отливки, обладающие портретным сходством с изображаемой моделью (скульптуры, бюсты известных людей).

5. Художественные отливки, посвященные сказочной, мифологической тематике (многочисленные изображения сказочных, а также мифических персонажей в панно, в скульптуре, в статуэтках).

6. Художественные отливки на бытовую тему (различные шкатулки, часы, пепельницы и другие предметы обихода, содержащие изображения реальных сцен из жизни).

Как уже отмечалось, главным потребительским свойством ювелирных изделий являются их эстетические показатели. Дизайн готового ювелирного изделия может быть охарактеризован по его внешнему виду, зависящему от вида и формы изделия, качества поверхности, выбора материалов для литой основы и вставки (камня). В таблице 1.3 представлена структура ассортимента изделий в одном из крупных салонов в странах СНГ.

В зависимости от материала изготовления художественных отливок можно выделить следующие группы:

1. Отливки из медных сплавов (бронза, латунь).
2. Отливки из алюминиевых сплавов.
3. Отливки из цинковых сплавов.
4. Отливки из легкоплавких сплавов.
5. Отливки из благородных сплавов.
6. Отливки из чугуна (серый, белый, ковкий и отбеленные чугуны).

Таблица 1.3

Структура ассортимента ювелирных изделий

Вид изделия	Количество разновидностей	Структура изделий в ассортименте, %
Серьги	110	9,0
Цепочки	135	10,0
Подвески	93	7,0
Колье	12	1,0
Браслеты	85	6,3
Кольца	865	64,0
Прочие	42	2,7

В зависимости от назначения все художественные отливки делятся на следующие двенадцать групп [11]:

1. Монументальные отливки (рис. 1.1, а) — памятники в честь каких-либо исторических событий, почетным деятелям или памятники на мифологические и библейские сюжеты. Обычно отливки устанавливаются на открытом воздухе. Это могут быть одиночные фигуры, большие бюсты, а также групповые отливки.

2. Кабинетная скульптура (рис. 1.1, б) — бюсты, фигурки животных, сценки из сказок или быта, подчасники, чернильницы, пепельницы.

3. Архитектурные отливки (рис. 1.1, в) — крупные барельефы, балясины для балконов и лестниц зданий, решетки мостов, набережных, садов, колонны, фонарные столбы и другие.

4. Садовая мебель (рис. 1.1, г) — столы, кресла, скамейки, этажерки и другие предметы мебели.

5. Отливки хозяйственного назначения (рис. 1.1, д) — подставки для каминных щипцов, утюга, тарелки, блюда, вазы и так далее.

6. Часы, подчасники (рис. 1.1, е).

7. Светильники (рис. 1.1, ж) — одно- и многорожковые настольные подсвечники, многорожковые напольные канделябры, настенные бра и люстры, обычно очень сложной конструкции.

8. Медали, значки, сувениры (рис. 1.1, з). Медали — металлические знаки с двухсторонним изображением, выпускаются в честь какого-либо выдающегося деятеля или события.

9. Ювелирные отливки — украшения, столовые приборы и др.

10. Колокола (рис. 1.1, и). Литье колоколов — достаточно древнее производство, развитие которого способствовало совершен-

ствованию литейной технологии вообще и приемов получения художественных отливок в частности. Масса колоколов колеблется от граммов до сотен тонн. Самый большой — Царь-колокол, отлитый в 1735 году Иваном и Михаилом Моториными, весит 200 тонн.

11. Пушки (рис. 1.1, к). Отливки этой группы имеют историческую ценность и в настоящее время не изготавливаются. Пушки можно считать одним из самых древних памятников литейного искусства.

12. Монеты и монетовидные амулеты (рис. 1.1, л). Большую часть высокохудожественных амулетов составляют медальоны, представляющие собой атрибуты физиогномов, прорицателей и прочих гадалей. Наибольшую часть литых амулетов составляют носильные медали и медальоны, имеющие охранительное и благословительное значение.

На рис.1.2 представлена классификация художественного литья по вышеуказанным характеристикам [11].

1.3. ОСОБЕННОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Ювелирные изделия разделяют по назначению, материалу, способу производства, виду украшений и др. Однако до настоящего времени классификация изделий установлена как для товара и не учитывает особенности изготовления литых изделий [3; 13–15].

В работе [13] классификация ассортимента и материалов для ювелирных изделий представлена следующим образом.

Ювелирные изделия по назначению делят на группы:

- предметы личных украшений;
- предметы туалета;
- предметы сервировки стола;
- предметы для украшения интерьера;
- принадлежности для часов;
- сувениры.

Ювелирные изделия различаются в зависимости от применяемого материала, а также характеризуются формой и конструктивными особенностями, отделкой (изделия могут быть гладкие, гравированные, с чернью, эмалью и др.).

Ювелирные изделия выпускают отдельными предметами и в наборах (гарнитурах).



а



б



в



г



д



е



ж



з



и



к



л

Рис. 1.1. Классификация художественных отливок по назначению: а — монументальные, б — кабинетная скульптура, в — архитектурные, г — садовая мебель, д — отливки хозяйственного назначения, е — часы, ж — светильники, з — медали, и — колокола, к — пушки, л — монеты

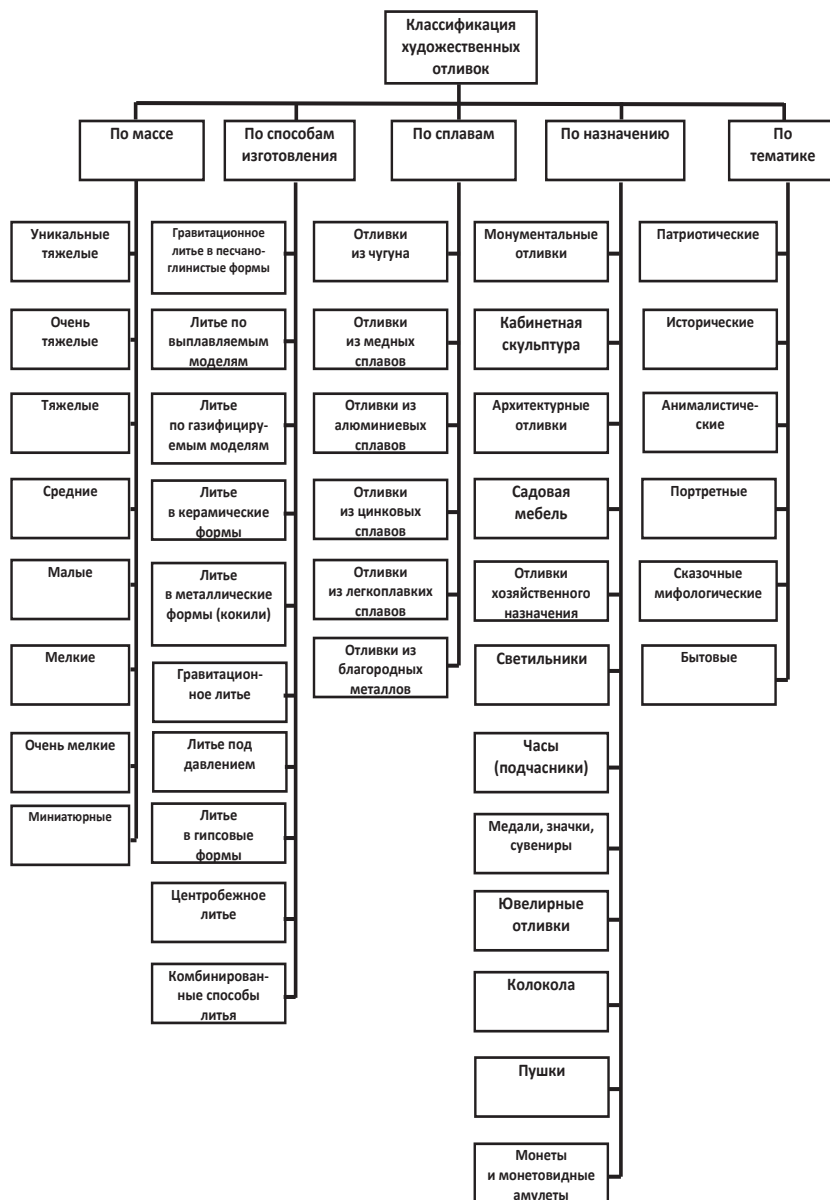


Рис. 1.2. Классификация художественного литья

К предметам личных украшений относят: серьги, кольца, бусы, браслеты, кулоны, медальоны, цепочки, колье.

Серьги — распространенный вид украшений; изготавливают их из различных материалов, разнообразных форм и конфигураций. Серьги прикрепляют к мочке уха крючком, замком на крючке, пружинным откидным замком или замочком в виде винта с гаечкой.

Клипсы — серьги для непроколотых ушей, изготавливают из недорогих металлов.

Кольца изготавливают из золота, серебра и сплавов меди. Кольца из металла называют обручальными, а кольца со вставками — декоративными.

Бусы — вид женских украшений. Изготавливают из драгоценных, полудрагоценных и поделочных камней, из стекла, кости, дерева, пластмассы. Бусы красиво дополняют одежду и должны с ней гармонично сочетаться.

К предметам туалета относятся пудреницы, зажимы для галстуков, зеркала в оправе, шкатулки, флаконы для духов и др.

Предметы сервировки предназначены для оформления стола. К ним относятся посуда и приборы, выполненные из драгоценных и цветных металлов. Изделия выпускаются в виде отдельных предметов или сервизов и приборов.

В ассортимент предметов для украшения интерьера входят скульптуры малых форм, настенные украшения, вазы для цветов, шкатулки, камнерезные изделия и др.

К принадлежностям для часов относят браслеты, бортовые цепочки-ремни для часов и др. Бортовые цепочки предназначены для крепления карманных часов к борту жилета. Длина бортовых цепочек — 300 мм.

Сувениры — изделия, отражающие национальные или региональные особенности культуры, а также памятные даты, достижения в спорте и др.

По назначению ювелирные изделия подразделяют на следующие группы: предметы личных украшений, предметы сервировки стола, предметы украшения интерьера, предметы туалета, принадлежности для часов, письменные принадлежности, курительные принадлежности, сувениры.

По материалу изготовлений различают золотые, серебряные, платиновые, мельхиоровые, нейзильберовые и другие ювелирные сплавы.

Ювелирные изделия из сплавов драгоценных металлов классифицируют по пробам. Изделия из сплавов золота подразделяют по оттенку цвета на изделия из белого, желтого, розового, зеленого и голубого золота. По способу производства выделяют литые, штампованные, монтированные ювелирные изделия; по отделке — позолоченные, посеребренные, анодированные, филигранные, гравированные, черненные, инкрустированные и др.; по наличию и виду вставок — изделия без вставок и со вставками из природных и искусственных камней и другим признакам. Изделия со вставками различают по виду вставок, огранке, способу закрепления в изделии.

Предметы личных украшений — самая распространенная группа ювелирных изделий, которая включает предметы украшения головы, шеи и платья, рук, других частей тела, а также гарнитуры.

К предметам украшения головы относятся серьги и диадемы.

К предметам украшения шеи и платья — цепочки, бусы, гривны, колье, кулоны, броши, медальоны, ожерелья.

По форме звеньев и конструкции цепочки подразделяют на панцирные, якорные, ленточные, фантазийные и др.

Бусы представляют собой шейное украшение в виде элементов любой формы, нанизанных на нить или соединенных проволочными звеньями.

Гривна — это шейное украшение в виде жесткого обруча с подвесками или без них.

Шейное украшение, декоративные элементы которого зафиксированы в его центральной части, называется колье, а украшение, декоративные элементы которого зафиксированы по всей его длине — ожерельем.

Кулон и медальон относятся к шейным украшениям в виде подвески. Используются в сочетании с цепочкой, шнуром или лентой.

К предметам украшения рук относят кольца и браслеты. Кольца изготовляют гладкие без вставок (обручальные) и декоративные со вставками. Кольца различают по форме, ширине и внутреннему диаметру шинки (ободка). Размеры (номера) колец определяют по внутреннему диаметру шинки в миллиметрах — от 15 до 22,5 с интервалом в 0,5 мм.

Браслеты по конструкции бывают жесткие и мягкие. Они могут иметь подвески и вставки из различных материалов. Выпускают их длиной от 130 до 195 мм с интервалом в 5 мм.

Гарнитуры представляют собой группу разных по назначению предметов личных украшений, имеющих единое художественное ре-

шение. Гарнитур обычно состоят из серег, броши и кольца или серег, колье, браслета и кольца, изготовленных из одного материала, имеющих одинаковые фасон, отделку, вид и цвет вставки.

К предметам сервировки (оформления) стола относятся художественно оформленные приборы и посуда, изготовленные из сплавов драгоценных или цветных металлов и имеющих покрытие из золота и (или) серебра. Ассортимент их представлен в виде отдельных предметов или наборов, предметы которых имеют единое художественное оформление.

К столовым приборам относят ложки (столовые, десертные, чайные, кофейные, для специй, для заварки чая и др.), вилки (столовые, десертные, сервировочные), ножи, лопатки сервировочные и другие предметы.

К столовой посуде относятся чайники, кофейники, молочники, сахарницы, сливочники, подстаканники, креманки, вазы, подставки для столовых приборов, рюмки, бокалы и другие изделия.

К предметам украшения интерьера относятся изделия, эстетически обогащающие интерьер помещения — вазы для цветов, настенные панно из цветных камней, скульптуры, настенные декоративные блюда.

Ассортимент предметов туалета включает пудреницы, расчески, шкатулки, зеркала в оправе, имеющей ювелирное исполнение, булавки для шляп и галстуков, заколки для волос, запонки, зажимы для галстуков, пряжки для ремней.

К принадлежностям для наручных и карманных часов относят браслеты и бортовые цепочки.

Принадлежности для письма включают перьевые ручки с золотым пером, чернильницы из цветных камней (яшмы, малахита, мрамора), ножи для резки бумаги, подставки для ручек.

К курительным принадлежностям относятся предметы для хранения табака и табачных изделий (портсигары), для держания табачных изделий (мундштуки, курительные трубки), для высекания огня (зажигалки), пепельницы и машинки для набивки папирос.

К сувенирным ювелирным изделиям относятся изделия, отражающие национальные или региональные особенности культуры и искусства, памятные даты, или обозначающие какой-либо образ: кинжалы, сабли, скульптуры, брелоки и т. д.

Вопрос классификации ювелирных товаров сложен, поскольку до настоящего времени точно не определено, какие именно виды изделий входят в ювелирную группу.

В странах СНГ в период до 1991 г. к ювелирным относили изделия из драгоценных металлов или с драгоценными камнями. В настоящее время способ производства и отделки — определяющий признак при классификации ювелирных товаров.

На основе этого признака в группу ювелирных могут быть отнесены все изделия, производимые с применением техники ювелирного дела (ювелирного литья, филиграни, гравировки, чернения, художественного эмалирования и т. д.).

В торговой классификации ювелирные изделия разделяют на три основных группы: личные украшения; изделия для сервировки стола и украшения интерьера; монеты, медали, ордена, памятные знаки.

В свою очередь, личные украшения могут быть разделены на нательные и украшения для одежды. Нательные, в свою очередь, подразделяются по зонам ношения на украшения для головы (серьги, диадемы), шеи и груди (бусы, колье, ожерелья, цепочки, подвески), рук и ног (кольца, браслеты). Далее каждая подгруппа может быть разделена с использованием различных классификационных признаков: более узкое назначение, используемый металл или сплав, материал вставки, модельно-конструктивные особенности изделия и т. д. В конечном итоге, на последнем уровне классификации окажутся конкретные изделия с признаками, которые отличают каждое наименование от всех других изделий (артикул).

В общем классификаторе продукции (ОКП), предназначенном для обеспечения достоверности, сопоставимости и автоматизированной обработки информации в таких сферах деятельности, как стандартизация, систематизация, сертификация продукции, статистический анализ, проведение маркетинговых исследований, используется своя классификация, удобная для названных целей. Например, в группе 96 «Изделия культурно-бытового, хозяйственного, учебного назначения, театрально-зрелищных предприятий, вспомогательные для легкой промышленности» выделена подгруппа 96 4000 «Изделия ювелирные, галантерея ювелирная и металлическая, изделия ритуально-обрядовые, награды, монеты». Далее в соответствии с иерархической системой классификации вся продукция поделена на 8 разделов по сырьевому признаку:

- 96 4100 Изделия ювелирные из золота;
- 96 4200 Изделия ювелирные из платины и палладия;
- 96 4300 Изделия ювелирные из серебра;
- 96 4400 Галантерея ювелирная и металлическая;

96 4500 Изделия ювелирные из ювелирного неметаллического минерального и органического сырья (в т. ч. в сочетании с металлами);

96 4600 Футляры для ювелирных изделий;

96 4800 Камни природные, синтетические и выращенные, янтарь для ювелирной промышленности;

96 4900 Награды. Монеты.

Далее в каждом разделе осуществляется разделение по материалу вставки и назначению.

Группа 71 разделяется на 3 подгруппы:

— жемчуг природный или культивированный и драгоценные или полудрагоценные камни;

— драгоценные металлы; металлы, плакированные драгоценными металлами;

— ювелирные изделия, изделия золотых и серебряных дел мастеров и другие изделия.

В первой подгруппе выделены позиции:

7101 — Жемчуг;

7102 — Алмазы (незакрепленные);

7103 — Драгоценные и полудрагоценные камни (кроме алмазов);

7104 — Искусственные и реконструированные камни;

7105 — Крошка и порошок.

Во второй подгруппе выделены позиции:

7106 — Серебро;

7107 — Металлы не драгоценные, плакированные серебром;

7108 — Золото;

7109 — Металлы не драгоценные или серебро, плакированные золотом;

7110 — Платина (и металлы платиновой группы);

7111 — Металлы не драгоценные, серебро или золото, плакированные платиной;

7111 — Отходы и лом.

В третьей подгруппе выделены позиции:

7113 — Ювелирные изделия и их части;

7114 — Изделия золотых и серебряных дел мастеров и их части;

7115 — Прочие изделия;

7116 — Изделия из природного или культивированного жемчуга, драгоценных и полудрагоценных камней;

7117 — Бижутерия;

7118 — Монеты.

Внутри позиций применяются следующие классификационные признаки: степень обработки, назначение, проба (для сплавов).

Классификация удобна для регулирования внешнеторговых операций и начисления ввозной торговой пошлины, но неудобна для использования в оптовых и розничных торговых предприятиях, при определении рыночной стоимости конкретного ювелирного изделия (или партии). Поэтому классификация нуждается в переработке, связанной с тем, что на рынке ювелирных товаров появились новые материалы, новые технологии и т. д. Например, синтетические (выращенные в лаборатории) вставки (камни), а также изготовленные литьевым способом. Классификация составлялась раньше, чем такие изделия в большом количестве появились на рынке.

В работе [15] ювелирные украшения разделяют:

- по назначению;
- по материалу;
- по технологии изготовления.

По назначению изделия разделяют на личные, сервировка стола и др. По материалу: изделия делят на пять групп: украшения с драгоценными камнями и выполненные из драгоценных сплавов; украшения из недрагоценных металлов (сплавов) с драгоценными и цветными камнями; украшения без металлических элементов.

По технологии изделия классифицируют:

- произведенные вручную;
- произведенные с частичной механизацией процесса изготовления;
- произведенные на автоматических линиях.

По материалу изделия могут быть разделены и несколько иным образом:

- ювелирные изделия — украшения, изготовленные из драгоценных металлов с применением ювелирных камней или без них;
- ювелирная галантерея — изделия народных промыслов, изготовленные из недрагоценных металлов с применением ювелирных камней или без них;
- художественные изделия, изготовленные методом литья или штамповки из недрагоценных металлов с недорогими вставками или без них;
- камнерезные декоративные или художественные изделия из ювелирно-поделочных камней с применением металлов и без них.

Литые ювелирные изделия могут имитировать любую технику исполнения (монтажку, филигрань и др.).

Изделия простой формы и серийного производства (цепи, браслеты, кольца и др.) изготавливают методом штамповки. Изделия сложной формы (эксклюзивные) — методом литья.

Таким образом, литые изделия имеют особый технологический признак — сложность формы. В товарах народного потребления типа бытовой техники форма изделия имеет в основном функциональное назначение, возможность наиболее простого технологического ее выполнения машинным способом. В ювелирном литье эстетика формы наряду с качеством и цветом поверхности определяет художественную выразительность ювелирного изделия. Основным критерием композиционного решения любой формы является её целостность, которая обеспечивает её гармоничность и, в конечном счете, объединяет конструкцию ювелирного изделия и придает ей оригинальность (табл. 1.2)

Чтобы выполнить ювелирное литое изделие с высоким уровнем комплексных эстетических и оригинальных показателей (табл. 1.2), способ литья, материал сплава и формы для отливки должны обеспечивать возможность получения экономичных ювелирных отливок: со сложной формой поверхности, или её тонкого декоративного рельефа, или рисунка с качеством литой поверхности, требующей только ее полировки; с заданным цветом поверхности сплава, например, имитирующего цвет золота; с заданным цветом поверхности камня для вставки, имитирующим природный драгоценный камень. Из таблицы 1.3 следует, что количество разновидностей украшений может быть от 865 (кольца) до 12 (кольце). Чтобы классифицировать ювелирные изделия по уровню дизайна, рассмотрим более подробно разновидности украшений, реализуемых в странах СНГ [16; 17].

Серьги состоят из основной части и замка. Основная (лицевая) часть состоит из основания (острова), оправы для камня (каста), ранта под оправу, накладок, а часто и подвески с верхушкой. Основание может быть либо гладким, либо со штампованным, чеканным, гравированным или ажурным рисунком, с эмалью, филигранными или различными вставками из ювелирных камней, кости, стекла, пластмассы и других металлов.

Оправа для камня может быть одна или несколько, разных высот, форм и размеров.

Накладки бывают чеканными, штампованными из других металлов в отличие от металлов основания, филигранными, а также гладкими, различных конфигураций.

Подвески чаще всего имеются в серьгах больших размеров. Они обычно крепятся к верхушке серьги металлическим колечком. Как правило, форма и рисунок подвески решают в едином художественно-декоративном стиле с основанием серьги. Металл подвески должен соответствовать материалу и вставкам основания серьги.

Замки могут быть самых различных конструкций: для проколотых и непроколотых ушей. Замки для проколотых ушей бывают сложными — на крючках с защёлкой, свободными — на крючках с петелькой, а также в виде скобы на шарнирах или винта с гайкой. Замки для непроколотых ушей могут быть в виде зажимного винта или клипсами — фигурная пластина на пружине, которая прижимает основание серьги к мочке уха. Как правило, замки изготавливают из сплавов цветных металлов, обязательно покрывают слоем золота или серебра, чтобы они не окислялись.

По конструкции серьги подразделяют на подвиды: с подвесками; с крючками; с винтами; серьги-клипсы.

Серьги бывают без камней и с камнями, выполненными из золота, серебра или цветных сплавов с покрытием из золота или серебра. На рис. 1.3 представлены серьги литые из золота с различным дизайном форм, техники, сложности конструкции. Наиболее сложную форму на рис. 1.3 имеет изделие под торговым номером 1020. Цифра в скобках (сверху) — количество изделий в продаже. Цифра в скобках (снизу) — масса золота в изделии. Изделие под номером 1020 имеет тонкие стенки, узор в виде цветов на сетке и массу 2,1 г. Масса изделий составляет от 1,67 до 5,63 г. Чем сложнее форма, тоньше стенка и тоньше декоративная отделка (рельеф), тем выше уровень сложности ювелирного изделия любой номенклатуры (таблица 1.3).

Диадема (от греческого *diadema*) — украшение в форме небольшой открытой полукороны для головы женщины. Их изготавливают из сплавов серебра или цветных металлов с ювелирными камнями.

На рис. 1.4 представлен дизайн диадемы дизайн-студии «Золотая роскошь». Материал диадемы золото и камни (синтетический изумруд) [18].

Диадема также имеет сложную форму, однако масса и толщина стенки больше, чем у ожерелий, поэтому она проще в изготовлении методом литья.

Возможно, диадема изготовлена из серебра или цветного сплава с последующим нанесением золотого покрытия, так как в источнике [18] данные о сплаве и материале камней не приведены.



Рис. 1.3. Литые серьги из золота. Дизайн-бюро «Арт модель» [17]



Рис. 1.4. Литая диадема из золота с камнями дизайн-студии «Золотая роскошь» [18]

Современные бусы изготавливают из жемчуга, кораллов, янтаря, аметистов, аквамарин, горного хрусталя и других полудрагоценных, поделочных и искусственных камней, из кости, стекла, фарфора, пластмасс и дерева. Пустотелые или ажурные бусы делают из золота, серебра и алюминия (рис. 1.5) [19].



Рис. 1.5. Пустотелые бусы из металла [19]

Бусины имеют сквозные отверстия и самые различные формы: овальные, круглые, бочкообразные и др. Поверхность их может быть гладкой или с нанесённым рисунком. Бусины из стекла и горного хрусталя, смальты, агата и других ювелирных камней изготавливают гранёными или гладкими, а ажурные металлические — методом филигранны или штамповкой с отделкой золотом и серебром. Бусины из дерева и кости имеют орнаментную резьбу. Бусины из пластических масс, как правило, имитируют металлы. Так, бусины из полистирола имитируют жемчуг, из резита — коралл, из нейзекорита — слоновую кость.

Бусины со сквозным отверстием нанизывают на шелковую или капроновую нитку, а бусины без отверстий соединяют сквозными крючками. При нанизывании бусин учитывают их форму и размеры. Чаще бусины крупного размера нанизывают в центре, а постепенно уменьшающиеся в размерах — к замку.

Жемчужные бусы обычно изготавливают из жемчуга одной формы и одного оттенка. Янтарные бусы состоят из бусин полированной поверхности, овальной, шарообразной или многогранной формы. Бусины из необработанного янтаря имеют самую различную форму. Бусы могут состоять из одной, двух и более ниток разной длины. Длинные без замков (надеваемые через голову), короткие на концах имеют металлические замки различных форм, иногда с камнями или без них.

Бусы (рис. 1.5) имеют форму в виде тонкостенного пустотелого шара с тонкими стенками.

Ожерелье — украшение для шеи, изготовленное из пластин и других деталей, близких между собой по форме, размеру и художественному оформлению и равномерно распределенных по цепочке.

Самыми престижными украшениями считаются ожерелья типа колье из драгоценных металлов с камнями (рис. 1.6) [20]. Шейные украшения сложной композиции в виде нескольких подвесок из ювелирных камней или драгоценных (чаще) металлов. В центре колье располагаются крупные детали (подвески, звенья), по краям — более мелкие. Иногда звенья заканчиваются тонкой цепочкой с замком, который часто имеет декоративное украшение, в том числе в виде ювелирных камней. Если в бусах их элементы, как правило, нанизывают на нитку, то в колье эти элементы обычно соединяют шарнирно.



Рис. 1.6. Колье из золота с камнями [20]

Цепочки изготавливают из золота, серебра или цветных металлов с последующим золочением или серебрением, а также анодированными или оксидированными под старое серебро.

По форме и конструкции цепочки разделяются на подвиды: панцирные, якорные, ленточные, веревочные, фантазийные и др. Их изготавливают на специальных цепочных автоматах (звенья неспаиваемые) или на станках, либо собирают вручную из отдельных паяных или литых звеньев. Цепочки застегиваются заводным кольцом, крючком с карабином или замочком специальной конструкции — шпрингелем.

Панцирные цепочки состоят из звеньев, которые выполнены из проволоки, имеют форму овала, слегка изогнутого в пространстве в виде незавершенной восьмерки, и лежат в одной плоскости.

Якорные цепочки имеют звенья круглой или овальной формы, расположенные во взаимно перпендикулярных плоскостях.

В ленточных цепочках звенья состоят из 3–5 колечек, соединенных между собой перпендикулярно.

Фантазийные цепочки, например, «лисий хвост», изготавливают из длинных двойных колец, перегнутых пополам, продетых одно в другое и имеющих в сечении четырехгранную форму.

По назначению цепочки делятся на шейные и для ношения медальонов, кулонов и карманных часов. Цепочки могут служить самостоятельным украшением, например, «паутинка», масса которой при длине 460 мм равна 1,5–2 г. Цепочки для медальонов имеют длину 40–50 см, а для кулонов 60–70 см. Цепочки могут изготавливаться и методом литья отдельных звеньев с последующей ручной сборкой (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Цепочки из золота, выполненные из отдельных элементов

Медальоны — небольшие подвески разной формы (овальной, круглой, прямоугольной и др.), лицевая сторона которых имеет гладкую полированную или матовую поверхность. Чаще всего она украшена

гравированным или чеканным рисунком либо вставками из ювелирных камней, эмалью, накладками, монограммами и др.

Медальоны изготавливают чаще открывающимися и реже неоткрывающимися. Открывающиеся медальоны состоят из двух створок, соединенных на шарнире и закрывающихся замочком. Одна или обе створки имеют внутри вставные рамки, в которые вставляют для хранения миниатюрный портрет или какой-либо другой сувенир. Неоткрывающиеся медальоны также состоят из двух половинок, спаянных между собой. Изготавливают медальоны из золота, серебра, сплавов цветных металлов, золотят. Носят их на цепочке, бархатной ленте, шнуре, либо прикрепляют на брелок (рис. 1.8) [22].



Рис. 1.8. Медальон-оправа для кабошона 37х29 мм, литье, имитация цвета серебра с чернением

Броши — распространенный и разнообразный вид украшения платья, костюма или пальто. В настоящее время броши составляют 6 % всего производства украшений. Броши бывают самых разно-

образных форм и различных размеров. Их изготавливают из золота, платины, серебра, сплавов цветных металлов, ювелирных камней, кости, фарфора, пластмассы или без вставок с гравированными, чеканными или штампованными рисунками. Серебряные броши часто золотят, а броши из сплавов цветных металлов золотят и серебрят.

Брошь состоит из основания, оправы для камней, накладок, фигурных проволочных деталей и булавки или замка. Основание, как правило, гладкое, но бывают броши ажурные, камеи и др.

Ажурные броши получают литьём (рис. 1.9), штампованием или выпиливанием ажюра из металлических пластин или техникой филигрانی из проволоки. Ажурные броши из кости, пластических масс и дерева получают путем резьбы и пропиливания ажурного орнамента.



Рис. 1.9. Брошь, ажурное литье из золоченого металла со вставками кристаллов (диаметр 3,5 см) [23]

Броши-камеи — это рельефные изображения женских головок из кости, полудрагоценных и поделочных камней. Оправу камней изготавливают из золота, серебра или сплавов цветных металлов. Иногда камеи наклеивают на основание металла. Крепят камеи в ободке глухой закрежкой, а ободки иногда украшают жемчугом, филигранью и др.

Иногда броши имеют подвески, а также бывают двойными, со-единенными цепочкой. Замки у брошей сложные с предохранителем (штампованные, шарнирные) от уколов и самооткрывания булавки, а также проволочные в виде крючка или клипсовые.

Подгруппа украшений для рук состоит из украшений двух видов: кольца и браслеты. Производство колец составляет 50 % в ассортименте ювелирных изделий, браслетов ~ 2 %.

Кольца — самый распространенный вид украшений пальцев рук не только женщин, но и мужчин. Кольца изготавливают гладкие без вставок (обручальные) и декоративные (фасонные). В зависимости от фасона и формы кольцо состоит из шинки (ободка), оправы (каста) для камня, ранта под оправу, накладок и камня (вставки). Кольца изготавливают из золота 375, 583, 750 и 958-й проб, серебра 875 и 916-й проб и сплавов цветных металлов (латуни, томпака, мельхиора и др.). Встречаются кольца, изготовленные из платины 950-й пробы или из сплавов двух металлов, например, золота и платины или золота и палладия, где одна часть, верхняя, из золота, а нижняя — из платины или палладия, также из сплавов цветных металлов с защитно-декоративными свойствами.

Гладкие кольца имеют шинку от 3 до 12 мм, сплошную или полую с сечением разных форм — круглой, полукруглой, полуовальной, треугольной, прямоугольной и др. В любой точке шинка имеет одинаковый профиль сечения.

Декоративные кольца имеют шинки, изготовленные из золота, платины, палладия, серебра, сплавов цветных металлов штампованием, филигранью и другими методами, например, нарезкой из трубок, а у места закрепления шинки бывают утолщенными, раздвоенными, ажурными и др. Вставки могут быть из бриллиантов, изумрудов, сапфиров, рубинов, жемчуга, янтаря, кораллов, аметистов, агатов, фианитов, гранатитов и других ювелирных камней, а также из цветного стекла, пластмассы, кости, эмали. Ценятся вставки-камеи из драгоценных, полудрагоценных, поделочных камней, янтаря (рис. 1.10) [24].

Камеи могут быть резные из ювелирных камней с наклеенными изображениями, а также из пластмассы и стекла, имитирующих полудрагоценные камни. Оправы по форме, фасонам и размерам могут быть разнообразными и хорошо сочетаться со вставкой. Под камеею может быть одна или несколько оправ. Способы крепления вставок: крапановая, гризантная, в кернер, глухая и др. Рант под оправу также бывает разных размеров и форм, самой различной художественной отделки.



Рис. 1.10. Декоративные кольца из серебра (литьё) со вставками из янтаря и цветного стекла, имитирующего полудрагоценные камни [24]

Размеры (номера) колец определяют по внутреннему диаметру шинки в мм — от 15 до 22,5 с интервалом 0,5 мм. Кольца для мужчин отличаются от колец для женщин большим размером и крупными вставками или площадками для гравировок. Толщина кольца может составлять 1,2 мм.

На рис. 1.11 представлен дизайн ажурных колец из золота со вставками из мелких бриллиантов [25].

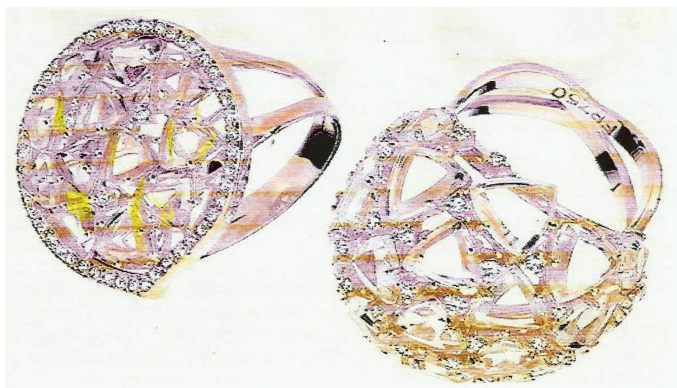


Рис. 1.11. Кольцо из золота (литьё) со вставками из мелких бриллиантов [25]

Особую женственность и нарядность дизайну кольца придаёт мозаичный венецианский узор с треугольными формами.

Для определения размера кольца существует специальное приспособление — кольцемер — металлический усечённый конус с делениями, которые показывают диаметр кольца в миллиметрах. На оборотной части ярлыка кольца указывают его размер.

Браслеты являются украшением запястий рук. В отличие от браслетов для часов их называют декоративными и изготавливают из золота, платины, серебра, сплавов цветных и чёрных металлов, янтаря, кораллов, кости, керамики, стекла, дерева и других материалов различными методами: литьём, штамповкой, филигранью и др. (рис. 1.12) [26].



Рис. 1.12. Браслет из золота (литьё) [26]

Выпускаются браслеты длиной от 130 до 195 мм с интервалом в 5 мм.

По конструкции браслеты подразделяют на жёсткие и мягкие.

Жёсткие браслеты изготавливают в виде кольца, подковки из двух половинок, соединённых шарниром, или витка в несколько оборотов.

Мягкие браслеты (эластичные) состоят из отдельных штампованных или проволочных звеньев, образующих цепочку, которую закрепляют на руке с помощью замков разнообразных конструкций.

Замки иногда имеют предохранитель в виде восьмёрки или цепочки, препятствующей самооткрыванию.

Как жёсткие, так и мягкие браслеты могут иметь подвески из различных материалов, а лицевая сторона браслетов — различные художественно исполненные рисунки, вставки из ювелирных камней,

стекла, пластмассы, кости или фигурные накладки из металлов, а также из других материалов.

Гарнитуры (набор предметов) — это подгруппа предметов личных украшений, состоящих из серёг, коле, бус, ожерелья, кулона, браслета и кольца, или из нескольких украшений в ином сочетании. Все украшения, входящие в гарнитур, должны иметь одну форму, цвет, материал и отделку (рис. 1.13).



Рис. 1.13. Гарнитура: золотой браслет (литьё) и серьги со вставками (изумруды, бриллианты)

Из анализа внешнего вида ювелирных украшений (рис.1.3—1.13) можно сделать вывод, что они отличаются по уровню сложности изделий, характеризующей их формой, толщиной стенки, виду декорирования, материалу литой основы и камня-вставки. Кроме этого, учитывая высокую стоимость драгоценных металлов и трудности ручной или механической обработки ювелирных изделий, поверхность отливок должна иметь высокий уровень чистоты, характеризующейся величинами R_a и R_z [28; 29]. Таким образом, если ювелирное изделие имеет простую форму без декорирования, выполнено без декорирования или с простым рельефом, а в литье его шероховатость соответствует 4 классу (табл. 1.5), его можно отнести к первой группе технологической сложности. Пример дизайна такого изделия — литые серьги (рис 1.3, позиция 1049) или гладкое кольцо. Если изделие имеет форму средней сложности, декорированное в виде выступов и углублений различной формы, а его поверхность соответствует 5 классу шероховатости литой поверхности (табл. 1.4), изделие следует отнести ко второй группе технологической сложности. Пример

дизайна такого изделия — литые серьги из золота (рис. 1.3, позиция 1040 и 1043), кольца (рис. 1.10), браслет (рис. 1.12). Если изделие имеет форму высокой сложности, декорировано в виде мозаичного узора, а его поверхность соответствует 6 классу шероховатости литой поверхности, изделие относят к третьей группе технологической сложности. Пример дизайна такого изделия — литые серьги (рис. 1.3, позиция 1020), кольцо (рис. 1.11). Таким образом, классификация изделий ювелирного литья, в отличие от классификации художественных отливок, должна дополнительно включать показатель, характеризующий показатели технологической сложности. Более подробно этот вопрос рассмотрен в разделе 3. Этот показатель, наряду с массой отливки ($\geq 1,5 \leq 50$ г) предопределяет выбор способа литья и вид сплава. В таблице 1.4 приведены данные соответствия классов и параметров шероховатости [28; 29].

При мелкосерийном или индивидуальном способе производства изделия в ювелирном литье наиболее часто используется метод литья по выплавляемым моделям с использованием керамической или гипсовой формы [3; 6; 7; 27]. Подбором состава цветного сплава, например, имитирующего золото высокой пробы, можно улучшить его цветовой дизайн и сделать доступным ювелирное изделие для покупателя среднего достатка [27]. Однако, если это украшение для шеи, ушей или рук человека, изделие, например, из бронзы или латуни, имеет низкую коррозионную стойкость, на его поверхность необходимо наносить покрытие, защищающее изделие от окисления и имеющее высокие эстетические свойства.

Подбором состава цветного сплава и способа изготовления методом литья фасонного изделия, имитирующего драгоценный камень (изумруд, гранат и др.) можно также расширить номенклатуру экономичных ювелирных изделий при сохранении высокого уровня дизайна.

С учетом приведенного анализа предлагается классификация ювелирных изделий, полученных методом литья, по следующим характеристикам: технологической сложности отливок, способам их изготовления, материалам отливок, по видам изделий (рис. 1.14).

Как и в классификации художественного литья (рис. 1.2), к объектам ювелирного литья относятся только миниатюрные изделия, массой менее 0,05 кг. Основной вид указанных изделий, это украшения (рис. 1.3—1.13), выполненные из драгоценных металлов и сплавов на основе меди, имитирующей золото, латуни, имитирующей золото, и с покрытием из золота.

Таблица 1.4

Соответствие классов и параметров шероховатости при механической обработке и литье

Значение параметра шероховатости для различных видов поверхности														
Классы шероховатости	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
R_a , мкм	80–40	40–20	20–10	10–5	5–2.5	2.5–1.25	1.26–0.63	0.63–0.32	0.32–0.16	0.16–0.08	0.08–0.04	0.04–0.02	0.02–0.01	0.01–0.008
R_z , мкм	320–160	160–80	80–40	40–20	20–10	10–6.3	6.3–3.2	3.2–2.6	2.6–0.8	0.8–0.4	0.4–0.2	0.2–0.1	0.1–0.05	0.05–0.025
Базовая длина, мм	8		2,5		0,8		0,25		0,08					
Достижимый при данном способе изготовления класс шероховатости														
Литьё в песчаные формы	✓	✓	✓											
шабрение							✓	✓	✓					
сверление			✓	✓	✓	✓								
строгание	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
развертывание							✓	✓	✓					
точение	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
фрезерование		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
протягивание						✓	✓	✓	✓	✓				
шлифование						✓	✓	✓	✓	✓				
притирка								✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
хонингование								✓	✓	✓	✓	✓		
прокат					✓	✓	✓	✓	✓					
Литье в кокиль	✓	✓	✓	✓										
*Литье под давлением		✓	✓	✓	✓	✓	✓							
**Литье по выплавляемым моделям в керамическую форму					✓	✓								

*) алюминиевые сплавы; **) чугун, сталь углеродистая;

Обозначения: ✓ — знак применяют в обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована удалением слоя материала, например, точением, фрезерованием, травлением и т. п.; ✓ — знак применяют в обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала, например, литьем, ковкой, штамповкой, прокатом, волочением и т. п., а также поверхности, не обрабатываемой по данному чертежу.

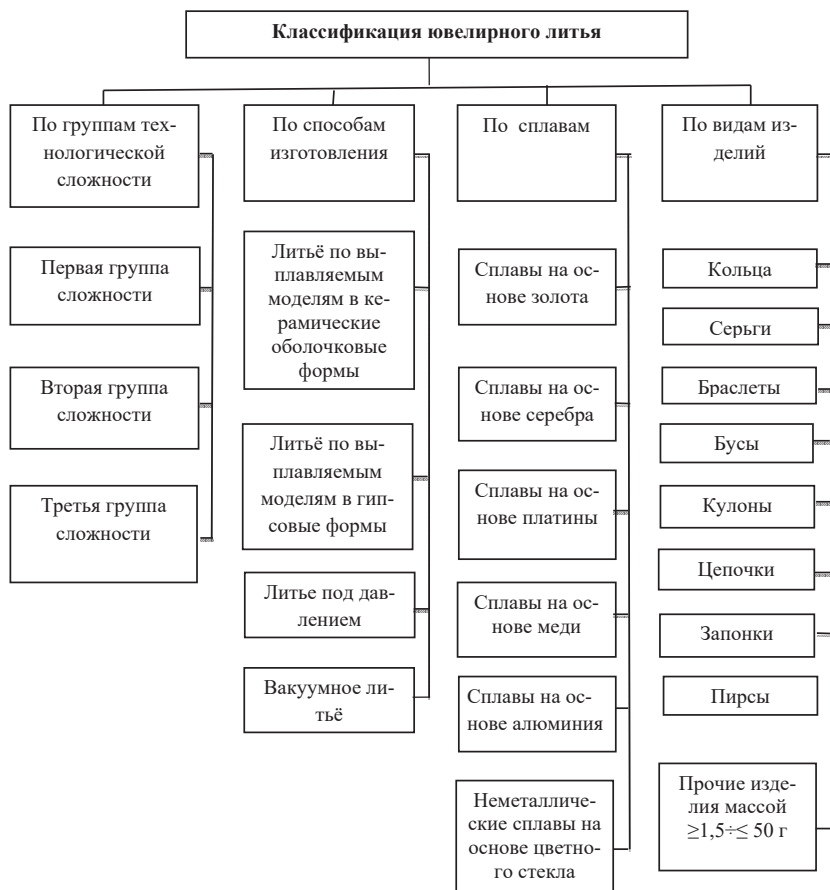


Рис. 1.14. Классификация ювелирного литья

Украшения могут быть с драгоценными камнями (изумруд, гранат и др.) либо с синтетическими или искусственными камнями, имитирующими внешний вид и дизайн драгоценных камней. В связи с высокими требованиями к качеству литой поверхности, которая должна иметь шероховатость на уровне не менее 5 класса и подвергаться только операции шлифовки с достижением шероховатости 7–9 класса (табл. 1.4), способы достижения такого класса, как правило, ограничены литьем по выплавляемым моделям в керамические формы (ЛВМ КФ) и литьем по выплавляемым моделям в гипсовые

формы (ЛВМ ГФ). При этом заливка указанных форм расплавом может проводиться без давления, с давлением и в вакуумируемые формы. Кроме традиционных способов литья (ЛВМ КФ, ЛВМ ГП) и металлических сплавов (на основе Au, Ag, Cu и др.), разработаны и патентуются неметаллические сплавы, например, на основе цветного стекла или хрустального стекла, имитирующих дизайн драгоценных камней [109; 110]. Заготовки из указанных сплавов получают методом литья в кокиль.

ВЫВОДЫ

1. Уточнены номенклатура и эстетические показатели для художественного и ювелирного литья.
2. Приведена современная классификация художественных отливок массой от ≥ 20000 кг и до 0,05 кг, характеризующихся по массе, способу изготовления, виду сплава, назначению и тематике.
3. Представлены номенклатура, характеристика и современный дизайн ювелирных украшений из различных сплавов.
4. Предложена классификация ювелирных отливок массой до 0,05 кг по четырём показателям: характеризующихся по группе технологической сложности, способу изготовления, виду сплава и по виду изделия.

Раздел 2

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧКОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК

В период до 2000 года в странах СНГ изготовление мелких (≤ 50 гр.) изделий, к которым предъявлялись высокие требования по точности размеров и качеству поверхности, а также ювелирных литых изделий в виде украшений, являлись объектами крупносерийного производства. Поэтому для литья использовались преимущественно тонкостенные оболочковые керамические формы и высоко-механизированное оборудование. В связи с формированием в период 2005–2014 гг. рыночного спроса на ювелирные изделия, обладающие оригинальным художественным дизайном, и развитием технологии литья в гипсовые объемные формы с использованием импортных материалов производство ювелирных изделий, например, в Украине стало мелкосерийным или индивидуальным. В серийном производстве недорогих ювелирных украшений (металлическая галантерея) используются литьевые и нелитьевые методы формообразования изделий и защитно-декоративные покрытия, имитирующие драгоценные металлы.

2.1. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ И ГРУППЫ СЛОЖНОСТИ ОТЛИВОК

Формообразование можно рассматривать в двух аспектах: метод (способ) получения заготовки (или изделия) из какого-либо материала; метод изготовления формы для заготовки (изделия). Применительно к ювелирному литью, как к методу, он включает: изготовление формы, приготовление расплава из драгоценного или иного сплава, имитирующего драгоценный металл (или драгоценный камень), заливку расплава в форму, извлечение отливки в виде заготовки, требующей дополнительной механической обработки: отделения заготовки от литниковой системы, шлифовки, полировки, закрепления в изделии драгоценного натурального или искусственного камня.

Цель способа формообразования изделия технического назначения обуславливает получение размеров, формы и качества поверхности, которые должны соответствовать чертежу и техническим условиям, указывающим допустимые отклонения от заданных размеров, формы и чистоты (шероховатости) поверхности.

Формообразование в ювелирном литье в первую очередь — это создание внешнего вида (дизайна) изделия, отвечающего требованиям художественной выразительности, на основе рисунка, эскиза разовой модели, выполненной из пластичного материала, либо виртуальной компьютерной 3D-модели. Новый внешний вид характеризуется изменением формы, качества поверхности и ее декорирования, повышающими художественную выразительность ювелирного изделия посредством: усложнения или переходам от простой геометрической формы (круг, овал и др.) к более сложной (криволинейной, мозаичной, сетчатой и др.); использования более сложного мелкого рельефа различной формы (выпуклая, вогнутая, остроугольная и др.) либо узора или рисунка (знак зодиака, лицо владельца украшения, его инициалы, оформленные оригинальным шрифтом и др.), имитации цвета драгоценных металлов. Ювелирные отливки должны не иметь дефектов, обладать минимальным уровнем шероховатости и заданным цветовым дизайном. Например, если до 2000 г. в странах СНГ золото, например, 585° пробы было только желтым, то в период 2010—2015 гг. указанное золото может быть как желтым, так и белым, красным, зеленым, коричневым, голубым, синим и черным [33]. Высокий уровень шероховатости поверхности отливки из драгоценного сплава приводит к его потерям при механической обработке, что снижает экономичность способа, как и переплав бракованных отливок.

Технологическая возможность и экономичность использования того или иного способа формообразования при литье зависят от сложности отливки. Отливки (заготовки) технического назначения, например, из черного и цветных сплавов массой от нескольких тонн до килограмма, классифицируют по пяти группам технологической сложности [33].

К группе 1 относятся отливки простой геометрической формы: плоские, круглые или полусферические; наружные поверхности — гладкие или плоские с наличием невысоких ребер, бобышек, фланцев, отверстий, выступов и углублений.

К группе 2 относятся отливки в виде сочетания простых геометрических тел, плоские, круглые или полусферические, открытой ко-

робчатой формы. Наружные поверхности плоские и криволинейные с наличием ребер, буртов, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углублениями простой конфигурации.

К группе 3 относятся отливки открытой коробчатой, сферической, полусферической цилиндрической или другой формы. Наружные поверхности — криволинейные и плоские с наличием нависающих частей, ребер, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углублениями, расположенными в одном и двух ярусах, со свободными широкими выходами полостей.

К группе 4 относятся отливки закрытой или частично открытой коробчатой или цилиндрической формы. Наружные поверхности — криволинейные и плоские с примыкающими кронштейнами, фланцами, патрубками и другими конструктивными элементами различной конфигурации.

К группе 5 относятся отливки закрытой коробчатой формы. Наружные поверхности криволинейные, сложной конфигурации с примыкающими и пересекающимися кронштейнами, фланцами, патрубками и другими конструктивными элементами.

Применительно к ювелирному литью метод формообразования должен обеспечивать технологическую возможность: получения отливки в виде готового изделия, требующего минимального объема обработки его поверхности; изготовление изделия любой сложности в соответствии с дизайном, отраженным в виде эскиза, рисунка компьютерной 3D-модели или натурной модели из пластического материала. В условиях мелкосерийного или индивидуального производства этим требованиям экономически удовлетворяет только метод литья по выплавляемым моделям в гипсовые формы, а при серийном — метод литья в тонкостенные оболочковые керамические формы.

Изделия ювелирного литья, в отличие от заготовок, например, для машиностроения, не имеют таких элементов внешней или внутренней структуры — кронштейны, бобышки, фланцы, патрубки. Поэтому для характеристики технологической сложности ювелирных отливок предлагается (табл. 2.1) использовать следующие характеристики уровня технологической сложности:

- форма поверхности;
- декорирование поверхности элементами в виде рельефа, рисунка, узоров, проемов, мозаики;
- шероховатость поверхности;
- толщина стенки.

Таблица 2.1

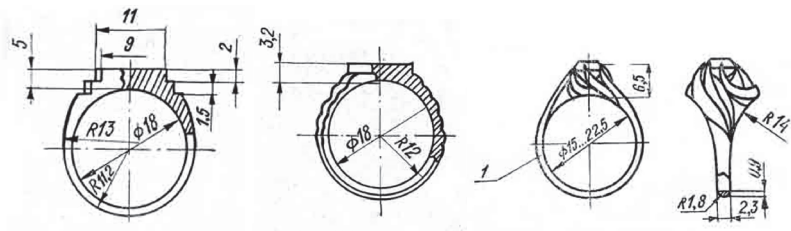
Классификация технологической сложности ювелирных изделий

	№ группы		
	1	2	3
Форма поверхности	Простая геометрическая гладкая, без проёма для вставки камня	Сложная геометрическая открытой формы с наличием проёма для вставки камня	Криволинейная, сложной конфигурации с пересекающимися сквозными элементами в виде мозаики и вставками для камней
Декорирование поверхности	Декорирование отсутствует или простое с наличием крупного рельефа простой геометрической формы	Декорирование средней сложности в виде мелкого рельефа различной геометрической формы	Декорирование высокой сложности в виде мелкого рельефа, узоров или рисунка
Класс шероховатости поверхности, показатель Ra и Rz, мкм	4 класс Ra 5–10 Rz 20–40	5 класс Ra 2,5–5 Rz 10–20	6 класс Ra 1,25–2,5 Rz 6,3–10
Толщина стенки, мм	> 2,0	1,0–2,0	0,5–1,0

Например, в литейном цехе ЛПТО «Русские самоцветы» при литье золотых колец брак литья возрастал до 70 % с увеличением сложности формы поверхности кольца (рис. 2.1) [107].

2.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБОЛОЧКОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

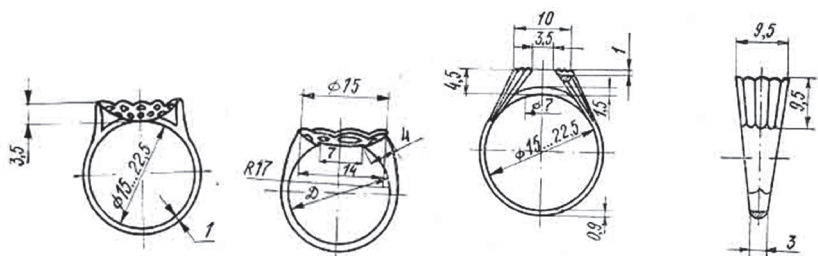
Оболочковая форма должна отвечать следующим требованиям: обладать достаточной прочностью, выдерживать динамический и статистический напоры расплава, не деформироваться при заливке, затвердении и охлаждении отливки; быть огнеупорной, т. е. не разупрочняться при прокаливании и особенно при заливке; иметь газопроницаемые стенки, чтобы в полостях формы не возникало противодавление воздуха (такое явление приводит к браку отливок по недоливу); быть химически инертной к модельному составу и металлу



Кольцо-печатка
06003

Кольцо-печатка
06004

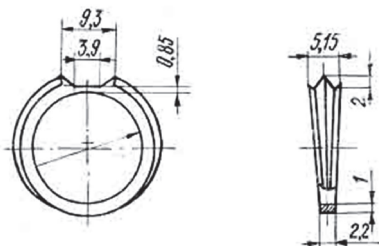
Кольцо 03039



Кольцо 03149

Кольцо 06087

Кольцо 03094



Кольцо 03027

Рис. 2.1. Влияние технологической сложности отливки из золота типа «кольцо» на уровень брака: кольцо-печатка 06004, брак 8,7 %; кольцо-печатка 06003, брак 14,7 %; кольцо 06087, брак 36,6 %; кольцо 03094, брак 35,4 %; кольцо 03027, брак 24,4 %; кольцо 03039, брак 50–70 %

отливки; иметь достаточную податливость, чтобы не препятствовать усадке сплава; обеспечить получение отливок с поверхностью требуемой шероховатости и высокой точности размеров, массы и конфигурации [33; 34].

Особенности литья по выплавляемым моделям в тонкостенные оболочковые керамические формы: использование разовой выплавляемой модели, формирующей рабочую полость (полости формы); изготовление формы многослойной из жидкой суспензии, включающей дисперсный огнеупорный наполнитель и связующее; термообработка формы до 900–1000 °С [35].

На рис. 2.2 представлена схема изготовления оболочковой керамической формы, начиная от изготовления выплавляемой модели и закачивая ее высокотемпературной обработкой (прокалкой) в печи.

Готовые модели или звенья собирают в блоки 3 (рисунок 2.2, б), имеющие модели элементов литниковой системы из того же материала, что и модель отливки. Блок моделей состоит из звеньев, центральная часть которых образует модели питателей и стояка. Модели чаши и нижней части стояка изготавливают отдельно и устанавливают в блок при его сборке.

Для изготовления формы по выплавляемой модели 2 ее погружают в емкость с жидкой формовочной смесью (суспензией). Эта смесь (рис. 2.2) состоит, например, из пылевидного кварца и гидролизованного этилсиликата. После извлечения модели 2 на ее поверхности образуется тонкий слой (≤ 1 мм). Для упрочнения этого слоя посредством увеличения его толщины на него наносят (рис. 2.2, г) слой зернистого материала 5, например, из кварцевого песка. После сушки в парах аммиака (рис. 2.2, д) операцию повторяют 3–10 раз до получения оболочки, прочность которой достаточна для проведения операций выплавления моделей, например, в горячей воде (рис. 2.2, е). Затем форму сушат и помещают в металлический контейнер 8 для обсыпки модели 2 опорным материалом 10. Затем контейнер 8 вместе с формой устанавливают в печь для термообработки 10 (2а). После прокалки форма приобретает прочность и термостойкость, которая достаточна для заливки в нее расплава.

Материалами керамической оболочковой формы являются огнеупорная основа (две фракции — пылевидная менее 0,05 мм и «грубая» 0,1–0,3 мм) и связующее.

По химическому составу огнеупорных материалов керамические оболочковые формы разделяют на оксидные и углеродные. В свою очередь оксидные материалы форм по химическому составу разделяют на кислые, основные и амфотерные.

Кислые оксидные материалы форм на основе кристаллического кварца (SiO_2) применяют наиболее широко, так как они наиболее

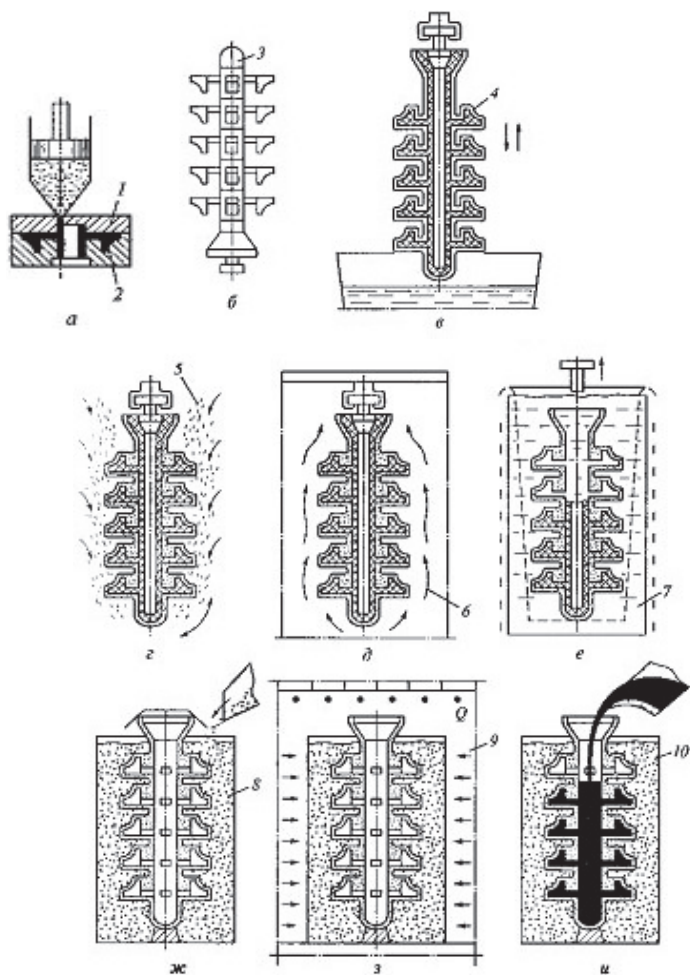


Рис. 2.2. Схема изготовления тонкостенной керамической формы по выплавляемой модели: а — запрессовка модельного состава в пресс-форму; б — сборка блока; в — нанесение на блок суспензии; г — посыпка огнеупорным зернистым материалом; д — сушка; е — удаление модели; ж — засыпка огнеупорным материалом; з — прокатывание в печи; и — заливка расплавом; 1 — пресс-форма; 2 — модель; 3 — блок моделей отливок и литниковой системы; 4 — слой суспензии; 5 — огнеупорный зернистый материал; 6 — пары аммиака; 7 — горячая вода; 8 — металлический контейнер; 9 — опорный материал; 10 — печь для прокатки формы

дешевые и недефицитны. Их используют в крупносерийном производстве отливок средней сложности, например, в машиностроении массой до 3–5 кг из углеродистых и низколегированных сталей.

Основные оксиды — MgO, CaO — применяют редко, только в производстве отливок из сплавов, обладающих высокой химической активностью к кислотным оксидам в жидком состоянии.

Амфотерные материалы на основе оксида алюминия Al_2O_3 широко применяют при изготовлении отливок из жаропрочных и антикоррозионных сплавов.

Углеродистые формы применяют при изготовлении отливок из титановых сплавов.

В производстве наиболее часто используют оболочковые формы, упрочненные сыпучим огнеупорным материалом. Преимущества таких форм заключаются в том, что их использование не связано с соблюдением высоких требований по прочности и термостойкости к собственно оболочковой форме. Их конструктивное решение исключает резкое охлаждение формы после прокалики перед заливкой. Оболочковую форму после удаления модели прокаливают и помещают в нагретый сыпучий огнеупорный материал, что позволяет снизить длительность операции прокаливания и энергозатраты на ее осуществление. В качестве опорных материалов используют кварцевый песок, шамотную крошку, бой форм. Такие формы используют в массовом производстве отливок небольших размеров.

На мелкие блоки суспензия наносится при окунании их в ванну с суспензией, а на крупные блоки и модели — путем их обливания. В зависимости от характера производства и степени механизации блок моделей погружают в ванну вручную, с помощью манипуляторов или копирующих устройств на цепных конвейерах. Блок погружают таким образом, чтобы с поверхности моделей, особенно из глухих полостей и отверстий, могли удаляться пузырьки воздуха. Вынутый из суспензии блок моделей медленно поворачивают в разных направлениях, чтобы суспензия равномерно распределилась по поверхности моделей, а излишки ее стекли. После этого на слой суспензии сразу наносится слой песка. Между моментами нанесения суспензии и обсыпкой должно проходить не более 10 с, так как далее суспензия подсохнет, и песок не соединится с ней. Суспензию в ванне непрерывно перемешивают с небольшой скоростью для предотвращения оседания огнеупорного материала. Песок на слой суспензии наносится при погружении блока в «кипящий» слой песка.

После нанесения каждого слоя суспензии и обсыпки его выполняется сушка оболочковых форм. Форму высушивают в потоке воздуха или в парах аммиака. Во время сушки на воздухе завершаются процессы гидролиза, происходит испарение растворителя и воды, коагуляция золя кремниевой кислоты и превращением его в гель с последующим затвердением и образованием твердых прослоек, связывающих зерна огнеупорного пылевидного материала.

Процесс коагуляции можно ускорить обработкой слоев оболочки парами аммиака. Аммиак омывает полиэфирные этоксилированные группы (продуктов неполного гидролиза) и переводит эти соединения в гель.

Продолжительность сушки и обсыпки каждого слоя суспензии на воздухе 2–4 ч, а в парах аммиака — 50–60 мин, из которых 20–30 мин — сушка на воздухе, 10–20 мин — сушка в парах аммиака и 10–20 мин — выветривание паров аммиака. Сушку ведут в вертикальных и горизонтальных многоярусных сушилках. Операция сушки — одна из наиболее длительных в общем цикле изготовления оболочковой формы, поэтому ускорение сушки — одно из важнейших направлений совершенствования процесса.

В зависимости от материала моделей используют различные способы их удаления из оболочки. Воскообразные модельные составы обладают низкой теплопроводностью. Поэтому при медленном нагреве модель прогревается на всю толщину, расширяется, давит на оболочковую форму и может разрушить ее. При быстром нагреве модель оплавляется с поверхности, модельный состав впитывается в поры формы или вытекает из нее и оболочковая форма не разрушается. Поэтому быстрый нагрев модельного блока — одно из основных условий получения оболочковой формы без трещин.

Модели из выплавляемых воскообразных составов удаляют из формы погружением блока моделей в горячую воду или ванну с модельным составом. Эти способы удаления моделей получили наибольшее применение на производстве. Удаление выплавляемых моделей возможно также в паровых автоклавах или горячим воздухом. Однако вследствие больших потерь модельного состава и сложности оборудования эти способы применяют редко.

При прокаливании оболочковой формы без опорных материалов ее помещают в печь вместе с моделью и нагревают до температуры 700–720 °С в течение 30 минут. Затем выдерживают при этой температуре около 20 мин. Для полной газификации остатков модельного состава и далее нагревают с той же скоростью до 920–1020 °С.

Для предотвращения разрушения оболочковой формы при заливке ее заформовывают в сыпучие огнеупорные материалы или жидкие формовочные смеси. В качестве опорных материалов используют сухой кварцевый песок, шамотный порошок, размолотые и просеянные через сито с ячейкой 2 мм остатки оболочки после очистки отливок. Главное требование к используемым для формовки огнеупорным материалам — высокая огнеупорность и одинаковый с материалом оболочки термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР), так как при различии данного показателя возможно возникновение напряжений и, как следствие этого, появление трещин в оболочковой форме при ее прокаливании и заливке.

В производстве используют два способа формовки оболочковых форм в сыпучие опорные материалы: в холодном и нагретом состоянии форм и опорных материалов.

Формовку в холодном состоянии используют в единичном и мелкосерийном производстве. Оболочковую форму после удаления модели помещают в контейнер из жаростойкой стали, засыпают контейнер огнеупорным материалом, уплотняют ее вибрацией на вибростоле, а затем прокаливают. Формовку в нагретом состоянии чаще используют в серийном производстве. В этом случае оболочковые формы прокаливают отдельно и сразу после прокаливания их заформовывают в предварительно нагретом сыпучем огнеупорном материале. Это позволяет сократить длительность прокаливания оболочковых форм, уменьшить напряжения в них, повысить надежность процесса.

Прокаливание оболочковых форм необходимо для полного удаления из форм остатков модельного состава, испарения остатков воды и продуктов неполного пиролиза связующего, а также спекания связующего и огнеупорного пылевидного материала. Во время прокаливания в стенке оболочковой формы образуются поры и микротрещины, благодаря чему возрастает газопроницаемость оболочки.

Оболочковые формы без опорных материалов прокаливают в течение 0,5–1 часа. Тонкая стенка формы быстро прогревается снаружи и изнутри, в ней возникают лишь минимальные напряжения и микротрещины, не оказывающие существенного влияния на ее прочность.

Оболочковая форма, заформованная в сыпучий огнеупорный материал, нагревается изнутри (со стороны рабочей полости) быстрее, чем снаружи через слой формовочного материала. Чтобы в стенке

формы не возникли термические напряжения вследствие резкого одностороннего нагрева, начальную температуру в печи и скорость нагрева выбирают из условия равномерного нагрева оболочковой формы. Для кварцевых материалов эта скорость равна 100 °С/ч. После нагрева до 900–1000 °С делают выдержку для завершения процесса прокаливания. Общая продолжительность прокаливания формы 6–8 часов.

2.3. СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫПЛАВЛЯЕМЫХ МОДЕЛЕЙ

В работах [35; 45] предложена классификация материалов выплавляемых моделей и рассмотрены их технологические свойства. В табл. 2.2 указана классификация указанных материалов по виду наполнителя, табл. 2.3 — по температуре запрессовки материала в пресс-формы, а табл. 2.4 — по величине их усадки при затвердении. Указанная классификация позволяет модельные составы разделить на группы. Например, класс 12 А1 представляет модельный состав на основе парафина или церезина (табл. 2.2) с температурой запрессовки (t_3) меньше $< 54^\circ \text{C}$ (табл. 2.4) и имеющий свободную линейную усадку менее 0,85 % (табл. 2.3).

Таблица 2.2

Классификация выплавляемых модельных составов по применяемому наполнителю и типу состава

Подгруппа	Вид наполнителя в пастообразном модельном составе	Состав
1	Без наполнителя	Парафин, цезерин
2	Газообразный (воздух)	Минеральный воск
3	Жидкий (дистиллированная вода)	Смолы природные
4	Твердый, нерастворимый в жидком пластификаторе	Синтетические воски /смолы
5	Твердый, ограниченно растворимый в жидком пластификаторе	
6	Твердый, неограниченно растворимый в жидком пластификаторе	

Таблица 2.3

Классификация выплавляемых модельных составов по температуре их запрессовки составов по величине их свободной в пресс-форму линейной усадки

Разряд	Величина свободной линейной усадки (а) модельного состава, %
1	$a < 0,85$
2	$a > 0,85 < 1,15$
3	$a > 1,15$

Таблица 2.4

Классификация выплавляемых модельных составов по температуре запрессовки

Тип	Температура запрессовки (t_3) модельного состава в пресс-форму, °С
1	$t_3 < 54$
2	$t_3 > 54 < 100$
3	$t_3 > 100$

Составы подгруппы 2 (табл. 2.2) обеспечивают шероховатость приблизительно 20 мкм, если их наполнителем является воздух [45].

Для ювелирного литья используют парафино-стеариновые и иные составы, которые обеспечивают шероховатость поверхности отливки близкую к 1,25 мкм. Например, в табл. 2.5 приведены марки парафино-стеариновых таких составов и их технологические характеристики: s_n — предел прочности при статическом изгибе при 18...20 °С (не менее); a — свободная линейная усадка при отсутствии воздуха в модельном составе; t_T — теплоустойчивость (не менее); M_3 — зольность или массовая доля золы (не более), Dt_{II} — температурный интервал пастообразного состояния модельного сплава; t_k — температура каплепадения по Уббелоду. Обозначения в табл. 2.5: ПС — парафино-стеариновая смесь; ПБС — смесь ПС с буроугольным воском; ПСЭ — смесь ПС с этилцеллюлозой.

Как правило, подготовка составов типа ПС к прессованию состоит в замешивании в жидкий ПС расплав его мелкой стружки либо понижении температуры жидкого состава до 42...47 °С и его непрерывном перемешивании при постоянном охлаждении, до получения однородной пастообразной массы. Однако при этом в процессе перемешивания и охлаждения в пастообразный состав в виде мелких пузырьков замешивается и некоторое количество воздуха (6...10 % по объему).

Свойства модельных составов класса 12А1

Марка модельного состава	Показатели					
	$s_{и}$, МПа	a , %	$t_{р}$, °С	M_3 , % (по массе)	$Dt_{п}$, °С	$t_{к}$, °С
ПС 50–50	1,6–2,0	0,3–0,4	28	0,02	42–43	47,5
ПС 70–30	1,6–2,0	0,4–0,5	28	0,02	44–45	49
ПБС 50–30–20	2,5–3,1	0,5–0,6	30	0,03	46–50	71,5
ПСЭ 70–25–5	2,3–2,7	0,3–0,6	30	0,02	44–47	50

Наличие воздуха в модельном составе способствует снижению величины свободной линейной усадки моделей до 0,20...0,35 %. Температура подготовленного к запрессовке пастообразного состава типа ПС находится в пределах 42...47 °С (предельная температура 54 °С).

Эти составы характерны высокой текучестью и пластичностью, низкой твердостью и величиной усадки. Это позволяет использовать их при низком давлении прессования (до 0,2 ППа) посредством рычажных прессов или ручных шприцов, применяемых в мелкосерийном и индивидуальном производстве ювелирных изделий.

Модельные составы классов 12В1 и 12В3 (табл. 2.6), содержащие парафин и церезин, обладают более высокой твердостью, теплоустойчивостью и прочностью, а также температурой запрессовки (54–65° С). Их можно применять на оборудовании, используемом в серийном или автоматизированном производстве.

В табл. 2.7 приведены свойства составов, указанных в таблице 2.6.

В Украине централизованно производят модельные составы марок КС-5Р, КС-5А, КС-3, Велен 1, в Республике Беларусь — состав К-2Мо, в России — состав марок ПЦБ 56-32-12, Салют-1, МС-В.

В табл. 2.8 представлены свойства модельных составов классов 12В1 и 12В3 [45].

Достичь высокого уровня чистоты поверхности модели, изготовленной из воздухонаполненного модельного состава, не представляется возможным в связи с вынужденным ограничением давления запрессовки по вышеуказанным причинам. Кроме этого использование вакуумно-аммиачной сушки слоев огнеупорного покрытия на модельном блоке не позволяет применять воздухонаполненные модели в связи с их разрушением или вздутием поверхности, в период создания вакуума в сушильной камере при сушке первого слоя

огнеупорного покрытия. Поэтому для обеспечения высокой чистоты поверхности моделей и обеспечения заполняемости пресс-форм используют «широко-интервальные» модельные составы, не содержащие воздуха в пастообразном состоянии.

Таблица 2.6

Модельные составы класса 12В1 и 12В3

Класс модельного состава	Марка модельного состава	Содержание компонентов, % (по массе)							
		парафин	церезин	буроугольный воск	торфяной воск	**K ₀	полиэтиленовый воск	сополимер этилена с винилацетатом	защитный воск
12В1	Р-3 (ПЦБКо 58–24–13–5)	58	24(с)*	13		5			
	ПБТ 70–20–10	70		20	10				
	ПБЦ 59–12–29	59	29(н)	12					
12В3	ПЦС _{ЭВ} З _В П _В	~55	5–25(с/н)				2–8	2–15	5–20

Примечание: *с — церезин синтетический, высокоплавкий, н — церезин нефтяной, **K₀ — кубовый остаток термического крекинга парафина.

Таблица 2.7

Свойства модельных составов классов 12В1 и 12В3

Класс модельного состава	Марка модельного состава	Показатели					
		S _И , МПа	а, %	t _Г , °С	M ₃ , % (по массе)	Dt _П , °С	t _К , °С
12В1	Р-3	3,4–3,9	0,6–0,9	34	0,03	54–59	77–84
	ПБТ 70–20–10	3,6–4,2	0,6–0,9	34	0,05	54–57	73
	ПБЦ 59–12–29	3,0–3,5	0,6–0,9	32	0,03	54–59	77–80
12В3	ПЦС _{ЭВ} З _В П _В	4,5–5,0	1,3–1,6	50	0,03	54–68	87–90

В составах на основе парафина или церезина увеличения (расширения) температурного интервала пастообразного состояния достигают, в основном, за счет ввода в них полимерных материа-

лов (полиэтиленового воска, полиэтилена, сополимера этилена и винилацетата, полипропилена и т. п.). Кроме этого, в число компонентов данных модельных составов могут входить: смола нефтеполимерная, церезин нефтяной, воск буроугольный и др. Следует отметить, что использование в модельных составах данного класса полимерных материалов не только способствует расширению температурного интервала пастообразного состояния, увеличению прочности и теплоустойчивости модельного состава, но и повышает их линейную усадку, а также склонность к образованию в моделях утяжин.

Таблица 2.8

Свойства модельных составов классов 12В1 и 12В3

Марка модельного состава	Показатели				
	$s_{и}$, МПа	a , %	$t_{г}$, °С	M_3 , % (по массе)	$t_{к}$, °С
КС-5А	5,0–6,2	0,6–0,9	37	0,07	75–85
КС-5Р	4,7–5,1	0,6–0,9	34	0,07	75–85
КС-3	2,8–3,0	0,6–0,9	30	0,07	72–78
ПЦБ 56–32–12	4,0	0,6–0,9	30	0,03	75–80
МС-В	4,5	1,0–1,5	37	0,03	75–80
МВС-3Н	4,0	1,0–1,5	37	0,03	75–85
Салют-1	4,5	1,0–1,5	35	0,05	70–80
Велен-1	5,0	0,9–1,5	37	0,02	~85
К-2М (о)	2,0	0,9–1,4	28	0,15	75–90
К-2М (а)	2,5	0,9–1,4	30	0,15	75–90
К-2	3,0	1,0–1,5	32	0,15	75–90

Свойства некоторых модельных составов класса 11В3 приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Свойства модельных составов класса 11В3

Марка модельного состава	Показатели				
	$s_{и}$, МПа	a , %	$t_{г}$, °С	M_3 , % (по массе)	$t_{к}$, °С
Салют-2	6,5	1,0–1,35	37	0,05	70–80
Салют-3	7,0	1,0–1,35	40	0,05	80–90
Салют-4	7,5	1,0–1,40	40	0,05	85–95
ЗГВ-101	5,0–7,0	1,0–1,35	38	0,10	85–95
ЗГВ-102	5,0–7,0	1,0–1,35	36	0,10	85–95
ЗГВ-103	5,5–6,5	1,0–1,45	40	0,10	85–90

Необходимо отметить, что, как и у модельных составов типа ЗГВ (табл. 2.9), использование относительно больших добавок полимерных материалов может приводить к расслоению модельного состава при его длительной выдержке в жидком состоянии, без регулярного перемешивания состава.

Класс 24В1. Как было отмечено выше, понизить усадку модельного состава, при всех прочих равных условиях, можно путем ввода в модельный состав твердого наполнителя, нерастворимого в воскоподобной основе модельного состава.

В качестве твердых наполнителей модельных составов данного класса используют порошок карбамида (технической мочевины), уротропина (гексаметилентетрамина), синтетических смол (например, акриловой смолы), полистирола, хлористого аммония, фталимида, коллоидного графита, сажи и др.

При выборе твердого наполнителя учитывают его плотность, гигроскопичность, зольность, фракционный состав, токсичность в исходном состоянии и при температуре прокаливания керамических оболочек, смачиваемость воскоподобной частью модельного состава (пластификатором).

Соотношение плотностей наполнителя и пластификатора во многом предопределяет как стабильность самого модельного состава, так и возможность его вторичного использования. Плотность воскоподобной части модельного состава (пластификатора) в расплавленном состоянии, как правило, находится в пределах от 0,75 до 0,88 г/см³, плотность при 20° С составляет от 0,9 до 1,0 г/см³. Если плотность материала наполнителя значительно больше плотности жидкого пластификатора, то такой наполнитель, после выплавки модельного состава из керамической оболочки, за время охлаждения жидкого пластификатора осядет на дно бака-накопителя модельного состава. В результате модельный состав становится непригодным для повторного использования (для изготовления моделей отливок). По этой же причине в период подготовки модельного состава класса 24В1 к запрессовке в пресс-форму недопустим чрезмерный нагрев жидкого модельного состава.

Выбрав тот или иной пластификатор, важно определить его количество в модельном составе. С точки зрения сохранения удовлетворительной текучести модельного состава и существенного понижения при этом величины линейной усадки моделей количество твердого наполнителя рекомендуется [45] рассчитывать по эмпирическому уравнению, % (по массе):

$$M_H = 30 \times r_H / r_P, \quad (2.1)$$

где r_H и r_P — плотность материала наполнителя и пластификатора модельного состава при 20 °С соответственно, г/см³.

Приготовление модельных составов класса 24В1 проводят непосредственно в литейном цехе, как правило, в электропечах емкостью до 0,05 м³, оснащенных механической мешалкой с малым числом оборотов.

На предприятиях в странах СНГ из числа твердых наполнителей наибольшее распространение получил карбамид (NH₂CONH₂), как наиболее дешевый и недефицитный материал. Плотность карбамида при 20 °С составляет ~ 1,335 г/см³.

Однако указанный материал требует повышения давления прессования и температуры модельного состава, что приводит к образованию в моделях брака по утяжинам. Другой недостаток состава — высокая гигроскопичность. При хранении на воздухе происходит «высаливание» карбамида в виде кристалликов соли, которые снижают качество поверхности готовой отливки.

Составы на основе природных смол (класс 31С3) требуют использования давления при запрессовке до 1 МПа и повышения температуры состава. Это приводит к высокому уровню их линейной усадки и появлению на модели утяжин и трещин.

В Украине разработан модельный состав марки КС-111, относящийся к классу 41В1 (ЧНПП «Карион-Сервис»).

Модельный состав КС-111 не склонен к короблению и образованию утяжин в моделях, имеет стабильную усадку, обладает высокой трещиностойкостью, в том числе и при хранении моделей в течение трех и более месяцев. Использование модельного состава КС-111 позволяет стабилизировать размерную и массовую точность отливок, что объясняется низким коэффициентом термического расширения модельного состава.

Запрессовку модельного состава в пресс-форму осуществляют в интервале температур от 56 до 80 °С, получая при этом стабильную усадку, высокую чистоту поверхности и точность формы модели. Низкая вязкость жидкого модельного состава КС-111 и отсутствие наполнителя позволяет его регенерировать и использовать повторно, а также использовать в установках, где подача пастообразного модельного состава к пресс-формам осуществляется по обогреваемым пастопроводам. Модельный состав КС-111 не содержит наполните-

лей и не расслаивается в жидком состоянии, сохраняя свои свойства при неоднократных нагревах до 200...220 °С.

Кроме этого, модели из модельного состава КС-111, так же, как и модели из модельного состава КПсЦ, можно склеивать между собой, используя те же материалы и технологию.

Свойства модельного состава КС-111 класса 41В1 приведены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Свойства модельного состава КС-111 (класс 41В1)

Марка модельного состава	Показатели					
	$S_{и}$, МПа	a , %	t_p , °С	M_3 , % (по массе)	Dt_p , °С	n , сСт
КС-111	i5,0	0,4–0,8	40	0,03–0,05	56–75	17–21

Модельные составы, изготовленные на основе синтетических восков и смол (класс 41В3), в основном используют для изготовления литниково-питающих систем. Эти составы производятся за рубежом: марка DMN (фирма Deamix, Германия); марки Castylene B538 или B581 (фирма Remet, Англия). Недостатки указанных составов: высокая вязкость в жидком состоянии, что делает их практически не регенерируемыми (одноразовыми); требующими высокой точности регулирования температуры при запрессовке.

В странах СНГ также используются импортные модельные составы, которые имеют различные цвета, без указания их марки. В табл. 2.11 представлены данные об их твердости и плотности, исследованы [51] три импортных модельных воска — светло-зеленый, темно-зеленый и буро-желтый. Определялись следующие основные свойства восков: плотность, относительная твердость, температура каплепадения и застывания, начало и конец застывания.

С учетом сложности анализа составов модельных восков были сняты и исследованы их инфракрасные спектры.

Плотность исследуемых восков измерялась при температуре 23 °С на образцах, не подвергавшихся переплавке.

Измерение твердости модельных восков производилось путем измерения глубины проникновения в испытуемый образец нормализованной иглы под необходимым давлением в течение определенного времени. Относительная твердость исследуемых импортных восков была найдена с помощью прибора типа ТИР. Максимальное пока-

зание шкалы (100) твердомер дает для стеклянной и металлической поверхностей.

Таблица 2.11

Плотность и твердость модельных восков

Наименование восков	Плотность, г/см ³	Показание шкалы твердомера, ед ТИР		Разность показаний
		В «нулевой момент»	Через 5 с после «нулевого момента»	
Светло-желтый	1,11	90	88	2
Темно-зеленый	0,98	91	90	1
Буро-желтый	0,98	93	93	1

Анализируя данные табл. 2.11, следует отметить, что светло-зеленый воск обладает повышенной плотностью и меньшей твердостью по сравнению с темно-зеленым и буро-желтым восками, что отрицательно сказывается на его технологических свойствах — полноте выплавления из литейных форм и сохранении формы восковых моделей.

Знание температур начала и конца плавления воска, а также температур начала и конца его застывания необходимо для правильного ведения технологического процесса получения восковых моделей в зависимости от их веса и конфигурации. Эти данные для случая использования резиновых пресс-форм приведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Температуры плавления и застывания модельных восков

Наименование восков	Температура, °С			
	Размягчения	Плавления	Начала застывания	Полного застывания
Светло-зеленый	58,9	61,9	56,0	51,5
Темно-зеленый	65,0	69,0	63,0	62,0
Буро-зеленый	63,8	67,0	64,0	61,3

Результаты, приведенные в табл. 2.12, свидетельствуют о большой легкоплавкости светло-зеленого воска по сравнению с темно-зеленым и буро-желтым восками. Интервал затвердения темно-зеленого воска меньше, чем у светло-зеленого и буро-желтого восков.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что в условиях мелкосерийного или единичного производства, характерного для

ювелирного литья украшений, высокий уровень качества литой поверхности (Ra близкой к 1,25 мкм) могут обеспечить традиционные парафино-стеариновые составы с минимальным содержанием воздуха. Модельный состав марки КС-111, относящийся к классу 41В1 и созданный в Украине на основе синтетического воска, также обладает высокими технологическими свойствами, обеспечивая высокую чистоту поверхности и точность форм. Однако его точный состав в работе [45] не указан. По-видимому, этот состав является «ноу-хау» предприятия 4НПП «Карион-Сервис» в виде промышленной интеллектуальной собственности либо запатентован.

2.4. ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И НОВЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ОБОЛОЧКОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ФОРМ

В исследовании [60] теоретических и технологических основ управления свойствами моделей в литье по удаляемым моделям указывается на перспективность метода для получения отливок максимально приближенных к изделиям применительно к деталям из стали для машиностроения. Отмечаются недостатки, свойственные традиционным тонкостенным керамическим формам на этилсиликатном связующем, и предлагаются различные подходы для повышения качества оболочковых форм (ОФ). В частности установлено, что основным дефектом оболочковых форм является их низкая трещиностойкость как при изготовлении форм, так и при заливке расплавом.

Результаты расчетов показали, что при заливке металла наибольшие перепады температур возникают между первым и вторым слоями формы, а максимальные значения напряжений и деформаций испытывает первый слой формы. Процесс прокаливания ОФ в опорном наполнителе не оказывает существенного влияния на образование трещин, поскольку перепад температур между слоями оболочки не достигает критического значения. Определяющими факторами, обуславливающими комплекс физико-механических характеристик оболочковых форм, являются содержание кварца, пористость и химическая природа связующего. Трещиностойкость оболочковых форм определяется в основном их структурой, которая зависит от способа приготовления суспензии. Для оболочковых форм, приготовленных

с применением механического перемешивания, характерна четко выраженная слоистая структура, а для ОФ, полученных барботажной технологией, — мелкопористая монолитная структура, причем количество связей между зернами песка и наполнителя и их адгезионная способность выше, чем при механическом перемешивании.

С использованием иерархического подхода к строению оболочковой формы предложен, опробован и внедрен в производство ряд модифицирующих добавок — позволяющих воздействовать на микро- и макроуровни структуры ОФ с целью повышения трещиностойкости и физико-механических свойств оболочки [60].

Модифицирующая добавка для этилсиликатных суспензий представляет собой пятипроцентный водный раствор натриевой соли хлопкового мыла, являющегося отходом производства хлопкового масла. Введение мыла в количестве 0,1 % от каждой жидкой фазы позволяет в 3–4 раза увеличить седиментационную устойчивость суспензии и в 1,4 раза увеличить трещиностойкость ОФ. Технология пропитки полностью сформированных оболочковых форм раствором ортофосфорной кислоты в ацетоне, взятых в соотношении 1:2 по объему, увеличивает прочность образцов в 2,0–2,5 раза, а трещиностойкость в 1,4–1,5 раза. Это позволяет использовать в технологическом процессе формы с меньшим количеством слоев, причем такие формы выдерживают заливку металла без опорного наполнителя.

Параметрами, определяющими размерно-геометрическую точность выплавляемых моделей и отливок, полученных в оболочковой керамической форме, являются физико-механические свойства моделей, исходя из чего установлена взаимосвязь физико-механических свойств моделей с размерно-геометрической точностью отливок [60].

Исследование [37] направлено на решение задачи ускоренного формообразования в литье по выплавляемым моделям в тонкостенные керамические формы. С этой целью оптимизирован состав смеси для этилсиликатного связующего (ЭТС), в котором в качестве активатора используется серная кислота. Выявлен ряд новых данных по ее влиянию на свойства суспензии. При содержании кислоты (H_2SO_4) в суспензии более 1,2 % к объему ЭТС твердение сохнувших слоев происходит без традиционно применяемых факторов активизации и твердения суспензии: воды и аммиака, применяемого для упрочнения маловодных суспензий (ОРГ-1). Аналогичный эффект возможен

под влиянием других сильных кислот, например, азотной. Серная кислота влияет на ряд важных технологических показателей: повышает жидкотекучесть и за счет этого позволяет уменьшить толщину слоев суспензии, нанесенных на модель, повышает склонность к образованию трещин в лицевом слое керамического покрытия при его сушке, снижает скорость испарения растворителя при сушке слоев суспензии. От известного гидролиза (активизация ЭТС водой) кислотная активизация отличается значительно меньшими скоростями протекания реакции и формой образующихся молекул. В результате гидролиза образуются сферические, а при кислотной активизации — линейные молекулы, обеспечивающие наибольшую прочность керамики форм. В суспензиях с недостаточным для полного гидролиза количеством воды (ОРГ-1, ОРГ-2) сосуществуют два вида активизации ЭТС: доминирующий гидролизный и кислотный, активизирующий негидролизованную часть ЭТС. Ввиду низкой скорости кислотной активизации ЭТС свойства суспензий ОРГ-1, ОРГ-2 и особенно безводной ОРГ-О улучшаются при выдержке до 8 и более часов. За счет роста линейных молекул: повышается их трещиностойкость, растет прочность формируемой из них керамики. Кроме того, установлено, что массовый брак по керамическим засорам, наиболее характерный для цехов с аммиачным упрочнением слоев суспензии, появляется при низкой прочности сцепления лицевого и опорных слоев многослойной керамической формы.

Для повышения качества керамической формы предложено отказаться от использования аммиака в случае формирования линейно-армированных структур в практике посредством варьирования состава суспензии.

В исследовании [34] ставилась задача разработать способ и технологию по ускорению процессов формообразования при изготовлении оболочковых и объемных керамических форм для литья по выглаваемым моделям.

По результатам исследования разработан способ подготовки плакированных зернистых материалов (ПЗМ). Суть способа заключается в обработке аэрозолем плакирующей смеси (ПС) зернистых материалов в установке кипящего слоя для решения задачи ускоренного изготовления оболочковых керамических форм на этилсиликатном связующем с повышенными физико-механическими свойствами, могут быть использованы в качестве обсыпок зернистые материалы, плакированные катализаторами гелеобразования.

Предложена технология изготовления комбинированных формооболочек на этилсиликатном и жидкостекольном связующих с применением плакированных гелеобразователем обсыпок и закрепляющего раствора. Оптимизированы параметры процесса закрепления жидкостекольных слоев: концентрация добавки АБФК в растворе 30–35 %; время обработки слоя 40–60 с; продолжительность отверждения слоя составила 60–90 мин. Полученные образцы отличаются высокими прочностными свойствами: $\sigma_{изг.} = 3,3...3,6$ МПа; и размерной точностью. Зафиксировано практически трехкратное сокращение продолжительности изготовления формооболочек по сравнению с базовыми технологиями формообразования.

Способ ускоренного изготовления керамических форм из наливных смесей с закрепляющим раствором (вода+добавка АБФК), диспергированного кварцевого песка; плавленного периклаза в качестве отвердителя, а также технологической добавки-керамзита, повышающего трещиностойкость форм при прокатке, позволил увеличить текучесть смесей (по Суттарду) до 160÷170 мм, снизить продолжительность затвердевания до 20–30 мин; при достижении «холодной» прочности до 4,5 % МПа, «горячей» — 6,0–7,0 МПа, остаточной — 1,2–1,6 МПа.

Целью исследования [39] являлась разработка технологии изготовления керамических форм на основе кремнезольного связующего под торговой маркой «Сиалит-20».

Выполнен сравнительный анализ физико-механических и технологических свойств суспензий и керамических форм на основе ЭТС-40 и Сиалит-20. Показано, что прочность керамических форм на кремнезольном связующем в 1,5–2 раза выше, чем на этилсиликатном. Керамические формы, выполненные из Сиалит-20 и плавленного кварца, имеют прочность на изгиб 26 МПа, что в 3–4 раза выше, чем при использовании ЭТС-40.

Расчет процесса массопереноса в форме и экспериментальное определение коэффициента проницаемости показал, что капиллярно-пористая структура формы, образовавшаяся в течение первых 5 с после нанесения суспензии, не меняется вплоть до температуры 300 °С.

Теоретически и экспериментально установлено: структура контактной поверхности керамической формы и глубина проникновения обсыпки определяются процессом массопереноса в капиллярно-пористой среде огнеупорной суспензии формируемого слоя, в течение

первых 100 с после нанесения суспензии; суспензия на кремнезольном связующем необратимо твердеет и сохраняет свою структуру без разрушения при контакте с водой. Способ удаления модельного состава (в воде или горячим воздухом) не влияет на прочность керамической формы. Качество контактной поверхности керамических форм на Сиалит-20 уступает по этому показателю формам на ЭТС-40 и зависит от ориентации по отношению к силе тяжести. Введение в суспензию на Сиалит-20 добавок КМЦ или огнеупорной глины позволяет получать из форм на ее основе отливки с шероховатостью менее 20 Rz. Комбинированные керамические формы с первым слоем из ЭТС-40 и остальными — из Сиалит-20 по прочности в 1,5 раза превосходят этилсиликатные формы.

Разработанная технология реализована на производстве отливок для художественных изделий.

В работе [40] исследовались электрофоретические особенности получения оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям с целью повышения эффективности процесса электрофореза для изготовления форм. Выявлены особенности применения и предложен состав полимеров для повышения седиментационной устойчивости суспензий для приготовления электрофоретических форм, а также состав электролита для получения заданной толщины осадка по выплавляемой модели.

Прочность электрофоретической оболочки для прокаливания составляет 5,89 МПа, а после прокаливания — 8,0 МПа.

В исследовании [41] разработана ресурсосберегающая технология литья по выплавляемым моделям с применением металлофосфатных связующих, позволяющих снизить период формообразования. По результатам исследования разработаны четыре состава суспензий для изготовления керамических форм:

1. АХФС — 14,4 %; ОФК — 2,8 %; ПСП — 2,8 %; маршаллит — 79 %; вода сверх 100 % до получения вязкости 40–60 с;

2. АХФС — 15,8 %; ОФК — 3,1 %; ОДО — 1,1 %; ПАВ — 1 %; маршаллит — 79 %; вода сверх 100 % до получения вязкости 40–60 с;

3. АХФС — 16,7 %; ОФК — 2,2 %; ООО — 1,1 %; ПАВ — 1 %; маршаллит — 79 %; вода сверх 100 % до получения вязкости 40–60 с;

4. АХФС — 15,8 %; ОФК — 3,1 %; ОООпрок — 1,1 %; ПАВ — 1 %; маршаллит — 79 %; вода сверх 100 % до получения вязкости 40–60 с.

Определены технологические аспекты использования разработанных составов — время выдержки перед началом использова-

ния — 1,5–2 ч, время, в течение которого необходимо использовать суспензию, — 3–3,5 ч. Предложены мероприятия по уменьшению растрескивания оболочковых форм, изготовленных из суспензий разработанных составов. Установлено, что увеличение скорости повышения температуры выплавления моделей из оболочек на кристаллическом пылевидном кварце не приводит к полному устранению их растрескивания. Исследована возможность применения упрочняющей добавки — борной кислоты. При этом за счет образования стойких борофосфатов — ионов прочность оболочек повышается. Максимальные механические свойства оболочковой формы при отсутствии их растрескивания обеспечивает обсыпка из кузнечной окалины.

Исследования [42] и [41] посвящены задаче по разработке составов и исследованию свойств суспензий для литья по выплавляемым моделям с использованием металлофосфатных связующих.

Для повышения качества оболочковых керамических форм предлагаются и патентуются новые составы и способы изготовления форм. Например, патентуется изобретение [43] на состав суспензии для изготовления керамических форм в литье по выплавляемым моделям.

Недостатком известной суспензии (патент RV 214963, кл. B22C 1/16, опубл. 2000.03.27) является применение компонентного состава суспензии, который обеспечивает проведение лишь так называемого водного гидролиза этилсиликата. Применение в качестве растворителя этилсиликата воды снижает прочность оболочковых форм; технологическая добавка в виде хлористого алюминия из-за несовместимости с алюмометилсиликонатом натрия разлагается в суспензии уже при ее приготовлении, в результате чего ухудшаются свойства суспензии. Образующийся при этом оксид алюминия уменьшает скорость прокаливания керамики, так как снижает ее теплопроводность. Применяемый в составе суспензии алюмометилсиликонат натрия из-за разложения оставляет в керамической оболочке значительное количество органических остатков, которые увеличивают газотворность керамики и также ухудшают прокаливаемость оболочек.

Задачей изобретения является создание такой суспензии, которая обеспечивала бы повышение прочности, термостойкости и газопроницаемости керамических оболочковых форм, уменьшение газотворности керамики и брака отливок по газовым раковинам.

Задача решается тем, что суспензия для изготовления керамических оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям, включающая этилсиликат, растворитель, разбавитель — воду, соляную кислоту, поверхностно-активное вещество, дисперсный кремнезем, технологическую добавку, пылевидный огнеупорный наполнитель, согласно изобретению дополнительно содержит ортофосфорную кислоту, в качестве растворителя этилсиликата — органические растворители в виде ацетона или этилового спирта, в качестве поверхностно-активного вещества — глицерин, в качестве технологической добавки — азотнокислую соль при следующих соотношениях компонентов, мас. %: (табл.2.13).

Таблица 2.13

Состав суспензии для оболочковых керамических форм, мас. %

Этилсиликат	10,0–15,0
Ацетон или спирт	13,0–18,0
Вода	2,0–8,0
Соляная кислота	0,25–0,8
Глицерин	0,015–0,18
Дисперсный кремнезем	0,5–18,0
Ортофосфорная кислота	0,2–1,5
Азотнокислая соль	0,15–7,5
Огнеупорный наполнитель	Остальное

В качестве технологической добавки суспензия (табл.2.13) может содержать: азотнокислую соль с трехвалентным катионом в виде нитрата алюминия девятиводного $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$; азотнокислую соль с одновалентным катионом в виде нитрата натрия NaNO_3 ; в виде нитрата калия KNO_3 ; азотнокислую соль с двухвалентным катионом в виде нитрата магния $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$; нитрата кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; нитрата бария $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

Основным отличием предлагаемой суспензии является использование в ее составе в качестве технологической добавки азотнокислой соли совместно с поверхностно-активным веществом в виде глицерина, совместно с дисперсным кремнеземом и ортофосфорной кислотой. При этом в качестве растворителя-разбавителя суспензия содержит совместно с водой органические растворители ацетон или этиловый спирт.

Дополнительное введение в состав суспензии ортофосфорной кислоты обеспечивает нейтрализацию щелочных компонентов

(кальция, натрия, калия) и оксида железа в дисперсном кремнеземе — пыли от электрофильтров ферросплавных печей.

Использование в составе суспензии в качестве поверхностно-активного вещества в виде глицерина блокирует взаимодействие добавки в виде азотнокислых солей, от взаимодействия с жидкими растворителями этилсиликата.

Глицерин обладает не только свойством увеличения смачиваемости твердых частиц жидкостями, но и предотвращает проникновение их к поверхности твердых частиц, т. е. способствует блокированию частиц технологических добавок, в частности частиц азотнокислых солей, от взаимодействия с жидкими растворами.

Применением в суспензиях азотнокислых солей в смеси с поверхностно-активным веществом в виде глицерина достигается устойчивое их сохранение без разложения за счет блокирования их от воздействия их с жидким связующим — гидролизированным раствором этилсиликата. Поэтому свойства суспензии мало меняются с течением времени хранения и использования для формирования оболочек. Однако при нагреве керамики в процессе прокаливания оболочек глицерин выгорает и открывает поверхность частиц азотнокислых солей к разложению. При этом азотнокислые соли выделяют кислород, который улучшает прокаливаемость керамики, так как способствует выгоранию остатков органических веществ. Это снижает газотворность керамики за счет интенсивного окисления от выделяющегося из азотнокислых солей кислорода остатков модельного состава и остатков недогидролизированных этоксильных органических соединений этилсиликата.

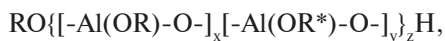
Выгорание остатков органических веществ из керамики при нагреве способствует образованию мелкопористой структуры керамики и тем самым увеличению ее газопроницаемости, следовательно, возрастанию общей газопроницаемости керамических оболочек. Повышение газопроницаемости оболочек уменьшает опасность образования газовых раковин в отливках. Поэтому после прокаливания оболочек, сформированных из суспензий с добавками азотнокислых солей, керамика имеет высокую прочность и газопроницаемость и низкую газотворность, что обеспечивает получение отливок без газовых раковин.

Ускорение процесса прокаливаемости керамики позволяет также увеличить производительность прокалочных печей за счет сокращения продолжительности прокаливания керамических оболочковых

форм, что обеспечивает уменьшение энергозатрат на нагрев при прокаливании оболочек.

Патентуется изобретение [44] на способ изготовления без кремнеземных керамических форм для литья по выплавляемым моделям. Целью применения известного изобретения (патент RV 2285575, В22С 9/04, 2006) является улучшение качества литья за счет повышения технологических свойств материала формы (термостойкости и огнеупорности), живучести суспензии и организации направленного затвердевания отливок.

Для достижения поставленной задачи предложен способ изготовления бескремнеземных керамических форм по выплавляемым моделям, включающий изготовление модели, послойное нанесение на воскообразную модель огнеупорной суспензии на основе пылевидного электрокорунда в качестве наполнителя и алюмоорганического связующего, последующую обсыпку каждого слоя зернистым материалом на основе электрокорунда, сушку слоев керамической формы, удаление модели и прокалку керамической формы/ Этот способ отличается тем, что сушку слоев оболочковой формы проводят с выдержкой в камере с влажностью не менее 95 % для первого слоя — 1 час, второго слоя — 3 часа, остальных — 4–6 часов и последующей конвективной сушкой каждого слоя в течение часа, прокаливание керамических форм проводят при температуре 1000–1350° С в течение 4–6 часов, причем керамическая суспензия содержит алкоксиалюмоксановые олигомеры общей формулы:



где $z=3/100$; $x+y=1$; $\text{R}^*/\text{Al}=0,05/0,95$; $\text{R}=\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$; $n=1/4$; $\text{R}^*=\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CHC}(\text{O})\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$.

Бескремнеземное алюмоорганическое связующее получают по патенту РФ № 2276155, С07F 5/06 2006 г., а приготовление керамической суспензии осуществляется по патенту РФ № 2082535, В22С 1/06, 1/16, 1997 г.

Изготовление керамических оболочек производят последовательным окунанием модели в суспензию и ее обсыпкой огнеупорным зернистым материалом на основе электрокорунда.

Сушку каждого керамического слоя проводят в две стадии. Первую стадию проводят в камере с повышенной влажностью 4–6 часов. Вторая стадия — конвективная сушка до равновесного с окружающей средой влагосодержания.

Модельная масса выплавляется методом СВЧ-нагрева либо в расплаве модельной массы.

На получение качественной керамической формы существенное влияние оказывают температура и время прокалики оболочки. Прокаливание керамических форм следует производить при температуре 1000–1350 °С в течение 4–6 часов, что способствует выгоранию органических составляющих, присутствующих в форме.

Патентуется изобретение [46] на связующее для изготовления оболочковых форм для литья по выплавляемым моделям.

Цель изобретения — повышение прочности оболочковых форм и увеличение периода живучести суспензии (в сравнении с патентом RV 2022409 кл. В22С 1/16, опубл. 2004.01.27).

Предлагаемое связующее для изготовления оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям содержит кремнезем, поверхностно-активное вещество, пеногаситель, обессоленную воду. Согласно изобретению, оно дополнительно содержит поливиниловый спирт, а в качестве кремнезема содержит кремнезоль кислый при следующем соотношении компонентов (мас. %)

Кремнезоль кислый	80–87;
Поливиниловый спирт	0,4–0,8;
Поверхностно-активное вещество	0,5–0,7;
Пеногаситель	0,1–0,15;
Обессоленная вода	остальное.

Патентуется изобретение [47] на способ изготовления многослойных оболочковых форм по выплавляемым моделям. В предложенном способе используют вакуумирование для суспензий без органических растворителей. При этом вакуумирование проводят после нанесения каждого слоя зернистого материала на оболочковую форму при давлении $0,7–0,95 \times 10^5$ Па, а затем проводят сушку каждого слоя на воздухе. Эта технология позволила снизить поверхностную пористость рабочего слоя формы и трещиноустойчивость формы из суспензии без органического растворителя.

Патентуется изобретение [48] на способ изготовления керамических оболочковых форм для литья по выплавляемым моделям, который направлен на совершенствование способа контроля химического состава гидролизованного этилсиликата.

В изобретении [49] на способ изготовления многослойных оболочковых литейных форм по выплавляемым моделям для повышения прочности оболочки изменяют состав зернистого материала для

обсыпки в период изготовления формы. С этой целью, начиная со второго слоя оболочки, в состав зернистого материала для обсыпки вводят кислородосодержащее вещество, например, дихромат калия ($K_2Cr_2O_4$) в количестве 5–10 мас. % и борную кислоту в количестве 2–3 мас. %. Это позволило устранить растрескивание формы при литье; что вызывало проникновение расплава в трещины и формирование на поверхности отливки дефекта в виде «гребешков».

ВЫВОДЫ

1. Технология изготовления тонкостенных оболочковых керамических форм для литья по выплавляемым моделям предназначена преимущественно для условий крупносерийного производства тонкостенных изделий, имеющих небольшую массу и размеры, с использованием различных сплавов.
2. Разработана классификация ювелирных отливок по трем группам их технологической сложности с использованием показателей: сложности формы поверхности отливки и её декорирования, уровня чистоты (шероховатости) литой поверхности и толщины стенки отливки.
3. Анализ свойств модельных составов изготовления выплавляемых моделей позволяет рекомендовать составы, обеспечивающие шероховатость поверхности отливок (R_a) близкую к 1,25 мкм: состав класса 12A1, например, марки ПБС 50–30–20, состав класса 41B1, например, марки КС-111.
4. Диссертационные исследования и новые патентуемые технические решения направлены на совершенствование составов этилсиликатных суспензий, повышение прочности и стойкости форм к трещинообразованию при термообработке и заливке расплава, а также на ресурсосбережение.

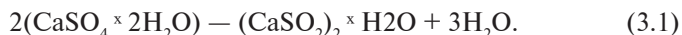
Раздел 3

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ГИПСОВЫХ ФОРМ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК

3.1. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГИПСОВЫХ ОБЪЕМНЫХ ФОРМ

При изготовлении гипсовых форм в качестве материала для выплавляемых моделей используются составы, которые применяются при выполнении рабочей полости в тонкостенных оболочковых керамических форм (раздел 2).

Формовочный гипс получают в результате обжига природного гипса. При этом двухводный сульфат кальция теряет часть кристаллизационной воды и переходит в полуводный (полугидрат) сульфат кальция. Процесс обезвоживания наиболее интенсивно протекает в температурном интервале от 120 до 190 °С.



В зависимости от условий термической обработки полуводный гипс может иметь две модификации — α - и β -полугидраты, которые отличаются физико-химическими свойствами.

В табл. 3.1 приведены физические свойства α и β гипса.

Таблица 3.1

Основные физические свойства гипса

Физические свойства при соотношении воды и порошка 0,5 и 0,35	α -гипс	β -гипс
Расширение при кристаллизации, %	0,3–0,5	0,1–0,2
Твердость по Роквеллу, МПа	20	80
Сопrotивление сжатию влажного гипса, кг/см	85	210
Сопrotивление сжатию сухого гипса, кг/см	280	560–630

На скорость схватывания гипса влияет ряд факторов: температура, степень измельчения (дисперсность), способ замешивания, качество гипса и присутствие в гипсе примесей. Повышение температуры смеси до +30–37 °С приводит к сокращению времени схватывания

гипса. При увеличении температуры от +37 до +50 °С скорость схватывания начинает заметно падать, а при температуре свыше 100 °С схватывания не происходит. Степень измельчения (тонкость помола) также оказывает влияние на скорость затвердения: чем выше дисперсность гипса, тем больше его поверхность, а увеличение поверхности двух химически реагирующих веществ, как известно, приводит к ускорению процесса. На скорость схватывания полугидрата влияет также способ его перемешивания. Чем энергичнее будет замешиваться смесь, тем полнее станет контакт между гипсом и водой и, следовательно, тем быстрее схватывание. Отсыревший гипс затвердевает значительно медленнее, чем сухой. Такой гипс лучше всего просушить при температуре +150–170 °С.

Содержание гипса в смеси рекомендуется на уровне 30–35 %, так как если его количество > 35 % в материале формовочной смеси, уменьшится прочность, а при менее 30 % — огнеупорность [51]. Чем более мелкий порошок гипса, тем он лучше придает тонкий рельеф, более крупные порошки (добавки) повышают его прочность и стойкость к растрескиванию.

В качестве наполнителей гипсовых форм в странах СНГ используют кварцевые и диасовые огнеупоры.

Основой кварцевых песков является кремнезем или оксид кремния SiO_2 .

Полиморфные превращения кремнезема определяют как технологию изготовления кремнеземистых изделий, так и их свойства. Кремнезем известен в следующих восьми модификациях: α -кварц, β -кварц, α -тридимит, β -тридимит, γ -тридимит, α -кристобалит, β -кристобалит, кварцевое стекло [52]. Модификация, стабильная при наивысших температурах, обозначается через α . Следующая модификация, возникающая по мере охлаждения, обозначается через β . β -кварц, стабильный при обычной температуре, при температуре 573 °С переходит в α -кварц. α -кварц при обычных температурах не существует, устойчив только в интервале температур 573–870 °С. При температуре 870 °С α -кварц медленно и только в присутствии сильного плавня-минерализатора (Na_2WO_4) переходит в α -тридимит [52]. В присутствии минерализаторов α -кварц переходит в α -тридимит через промежуточную фазу — метакристобалит — при температуре 1200–1470 °С, если в массе нет плавней, то при температуре 1300–1450 °С. При достаточно быстром нагреве до температуры выше 1600 °С можно расплавить кварц, минуя переход его в другие

связке и обожженный при температуре, обеспечивающей полиморфное превращение кремнезема в тридимит и кристобалит. Породы, используемые для изготовления динаса, тоже состоят из кварца (т. н. кварциты). В них он находится в виде мелких кристаллов, цементированных тонкодисперсным кремнеземом.

Таблица 3.2

Влияние модификационных превращений кварца на изменение его объема [52]

Модификация кварца	Температура превращения, °С	Объемный эффект при данной температуре, %
β-кварц → α-кварц	573	+0,8
α-кварц → α-тридимит	870	+0,16
α-тридимит → α-кристобалит	1470	-0,6
α-кварц → α-кристобалит	1050	+15,4
α-кварц → кремнеземистое стекло	1728	+15,6
γ-тридимит → β-тридимит	95–140	+0,2
β-тридимит → α-тридимит	130–190	+0,2
β-кристобалит → α-кристобалит	270	+3,7

Для изготовления динасов применяют кварциты и пески, которые для удаления глинистых фракций промывают водой. Составляют шихту требуемого химического состава, куда входит и бой динаса, и подвергают ее помолу и расसेву. В исходном материале не должно быть более 1 % Al_2O_3 и 0,3 % ($Na_2O + K_2O$). После помола и рассева готовят смесь с зерновым составом 45 % крупной фракции (не более 3 мм), 10 % средней и 45 % мелкой (0,09–0,50 мм) фракции. В эту смесь добавляют пластификатор (гашеную известь) в количестве не более 3,5 % CaO , минерализаторы (оксиды щелочноземельных металлов и закись железа — по 1,5 %) и ССБ. ССБ играет роль клеящей добавки, обеспечивающей сырцу необходимую прочность.

Полученные заготовки медленно сушат при температуре не более 150–180 °С в течение 8–10 часов.

Обжиг изделий ведут по сложному режиму с предварительным подогревом. В процессе обжига происходит расширение сырца в результате полиморфных превращений, образование силикатов, тридимита и кристобалита.

Обжиг производится по сложному температурному режиму, учитывающему полиморфные превращения и предусматривающему соответствующие температурные остановки:

Подогрев	($t < 700^\circ \text{C}$)	22 ч
Подогрев	700–1000° С	24 ч
Обжиг	1000–1400° С и выдержка	30 ч
Охлаждение	1400–300° С	27 ч
Охлаждение	300–50° С	25 ч
	Итого	128 ч

Термостойкость диноса очень низкая, 1–2 водяных теплосмен вследствие кристобаллитного эффекта (β -кристобаллит переходит в α -кристобаллит при температуре 180–270 °С, + 2,8 % ΔV) и превращения β -кварца в α -кварц при 500–600 °С, +0,82 % ΔV . Поэтому диноса нельзя охлаждать ниже температуры 600–700°С. Выше этого предела диноса демонстрирует хорошую термостойкость. При содержании в диносе 95–98 % SiO_2 его огнеупорность достигает 1710–1730 °С, температура начала деформации под нагрузкой колеблется в пределах 1650–1670 °С.

Маршалит — пылевидный кварц (горная мука, кварцевый мелит, пылевидный кремнезем) — мучнистая масса тонкодисперсного кварца, обычно безукоризненно белого цвета. Состоит из угловатых зерен кварца с примесью халцедона, опала, карбонатов и глинистых минералов. Потери при прокаливании 0,55–1,42 %. Маршалит отличается высокой дисперсностью и низким содержанием окислов железа. Преобладающей фракцией (> 80 %) являются зерна меньше 0,01 мм. Объем пустот в природном маршалите достигает 60 %. Удельная поверхность 1130–1500 $\text{см}^2/\text{г}$, огнеупорность 1650–1710 °С [52].

Кристобаллит используется в составе всех импортных фирменных формовочных масс на основе гипса [51]. Это огнеупор — близкий родственник кварца, однако имеющий ряд особенностей. Например, при нагревании до 300–450 °С гипс начинает быстро терять воду, которая входит в состав его молекулы, и сжиматься. Однако, кварц при этой температуре еще не начинает расширяться и поэтому не может компенсировать сжатие гипса. Кристобаллит же расширяется уже при 270–300 °С и компенсирует усадку гипса. Поэтому наличие кристобаллита в составе огнеупорного наполнителя лучше всего препятствует растрескиванию формовочной массы при ее термообработке.

Применение кристобаллита дает возможность при литье в горячую форму (температура около 350–400 °С) получить ее расширение до 1,85 %, что компенсирует усадку сплавов относительно небольшой усадкой во время твердения (сплавы на основе золота и др.). Фор-

мовочные массы на основе кристобалита имеют определенные преимущества по сравнению с кварцевыми. Для более полной компенсации усадки отливки расплавленный металл заливают в формы до температуры, при которой кристобалит находится в β -форме. Таким образом гипсовая форма с кварцевым песком должна быть нагрета до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, а с кристобалитом только до $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ [51].

Методом смешения в разных пропорциях кварца и кристобалита получают формовочные смеси с различной величиной термического расширения (в пределах от 0,9 до 1 %). Кварц может придать формовочному материалу термическое расширение до 1,4 %, а кристобалит — до 1,6 % (рис.3.1).

Материалы из кристобалита имеют наименьшую прочность при температуре $210\text{--}260\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поэтому расплавленный металл следует заливать в форму, нагретую до температуры, которая выше температуры, при которой прочность формовочного материала минимальна.

Для приготовления формовочных смесей используют добавки, позволяющие регулировать некоторые технологические свойства смесей. Например, сульфат калия (натрия) или хлорид калия (натрия) при содержании 1–2 % ускоряют процесс затвердевания смеси, а при концентрации выше 3 % замедляют ее схватывание. Указанные добавки, однако, увеличивают газотворность форм при термообработке и могут повлиять на избыточную пористость материала формы. Прочность гипсу придает пропитка в течение суток раствором 5 %-го борнокислого аммония, нагретого до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Добавка буры увеличивает период схватывания формы и уменьшает ее термическое расширение.

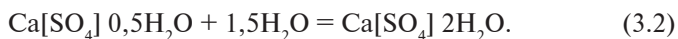
3.2. СВОЙСТВА ФОРМОВОЧНЫХ МАСС ДЛЯ ГИПСОВЫХ ОБЪЕМНЫХ ФОРМ

Использование «чистого» гипса для изготовления форм технологически недопустимо из-за его низкой огнеупорности, склонности к образованию трещин при сушке и прокатке, а также повышенной прочности после заливки и прогрева формы металлом. Причины этого заключаются в следующем. Гипс — минерал класса сульфатов $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, поэтому его структура типично слоистая: анионные группы $[\text{SO}_4]^{2-}$, связанные ионами Ca^{2+} , образуют слои, между которыми размещаются молекулы H_2O . Плоскость спайности гипса про-

ходит между слоями воды, что определяет его относительно низкую прочность в исходном состоянии. Гипс частично растворяется в воде; наибольшая степень его растворимости при 38 °С; выше 107 °С растворимость гипса в воде уменьшается. В процессе сушки при 80–90 °С из гипса выделяется некоторое количество воды; при 140 °С он частично переходит в полугидрат $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, а при 140–220 °С полностью теряет воду — образуется ангидрид, который, в отличие от гипса, не имеет воды. Процесс преобразования гипса в ангидрид сопровождается уменьшением объема материала на 30 %, в результате чего в форме появляются трещины. При 450 °С образуется «мертвый гипс», который утратил способность обратимо твердеть под воздействием воды. При температуре более 750 °С образуется эстрих-гипс, который и дал наименование эстрих-процессу, например, литью в гипсодинасовые формы [36].

Исходным сырьем для гипсовых форм в странах СНГ часто становится полуводный сульфат кальция $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ — алебастр. Его получают при гидротермальной обработке гипсового камня насыщенным водяным паром в автоклавах (высокопрочный гипс, α -полугидрат) и в открытых сосудах (строительный гипс, β -полугидрат).

При смешивании полугидрата, также называемого гипсом, с водой протекает реакция



В результате реакции появляются кристаллы гипса игловидной формы. Они срстаются и образуют твердую массу, принимающую очертания той формы, в которой находилась суспензия полуводного сульфата кальция.

Прочность гипса определяется степенью сцепления кристаллов, их формой и размерами. Так, гипс α -модификации имеет спутанно-волоконистую структуру, плотную упаковку с незначительным количеством пор и капилляров. Именно поэтому α -модификация полуводного сульфата кальция требует меньшего количества (34–45 %) воды при приготовлении суспензии при одинаковой с β -модификацией пластичностью. В то же время β -модификация гипса имеет высоко-развитую поверхность, что препятствует полному превращению полуводной β -модификации в дигидрат (гипс). Прочность суспензии постепенно увеличивается по мере кристаллизации, достигая максимального значения примерно через сутки от начала пригото-

ния. Поэтому гипсовые формы после затвердения не рекомендуется подвергать тепловой сушке и прокаливанию, так как это приведет к уменьшению прочности и пластичности формы.

Недостатки формы, приготовленной на основе одного гипса, компенсируют введением, например, кварца, динаса или кристобалита. Кварц (SiO_2) при нагревании претерпевает ряд полиморфных превращений, которые сопровождаются увеличением его объема (рис. 3.1, табл. 3.2), которые негативно влияют на стойкость форм к трещинообразованию. Наибольшее положительное влияние на компенсацию усадки гипса оказывает кристобалит.

На прочность гипсодинасовой смеси существенно влияет водомассовое соотношение (V/M), т. е. количество воды на 1 кг сухой смеси (л/кг). Влияние соотношения V/M на механические свойства и газопроницаемость импортных формовочных смесей производства США приведено на рис. 3.2–3.4 [36].

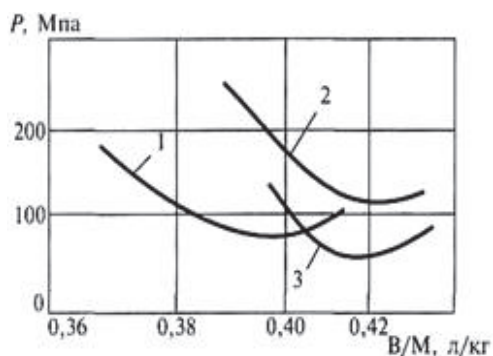


Рис. 3.2. Зависимость максимальной загрузки при вдавлении конуса в кристобалитно-гипсовых смесях от водомассового соотношения V/M : 1 — смесь К-90; 2 — смесь «Super Cast»; 3 — смесь «Satin Cast»

Как следует из анализа показателей поверхностной прочности (рис. 3.2), она существенно падает при увеличении соотношения V/M , 0,36 до 0,4 л/кг. Аналогично влияние изменения вышеуказанного соотношения и на показатель осыпаемости форм (рис. 3.4). При этом для смесей «Super Cast» и «Satin Cast» осыпаемость растет от 2–3 % (при $V/M=0,35$) до 7–8 % (при $V/M=0,4$), а для смеси К-90 — с 8 % до 35 %. Относительная газопроницаемость (рис. 3.3) при увеличении отношения V/M увеличивается с 0,18 до 0,6 ед. (для

смеси К-90): исходная газопроницаемость смесей «Super Cast» и «Satin Cast» составляет ~0,4 ед. и резко возрастает при В/М, равной 0,44 (рис. 3.3).

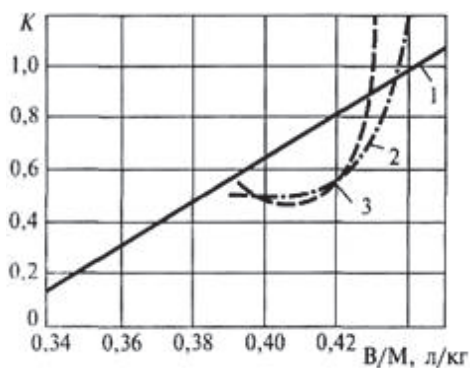


Рис. 3.3. Зависимость относительной газопроницаемости К кристобалитно-гипсовых смесей от В/М после прокаливании при 800 °С (обозначения на рис. 3.2)

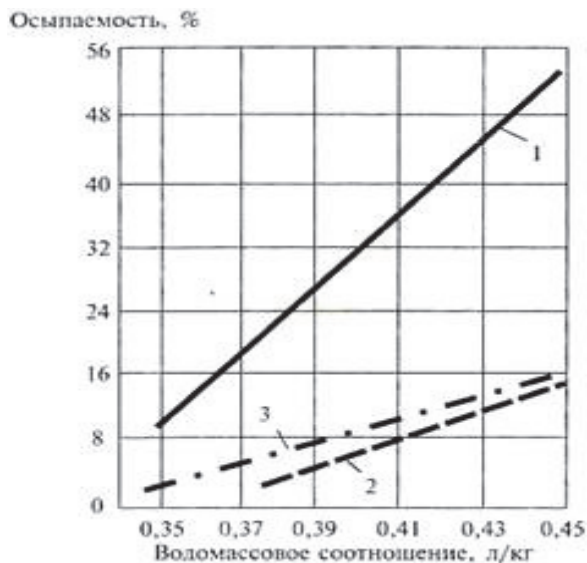


Рис. 3.4. Зависимость осыпаемости от водомассового соотношения прокаленных при 800 °С образцов (обозначения на рис. 3.2)

Зависимость коэффициента вязкости (μ) кремнисто-гипсовых смесей представлена на рис. 3.5.

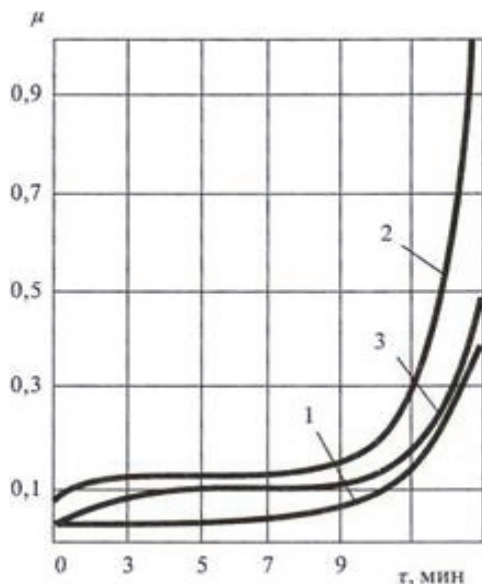


Рис. 3.5. Зависимость коэффициента вязкости μ кремнезисто-гипсовых смесей от рН суспензии: 1 — смесь К-90, рН=2,6–2,8; 2 — смесь «Super Cast», рН= 6,65–6,85; 3 — смесь «Satin Cast», рН=0,4–5,6

Из данных о влиянии рН суспензии на вязкость кремнеземно-гипсовых смесей (рис. 3.5) следует, что оно незначительно во временном интервале, равном 1–9 мин, и существенно после выдержки суспензии более 10–11 мин.

Вязкость суспензии можно определить по эмпирической формуле 3.3 [36].

$$\mu_x = 0,0140pH_x((V/M_0)/(V/M))+0,0013, \quad (3.3)$$

где μ_x — вязкость суспензии в момент t_x ;

pH_x — водородный показатель суспензии в момент времени t_x ;

V/M_0 и V/M — водомассовые отношения, соответственно оптимальное и измеряемое.

В случае использования отечественной формовочной массы, например, с наполнителем из кварцевого песка или тонкомолотого ди-

наса воду подкисляют ортофосфорной или соляной кислотой, бурой или борной кислотой для регулирования продолжительности затвердевания [51].

Газопроницаемость выражается числом без указания единиц измерения. Для определения газопроницаемости можно использовать стандартный прибор колокольного типа и следующие данные: F — площадь поперечного сечения образца, см^2 ; p — давление воздуха перед образцом, $\text{кг}/\text{см}^2$; t — время, в течение которого через образец прошло 2000 см^2 воздуха, мин.

Прочность формовочных смесей на сжатие при различных температурах определяется на специально оборудованном гидравлическом прессе. Испытывались образцы диаметром и длиной по 50 мм. Режимы нагрева образцов имитировали следующие реальные условия проковки форм:

от 20°C до 150°C — время нагрева по мощности печи;

от 150°C до 250°C — в течение 1 ч;

от 250°C до 300°C — в течение 1 ч;

от 300°C до 450°C — в течение 1 ч;

от 450°C до 700°C — в течение 2 ч.

Выдержка образцов при заданных температурах производилась в течение 2 ч.

Петрографический анализ формовочных масс проводился на световых микроскопах в иммерсионных препаратах. Определение показателей преломления, формы и величины зерна, трещиноватости и диагностирование компонентов осуществлялось на поляризационном микроскопе МИН-8 при средних увеличениях.

Результаты спектрального анализа формовочных масс «Super Cast», К-90 и «Satin Cast» даны в табл. 3.3 [51].

Таблица 3.3

Результаты спектрального анализа формовочных масс

Наименование формовочных масс	Содержание составляющих элементов, %					
	Si	Ca	Al	Na	Mg	Fe
К-90	30	10	0,03	0,03	0,2	0,03
«Super Cast»	30	10	0,03	0,03	0,2	0,03
«Satin Cast»	30	15	0,05	0,2	0,3	0,03

Из данных табл. 3.3 следует, что все три массы подобны по своему химическому составу и состоят из окислов кремния (SiO_2) и гипса ($\text{CaSO}_4 \times n\text{H}_2\text{O}$). Масса «Super Cast» имеет повышенное

содержание гипса и натрия. Последнее связано, очевидно, с использованием буры ($\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_3 \times n\text{H}_2\text{O}$) в качестве замедлителя схватывания гипса.

Анализ рентгенограмм показал, что двуокись кремния в формовочных массах присутствует в виде кварца и кристобалита. Гипс в формовочных массах представлен в основном полугидратом ($\text{CaSO}_4 \times 1/2 \text{H}_2\text{O}$), но имеется и вредный двугидрат ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$), количество которого зависит от влажности формовочной массы и условий её хранения. Исходная влажность вышеуказанных формовочных масс колеблется в пределах от 0,20 до 0,50 %.

В табл. 3.4 представлены данные о потерях веса при сушке и прокаливании формовочных масс (К-90, «Satin Cast» и «Super Cast»). Наибольшая потеря веса происходит при нагреве до 200 °С. Это объясняется тем, что двуводный гипс ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) в этом интервале температуры разлагается на полуводный гипс ($\text{CaSO}_4 \times 1/2\text{H}_2\text{O}$) и воду, а затем превращается в безводный ангидрит (CaSO_4).

Таблица 3.4

Потеря веса при сушке и прокаливании формовочных масс

Температура нагрева °С	Потеря веса, %					
	К-90		«Satin Cast»		«Super Cast»	
	1	2	1	2	1	2
50	0,21	11,1	0,23	11,4	0,25	4,4
100	0,05	2,6	0,02	1,2	0,35	5,4
200	1,0	50,2	1,05	52,0	3,7	63,5
300	0,2	10,4	0,24	11,8	0,56	9,7
500	0,27	14,8	0,25	12,2	0,43	7,5
700	0,21	10,9	0,23	11,4	0,48	3,5
Общее	1,94	100	2,02	100	5,77	100

Примечание: в графе 1 приведены значения потерь в процентах от начального веса навески, в графе 2 — от общей потери веса.

При повышении температуры от 200 до 450–750° С полуводный гипс полностью переходит в ангидрит.

Из данных табл. 3.4 следует, что потери веса при нагреве образцов формовочных масс К-90 и «Satin Cast» в 3 раза меньше, чем у массы «Super Cast», что обусловлено ее более высокой влажностью и повышенным содержанием гипса.

Данные о времени затвердевания формовочных масс приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Период твердения формовочных масс

Границы процесса	Продолжительность процесса, мин		
	К-90	«Satin Cast»	«Super Cast»
Начало	12–15	14–18	5–7
Конец	22–25	24–38	14–18

Результаты измерений коэффициентов термического расширения формовочных масс К-90, «Super Cast» и «Satin Cast» при температурах от нормальной до 700 °С представлены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Термическое расширение формовочных масс

Марки формовочных масс	Термическое расширение, % при различных значениях температур, °С											
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	700
К-90	0,06	0,13	0,35	0,08	1,23	1,31	1,37	1,4	1,42	1,44	1,44	1,52
«Satin Cast»	0,08	0,14	0,38	0,01	1,29	1,37	1,45	1,47	1,48	1,48	1,48	1,51
«Super Cast»	0,05	0,11	0,31	0,92	1,1	1,2	1,26	1,29	1,3	1,3	1,3	1,31

Химический состав формовочных масс определяется спектральным и рентгеновским методами [51].

Влажность формовочных масс устанавливалась стандартным методом высушивания навесок материалов массой 3–5 г в сушильном шкафу до постоянного веса при температуре 110 °С.

Определение потерь веса формовочных масс при прокаливании производилось путем нагрева навесок материалов в муфельной электропечи МП-2У.

Время затвердевания находилось путем погружения иглы в формовочную массу, затворенную водой в фарфоровой чашке. Началом затвердевания считается тот момент, когда игла при опускании через каждые 30 с в первый раз не дошла до дна. Концом — тот момент, когда игла при опускании погружалась в массу на глубину не более 0,5 мм.

Определение объемных изменений формовочных масс при нагреве осуществлялось с помощью термического и дилатометрического анализа. Первый способ давал возможность установить температуры объемных превращений, а второй — их величину. Дилатометр ДКВ позволил с высокой точностью провести измерение линейных размеров образцов в широком диапазоне температур.

Определение газопроницаемости производилось путем пропуска определенного объема воздуха при температуре 15–20 °С через образец цилиндрической формы.

Величина газопроницаемости рассчитывается по формуле:

$$K=10^3Vh/F_{\text{пр}}, \quad (3.4)$$

где V — объем воздуха, прошедшего через образец, см³;

h — высота образца, см;

У всех вышеперечисленных формовочных масс в интервале температур от 150 °С до 300–350 °С происходят значительные объемные изменения, которые могут приводить к появлению трещин в формах, если не соблюдать оптимальный режим прокаливания опок.

Результаты определения газопроницаемости формовочных масс К-90, «Satin Cast» и «Super Cast» показали, что наибольшей величиной газопроницаемости обладает масса К-90 ($K=1,79–1,87$), несколько уступает ей масса «Satin Cast» ($K=1,71–1,82$), а масса «Super Cast» имеет минимальную газопроницаемость ($K=1,62–1,73$).

Данные о прочности на сжатие формовочных масс К-90, «Satin Cast» и «Super Cast» в интервале температур 20–800 °С приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Прочность на сжатие формовочных масс при различных температурах

Марки формовочных масс	$\sigma_{\text{сж}}$, кгс/см ² , при различных температурах, °С								
	20	100	200	300	400	500	600	700	800
К-90	5,2	5,0	4,0	3,4	3,7	3,7	3,5	3,5	7,9
«Satin Cast»	5,0	5,0	4,8	3,5	3,7	3,6	3,5	3,6	7,7
«Super Cast»	5,9	5,8	5,5	4,0	4,0	3,8	3,8	3,8	8,5

Резкое увеличение прочности на сжатие у всех формовочных масс при нагреве выше 700 °С вызвано, очевидно, разложением гипса и химическим взаимодействием СаО с кремнеземом.

Петрографический анализ вышеуказанных формовочных масс [51] позволил установить, что они состоят из дисперсного материала с крупностью частиц от 10 до 80 мкм, однако в них могут встречаться более крупные комковатые образования, содержащие кремнезем и небольшое количество гидратированного гипса [52].

После перемешивания (1–2 мин) суспензию необходимо подвергнуть вакуумированию в течение 2–3 мин при остаточном давлении

2–5 кПа. Затем форму вакуумируют с вибрацией при остаточном давлении 5–10 кПа в течение 3–5 минут.

Текучесть суспензии определяют по способу Суттарда. Для этого цилиндр с внутренним диаметром 50 мм и высотой 100 мм ставят на ровную горизонтальную пластину размерами не менее 250x250 мм. В него заливают суспензию и через 240 с (после введения гипсодинасовой смеси в воду) цилиндр резко поднимают. Суспензия растекается по пластине. Если диаметр образовавшейся «лепешки» более 120 мм, то суспензия по текучести считается пригодной к работе.

После отвердевания формовочная масса должна быть выдержана 12–16 часов (в зависимости от ее марки) на воздухе при 20–25 °С и влажности 40–60 %.

Таким образом, все исследованные импортные формовочные массы для ювелирного литья (К-90, «Super Cast», «Satin Cast», «Инвестрайт») в качестве огнеупорной основы содержат химически чистый кристобалит, а связующее — высокопрочный гипс с пределом на сжатие 800–1000 кг/см².

В странах СНГ нет природных месторождений чистого кристобалита, а его получение искусственно энергозатратно и трудоемко. В России проблему импортозамещения вышеуказанных формовочных масс пытались решить использованием в качестве огнеупорного наполнителя тонкомолотого динаса [51, 53]. При этом используется динас сорта Эд, который, в сравнении с другими сортами, имеет наименьшее количество примесей (Ca₂O, Fe₂O, Fe₂O₃) и наибольшее содержание SiO₂ — 96 %. Уровень других видов примесей в гипсо-динасовой смеси поддерживают на уровне, близком к содержанию примесей в импортных формовочных смесях (табл. 3.8, 3.9).

Таблица 3.8

Химический состав импортных формовочных масс для ювелирного литья

Наименование формовочной массы	Химический состав массы, мас. %				
	B ₂ O ₅	CaO	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃
«Super Cast»	0,55	10,85	70,25	0,75	0,12
К-90	0,55	9,5	74,31	—	0,03

Если сравнить состав формовочной гипсо-динасовой массы от российских производителей по содержанию SiO₂ (SiO₂ ~96 %) и в импортных формовочных массах (табл. 3.8 и 3.9), то в импортных оно на 22–30 % меньше. Поэтому термостойкость гипсо-динасовых сме-

сей и склонность их к трещинообразованию будет существенно выше вследствие изменения объема SiO_2 при модификационных превращениях кварца (табл. 2.3), как при термообработке гипсовых форм, так и при заливке расплава. Это также приводит к поверхностным дефектам и снижению чистоты (шероховатости) отливки. Следует отметить что, в работах [51–53] не приведены данные о влиянии состава формовочных масс на чистоту (шероховатость) поверхности изделий при ювелирном литье.

Таблица 3.9

**Содержание примесей в составе импортных формовочных масс
для ювелирного литья**

Наименование формовочной массы	Химический состав массы, мас. %				
	Al_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3
«Super Cast»	0,24	0,71	—	0,25	16,75
	0,4	0,25	0,44	0,15	15,32
K-90	0,01	—	—	—	13,52

Учитывая высокий объем влагосодержания в формовочных массах в виде суспензий и наличия в них огнеупорных материалов с высоким содержанием SiO_2 , претерпевающего фазовые и объемные изменения при нагреве, необходим медленный режим сушки и ступенчатый режим обжига [36; 52].

После отверждения формовочной массы, залитой в опоку на модель, изготовленную из воскоподобного материала, опоку выдерживают, например, 12–16 часов при комнатной температуре. Затем опоку помещают в печь для вытапливания разовой модели. Температура вытапливания модели составляет, например, 120 °С, а период ее нагрева — 8 часов.

Часть модельной массы после ее вытапливания стекает в специальную емкость, а некоторый ее объем впитывается в поры гипсовой формы. При развитой сложной и пористой поверхности формы объем впитываемой модельной массы возрастает и может составить 60 %. Далее опоки либо переставляют в печь прокаливания, либо продолжают прокалывать в той же печи, предварительно удалив емкость для сбора модельной массы. Режим прокаливания зависит от состава формовочной массы, диаметра и высоты опоки. Например, для опок диаметром 70 мм и высотой 150 мм режим прокаливания следующий: нагрев до 220 °С со скоростью 0,02 °С/с и выдержка 1 ч;

нагрев до 350–370 °С со скоростью 0,025 °С/с и выдержка 4–5 ч; нагрев от 370 до 480 °С со скоростью 0,025 °С/с и выдержка при 480 °С 1–1,5 ч; нагрев от 480 до 740–800 °С со скоростью 0,05 °С/с и выдержка при 740–800 °С 1,5–2 ч. После этого печь переводят на режим охлаждения со скоростью 0,03 °С/с до температуры формы при заливке (по данным работы — до 250 °С/ч) (табл. 3.10).

Чем меньше толщина стенки отливки, тем выше должна быть температура формы при заливке: для литья тонких колец, сережек и т. п. — 480–540 °С; для литья толстых колец — 370–480 °С; для отливок толщиной более 3–5 мм — 200–450 °С. При температуре заливки форма должна выдерживаться не менее 1–2 ч; общая продолжительность выдержки 14–16 ч [36].

Таблица 3.10

Режим обжига форм из гипсо-динасовой массы

Стадия обжига	Температура обжига, °С	Продолжительность обжига, ч
Удаление влаги	20–125	0,5–1,0
Удаление воды из гипса до $\text{CaSO}_4 \times 1,5\text{H}_2\text{O}$	125–130	1,0–1,5
до $\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$	135–160	1,0–1,5
Выплавление модельной массы	110–200	0,5–1,0
Превращение $\beta \rightarrow \alpha$ -кристобалит	180–270	1,0–1,5
Превращение полугидратного гипса $\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$ в «мертвый»	320–370	0,5–1,0
Начало спекания формовочной смеси	450–535	0,5–1,0
Превращение $\beta \rightarrow \alpha$ -кварц	535–575	0,5–1,0
Выжигание остатков модельной массы	600–800	1,0–1,5
Упрочнение безводного гипса $\text{CaSO}_4 + \text{SiO}_2 \leftrightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{SO}_3$	800	0,5
Охлаждение форм перед заливкой	640–20	1,5–2,0
Итого 7,5–12		

Для импортной «Satin Cast 20» в зависимости от размера опок рекомендуемые режимы прокаливания представлены в табл. 3.11.

Таким образом, выбор режимов прокаливания форм определяется составом гипсо-динасовой смеси.

В процессе прокаливания в печи необходимо поддерживать окислительную атмосферу, чтобы продукты деструкции модельного состава полностью газифицировались, в том числе произошло полное

окисление образующегося пироуглерода во внутренних частях формы. Иначе рабочая поверхность формы окажется шероховатой, а качество отливок невысоким. Это связано с тем, что пироуглерод может смываться потоком расплава и замешиваться в металл, повышая количество неметаллических включений.

Таблица 3.11

Режимы прокаливания опок из смеси «Satin Cast 20»

Размеры опок, мм	Температура, °С	Продолжительность выдержки, ч
Диаметр 63 Высота 63	149	1
	371	1
	732	2
	При заливке	<u>1</u>
	Итого	5
Диаметр 89 Высота 100	149	2
	371	2
	732	3
	При заливке	<u>1</u>
	Итого	8
Диаметр 100 Высота 200	149	2
	315	2
	482	2
	732	4
	При заливке	<u>2</u>
	Итого	12

3.3. АНАЛИЗ ПАТЕНТУЕМЫХ ИЗОБРЕТЕНИЙ НА СПОСОБЫ И СОСТАВЫ СМЕСЕЙ ДЛЯ ГИПСОВЫХ ФОРМ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

В описании к патенту на изобретение [54] на наливную формовочную смесь для цветных сплавов отмечается, что в странах СНГ широко используются импортные формовочные смеси (К-90, «Super Cast», «Satin Cast», «Ультравест»), а также отечественные серии «Ювелирная», содержащие гипс высокопрочный, мелкодисперсный наполнитель на основе кремнезема в фазе кристобалита или тридимита, технологические добавки, замедляющие схватывание гипса, и воду в качестве затворителя. Однако, являясь узкоспециализированным на производство ювелирных изделий мето-

дом литья по выплавляемым моделям, эти смеси не обеспечивают требуемого качества машиностроительных отливок, в особенности крупногабаритных и сложнопрофильных. Кроме того, импортные смеси дорогостоящи из-за наличия в их составе в качестве наполнителя кристобалита.

Автор [54] не объясняет, почему формовочные смеси для ювелирного литья не обеспечивают необходимое качество поверхности крупных отливок. Например, для алюминиево-кремнистого сплава АК7, в отличие от миниатюрных отливок из драгоценных металлов или сплавов на основе меди массой меньше 50 г и стенкой меньше 3 мм затвердевание поверхности толстостенных машиностроительных алюминиевых отливок (стенка более 5 мм) в нагретой форме происходит значительно медленнее. Поэтому материал поверхностного слоя гипсовой формы, контактирующий с толстой отливкой, разлагается с выделением газа, который ухудшает поверхность отливки из сплава АК7.

Газопроницаемость гипсовых материалов для ювелирного литья (рис. 3.3) оказывается недостаточной для ее удаления из формы с массивной отливкой, даже выполненной из низкотемпературного, но высокотеплоемкого алюминиевого сплава. Задача повышения газопроницаемости материала решена [54] использованием следующего состава смеси и добавки нитрата алюминия (табл.3.12).

Таблица 3.12

Состав формовочной смеси для алюминиевых отливок, мас. %

Гипс высокопрочный	12,7...19,8
Мелкодисперсный кварцевый песок	49,9...61,1
Нитрат алюминия девятиводный	0,9...2,4
Вода	Остальное

Подготовку заявляемой наливной формовочной смеси с повышенной газопроницаемостью осуществляют следующим образом. Навешивают расчетное количество высокопрочного гипса и мелкодисперсного кварцевого песка. Затем отмеряют необходимое количество воды и растворяют в ней нужное количество нитрата алюминия девятиводного. Перед непосредственным изготовлением форм в предварительно подготовленный затворитель, из расчета 360...380 мл затворителя на 1 кг сухих составляющих, засыпают гипс, перемешивают в течение 0,5–1 минуты и уже потом засыпают песок. Затем

смесь тщательно перемешивают при скорости вращения крыльчатки 3000–6000 об/мин. После чего суспензия может быть использована для изготовления форм.

Время начала и конца затвердения определяли по игле Вика, прочность форм измеряли, испытывая на сжатие стандартные образцы диаметром и высотой 50 мм после выдержки на воздухе через 24 часа. Газопроницаемость форм измеряли по ГОСТ 23409.6–78 на приборе польской фирмы «WADAP».

Формы заливают алюминиевым сплавом АК7 при температуре 680 °С. По каждому варианту было изготовлено около 20 отливок.

Шероховатость отливок определяют на профилометре модели 296. Наличие дефектов газового происхождения на поверхности отливок оценивают визуально, в теле отливок — с помощью рентгеновского контроля.

Результаты испытаний смесей приведены в табл. 3.13.

Таблица 3.13

Показатели форм и отливок

Показатели	*) Состав смеси по прототипу	Новые составы смеси		
		16–22	18–24	20–26
1. Время затвердевания с момента затворения смеси, мин	18–22	16–22	18–24	20–26
2. Прочность форм при сжатии, МПа после выдержке на воздухе в течение 24 часов	2,1	2,1	2,4	2,3
3. Газопроницаемость формы, единиц газопроницаемости	1,0	18	25	30
4. Шероховатость поверхности отливки R_z , мкм	30	21	21	19
5. Наличие газовых раковин	есть	нет	нет	нет

*) Состав по прототипу: наполнитель в виде динасового порошка, гипс, вода, добавка для замедления схватывания гипса.

Предлагаемая смесь из-за высокой пористости не позволяет получать поверхность отливок с шероховатостью менее 19–21 мкм (табл. 3.14).

Таким образом, повышение газопроницаемости до 18–30 единиц и пористости поверхностного слоя формы существенно снижают шероховатость поверхности отливки даже из алюминиевого сплава.

Таким образом, вышеуказанные алюминиевые отливки относятся (табл. 3.14) к 4 и 5 классам шероховатости [55].

Таблица 3.14

Классы шероховатости поверхности отливок

Класс шероховатости	R_z , мкм	R_a предпочт., мкм	R_a допустимые, мкм
1	320; 250; 200; 160	50	80; 63; 40
2	160; 125; 100; 80	25	40; 32; 20
3	80; 63; 50; 40	12,5	20; 16; 10
4	40; 32; 26; 20	6,3	10; 8; 5
5	20; 16; 12; 5; 10	3,2	5; 4; 2,5
6	10; 8; 6,3	1,6	2,5; 2; 1,25
7	4,3; 5; 4; 3,2	0,80	1,25; 1; 0,63
8	1,6; 1,25; 1; 0,8	8,4	0,63; 0,5; 0,38

В описании к патенту на изобретение [56] на смесь для изготовления гипсовых форм для отливок из цветных и драгоценных металлов, также, как и в описании к изобретению [54], отмечается, что наибольшее распространение в ювелирном литье имеют импортные смеси: «К-90», «Super Cast», «Satin Cast», «Ультравест», «Ювелирная-1» и «Ювелирная-2».

Применительно к крупным художественным отливкам вышеуказанные смеси не обеспечивают высокое качество поверхности отливок. Для решения задачи повышения физико-механических свойств смеси и способа ее подготовки, а также улучшения качества поверхности отливки предложены новый состав и способ его получения. Формула изобретения имеет следующий вид.

1. Смесь для изготовления гипсовых форм и стержней для производства отливок из цветных и драгоценных сплавов, включающая гипс, диносовый порошок, пылевидный возгон шамотного производства, алюмофосфатное связующее и воду, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит пылевидный кварц и поверхностно-активное вещество при следующем соотношении ингредиентов, мас. %:

гипс — 10–14;

диносовый порошок — 15–26;

пылевидный возгон шамотного производства — 3–7;

пылевидный кварц — 25–40;

алюмохромфосфатное связующее — 0,05–0,12;

поверхностно-активное вещество — 0,007–0,015;
вода — остальное.

2. Способ приготовления смеси для изготовления гипсовых форм и стержней при производстве отливок из цветных и драгоценных сплавов, включающий предварительную электрофизическую обработку одного из ингредиентов смеси, их перемешивание и вибровкакумирование, отличающийся тем, что ингредиенты взяты в следующем соотношении, мас. %:

гипс — 10–14;
динасовый порошок — 15–26;
пылевидный возгон шамотного производства — 3–7;
пылевидный кварц — 25–40;
алюмохромфосфатное связующее — 0,05–0,12;
поверхностно-активное вещество — 0,007–0,015;
вода — остальное.

При этом предварительной электрофизической обработке подвергают гипс путем смешивания его с воздухом и последующей обработки гипсовоздушной смеси электрическим полем.

Предложенный состав и способ позволили улучшить смачиваемость смесью поверхности моделей со сложным рельефом, ускорить процесс тепловой обработки форм, в два раза повысить прочность и газопроницаемость материала формы. Каких-либо данных о качестве литой поверхности в описании к патенту не приводится.

В изобретении [57] на способ изготовления смеси для гипсовых форм и стержней при производстве отливок из цветных сплавов ставилась задача улучшить реологические свойства суспензии и физико-механические характеристики форм и стержней для повышения сложнопрофильных крупных отливок для машиностроения. Разработана новая смесь следующего состава, мас. %:

гипс — 20–25;
пылевидный кварц — 10–20;
алюмохромфосфатное связующее — 0,08–0,20;
поверхностно-активное вещество — 0,14–0,30;
вода — остальное.

Указанная смесь приготавливается следующим образом. Перед перемешиванием ингредиентов осуществляют подготовку водного раствора алюмохромфосфатного связующего и поверхностно-активного вещества, затем полученный раствор обрабатывают ультразвуком в течение 3–10 мин, а перемешивание смеси проводят путем

ее барботажа с одновременным наложением ультразвукового поля в течение 3–8 мин.

Способ и смесь опробованы для получения сложнопрофильной отливки из алюминиевого сплава в виде турбины к компрессору.

В описании к патенту нет информации о качестве получаемой поверхности. Однако авторы [57] рекомендуют ее использование при художественном литье.

В изобретении, опубликованном в 2013 году, предлагается гипсовая смесь для изготовления форм для точного литья [58].

Заявляемое изобретение позволяет снизить стоимость формовочной смеси, повысить термическую стойкость и огнеупорность форм. Сущность заявляемого изобретения заключается в том, что гипсовая смесь для изготовления форм точного литья, содержащая гипс, воду и огнеупорный наполнитель, в качестве огнеупорного наполнителя содержит золу уноса ТЭЦ. При этом в качестве огнеупорного наполнителя использована зола уноса ТЭЦ, содержащая: 60–75 % SiO_2 , 12–15 % C , 8–10 % Al_2O_3 , 3–5 % CaO , 2–3 % Fe_2O_3 и 1 % MgO , а фазовый состав смеси следующий: 70 % частиц размером 0,315 мм, 20 % — 0,18 и 10 % менее 0,18 мм.

Технический результат, получаемый при реализации изобретения, заключается в повышении термостойкости и огнеупорности гипсовых литейных форм.

Использование золы в качестве огнеупорного наполнителя позволяет повысить огнеупорность и трещиностойкость форм благодаря содержащемуся в золе обожженному кварцу с малым коэффициентом термического расширения, а также снизить стоимость литейных форм.

Предлагаемую гипсовую смесь используют при следующем количественном соотношении ингредиентов, мас. %: гипс 30–35, вода 25–30, огнеупорный наполнитель — остальное.

Исследование термической стойкости образцов литейных форм проводили согласно ГОСТ 7875.0–94 и ГОСТ 7875.2–94, определяя количество циклов теплосмен. В таблице 3.15 приведены экспериментальные данные, характеризующие свойства форм, полученных из разных составов формовочных смесей.

Термостойкость исходного состава была нулевой при цикле: нагрев до 920 °С с охлаждением при 20 °С. Состав 3 выдержал два цикла.

Результаты сравнения прототипа и новой смеси (табл. 3.15) не корректны, т. к. все виды гипсовых форм содержат огнеупорный

наполнитель (кварц, дианас, кристобалит и др.). Однако в качестве смеси для прототипа авторы [58] приняли гипсовую смесь без огнеупорного наполнителя. Смесь не апробирована при изготовлении отливок.

Таблица 3.15

Составы формовочной смеси на основе золы уноса ТЭЦ

Наименование компонента	Исходный состав	Предложенные составы			
Вода, мас. %	30	25	27	29	30
Гипс, мас. %	70	30	32	33	35
Огнеупорный наполнитель	—	остальное	остальное	остальное	остальное

Изобретение [59] направлено на разработку формовочной смеси для изготовления гипсовых форм с использованием отходов керамических изделий для улучшения их физико-механических показателей при литье средних и крупных отливок из цветных сплавов.

В предлагаемом составе смеси количество используемых отходов составляет, мас. % 20–60, гипса 30–40, кварцевый песок — остальное. Высокое содержание отходов керамики в материале смеси и наличие в отходах значительного количества окислов (двуокись алюминия — 11,7 %, окислы железа, натрия, калия), а также использование крупного кварцевого песка делает непригодной вышеуказанную смесь для получения ювелирного литья с шероховатостью, соответствующей 5 классу (табл. 3.14).

Все вышеуказанные смеси предназначались или рекомендовались преимущественно для изготовления гипсовых форм для литья из цветных сплавов. Однако только в одном описании к патенту приведены количественные данные о шероховатости литой поверхности, причем у отливки из алюминиевого сплава.

В изобретении [60] предложена формовочная смесь для изготовления отливок ювелирных изделий. В описании к патенту отмечено, что используемая модернизированная формовочная смесь «Ю-КЕН», в которой вместо дианаса, содержащегося в качестве огнеупорного наполнителя в российской смеси «Ювелирная», не позволяет получать качество литой поверхности, как на уровне известных формовочных смесей с огнеупорным наполнителем в виде чистого кристобалита, так и новых, используется обожженный кварцит. Например, формовочная импортная смесь под торговой маркой «KERR» (фирма Kerr

Manufacturing Company, США) изготовлена из порошковых компонентов более тонкого помола, чем известные смеси. Именно это позволяет получать отливки из драгоценных сплавов с более низкой шероховатостью поверхности, что существенно снижает потери указанных сплавов при шлифовке до изделия, например, до 7 и 8 класса шероховатости (табл. 3.14).

Задачей вышеуказанного изобретения [60] стала разработка состава мелкодисперсной формовочной смеси с высокими технологическими параметрами, а именно с повышенными прочностными характеристиками, повышенной текучестью и др., обеспечивающими повышение качества отливок. Такая разработка стала возможной после создания технологии получения кристобалита из кварцевого песка и изготовления специальной мельницы, футерованной пластинами из уралита, для получения тонкого помола компонентов. Поставленная задача достигается тем, что в смеси формовочной для изготовления ювелирных изделий, содержащей гипс, кремнесодержащий материал, технологическую добавку, новым согласно изобретению является введение высокопрочного ($\alpha+\beta$)-гипса, использование в качестве кремнесодержащего материала — кристобалита, а в качестве технологической добавки дигидрофосфата калия и дополнительно введение калиевой селитры при следующем соотношении компонентов, мас. %:

($\alpha+\beta$)-гипс — 20–50;

Кристобалит — 48–78;

Калиевая селитра — 0,5–2,0;

Дигидрофосфат калия — остальное.

При этом используют кристобалит с примесью тримидита и аморфного кварца не более 20 %, оксидов щелочных металлов не более 20 %, а оксидов щелочных металлов 0,2–2,0 мас. %. Вода у предприятия-изготовителя в порошковую смесь не вводится, а используется только у потребителей в работе.

Порошковая смесь — массовая часть (М) при работе затворяется дистиллированной водой — водная часть (В) в пропорции: на 1 кг порошковой части вводится 0,38–0,40 л водной части; в сертификате на партию формовочной смеси указывается как: $V/M=0,38$ л/кг (т. е. водомассовое отношение 380 мл воды на 1 кг порошковой смеси).

Действие компонентов порошковой формовочной смеси следующее: гипс — связующее; кристобалит (SiO_2) — компенсатор усадки гипса в результате дегидратации при обжиге формы; дигидрофосфат

калия (K_2PO_4) — обеспечивает жидкотекучесть формовочной смеси; селитра калия (KNO_3) — обеспечивает необходимое время затвердевания формовочной смеси в 14–40 мин.

Процентное соотношение компонентов формовочной смеси определяется необходимой прочностью литейной формы и необходимым временем затвердевания смеси. Так, например, для литья филигранных отливок с массой менее 50 г и имеющих тонкие сечения (до 0,3 м), нужно использовать формовочные смеси, имеющие низкую прочность (низкое содержание гипса), т. к. отливки извлекаются из формы путем ее разбивки деревянным молотком (киянкой). Если форма имеет высокую прочность, то тонкие сечения отливок деформируются или ломаются. Для массивных отливок весом более 0,5 кг необходимо иметь формовочную смесь высокой прочности, т. к. непечная форма при заливке большого количества жидкого металла размывается и разрушается.

За счет изменения содержания гипса можно получить: прочность 4–5 кг/см² — для филигранных и миниатюрных отливок; прочность 6–10 кг/см² — для мелких отливок (кольца, серьги, кулоны); прочность 11–15 кг/см² — для крупных ювелирных отливок массой до 10 кг.

Для вакуумирования от воздуха больших количеств формовочной смеси 15–30 кг при изготовлении больших форм для литья массивных отливок необходимо использовать смеси, имеющие начало затвердевания на 30–40 минутах, в противном случае в форме останутся пузыри воздуха, которые при заливке заполняются металлом, и отливки на поверхности будут иметь шаровые наплывы металла, что является неисправимым браком.

Новая мелкодисперсная формовочная смесь имеет размер частиц 10–90 мкм, что соответствует дисперсности лучших зарубежных смесей.

При использовании новой смеси отсутствует такой вид брака как «облой» в виде тонких наплывов на поверхность отливки. Смесь имеет высокую текучесть. Например, диаметр расплыва предлагаемого состава суспензии 250 г составил 180–200 мм. Применение кристаллита вместо динаса, используемого в смеси, — прототип от российского изготовителя, позволило стабилизировать технологические свойства смеси и качество поверхности отливок. Применение в составе смеси калиевой селитры позволяет регулировать период затвердевания гипса, входящего в состав смеси, как для маленьких форм

массой ≤ 5 кг, так и для крупных, массой 15–20 кг. Это связано с тем обстоятельством, что период вакуумирования небольших и крупных масс смеси находится в интервале от 5 до 30 минут. В формах, выполненных из новой смеси, получены ювелирные украшения из золота с качеством литой поверхности и близкой к отливкам, получаемым при использовании импортной смеси «KERR».

За счет исключения брака поверхности отливок и более низкой шероховатости, например, соответствующей 6 классу (табл.3.14), потери золота на литье и полировку снизились в два раза, чем в случае применения модернизированной и используемой в странах СНГ формовочной смеси «Ю-КЕН».

Формула изобретения.

1. Смесь формовочная для изготовления ювелирных изделий, содержащая гипс, кремнесодержащий материал, технологическую добавку, отличающаяся тем, что она содержит высокопрочный $(\alpha+\beta)$ -гипс, в качестве кремнесодержащего материала — кристобалит, а в качестве технологической добавки дигидрофосфат калия и дополнительную калиевую селитру при следующем соотношении компонентов, мас. %:

$(\alpha+\beta)$ -гипс — 20–50;

Кристобалит — 48–78;

Калиевая селитра — 0,5–2,0;

Дигидрофосфат калия — остальное.

2. Смесь по п.1, отличающаяся тем, что она содержит кристобалит с примесью тридимита и аморфного кварца не более 20 мас. %, а оксидов щелочных металлов — 0,1–2,0 мас. %.

Недостаток формовочной смеси фирмы «KERR»: высокая стоимость, составляющая примерно 100 долларов за упаковку с материалом [61].

Смесь наливная самотвердеющая для изготовления форм и стержней при литье по выплавляемым моделям предназначена для литья художественных отливок, так как обеспечивает шероховатость литой поверхности, например, при литье бронзы, только на уровне R_z 20–80 мкм [62]. Негативное влияние на чистоту (шероховатость) поверхности оказывает использование в составе смеси кварцевого песка и портландцемента в количестве, мас. %: 53,1–58,8 и 12,72–17,9 соответственно.

В изобретении [63] предложен состав смеси для изготовления литейных форм по выплавляемым моделям в ювелирной промышлен-

ленности для замены динасо-гипсовой смеси (ДГА), имеющей нестабильный период затвердевания, например, от 3 до 90 мин. Поэтому смесь ДГА приводит к браку форм в количестве до 40 % и не находит промышленного применения. Это явление обусловлено нестабильностью природного динаса по химическому содержанию, соотношению в нем тридимита, кристобалита и кварца, а также необходимостью размельчения динаса до размеров частиц менее 0,08 мм.

Целью изобретения послужила разработка смеси для изготовления литейных форм по выплавляемым моделям, имеющей стабильные физико-химические и технологические характеристики и обеспечивающей снижение затрат на ее изготовление.

Поставленная цель достигается за счет того, что смесь для изготовления литейных форм по выплавляемым моделям ювелирных и подобных изделий, содержащая в затворенном состоянии гипс и воду, содержит в качестве жаростойкого наполнителя обожженный кварцит, а в качестве стабилизирующей технологической добавки дигидрофосфат при следующем соотношении компонентов в вес. %:

- Обожженный кварцит 52,0–57,0;
- Гипс 15,0–20,0;
- Дигидрофосфат 0,05–2,0;
- Вода — остальное.

Обожженный кварцит, в отличие от природного динаса, имеет структуру монолита и имеет состав, стабильный по соотношению компонентов, включающий 20 % кристобалита (остальное кристаллический и плавленый кварц) и крайне малое количество посторонних примесей.

Стабильность обожженного кварцита по составу обеспечивает постоянство состава формовочной смеси и стабильность ее свойств, необходимую для высокого качества литейных форм и получаемых готовых отливок. Стоимость смеси с обожженным кварцитом почти вдвое ниже, например, чем из смеси на украинском динасе. Замена технологической добавки в виде ортофосфорной кислоты дигидрофосфатом упрощает технологию изготовления смеси, поскольку значительно легче вводить в смесь небольшие количества порошковой составляющей, чем жидкой кислоты.

Свойства и преимущества предлагаемой смеси, а также ее промышленная применимость и соответствие установленным требованиям из нижеприводимых примеров и таблиц. Свойства опытных смесей для изготовления литейных форм приведены в табл. 3.16.

Таблица 3.16

Состав апробированных смесей

Составы и их № п/п		Компоненты, мас. %							
		Динас в соответствии с ТУ на поставку	Динас с избытком примесей (Fe, Al, Ca)	Динас с нарушением соотношения компонентов	Гипс	Ортофосфорная кислота	Дигидрофосфат	Обоженный кварцит	Вода
Состав-прототип	1	60,0			12,0	0,03			27,97
	2		63,0		10,5	0,7			25,80
	3			62,0	11,0	0,3			26,70
Состав-изобретение	4				20,0		2,0	52,00	26,00
	5				19,0		1,70	52,50	26,80
	6				18,0		1,00	53,50	27,50
	7				17,5		0,50	53,00	29,00
	8				17,0		0,10	54,50	26,40
	9				16,5		0,08	56,42	27,00
	10				15,0		0,05	57,00	27,95
Составы с «запредельными» соотношениями компонентов	11				22,0		2,20	50,00	25,80
	12				14,0		0,02	58,00	27,98
	13				15,0		0,15	60,00	24,85
	14				8,0		2,00	57,00	33,00

Процесс изготовления формовочной смеси с использованием обожженного кварцита и дигидрофосфата включает следующие операции. После пятичасового обжига при температуре 1400 °С кварцит дробят в дробилках и шаровых мельницах до состояния порошка дисперсностью не крупнее 0,08 мм; далее производится пятичасовое смешивание порошков кварцита, гипса и дигидрофосфата в процентном соотношении: кварцит 75 %, гипс 23 %, дигидрофосфат 2 %. Таким образом, изготавливается порошковая часть формовочной смеси, которая затаривается в полиэтиленовые мешки и картонные барабаны массой по 40 кг и поставляется потребителям, которые при использовании добавляют необходимое количество воды и порошковой части. Характеристика ювелирных изделий и качество получаемого литья указаны в примерах 1 и 2 [63].

Пример 1.

Отливка ювелирных брошей, массой 7 г (изделия из золота 585°).

Для указанных отливок из золота формовочная смесь должна иметь повышенную прочность, что достигается уменьшением массы воды и повышенным содержанием гипса. Берется формовочная смесь со следующим соотношением компонентов в вес %.

Кварцит обожженный 52 %, гипс 20, дигидрофосфат 2, вода 26 (в соответствии с табл. 3.16, состав № 4). Уровень брака 5,6 %.

Пример 2.

Отливка ажурного ювелирного изделия кольца из серебра 925°, массой 2,5 г.

Для подобных ювелирных изделий выбирается состав формовочной смеси, обладающий повышенной жидкотекучестью, что обеспечивается сравнительно высоким содержанием дигидрофосфата и воды. В связи с этим условием используется состав № 6 из таблицы 3.16 в вес %:

- обожженный кварцит 53,5;
- гипс 18;
- дигидрофосфат 1,0;
- вода 27,5.

Указанный выбор состава смеси позволил снизить брак отливок до 4,1 % (табл. 3.17).

Стоимость тонны смеси на динасе составляет приблизительно 7600 долларов США, а на обожженном кварците — приблизительно 4000 долларов США [63].

Сравнение данных таблиц 3.16 и 3.17 показывает, что составы, соответствующие изобретению, имеют улучшенные физико-механические и технологические свойства в сопоставлении с составами смеси-прототипа. Выход содержания компонентов за пределы, регламентированные заявляемой совокупностью существенных признаков, ведет к ухудшению свойств смеси и к повышению уровня брака готовых отливок ювелирных изделий.

По техническим условиям смеси должны удовлетворять следующим условиям: текучесть по Суттарду, не менее 140 мм; начало затвердевания — 12–30 мин; прочность на сжатие в сыром состоянии не ниже 7,0 кгс/см², прочность на сжатие после отжига — не ниже 5,0 кгс/см².

Таблица 3.17

Свойства апробированных смесей и брак отливок

Начало за- твердевания, мин	Компоненты, мас. %			Готовых отливок, %
	Жидкотек- учесть по Суттарду, мм	Прочность на сжатие		
		В сыром со- стоянии, кГс/см ²	В обожженном состоянии, кГс/см ²	
18	150	9,1	5,2	6,9
20	150	8,6	4,0	11,3
18	130	9,0	5,1	10,8
15	140	20,0	12,0	5,6
17	150	18,0	10,0	4,8
17	160	17,0	7,0	4,1
20	180	12,0	5,5	5,0
16	160	18,0	9,2	5,6
18	165	15,0	9,0	4,8
18	170	12,8	6,4	5,2
16	120	24,00	14,0	12,5
17	120	11,0	4,8	17,0
25	115	12,0	4,0	17,5
28	185	8,6	3,2	19,0

Формула изобретения

Смесь для изготовления литейных форм по выплавляемым моделям для ювелирных изделий отличается тем, что она содержит в качестве огнеупорного кремнесодержащего материала обожженный кварцит, а в качестве фосфоросодержащей стабилизирующей технологической добавки дигидрофосфат при следующем соотношении компонентов, мас. %

- Обожженный кварцит 52,0–57,0;
- Гипс 15,0–20,0;
- Дигидрофосфат 0,05–2,0;
- Вода остальное.

Как и в случае с новыми смесями для художественного литья, в описании к патентам на изобретения на составы смесей для ювелирного литья почти не приводится конкретных данных об уровне чистоты (шероховатости) чистой поверхности изделия до их шлифовки.

3.4. СОВРЕМЕННЫЕ ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЯМ И ДИЗАЙНУ ПРИ ЛИТЬЕ В ГИПСОВЫЕ ФОРМЫ

В исследовании [64] по дизайну и технологии изготовления ювелирных изделий на основе природных растительных материалов ставилась цель — разработка дизайна и технологии создания ювелирных изделий с флористическими сюжетами и/или использования природных материалов. Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

- проанализировать существующие приемы дизайна и технологии создания ювелирных изделий с флористическими сюжетами и/или использованием природных материалов;
- проанализировать возможности технологий ювелирного литья для реализации дизайна ювелирных изделий на основе природных цветов и листьев;
- разработать дизайн ювелирных изделий и сувенирной продукции с флористическими элементами;
- разработать технологию литья для реализации дизайна изделий с флористическими элементами на основе природного растительного материала;
- провести серию экспериментов по подбору материала для отливок и вспомогательных материалов;
- изготовить на основе разработанного дизайна и выбранной технологии литья по природным моделям экспериментальные образцы ювелирных изделий.

Новизна работы, по мнению автора [64], состояла в следующем:

1. Научно обосновано использование природных соцветий и листьев в качестве модельного материала для отливок в металле ювелирных изделий.
2. Установлен механизм армирования флористических объектов, заключающийся в создании полимерной пленки на их поверхности, обеспечивающий повышение жесткости объекта при сохранении необходимой эластичности и фактуры поверхности.
3. На основе экспериментальных данных определены: толщины флористического объекта и слоя армирующего покрытия, параметры режима прокаливания форм, обеспечивающие получение бездефектного ювелирного изделия методом литья.
4. Обосновано влияние фактора толщины флористического объекта и определена его предельная величина, при соблюдении кото-

рой удается устойчиво получать ювелирные изделия методом литья по природным объектам.

Основное внимание в работе уделено флористике, а не технологии литья. Например, в автореферате приведено 5 видов цветов и листьев и только две таблицы с результатами исследований по технологии изготовления формы (вакуумирование опоки, термообработка). Для выполнения исследований автором [64] использовалась импортная формовочная смесь «Satin Cast 20», температурный режим обработки которой известен и указан в инструкции, прилагаемой к смеси от фирмы-производителя. Информация о качестве поверхности отливок, уровне их технологической сложности и толщине стенок или массе в материалах автореферата отсутствуют.

Новизна результатов исследований не подтверждена патентами на изобретения или полезные модели либо на промышленные образцы литых отливок с флористическим сюжетом.

В исследовании [65] по дизайну литых изделий малой пластики, цель работы состояла в установлении закономерностей формирования рельефа на поверхности отливки, для чего решались следующие задачи:

- разработка и создание четырех различных рельефов на поверхности мастер-модели и анализ их воспроизводимости на примере двух металлических сплавов;

- анализ исследования рельефа поверхности на каждом этапе его воспроизводства по схеме: мастер-модель — восковая модель — гипсовая форма — готовое изделие;

- сопоставление модельных значений (размерные характеристики элементов рельефа поверхности) на каждом из четырех этапов воспроизводства готового изделия;

- установление общих тенденций наследования рельефа поверхности металлических сплавов, выполненных методом литья по выплавляемым моделям;

- разработка корректировочной системы размеров мастер-модели при точном литье в гипсовые формы.

Новизна работы [65] состоит в следующем:

1. Показано, что при использовании метода точного литья по выплавляемым моделям удастся передать рельеф поверхности художественного изделия с сохранением геометрии и размеров отдельных элементов, формирующих особенности ее дизайна.

2. Установлены материалы и технологические режимы литья по выплавляемым моделям, воспроизводящие различные рельефы по-

верхности разной категории сложности, что позволяет воспроизвести декоративность и геометрию формы.

3. Показана возможность получения поверхности отливки высокой чистоты по (R_a , R_z) из латуни и силумина при использовании метода литья по выплавляемым моделям.

4. Шероховатость поверхности, имеющей заданный рельеф, оказывается ниже, чем шероховатость поверхности без рельефа, таким образом, дизайн рельефной поверхности более многообразен, чем гладкой.

5. Установлено, что декоративность поверхности и особенность ее геометрии при использовании метода литья по выплавляемым моделям сохраняется при величине размерного параметра 1 мм и более.

6. Выявлено, что высокую воспроизводимость рельефа поверхности (линейное отклонение не превышает 2–3 %) удается достичь, если линейные характеристики любого из его размерных параметров составляют 1 мм и более.

7. Рекомендован поправочный коэффициент размерных характеристик K , предусматривающий увеличение параметров рельефа эталона или мастер-модели на 2–3 %, связанный с усадкой использованных при выплавке материалов: воска и металла.

По нашему мнению, первые три вывода по научной новизне являются достаточно общеизвестными на период написания диссертации и отражены в соответствующей технической литературе, опубликованной в период до написания автором диссертации в 2003 году [4; 5; 36]. Вывод 4 является весьма спорным, так как при литье отливок с тонкорельефной поверхностью, например, тонкорельефных прессформ, шероховатость поверхности как с рельефом, так и без рельефа по результатам исследований была одинакова.

Факт новизны работ [65] и [64] не подтвержден патентами на способ или устройство либо вещество для литья изделий малой пластики по выплавляемым моделям.

В исследовании [66] о влиянии технологий формообразования на дизайн изделий сложной формы целью является разработка метода изготовления сложнопрофильных пустотелых художественных отливок, расширяющего возможности дизайнера и повышающего качество художественных изделий. Для достижения цели поставлены задачи:

– оценить технологические возможности существующих методов изготовления пустотелых художественных изделий сложного профиля и выделить из них наиболее технологичный;

- на основе выбранного технологического процесса разработать новый метод изготовления пустотелых изделий;
- определить технологические параметры процессов формообразования в соответствии с предложенным методом;
- согласно классификатору художественных отливок применить разработанный метод, определив граничные условия по массе и способу изготовления художественных изделий;
- создать дизайн художественного изделия и воплотить его в материале.

Новизна работы [66] состоит в следующем:

1. Разработана методика оценки дизайнерских возможностей технологических процессов литья художественных изделий, включающая оценку конструктивных, технологических и эстетических факторов.

2. Разработан метод изготовления пустотелых художественных отливок сложного профиля с использованием жидких формовочных смесей (ЖФС), расширяющий возможности дизайна и повышающий качество изделий. Для указанного метода определены технологические параметры с использованием полученных экспериментальных зависимостей.

3. На основании анализа дизайнерских возможностей произведено ранжирование пяти линейных технологий (метод ЖФС, ЛПВМ, литье в песчано-глинистые формы, литье по газифицируемым моделям, литье в постоянные формы) и выявлено двукратное преимущество метода ЖФС над литьем в постоянные формы.

4. Установлены зависимости начала и окончания схватывания гипсовой формовочной массы в зависимости от концентрации лимонной кислоты. Показано, что заливку формовочной массы следует проводить до момента начала схватывания.

5. Для случая погружения модели под уровень формовочной смеси объяснен механизм заполнения внутренней полости после создания разрежения. Показано, что время заполнения зависит от степени разрежения, диаметра трубчатых вставок и количества формовочной массы, идущей на заполнение полости. Определены уравнения регрессии, описывающие процесс заполнения.

Выводы по научной новизне достаточно полно отражают выполнение автором [66] поставленной цели и задач в исследовании. Возможности дизайна литейных технологий оценивались по трем группам факторов: конструктивным, технологическим, эстетическим.

Отливки разделялись: по габаритам и массе изделий (менее 0,5 кг, 0,5–25 кг и более 25 кг); по конфигурации (простая, средняя и сложная) и чистоте поверхности (грубая, средняя и чистая).

К эстетическим факторам изделия были отнесены:

- Возможность использования разных материалов. Рассматривались три группы материалов: черные металлы и сплавы; цветные; драгоценные.

- Необходимость механической доработки отливки до готового изделия. Были определены три уровня эстетических свойств отливки:

- высокий, при котором доработка практически не требуется;
- средний, при котором производится доработка фрагментов отливки способами шлифовки и полировки;
- низкий, при котором требуется доработка всей поверхности и большей части отливки с помощью механической обработки на металлорежущих станках (точение и фрезерование) с последующей шлифовкой и полировкой.

В табл. 3.18 приведена оценка с использованием вышеуказанных показателей [66].

Факторы оценивались в баллах, по трехбалльной шкале. Чем выше были качественные или количественные характеристики, тем выше балл. Конструктивный фактор, относящийся к габаритам и массе отливок, оценивался по охватываемым группам (1 балл за группу). Аналогично определялся балл для оценки по применяемым материалам. С использованием дизайнерских возможностей технологических процессов литья выполнены диаграммы для наглядного цвето-графического сравнения их возможностей (рис. 3.6).

Из диаграммы (рис. 3.6) можно сделать вывод, что только метод литья по выплавляемым моделям в керамические или гипсовые формы приемлем для литья мелких и миниатюрных, например, ювелирных изделий, имеющих сложную форму, тонкий рельеф и с чистой поверхностью, требующей минимальной доработки (шлифование или полировку).

Однако, в работе [66], несмотря на значительный объем исследований по формообразованию, нет подтверждения ее технологической новизны в виде изобретений или полезных моделей.

С учетом информации из описаний к патентам на изобретения по способам и составам для литья в гипсовые формы по выплавляемым моделям [54, 56–63] и результатам диссертационных исследований [64–66] остается нерешенной задача формообразования по разработке смеси, обеспечивающей высокий уровень дизайна (сложность

конфигурации, рельефа, чистота поверхности) и выполненной из формовочной смеси взамен импортной и с использованием исходных материалов от украинского производителя.

Таблица 3.18

Оценки возможностей технологических процессов литья по различным факторам

		Метод ЖФС	ЛПВМ	Литье в песчано-глинистые смеси	Литье по газифицируемым моделям	Литье в постоянные формы
Конструктивные факторы	Наибольший габаритный размер и масса изделия	2	2	2	2	1
	Конфигурация (сложность формы) изделия	3	3	2	3	2
	Чистота поверхности отливки	3	3	1	2	1
Технологические факторы	Жидкотекучесть	3	3	2	2	1
	Трещиноустойчивость	3	2	2	2	2
	Образование газоусадочных дефектов	3	3	2	1	1
Эстетические факторы	Материалы	3	3	2	2	2
	Степень доработки отливки	3	2	1	2	1
Σ		23	21	14	16	11

3.5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОТАЛЬКА И ЕГО ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ КАК НОВОГО ОГНЕУПОРНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ГИПСОВЫХ ФОРМ

Тальк различных месторождений, например, имеющих в России и Украине, имеет состав, колеблющийся в пределах от $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2$ до $4\text{MgO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ с небольшим количеством других окислов [52]. Лучшие разновидности талька отличаются низким содержанием CaO (от 0,2 до 1,0 %) и Fe_2O_3 (от 0,3 до 0,8 %).



Рис. 3.6. Диаграмма цвето-графического сравнения возможностей способов литья для реализации дизайна художественных изделий

В процессе нагревания талька происходит его дегидратация, а при 700–900 °С он переходит в энстатит по следующей реакции:



При нагревании до температуры 600 °С удаляется вода, конструкционно не связанная с компонентами талька, а в интервале 600–1000 °С удаляется гидроксильная вода, входящая в молекулу талька (рис. 3.7) [52].

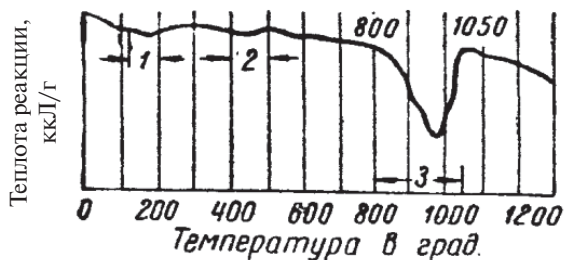


Рис. 3.7.Термограмма талька

На термограмме (рис.3.7) период удаления химически связанной (гидроксильной) воды отражен периодом $\tau_{тв}$ и обозначен стрелками. При температуре 1250–1350 °С эстатит переходит в клиноэстатит ($MgSiO_3$). Фазовые периоды накладываются один на другой, поэтому изменения протекают постепенно, а не скачкообразно, как в кварце или динасе с большими объемными изменениями (табл. 3.3). Стекловидная фаза под микроскопом обнаруживается при температуре нагрева талька до 1000 °С. При нагреве до 1350 °С количество стекловидной фазы может достигать 80 %. Клиноэстатит начинает формироваться при 1200 °С.

Более поздние рентгенографические исследования Соколова В. Н. [67] с использованием дифрактометра ДРОН-2 подтвердили и развили выводы Будникова П. П. [52] по тальку, как сырьевому материалу для фаянсовых плиток, термостойких кордиоритовых высоковольтных и высокочастотных изоляторов. Рассмотрим более подробно данные рентгенографических исследований по свойствам талька при нагреве до 900–1300 °С [67].

Наиболее характерные дифрактограммы для природного и термообработанного талька приведены на рис. 3.8. Тальк содержит небольшое количество кварца. На дифрактограмме ему соответствуют отражения с межплоскостными расстояниями 4,25 и 3,34 А. При нагревании талька до 800 °С изменений в нем не наблюдается.

Нагрев до температуры около 900 °С приводит к образованию новой фазы. Дифрактограммы, отвечающие вновь образовавшейся

фазе, характеризуются малым числом отражений с небольшой интенсивностью. Наибольшей интенсивностью обладают отражения с $d=3,17$ А и $d=2,88$ А. Анализ дифрактограмм показывает, что с ростом температуры обработки талька количество отражений и их интенсивность на дифрактограммах возрастают. При этом при температуре выше 1150 °С вновь образовавшаяся фаза идентифицируется как протоэнстатит. Поэтому преобразования талька, отмеченные в работе [52] и связанные с удалением сначала свободной, а затем кристаллизационной воды и формированием новой фазы, подтверждены и в работе [67].

Новым в исследовании [67] является вывод по результатам данных, представляющих структуру материала после удаления его молекулярной воды из решетки (рис. 3.8). До температуры обжига 1250 – 1300 °С интенсивность отражений вновь образовавшегося продукта распада талька возрастает. Это свидетельствует о том, что кристаллическая решетка новой фазы с ростом температуры обжига талька становится более совершенной.

Если допустить, что при температуре около 900 °С образуется гидроэнстатит, то, очевидно, что в процессе нагрева при полном удалении кристаллизационной воды при температуре 1100 – 1200 °С должен существовать безводный силикат магния, который затем преобразуется в протоэнстатит. Однако анализ дифрактограмм, отвечающих тальку, обожженному в интервале температуры 1100 – 1200 °С через 20 °С, показал, что новых фаз силиката магния не образуется.

Наиболее вероятна схема преобразования талька при нагревании в протоэнстатит с искаженной кристаллической решеткой, которое происходит за счет изменения содержания в ней молекул воды. Фактически все отражения на дифрактограммах, полученных с талька, обожженного при температуре выше 800 °С, хотя они размыты и отличаются слабой интенсивностью, близки по значению межплоскостных расстояний к протоэнстатиту. С ростом температуры обжига наблюдается увеличение интенсивности отражений, появляются новые отражения, например, линии с $d=2,72$ А и $d=2,12$ А, также принадлежащие протоэнстатиту.

Положение линий на дифрактограммах не изменяется. Это свидетельствует о том, что структура водного силиката магния мало отличается от структуры протоэнстатита, т. е. преобразование гидросиликата магния в протоэнстатит происходит без перестройки кристаллической решетки. Это доказывает, что водный силикат

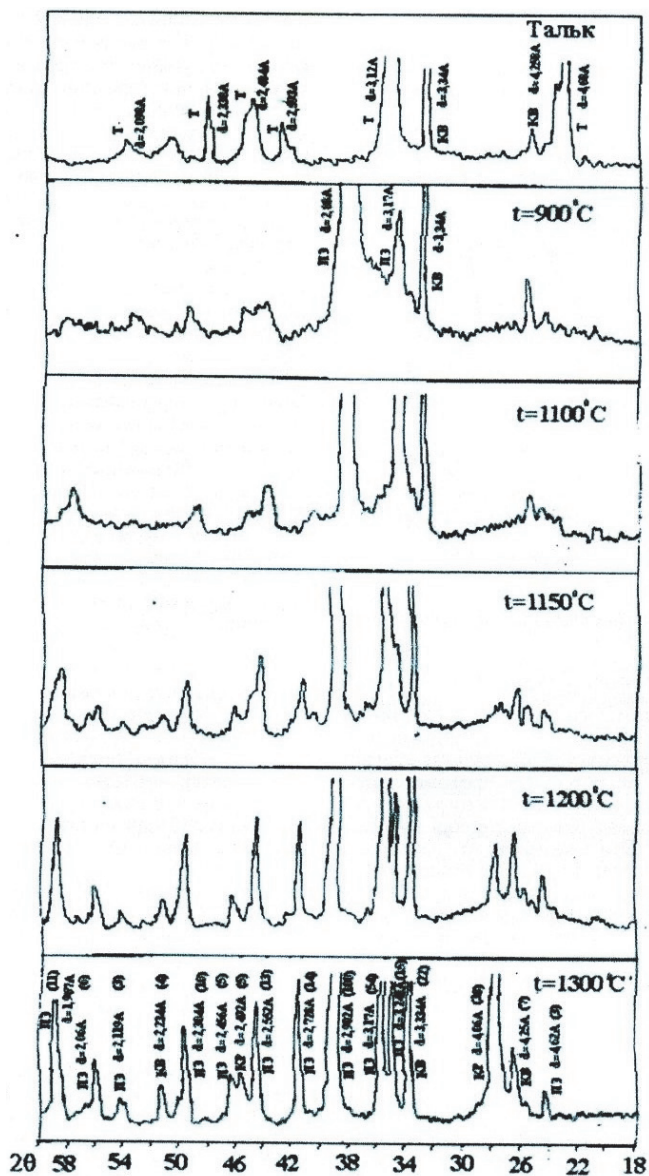


Рис. 3.8. Дифрактограммы талька и продуктов его обжига: Т — тальк, КВ — кварц, ПЭ — протоэнстатит, КР — кристобалит

магния не является самостоятельной фазой. Увеличение времени выдержки образцов талька при фиксированных температурах не приводит к изменению интенсивности дифракционных отражений новой фазы. Из этого следует, что молекулы воды в кристаллической решетке имеют разную степень связи с другими атомами решетки и что при соответствующих температурах из кристаллической решетки новой фазы удаляется определенное количество молекул воды.

Процесс совершенствования структуры протоэнстатита заканчивается при температуре 1250–1300 °С (рис. 3.9, кривая 2).

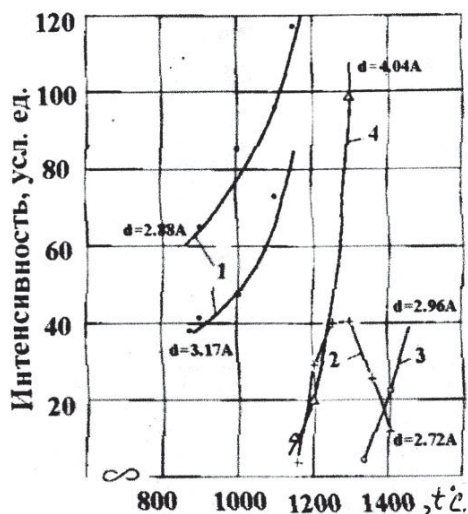


Рис. 3.9. Динамика фазовых превращений при нагревании талька

При более высоких температурах образуется клиноэнстатит, содержание его с ростом температуры обработки талька увеличивается (рис. 3.9, кривая 3). Отметим, что на дифрактограммах выявлены отражения, принадлежащие кристобалиту ($d=4,04$ Å, $d=2,49$ Å). Он появляется при температуре около 1150 °С, и содержание его с повышением температуры обжига возрастает (рис. 3.9, кривая 4).

Результаты рентгенографического исследования термического разложения талька показали, что при нагревании талька до 900 °С образуется не гидроэнстатит как самостоятельная фаза, а протоэнстатит с искаженной кристаллической решеткой, и эти искажения обусловлены наличием в ней молекул воды. Увеличение температуры обработки

талька способствует удалению кристаллизационной воды из решетки, а следовательно, совершенствованию структуры протоэнстатита.

Применительно к тальку, как потенциально новому материалу для гипсовых форм, можно сделать следующие предварительные выводы:

— после термической обработки при 900–1000 °С тальк превращается в магнезиальный силикат, в котором полностью удалена как свободная, так и кристаллизационная вода талька;

— если изготовить гипсовую форму с тальком в качестве огнеупорного материала, то при ее нагреве до температуры 800 °С резких модификационных и, следовательно, и объемных превращений, имеющих место, например, у кварца или динаса, происходить не будет.

Эта особенность талька потенциально исключает одну из основных причин высокого брака гипсовых форм с использованием тонкомолотого кварца или динаса — трещинообразования. Как уже отмечалось, что при использовании в качестве огнеупорного материала в виде динаса брак гипсовых форм может достигать 40 % [63]. Потенциально тальк может стать не только качественным огнеупорным наполнителем для гипсовых форм при ювелирном литье, но и материалом, который в Украине имеется как в виде природных месторождений, так и производств для измельчения природного талька в материал с фракциями до 10–90 мкм. Именно такой размер частиц характерен для смесей и огнеупорных материалов, используемых в импортных формовочных смесях для ювелирного литья [60]. Так как в формовочных смесях в качестве жидкой составляющей используется вода, практический интерес представляют исследования по особенностям реологического поведения водных суспензий талька с размером частиц 3–16 мкм [68].

Тальк в качестве объекта исследования [68] выбран как материал для рецептур водных лако-красочных материалов. Характеристики поверхности талька с размерами частиц от 3 до 16 мкм ощутимо изменяются в зависимости от размеров частиц (табл. 3.19).

В табл. 3.19 обозначения марок талька включают цифры (3, 5, 7, 10, 15), характеризующие его размер в мкм. Изменяется характеристическое соотношение размеров, причем указанное изменение происходит не линейно (табл. 3.19). При уменьшении размера частиц материал становится гидрофильным. Авторы [68] предполагают, что частицы талька с адсорбционной оболочкой воды будут иметь форму, близкую к форме диска с выпуклыми краями (закрытого тороида). Поэтому при определенном размере частиц талька достигнуто такое

состояние, когда гидратационная оболочка будет полностью покрывать его поверхность за счет уменьшения соотношения длины к высоте. В этом случае ориентационный фактор течения анизотропных частиц будет существенно уменьшен.

Таблица 3.19

Характеристики поверхности талька

Обозначение	Удельная поверхность, м ² /г	Средний медианный размер частиц, мкм	Соотношение l/d	Угол смачивания водой, град
Тальк-3	5,74	2,9	28	65
Тальк-5	4,30	5,1	30	65
Тальк-7	3,37	6,7	33	70
Тальк-10	2,43	10,0	34	70
Тальк-15	1,57	15,2	33	70

Этот феномен наблюдается при динамическом анализе значений критических концентраций тальковых водных суспензий (рис. 3.10) [68].

Хотя значения критических концентраций по статистическим и динамическим характеристикам не совпадают, на рис. 3.11. четко прослеживается закономерность, выражающаяся в росте значений критической концентрации при увеличении размеров частиц талька. Зависимость не является линейной и носит гиперболический характер. Для частиц со средним размером от 6 до 10 мкм наблюдается наиболее быстрый рост значения критической концентрации при увеличении медианных размеров.

На рис. 3.11 представлены данные статистического седиментационного анализа, подтверждающие вышеуказанную закономерность.

Под критической концентрацией понимается такое содержание твердой фазы в суспензии, при котором по прошествии 30 дней после ее приготовления не наблюдается седиментационного расслоения. Поэтому коагуляционная структура суспензий с мелкими частицами талька является более прочной и седиментационно устойчивой. В водной суспензии без каких-либо связующих резкое снижение устойчивости суспензии происходит при размерах частиц выше 8 мкм.

Применительно к формовочным массам с содержанием связующего, например, гипса, этот вывод будет применим, если частицы гипса в водном растворе будут также иметь размеры ≥ 8 мкм, и

близость удельного веса частиц талька и гипса, а также отсутствие взаимодействия между ними с образованием более крупных частиц. Формовочные смеси для гипсовых форм, в отличие от тальковых водных суспензий, не выстаиваются и не хранятся 30 дней, а только 15–30 мин после приготовления суспензии под заливку в опоку.

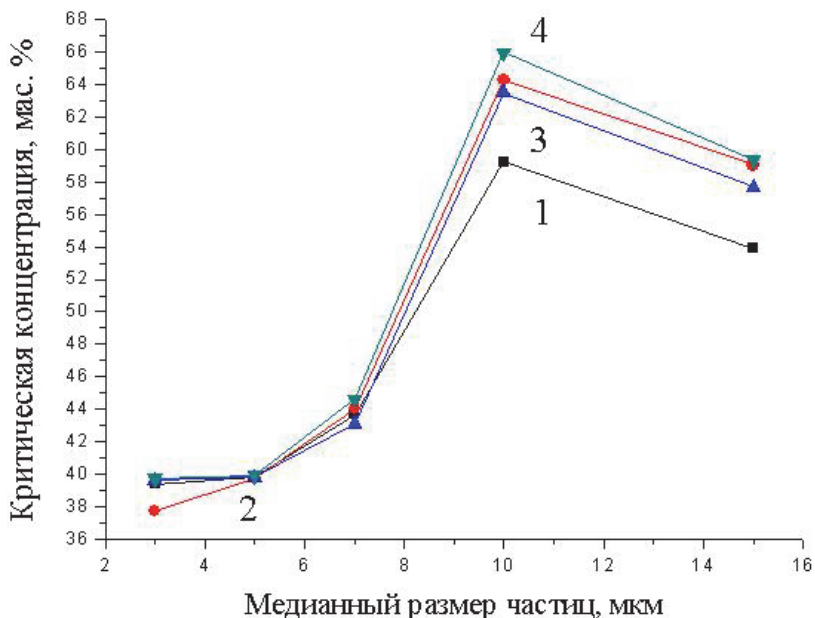


Рис. 3.10. Зависимость критической концентрации водных суспензий от медианного размера частиц талька: 1 — статический предел текучести; 2 — шведовская (максимальная статическая) вязкость; 3 — динамический предел текучести; 4 — бингамовская (минимальная динамическая) вязкость

В работе [69] изучены физико-химические закономерности адсорбции талька в суспензиях. Установлено, что тальк, например, с размером частиц 20 мкм (ММ-20) имеет пластинчатую форму частиц и два типа поверхности, одна из которых называется «базальной», вторая «боковой». Базальная поверхность плоская с формой в виде пластин или обалов. Боковая поверхность частиц талька сложная, состоящая из группы базальных поверхностей.

Характеристика размера поверхности частиц талька Онотского месторождения приведена в табл. 3.20.

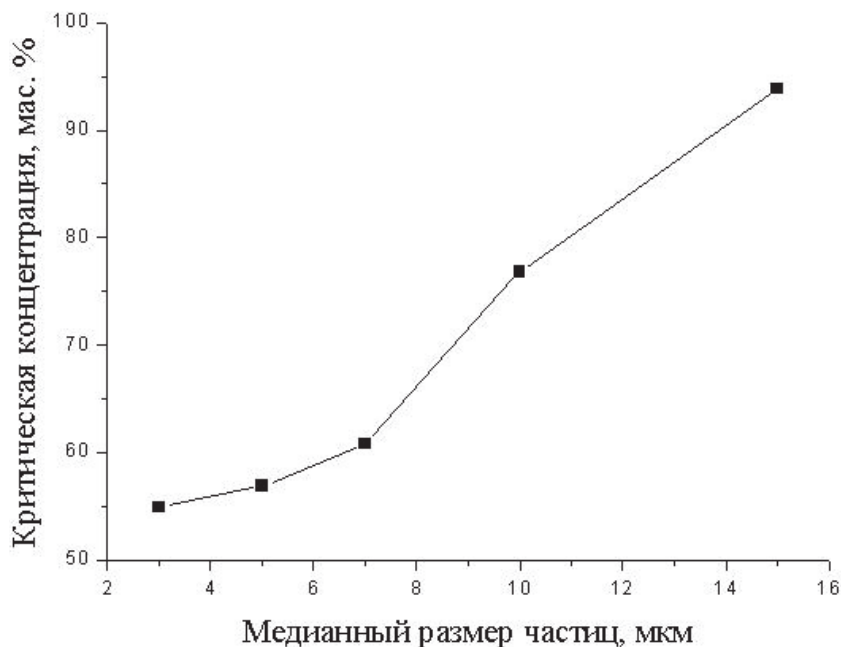


Рис. 3.11. Зависимость седиментационной критической концентрации от медианного размера частиц талька

Таблица 3.20

Характеристика талька по размеру частиц и удельной поверхности

Показатели		Марка талька		
		ММ-10	ММ-20	ММ-30
Тонкость помола	Средний размер частиц, мкм	4	6	8
	Удельная поверхность (по БЭТ), м ² /г	8,5	6,5	6,3

Адсорбция тальком поверхностно-активных веществ (ПАВ) в широком диапазоне концентраций происходит по механизму однослойного заполнения. Предельное значение адсорбции существенно возрастает с увеличением значения рН, например, до рН=7 или рН=9. Процесс высушивания талька марок ММ-10 и ММ-20 при температуре 105° С до значений постоянной массы занимает около двух часов. Непросушенный тальк имеет более высокие значения адсорбции, чем просушенный тальк. Фазовый состав талька определя-

ли [69] на рентгеновском аппарате «Siimadzu XRD 7000». Результат опытов приведен в табл. 3.21.

Таблица 3.21

Фазовый состав талька Оютского месторождения

Фаза	Тальк*)	Хлорит**)	Магнетит MgCO ₃	Кальцит CaCO ₃	Доломит MgCa(CO ₃) ₂	Итого %
Мас. %	97,31	2,69	—	—	—	200

Примечание: *)Тальк MgSi₄O₁₀(OH)₂;

***)Хлорит (MgFe) [(AlSi)₄O₁₀(OH)₂]_n × 3(MgFe) (OH)₂.

Применительно к использованию вышеуказанного талька в гипсовых формах необходима его термическая обработка для удаления не только свободной воды, но и хлорита. Например, температура плавления хлорида магния (MgCl₂) равна 714 °С, а разложение перхлората магния Mg(ClO₄)₂ — 251 °С [70].

Плотность дисперсных порошков талька составляет 2700–2800 кг/м³. При использовании талька как наполнителя пластмассы он резко снижает показатель ее текучести, например, при литье под давлением [71]. Это явление объясняется слабой совместимостью поверхности талька и жидкой пластмассы.

В Украине фирма ТПК «Шабры-Украина» предлагает различные марки молотого талька [72]. Анализ марок тонкомолотых тальков (размер частиц 40–90 мкм) с учетом максимального содержания примесей (Fe₂O₃ и CaO) и потерь при прокаливании показал, что наиболее подходит микротальк марки МТ-ГШМ (ГОСТ 19284–79), используемый в лако-красочных изделиях в качестве наполнителя. Физико-химические свойства микроталька приведены в табл. 3.22.

На период 2016 г. эта марка талька используется в качестве наполнителя грунтовок и шпаклевок.

Тальк, в отличие от кварца и динаса, термостоек и поэтому изделия из него, например, в печах и каминах не подвержены растрескиванию при перепадах температур. В отличие от талька, который использовался в красках для покрытия кокилей методом пульверизации водной суспензии (марки ТМК-27, ГОСТ 21236–74), в микротальке МТ-ГШМ содержание Fe₂O₃ меньше в 30 раз, а потери при прокаливании (при 1000 °С) — в три раза [72].

Цена талька технического с размером частиц от 1 до 20 мкм от производителя (ООО «Кривбасбудсуміш») на период 2015 г. составляла

(без НДС) от 1200 грн за тонну. В России цены микроталька марки МТ-ГШМ находятся в пределах: 200–250 дол/т — от национального производителя; 400–500 дол/т — от зарубежных производителей.

Таблица 3.22

Физико-химическая характеристика микроталька МТ-ГШМ

№ п/п	Физико-технические параметры	МТ-ГШМ (ГОСТ 19284–79)	Фактические показатели
1	Белизна (коэффициент отражения), %, не менее	70	93–95
2	Массовая доля водорастворимых веществ, %, не более	0,3	0,1
3	Величина концентрации водородных ионов водной вытяжки, рН	8,5–9,5	8,5–9,5
4	Массовая доля влаги, %, не более	0,5	0,2
5	Массовая доля прокаленного нерастворимого в соляной кислоте остатка (НСИ), %, не менее	82	94,6
6	Fe, O ₃ растворимый в HCl, %, не более		0,2
7	Сао, %, не более		0,5–2
8	Сu, %, не более		0,005
9	SO ₄ , %, не более		0,005
10	Cl, %, не более		0,005
11	Потери при прокаливании, %, не более		3
12	Мышьяк		отсутствует
13	Удельный вес, г/см ³		2,8
14	Насыпная плотность, г/см ³		0,2–0,4
15	Тонина помола: Остаток на сетке, %, не более N 0056 N 0045	отс. 0,5	отсутствует 0,28
16	Массовая доля частиц размером, %, не менее – менее 20 мкм – менее 10 мкм – менее 5 мкм	90 70 40	90,8 71,9 41,7

ВЫВОДЫ

1. В качестве материалов для изготовления объемных гипсовых форм в странах СНГ используются различные марки гипса и тонкомолотые огнеупорные наполнители (кварц, диас, тридимит и др.), а также готовые импортные формовочные смеси на основе тридими-та и связующего из высокопрочного гипса под торговыми марками: К-90, «Super Cast», «Satin Cast» и др.

2. Импортные формовочные смеси обеспечивают более высокое качество литой поверхности ювелирных отливок и технологические свойства при изготовлении форм, чем смеси от украинских или российских производителей.

3. Технологические особенности импортных смесей заключаются в использовании в их составе термообработанного и измельченного до 10–20 мкм природного кристобалита, а также высокопрочного гипса с прочностью на сжатие до 100 кГс/см².

4. Учитывая отсутствие в Украине природного месторождения кристобалита и высокую стоимость импортных формовочных смесей, разработка импортозамещающей формовочной смеси для изготовления литых ювелирных изделий сложной формы и с высоким качеством поверхности отливок является весьма актуальной.

5. Анализ патентуемых изобретений по способам и смесям для изготовления объемных гипсовых форм показал, что весьма технологическими среди них являются: смеси, содержащие высокопрочный ($\alpha+\beta$)-гипс с 48–78 мас. % кристобалита и водомассовым отношением 0,38–0,4 л на 1 кг порошковой смеси и с размером частиц 10–90 мкм и добавками, регулирующими начало затвердевания смеси; смеси из обожженного кварцита с соотношением (мас. %) 52,0–57,0 и 15,0–20,0 соответственно и добавкой 0,05–2,0 дигидрофосфата.

6. Недостатком смесей из кристобалита, изготовленного из кварцевого песка, является высокая энергоемкость процесса и необходимость использования специального оборудования для обеспечения тонкого помола песка.

7. Целью современных диссертационных исследований по изучению влияния литейной технологии на дизайн изделий (сложность формы, декорирование поверхности, чистота — шероховатость) поверхности являлись: разработка технологии для дизайна ювелирных изделий с флористическим сюжетом; установление закономерностей формирования рельефа на изделиях малой пластики; разработка ме-

тода изготовления сложнопрофильных пустотелых художественных отливок.

8. Анализ исследований физико-химических характеристик и изменений структуры талька при нагревании, а также свойств водных суспензий с микротальком, позволяет рекомендовать в качестве нового экономичного материала для огнеупорного наполнителя в смесях для гипсовых форм микротальк марки МТ-ГШМ с дисперсностью 5–20 мкм, содержанием примесей (мас. %) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0,2$, $\text{Cl} \leq 0,005$, имеющий потери при прокаливании не более 3 % и массовое содержание влаги не более 0,2 %.

СПЛАВЫ И ЦВЕТОВОЙ ДИЗАЙН ДЛЯ ЛИТЬЯ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

4.1. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ ДЛЯ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

К драгоценным металлам для производства ювелирных изделий относятся золото, серебро, платина, палладий, родий, иридий, рутений, осмий. Благодаря таким свойствам, как красивый цвет, мягкий блеск, устойчивость к воздействию химических соединений и атмосферных явлений, высокая прочность и относительно невысокая твердость их используют для изготовления ювелирных изделий как в чистом виде, так и в виде сплавов. Рутений и осмий используют только в сплавах с платиной [73].

Золото (Au) — мягкий, легко тягучий металл желтого цвета с сильным блеском; плотность $19,26 \text{ г/см}^3$; температура плавления $1063 \text{ }^\circ\text{C}$; температура кипения $2530 \text{ }^\circ\text{C}$; твердость НВ 18–20; обладает значительной механической прочностью (проволока из золота сечением 1 мм^2 разрывается под нагрузкой 270 МПа); легко поддается ковке и прокату. В химическом отношении золото отличается малым сродством с другими элементами. С кислородом воздуха непосредственно не соединяется. При нормальной температуре на него оказывают действие хлор, бром и фтор. Лучшие растворители — смеси, выделяющие хлор. Под действием хлора при температуре $200 \text{ }^\circ\text{C}$ металлическое золото превращается в хлорное, хорошо растворимое в воде. В смеси азотной и соляной кислот («царской водке») металлическое золото растворяется и превращается в хлорное. Расплавленное золото (при температуре $1063 \text{ }^\circ\text{C}$) имеет плотность $17,3 \text{ г/см}^3$, а твердое — $18,2 \text{ г/см}^3$, что обуславливает значительную его усадку при затвердевании.

Серебро (Ag) — ковкий, тягучий металл блестяще-белого цвета; плотность $10,49 \text{ г/см}^3$; температура плавления $960,5 \text{ }^\circ\text{C}$; температура кипения $1955 \text{ }^\circ\text{C}$; твердость НВ 25; обладает наивысшей отражательной способностью (94 %); легко поддается полировке; хорошо проводит электричество и тепло; прокатывается в тонкие листы толщиной до $0,00025 \text{ мм}$ и вытягивается в тончайшую проволоку. Так как серебро очень мягкий металл, в ювелирном деле его применяют только в

виде сплавов (чаще всего с медью). В чистом виде серебро используют для серебрения различных изделий из недрагоценных металлов.

Платина (Pt) — ковкий металл серебристо-белого цвета, с сероватым оттенком, по цвету и блеску напоминающий олово; плотность 21,4 г/см³; температура плавления 1773,5 °С; температура кипения 4300 °С; твердость НВ 50.

Чистая платина мягка. Для увеличения твердости и прочности ее сплавляют с родием, иридием, палладием, золотом, серебром, медью и пр. Тягучесть чистой платины приближается к тягучести золота. Соляная, азотная и серная кислоты порознь на платину не действуют. Растворяется она только в смеси азотной и соляной кислот, образуя при этом хлорную платину. В расплавленном состоянии платина поглощает водород. В производстве ювелирных изделий платина широко применяется как оправа для бриллиантов, для изготовления браслетов, цепочек, колец и как составная часть некоторых сплавов с золотом.

Свойства металлов платиновой группы (спутников платины) — палладия, иридия, родия и осмия — сходны со свойствами платины.

Палладий (Pd) — ковкий, тягучий металл серебристо-белого цвета; плотность 12,16 г/см³; температура плавления 1554,5 °С; температура кипения 2200 °С; твердость НВ 52; отражательная способность 65 %. Палладий растворяется в азотной кислоте, в смеси азотной и соляной кислот; в твердом и жидком состоянии поглощает водород.

Иридий (Ir) — твердый, хрупкий металл белого цвета с легким серым оттенком; плотность 22,4 г/см³; температура плавления 2454 °С; температура кипения 5300 °С; твердость НВ 172. При накаливании докрасна иридий обладает некоторой ковкостью; обработка его вследствие высокой твердости затруднительна. Кислоты и расплавленные щелочи на него не действуют. Иридий применяется главным образом в виде сплавов с платиной и другими металлами. Добавка иридия к платине значительно увеличивает ее твердость. Сплавы иридия с платиной применяются при изготовлении ювелирных изделий, зубоорудийных и хирургических инструментов и т. д.

Родий (Rh) — хрупкий металл бледно-голубого цвета, похожий на алюминий; плотность 12,41 г/см³; температура плавления 1966 °С; температура кипения 4500 °С; твердость НВ 101; отражательная способность 70—80 %.

Рутений (Ru) — твердый, хрупкий, тугоплавкий металл серебристо-белого цвета (очень похож на платину); плотность 12,2 г/см³;

температура плавления 2450 °С; температура кипения 4100 °С; твердость НВ 220.

Драгоценные металлы обладают высокой степенью пластичности, однако применение их в чистом виде в ювелирном производстве ограничено из-за недостаточной твердости и износостойкости. Поэтому для изготовления ювелирных изделий, как правило, используют их сплавы с другими металлами. Изменяя состав сплавов, можно изменять их свойства: твердость, прочность, пластичность, цвет, коррозионную стойкость, плотность, температуру плавления и др.

Сплавы золота получают, используя в качестве легирующих элементов серебро, медь, платину, палладий, цинк, кадмий. Наиболее часто для изготовления ювелирных изделий используют тройные сплавы системы золото — серебро — медь; реже — двойные сплавы систем: золото — серебро и золото — медь. В отдельных случаях, когда необходимо получить различно окрашенные сплавы золота, в них добавляют платину, палладий, кадмий, серебро, цинк, никель, медь и другие металлы. Так, прибавка меди придает золоту цвета от желтого до красного, прибавка серебра — от бледно-зеленого до почти белого, прибавка кадмия — зеленый цвет, прибавка палладия — бурый или белый, прибавка платины — белый, прибавка никеля — бледно-желтый.

Серебряные ювелирные изделия изготавливают в основном из серебряно-медного сплава, содержащего 87,5 % серебра и 12,5 % меди (СрМ 875). Для производства изделий, покрываемых эмалью, применяется сплав, содержащий 91,6 % серебра (СрМ 916), а для филигранных изделий сплав, содержащий 96 % серебра (СрМ 960). В некоторых случаях применяют сплавы серебра с цинком, кадмием, никелем и алюминием.

Сплавы платины применяются в ювелирном деле для изготовления верхушек и кастов колец и серег, а также для крепления бриллиантов.

При изготовлении ювелирных изделий применяется сплав палладия 850-й пробы, содержащий 85 % палладия, 13 % серебра и 2 % никеля.

К цветным металлам относятся медь, никель, алюминий, цинк, кадмий, свинец, олово, хром и ртуть. Они применяются в ювелирном производстве чаще всего в сплавах с другими металлами.

Медь (Cu) — металл характерного красного цвета, плотность 8,93 г/см³; температура плавления 1083 °С; температура кипения 2310 °С;

твердость НВ 35. Медь входит в состав многих сплавов и применяется также для легирования золота и серебра, получения золотых и серебряных припоев, изготовления черни и других производственных потребностей.

Латуни, полутомпаки и томпаки — это сплавы меди с цинком (4–40 %), иногда с добавками свинца, олова, железа, никеля и др. Цвет латуни по мере уменьшения в сплавах содержания меди постепенно переходит от медно-красного (не менее 90 %) к золотистому. Эти сплавы имеют низкую коррозионную стойкость, что требует дополнительного покрытия изделий из них.

Никель (Ni) — металл серебристо-белого цвета с сильным блеском; плотность 8,9 г/см³; температура плавления 1455 °С; температура кипения 3000 °С; твердость НВ 70. Никель тверд, тугоплавок, гибок, ковок и тягуч, прокатывается в очень тонкие листы и вытягивается в проволоку; легко полируется. Сплав золота при добавке никеля приобретает белый цвет.

Нейзильбер — сплав, содержащий 65 % меди, 15 % никеля и 20 % цинка; плотность 8,45 г/см³; температура плавления 1050 °С. Применяется нейзильбер для изготовления посуды и столовых приборов.

Мельхиор — сплав, содержащий 80 % меди и 20 % никеля; плотность 8,9 г/см³; температура плавления 1170 °С. Сплав обладает большой тягучестью и легко обрабатывается в холодном состоянии; пригоден для глубокой штамповки. Мельхиор широко применяют для изготовления различной посуды, столовых приборов с последующим серебрением, предохраняющим изделия от коррозии и придающим им красивый внешний вид. Мельхиор используется также как оправа для армирования хрустальных изделий (ваз для цветов, сахарниц и пр.).

Алюминий (Al) — пластичный металл серебристо-белого цвета с голубоватым оттенком; плотность литого алюминия 2,56 г/см³; прокатанного 2,70 г/см³; температура плавления 659 °С; твердость НВ 20. Алюминий хорошо прокатывается, штампуется и куется.

Цинк (Zn) — тяжелый металл, синевато-серого цвета с сильным металлическим блеском, плотность 7,14 г/см³; температура плавления 419,5 °С; температура кипения 906 °С; твердость НВ 35. Применяется для составления некоторых серебряных сплавов и изготовления золотых и серебряных припоев.

Свинец (Pb) — очень мягкий, тягучий металл синевато-серого цвета с сильным блеском, плотность 11,34 г/см³; температура плав-

ления 327 °С; температура кипения 1525 °С; твердость НВ 4. Применяется для получения мягких припоев, а также для приготовления черни.

Олово (Sn) — ковкий металл серебристо-белого цвета. Плотность 7,31 г/см³; температура плавления 231,9 °С; температура кипения 2275 °С; твердость НВ 5. Олово входит в состав мягких припоев и бронзы.

Кроме металлов, в ювелирном производстве используются различные материалы как металлические (лигатуры, сплавы для проб, сплавы для припоев), так и неметаллические (ювелирные природные камни, синтетические камни, искусственные камни) [30].

На период 2015 г. основным показателем характеристики драгоценных металлов является проба, которая соответствует количеству золота в сплаве. Например, в 1000 граммах сплава золота 375° пробы содержится 375 граммов чистого золота, 583° пробы — 583 граммов, 585° пробы — 585 граммов, 750° пробы — 750 граммов. Остальное содержание сплава называется лигатурой, это примесь цветных неблагородных металлов, которая применяется для того, чтобы золото лучше поддавалось обработке и дальнейшей эксплуатации. Точный состав и технология получения таких сплавов часто являются коммерческой тайной фирм, производящих различные цвета лигатур [75]. Самая распространенная, например, в Украине — 585° проба золота.

Пробы сплавов драгоценных металлов, используемых в различных странах мира, приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Пробы сплавов драгоценных металлов, используемых в ювелирном литье в странах СНГ, Западной Европы, США и Японии

Страны	Пробы сплавов драгоценных металлов		
	Золото	Серебро	Платина
СНГ	375°, 500°, 583°, 585°, 750°, 900°, 916°, 950°, 958°	500°, 700°, 750°, 800°, 875°, 900°, 916°, 925°, 960°	900°, 950°
Западная Европа	375°, 585°, 750°, 916°, 333°, 500°	925°, 958°, 800°, 835°, 925°	950°
США	450°, 750°	900°, 925°	950°
Япония	375°, 417°, 500°, 585°, 625°, 750°, 835°, 917°, 1000°	800°, 900°, 905°, 950°, 1000°	850°, 900°, 950°, 1000°

Золото одной пробы может иметь различные цвета. Например, золото 585° пробы может быть белое, желтое, красное, зеленое, коричневое, голубое, синее и черное. Однако покупатели ювелирных изделий традиционно считают желтое (или красновато-желтое) золото настоящим золотом.

Ювелиры научились изготавливать красное золото методом добавления меди с небольшим количеством серебра, которое затем продавали как червонное. С увеличением содержания меди красноватые оттенки можно было усиливать вплоть до ярко-красного. Однако золото с примесью меди более блеклое, мутное, а цвет «червонного» золота светлый. Чем больше в лигатуре меди, тем больше вероятность потускнения серебряных и золотых изделий, которые при соприкосновении с кислородом начинают окисляться, образуя на поверхности окисления пленку оксида меди красновато-коричневого цвета.

Зеленое золото. Если содержание серебра превышает 30 %, золото приобретает серебристый цвет с зеленоватым отливом и считается уже особым сплавом, получившим название электрум. По мере добавления серебра цвет сплава зеленеет, переходя в желто-зеленый, желто-белый и, наконец, чисто белый. Цинк или кадмий также придают сплаву зеленоватый оттенок. Такие сплавы хрупки и в ювелирном деле не применяются.

Белое золото можно получить двумя способами: при помощи лигатуры из серебра и палладия или платины или на основе более сложных сплавов из серебра, никеля, меди и цинка. Платина окрашивает золотой сплав в белый цвет даже интенсивнее палладия, но в лигатурах применяется редко. Десятая часть палладия придает слитку бело-стальной оттенок. Применение палладиевых лигатур дает хороший белый цвет, увеличивает прочность металла, но для массового производства изделий оно обходится дорого. Никелевые лигатуры значительно дешевле, но они придают белому золоту желтоватый оттенок, сплав получается хрупкий и тугоплавкий. Готовые изделия из белого золота иногда покрывают родием (родируют), чтобы удалить желтизну, придать им особый блеск и стойкость, но в странах СНГ этот метод применяется редко. Определение степени цветового тона оценивается по системе числовой классификации с использованием цифрового индекса, например, тона желтизны. Однако стандарты, регулирующие цвет золота, не разработаны. По сравнению с желтым белое золото более стойко к действию атмосферы. Чаще всего изготавливают белое золото 583-й и 750-й проб. В особо дорогих изделиях

применяется сплав золота и платины, так называемое платиновое золото 777-й пробы.

Используется множество лигатур для получения цветовых оттенков золота: белого, розового, красного, зеленого, черного, коричневого, фиолетового, синего и голубого. Лигатуры влияют не только на цвет драгоценного металла, но и на его качество. Производитель выпускает ювелирные изделия из драгоценных сплавов, регламентируемых национальными стандартами, в которых регулируется содержание не только самого драгоценного металла, но и других компонентов, входящих в лигатуру. Нарушение пропорций приводит как к снижению качества поверхности изделий, так и может неблагоприятно влиять на кожные покровы потребителя в месте контакта с изделием. Чистое серебро склонно к высокой скорости окисления и потускнению поверхности. В сплавах с золотом в количествах приблизительно 50 % изделия обладают достаточно высокой стойкостью к атмосферной коррозии и потускнению.

Сплав золото-серебро-медь (Au-Ag-Cu) желтого цвета обладает высокой прочностью и хорошо поддается обработке как механическим способом, так и методом литья.

Сплав золото-серебро (Au-Ag) может изменять цвет от желтого до белого в зависимости от процентного содержания в нем серебра. Хорошо поддается обработке как механическим способом, так и методом литья. В производстве ювелирных изделий применяется редко, так как имеет низкий уровень художественной выразительности и по цветовому тону (бледно белый).

Сплав золото-медь (Au-Cu) изменяет цвет от желтого до красного, в зависимости от процентного содержания меди. С увеличением содержания меди твердость сплава повышается, однако он хуже поддается механической обработке. В связи с этим при изготовлении ювелирных изделий в сплав вводят небольшую часть серебра, что делает его более пластичным и ковким.

Сплав золото-платина (Au-Pt) изменяет цвет от желтого до белого, в зависимости от процентного содержания платины. Сплав белого цвета называют «белое золото». Сплав обладает большой твердостью и тугоплавкостью. В производстве ювелирных изделий применяется редко, в основном для изготовления оправ и кастов для крепления бриллиантов.

Сплав золото-палладий (Au-Pd) изменяет цвет от желтого до белого, в зависимости от процентного содержания палладия. Сплав обла-

дает большой твердостью и тугоплавкостью, в результате чего крайне редко применяется в ювелирном производстве.

Сплав золото-кадмий (Au-Cd) изменяет цвет от желтого до серого, в зависимости от процентного содержания кадмия. Сплав хрупкий, в результате чего в ювелирном производстве применяется редко.

Наличие вредных примесей в сплаве оказывает негативное влияние на его дизайн и качество. Например, свинец и олово делают сплавы хрупкими, алюминий при переплавке сплава может образовывать окись алюминия, которая также делает сплав непригодным к обработке. Если ввести цинк и кадмий вместе, то при эксплуатации этих сплавов от выделения кожей аммиака и пота изделия быстро тускнеют. При работе с кремнийсодержащими лигатурами возникают следующие проблемы: плохие механические качества, хрупкость, «апельсиновая корка», а также проблемы с блеском. В процессе полировки достигается блеск изделия, но это увеличивает себестоимость изделия. Сплавы с крупнозернистой структурой мягче и больше подвержены износу и царапинам. Чтобы этого не происходило, в сплавы добавляют модификаторы, чаще всего это тугоплавкие металлы платиновой группы в количестве 0,3–1,5 %, в зависимости от пробы и модификатора. При полировке таких изделий достаточно минимальных усилий для получения зеркального блеска, причем при меньших потерях металла. Сплав получается более плотный и более устойчивый к истиранию и царапанию, товарный вид этого изделия легко восстанавливается, лигатура мелкозернистая за счет незначительного количества иридия.

Цвет зависит не только от лигатурных добавок, но и от воздействия на изделие различными химическими методами. Такие цвета, как черный, коричневый, фиолетовый, синий и голубой, получаются методом нанесения покрытия на поверхность изделия или в результате химической или термической обработки [74].

Метод оксидирования — получение искусственным путем защитно-декоративной отделки на поверхности уже готового ювелирного изделия, которая придает ему различные оттенки. Процесс оксидирования заключается в нанесении на поверхность изделия оксидного слоя. За рубежом этим методом получают золото черного, синего, фиолетового, серого и коричневого цветов. Для применения этого метода разрабатываются специальные сплавы золота, в которых используется кобальт, формирующий плотную окись черного цвета при оксидировании сплава. В результате включения в со-

став сплава железа, марганца, никеля и меди путем оксидирования получают поверхностный слой коричневого цвета. В зависимости от процентного соотношения количества железа и никеля при оксидировании получают интенсивность окраски от темно-синего до голубого цвета.

Метод гальваностегии включает добавление в специальный раствор красителей с целью формирования слоя на поверхности изделия. Дополнительно применяется специальная обработка для стабилизации цвета и повышения износостойкости. В настоящее время существует возможность получать этим методом голубой, красный и черный цвета золота. Интерметаллические соединения очень хрупки и с трудом поддаются обработке, а покрытия имеют небольшую толщину и могут быстро стираться. Сплавы черного золота очень хрупки, поэтому большинство производителей изготавливают белое изделие, а потом покрывают его гальваническим способом (для черного иногда используется рутений).

Метод родирования — на золото нанесено родиевое покрытие, а его поверхность отдает холодной голубизной. Можно получить и сплав голубого цвета (ноу-хау). Видимо, секрет заключается в добавках кобальта. Известен также золотой сплав синего цвета, который в качестве примеси содержит железо.

Таким образом, возможности цветового дизайна с использованием золота весьма значительны, но ограничены применительно к литевому методу формообразования и высокой стоимости основного металла. Золото делает ювелирное изделие недоступным по цене для основной массы потребителей, например, на рынке Украины. Поэтому, значительный практический интерес представляют цветные сплавы, имитирующие цвет золота, обладающие высокими литейными свойствами для воспроизведения сложной формы тонкого рельефа поверхности с уровнем чистоты (шероховатости) ювелирных изделий, соответствующей 5–6 классу, и не оказывающих вредное (аллергенное) воздействие на здоровье или кожу человека.

Новым направлением в снижении стоимости материалов для изготовления ювелирных изделий являются выполнение ювелирных камней методом литья, например, в кокиль из расплава цветного стекла, имитирующего цвет драгоценного камня. С этой целью в шихте для плавки используют сырьевые смеси, имеющие температуру плавления 970–1050 °С, и компоненты, обеспечивающие заданный цвет и характерный для камня блеск. Например, в табл. 4.2

приведены ориентировочные составы шихты для плавки и литья заготовок, из которых после доработки имитируют драгоценные и полудрагоценные камни [75].

Таблица 4.2

Сырьевые смеси для шихты при плавке и литье искусственных драгоценных и полудрагоценных камней

Наименование камня	Состав сырьевой смеси, мас. %
Аквамарин	Горный хрусталь 36, сода 12, бура 1/4, сурик 1/2, селитра 3/4, окись железа 1/2, углекислая медь 1/8.
Рубин	Горный хрусталь 24, сода 12, сурик 1/2, бура 11, селитра 5,5, краситель (кассиев пурпур) 1,0, сернистая сурьма 0,5.
Сапфир	Горный хрусталь 36, сода 22, сурик 1/2, селитра 3, углекислый кобальт 1/3
Турмалин	Горный хрусталь 22,5, сода 28, сурик 22,5, бура 12, селитра 2,5
Изумруд	Горный хрусталь 36, сода 22,5, бура 7,5, сурик 7,5, селитра 3/4, окись железа 1/4, углекислая медь 2/3

Составы шихты (табл. 4.2) и методы изготовления отливок, полностью соответствующих цветовым характеристикам драгоценных камней, находятся в стадии научного поиска или патентования в виде изобретений [77–79].

**4.2. НОВЫЕ МАСТЕР-СПЛАВЫ (ЛИГАТУРЫ)
ДЛЯ ЛИТЬЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА**

Матричный мастер-сплав (лигатура) — это сплав базовых элементов без содержания драгметаллов. Так, для литья по выплавляемым моделям обычно применяются красные сплавы с содержанием серебра, а данный вид лигатуры удобен как раз тем, что его можно применять как с добавлением серебра, так и без него [80; 81].

Например, матрица Lux 153 (Cu 94,5 %; Zn 5,5 %) для литья по выплавляемым моделям может вполне использоваться и без добавления серебра, а Lux 169 (Cu 95,5 %; Zn 1,5 %; Ga 3 %) без серебра использовать не рекомендуется, так как цвет будет слишком красным. На рынке, например, повышенным спросом пользуется сплав так называемый «Русский красный».

Для непрерывного литья и пластической деформации матричные мастер-сплавы становятся особенно интересны в техническом аспекте. В цепевязальном производстве лучше всего использовать лигатуру Genia 162 (Cu 94 %; Zn 3,5 %; Ag 2,5 %) — она универсальна и пригодна для всех видов производств, в том числе литья по выплавляемым моделям. Этот матричный мастер-сплав может быть использован как с добавлением, так и без добавления серебра, например, для литья часовых корпусов. Этот мелкозернистый сплав позволяет добиться высокого качества поверхности, особенно при добавлении серебра (7,5 % на 1 кг готового сплава). Такими же характеристиками обладают и матрицы Flexia 169 и Flexia 166.

Эти лигатуры производятся в Италии на заводе Progold S.p.A. В состав продукта входят чистые металлы, прошедшие дополнительную очистку во избежание попадания в расплав примесей, которые могут стать причиной дальнейшего брака по оксидам в производстве ювелирных изделий. Основным источником таких загрязнений служат базовые элементы лигатуры, поэтому медь, цинк, кремний, измельчители зерна, другие присадки и модификаторы требуют исключительной чистоты. Серебро, которое необходимо добавлять в некоторые матричные лигатуры, при условии, что оно куплено в банке или у дилера, который подтверждает, что материал прошел аффинаж, также может иметь существенный недостаток — наличие свободного кислорода.

Готовые лигатуры, содержащие серебро, безусловно, удобны в применении, но по стоимости они существенно отличаются от матричных лигатур, даже при условии добавления серебра. Это связано с тем, что импортные пошлины на матричные сплавы составляют всего 5 %, против 20 % для серебрянодержащих.

Flexia 126 — (585) Лигатура предназначена для производства красного золота 375°, 585°, 750° пробы с добавлением серебра или без. Химический состав сплава (Ag 1,8 %; Cu 96,2 %; Zn 2 %) подходит для искусственного старения золота, рекомендуется для литья в изложницу и штампованных изделий.

Flexia 169 — (585). Лигатура предназначена для производства изделий из золота 585° пробы. Химический состав: Cu 97,5 %; Zn 2,5 %. Требуется добавление серебра в количестве 66,9 граммов на каждый килограмм готового сплава. Сплав пригоден для производства штампованной продукции, полнотелых и пустотелых цепей, серег и браслетов, а также колец из заготовок в форме трубы. Основной

особенностью сплава является высокая степень пластичности, также применим для производства прессованных и кованных цепей. Сплав мелкозернистый. Рекомендуется для литья в изложницу и непрерывного литья.

Genia 162 — (585). Эта лигатура предназначена для производства красного золота 375°, 417° и 585° пробы. Состав: Cu 94 %; Zn 3,5 %; Ag 2,5 %. Сплав пригоден для производства штампованной продукции, полнотелых и пустотелых цепей, серег и браслетов, колец из трубы, а также для литья по выплавляемым моделям с камнями и без. Сплав не подходит для искусственного старения. Для пластической деформации может отливаться с использованием всех известных методов (как литье в изложницу, так и непрерывное литье), для литья по выплавляемым моделям, использоваться во всех технологиях с добавлением и без добавления серебра.

Lux 153 — (585). Эта лигатура предназначена для производства изделий из красного золота методом литья по выплавляемым моделям с камнями и без. Используется для изделий 375°, 415° и 585° пробы. Состав: Cu 94,5 %; Zn 5,5 %. Это матрица для литьевого мастер-сплава. Для 585° пробы используется 56,02 грамма на каждый кг готового сплава. Готовый сплав имеет светло-красный цвет, известный как «Русский красный». Сплав не поддается процедуре искусственного старения, пригоден для всех методов литья по выплавляемым моделям.

Lux 169 — (585). Данный мастер-сплав предназначен для производства изделий из золота 375° и 585° пробы, цвет «Русский красный» в 585° пробе. Химический состав: (Cu 95,5 %; Zn 1,5 %; Ga 3 %). Этот мастер-сплав является матрицей и может быть применен только после добавления серебра. Так, для 585° пробы необходимо добавить 52 г серебра на 1 кг готового сплава. Данный сплав пригоден для литья по выплавляемым моделям с камнями и без, сплав не подлежит старению, особенно рекомендуется для литья изделий сложной конструкции. Сплав мелкозернистый, благодаря чему сокращается усадочная пористость, пригоден для всех типов литья по выплавляемым моделям.

В табл. 4.3 представлены лигатуры, их свойства и стоимость для приготовления золота с цветовым дизайном «красный, розовый» и «желтый, зеленый».

Следует отметить, что лигатура состава Cu 94,5 %; Zn 5,5 %, Si <0,5 % имеет диапазон кристаллизации без добавок серебра 824–

940 °С, а с его добавками 750–894 °С. При этом лигатура и сплав на её основе устойчивы к окислению. Вариантами указанной лигатуры для получения посредством добавки серебра цветового дизайна «русский красный» для литья по выплавляемым моделям является Cu 95,5 %, Zn 2,5 %, Ga 3 %.

Таблица 4.3

Характеристика лигатур для приготовления отливок из золота с цветовым дизайном «красный, розовый» и «желтый, зеленый»

Код	Проба	Размер зерна в 585° пробе золота	Цена за кг в гривнях, с НДС	Химический состав, % содержание в мастер-сплаве
Лигатуры-матрицы для золота				
Красный, розовый				
Flexia 166	375°, 417°, 585°	50	8 400	Cu 93,35 %; Zn 6,5 %; Ni 0,15 %
Flexia 169	375°, 417°, 585°	120	8 400	Cu 97,5 %; Zn 2,5 %
Genia 162	375°, 417°, 585°	62	11 000	Cu 94 %; Zn 3,5 %; Ag 2,5 %
Lux 153	385°, 417°, 585°	950 (не содержит измельчитель зерна)	8 800	Cu 94,5 %; Zn 5,5 %
Lux 169	375°, 417°, 585°	854	11 000	Cu 95,5 %; Zn 1,5 %; Ga 3 %
Желтый, зеленый				
Flexia 153	585°, 750°	75	9 000	Cu 94,5 %; Zn 5,5 %
Flexia 152	585°	169	8 200	Cu 76 %; Zn 24 %

На выставке «Ювелир - Тех 2010» была представлена новая лигатура Silv-Vu-1 для сплавов серебра [81].

Её разработка обусловлена ростом покупательского спроса в условиях кризиса на изделия из серебра, а также необходимостью повышения коррозионной стойкости и их технологичности, сплавов на основе серебра. Учитывались требования по содержанию основных легирующих компонентов, величине угара компонентов лигатуры при плавке и литье, универсальности получаемого сплава для всех методов формообразования.

Сплав имеет необходимую хрупкость для достижения обрабатываемости. Влияние состава и структуры на чистоту поверхности объ-

яняется тем, что при большей твёрдости обрабатываемого металла меньше степень пластической деформации. Обрабатываемость серебра 925° пробы улучшается с увеличением содержания олова до определенного предела.

Сплав, полученный на основе лигатуры Silv-Vu-1, технологичен на всех этапах изготовления ювелирного изделия благодаря дополнительному содержанию алюминия, кремния и меди фосфористой марок МФ1, МФ11 (10 и 20 % содержания фосфора). Наилучшие результаты в качестве сильного раскислителя и модификатора 2-го рода показал бор. Хорошо зарекомендовал себя алюминий — благодаря присущим ему литейным свойствам. Алюминий, фосфор, бор и кремний введены в расплав в качестве сильных раскислителей, препятствующих появлению окиси меди.

Об эффективности раскислителя приближённо можно судить по отношению теплоты образования его окисла к теплоте образования меди. Разработанная лигатура предназначена для улучшения технологичности сплава серебра 925° пробы, увеличения его жидкотекучести и уменьшения коэффициента объемной усадки.

Использование предлагаемого сплава, наряду с принципиальной возможностью получения цельнолитых фасонных отливок, позволило резко снизить процент брака отливок: по дефектам газоусадочного характера до 4–6 %, а по дефектам непроливы и неслитины — до 7–9 %.

Исследования микроструктуры сплава СрМ 925 показали, что отливки обычного сплава серебро-медь имеют крупнозернистую структуру. После паяк и отжига размер не увеличивается, однако происходит дополнительное окисление поверхностных зон отливок, что приводит к возникновению хрупкости.

Применение лигатуры Silv позволяет в наибольшей степени размельчить структуру отливок.

Сплав Silv обладает плотным и упрочняющим свойством за счет компонентов (никель, титан, бор, алюминий), составляющих с серебром твёрдый раствор внедрения. Следовательно, свойства предложенного сплава почти идентичны свойствам чистого серебра. Ювелирные изделия, изготовленные из данного сплава, имеют красивый стальной цвет и блеск, не темнеют со временем.

Коррозионную стойкость сплава повышают алюминий и кремний. В качестве дополнительных центров кристаллизации выбран титан. В качестве модификатора-лимитатора, ограничивающего рост

кристаллов и скругляющего границы зёрен, выбран бор. Сплавы на основе золота имеют повышенную коррозионную стойкость [91]. Весьма перспективными в качестве сплавов, имитирующих цвет золота, являются сплавы на основе меди [27; 84].

4.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

4.3.1. Оловянные литейные бронзы

Основой литейных оловянных бронз являются системы Cu-Sn и Cu-Sn-Zn-(Pb). Широкое применение нашли в промышленности оловянные бронзы, содержащие олова не более 10–12 % и редко — 12–20 %. Для этих бронз характерны широкий температурный интервал кристаллизации и значительная растворимость олова в твердом состоянии. Структура бронз, содержащих до 8 % Sn, представляет собой α -твердый раствор дендритного строения с неравномерным распределением компонентов вследствие дендритной ликвации. Структура сплавов с концентрацией Sn не более 8 % состоит из α -фазы и эвтектоида $\alpha + \sigma$ (Cu_5Sn_5). Твердая интерметаллидная фаза Cu_5Sn_5 вызывает увеличение прочности и твердости; максимальных значений эти величины достигают при 20–35 % Sn. Прочность бронз увеличивается с возрастанием содержания упрочняющих элементов.

В зависимости от процентного содержания олова оловянные бронзы подразделяют на бронзы:

- общего назначения (содержание олова до 6–10 %);
- высокопрочные (содержание олова до 16–19 %).

В зависимости от содержания легирующих компонентов различают оловянные бронзы:

- оловянные и оловянно-цинковые (Бр08Ц8, Бр010Ц2, Бр010Ф1);
- оловянно-цинково-свинцовые (Бр04Ц4С17, Бр05ЦС, Бр03Ц12С5, Бр06Ц6С3, Бр03Ц7С5Н1);
- свинцовые и оловянно-свинцовые (Бр05С25, Бр010С10).

Химический состав основных литейных бронз приведен в табл. 4.4. Нижний предел легирования (2–3 % Sn) определяется необходимостью получения минимального растворенного упрочнения, верхний предел (8–10 % Sn) — для изделий, работающих в условиях трения.

Таблица 4.4

Химический состав оловянных литейных бронз, % (массовая доля, %)

Марка сплава	Легирующие элементы			Сумма определенных примесей
	Sn	Zn	Pb	
Бр03Ц12С5	2–3,5	8–15	3–6	1,3
Бр03Ц7С5Н1	2,5–4	6–9,5	3–6	1,3
Бр074Ц7С5	3–5	6–9	4–7	1,3
Бр04ЦС17	3,5–5,5	2–6	14–20	1,3
Бр05Ц5С5	4–6	4–6	4–6	1,3
Бр05С25	4–6	–	23–26	1,3
Бр06Ц6С3	5–7	5–7	2–4	1,3
Бр08Ц4	7–9	4–5	–	1,0
Бр010Ф1	9–11	–	–	1,0
Бр010Ц2	9–11	1–3	–	1,0
Бр010С10	9–11	–	8–11	0,9

Примечание: 1. В бронзах Бр03Ц12С5, Бр08Ц4 и Бр010Ц2 сумма примесей Si — не должна превышать 0,02 % (мас. доля).

2. В бронзе Бр010Ф1 содержится 0,4–1,1 % (мас. доля) Р; в бронзе Бр03Ц7С5Н1—0,5–25 % (мас. доля)

Указанные бронзы (табл. 4.4) при литье обычно легируют компонентами, улучшающими механические, технологические и эксплуатационные свойства.

Цинк является одним из основных легирующих компонентов оловянных бронз. Он входит в твердый раствор и несколько повышает прочность и пластичность сплавов, а также улучшает растворимость распределения свинца, способствует возрастанию коррозионной стойкости бронзы в морской воде. Цинк позволяет экономить более дорогое олово, снижает интервал кристаллизации, что способствует жидкотекучести, плотности и уменьшению склонности отливок к обратной ликвидации.

Свинец образует в структуре медных сплавов мягкую металлическую фазу. При этом прочность и твердость сплавов снижаются, но улучшаются антифрикционные свойства. Оптимальные концентрации свинца повышают жидкотекучесть сплавов, их плотность и герметичность.

Фосфор является интенсивным раскислителем медных сплавов и упрочнителем вследствие образования химических соединений. Фосфор снижает температуру плавления и улучшает практическую жидкотекучесть.

Никель измельчает макрозерно, повышает пластичность и прочность, уменьшает ликвацию в оловянно-свинцовых бронзах.

Оловянные бронзы из-за большого интервала кристаллизации обладают умеренной жидкотекучестью. Минимальная жидкотекучесть соответствует концентрации олова 10–12 %. В оловянных бронзах образуется значительная усадочная пористость и очень небольшая усадочная раковина, что обуславливает малую линейную усадку (~ 0,8 %) при литье и обеспечивает четкое воспроизведение рельефа формы в сложных изделиях, например, при художественном литье, а также в отливках с резкими переходами от толстых сечений к тонким. Отливки в кокиль более плотные, линейная усадка увеличивается до 1,4 %. В большинстве случаев горячеломкость отливок невелика.

Физические, механические и технические свойства некоторых литейных оловянных бронз приведены в таблицах 4.5, 4.6, 4.7.

Литейные безоловянные бронзы подразделяет на четыре группы: алюминиевые, марганцевые, свинцовые и сурьмянистые. Химический состав безоловянных бронз приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.5

Физические свойства литейных оловянных бронз

Марка	Свойства					
	Температура °С: ликвидуса/солидуса	Плотность, кг/м ³	Коэффициент линейного расширения · 10 ⁴ (1/°С), при 20 °С	Удельная теплоемкость Дж/(кг·°С)	Теплопроводность Вт/(м·°С)	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С, мкОм·м
Бр03Ц12С5	950/–	8600	–	–	–	–
Бр03Ц7С5Н1	1050/–	8800	17,1	–	–	0,085
Бр04Ц7С5	980/–	8900	–	0,38	58,64	–
Бр04ЦС17	960/–	9200	–	–	66,7	–
Бр05Ц5С5	957/–	8800	17,7	0,38	93,79	0,11
Бр05С25	940/899	9400	17,6	–	75,36	–
Бр06Ц6С6	967/–	8820	17,1	–	75,36	0,09
Бр08Ц4	1015/854	8800	16,5	0,36	68,24	0,135
Бр010Ф1	934/–	8600	17	0,40	48,98	0,16

Сплавы Cu-Al кристаллизуются в узком температурном интервале (46 °С), что приводит к последовательному затвердеванию и образованию в отливках столбчатой структуры, в результате чего ухудшается

пластичность. В связи с этим все алюминиевые бронзы содержат добавки 1–4 % (массовая доля) Fe.

Таблица 4.6

Механические свойства литейных оловянных бронз

Марка оловянной бронзы	σ_v^* МПа	δ_v^* %	H_v	Марка оловянной бронзы	σ_v^* МПа	δ_v^* %	H_v
	не более				не более		
Бр03Ц12С5	<u>206</u>	<u>5</u>	<u>60</u>	Бр06Ц6С3	<u>176,2</u>	<u>4</u>	<u>60</u>
	176,2	6	60		147	6	60
Бр03Ц7С5Н1	<u>206</u>	<u>5</u>	<u>60</u>	Бр08Ц4	<u>196</u>	<u>10</u>	<u>75</u>
	176,2	6	60		196	10	75
Бр04Ц7С5	<u>176,2</u>	<u>4</u>	<u>60</u>	Бр010Ф1	<u>245</u>	<u>3</u>	<u>90</u>
	147	6	60		215,5	3	80
Бр04цС17	<u>147</u>	<u>12</u>	<u>60</u>	Бр010Ц2	<u>125,5</u>	<u>10</u>	<u>75</u>
	147	5	60		215,5	10	65
Бр05Ц5С5	<u>176,2</u>	<u>4</u>	<u>60</u>	Бр010С10	<u>196</u>	<u>6</u>	<u>78</u>
	147	6	60		176,2	7	65
Бр05С25	<u>137,2</u>	<u>6</u>	<u>60</u>				
	147	5	45				

Примечание: В числителе приведены механические свойства для отливок, полученных в кокиль, в знаменателе — литьем в песчаную форму.

Железо вводят в сплав для измельчения зерна и упрочнения твердого раствора, замедления эвтектоидного распада β -фазы, предотвращающей тем самым явление самопроизвольного отжига при литье крупногабаритных фасонных отливок в песчаные формы.

Марганец хорошо растворяется в алюминиевой бронзе, повышает ее коррозионную стойкость, повышает прочность и пластичность.

Никель в алюминиевых бронзах образует фазы Ni_3Al и $NiAl$ с переменной растворимостью в твердом состоянии, смещает однофазную область при понижении температуры в сторону медного угла, что позволяет алюминиевые бронзы упрочнять термической обработкой.

Цинк несколько снижает технологические свойства сплава и поэтому в алюминиевых бронзах применяется редко.

Безоловянные бронзы имеют высокие механические, антикоррозионные и антифрикционные свойства, а также обладают рядом специальных свойств — высокими электропроводностью, теплопроводностью и паростойкостью.

Таблица 4.7

Технологические свойства литейных оловянных бронз

Марка	Свойства					
	Температура, °С: плавления/литья	Жидкотекучесть, мм	Усадка, %: линейная/объемная	Коэффициент трения со смазочным материалом	Коэффициент трения без смазочного материала	Обрабатываемость резанием, %
Бр03Ц12С5	980/–	550	1,6/–	–	–	80
Бр03Ц7С5Н1	1030/–	400	1,5/2,5–4,5	0,015	0,16	80
Бр04Ц7С5	980/–	400	1,43/–	0,014	0,16	80
Бр04цС17	960/–	250	–/–	0,005	0,13	90
Бр05Ц5С5	915/1150	400	1,6/5,5–6,5	0,009	0,15	90
Бр05С25	940/–	200	1,5/–	0,004	0,14	65
Бр06Ц6С3	967/1150	400	1,6/5,5–6,5	0,009	0,16	80
Бр08Ц4	1010/1100–1150	540	1,54/–	0,006	0,3	60
Бр010Ф1	934/1150	450	1,44/6,0	0,008	0,1	40

Примечание: Для бронз всех марок характерна невысокая горячеломкость, высокая герметичность, средняя склонность к газонасыщению, коррозионная стойкость, рабочие температуры 280–286 °С.

Таблица 4.8

Химический состав безоловянных бронз

Марка сплава	Легирующие элементы (Си-основа)						Сумма примесей
	Al	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
БрА9Мц2Л (БРАМц9–2Л)	8,0–9,5	–	–	–	–	–	2,5
БрА10Мц2Л (БРАМц10–2)	9,6–11,0	–	1,5–2,5	–	–	–	2,8
БрА9Ж3Л (БРАЖ9- 4Л)	8,0–10,5	2,0–4,0	–	–	–	–	2,7
БрА10Ж3Мц2 (БРАЖМц1 0–3-1,5)	9,0–11,0	2,0–4,0	1,0–3,0	–	–	–	1,0

Марка сплава	Легирующие элементы (Си-основа)						Сумма примесей
	Al	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
БрА10Ж4Н4Л (БрАЖН10–4–4А)	9,5– 11,0	3,5– 5,5	–	5,5– 5,0	–	–	1,5
БРА11Ж6Н6 (БрАЖН10–6–6)	10,5– 11,5	5,0– 6,5	–	5,0– 6,5	–	–	1,5
БрС3О	–	–	–	–	27– 31,0	–	0,9
БрА7Мц15Ж3Н2Ц2	6,6– 7,5	2,5– 3,5	14,0– 15,5	1,5– 2,5	–	1,5– 2,5	0,5
БрСу3Н3Ц3С20Ф	–	–	–	3,0– 4,0	18,0– 22,0	3,0	0,9

4.3.2. Латунн литейные

Литейные латуни широко применяют для изготовления фасонных отливок. Базовой диаграммой состояния для латуней является система Cu-Zn. В соответствии с фазовым составом различают однофазную α -латунь, двухфазную ($\alpha + \beta$)-латунь и σ -латунь.

В соответствии со свойствами фаз в системе Cu-Zn σ -латуни — мягкие и высокопластичные сплавы, но обладающие низкой прочностью; β -латуни — прочные и твердые сплавы, но отличаются высокой хрупкостью.

Литейные латуни кристаллизуются в узком температурном интервале, составляющем 50...60 °С. Это в значительной мере определяет их литейные свойства, так как из-за узкого интервала кристаллизации латуни обладают хорошей жидкотекучестью и дают плотные отливки с небольшой пористостью (главным образом в осевой части отливки) и сосредоточенной усадочной раковинной. Линейная усадка литейных латуней составляет 1,4–2,2 %.

Узкий температурный интервал кристаллизации определяет также склонность к образованию в отливках столбчатой структуры и трансформации.

Литейные латуни мало склонны к ликвационным явлениям; отливки из таких латуней получаются более однородными по свойствам по сравнению с отливками из оловянных бронз.

Цинк, имея низкую температуру кипения и высокую упругость пара, частично испаряется в процессе плавки и оказывает раскисля-

ющее воздействие на латуни. Благодаря защитному действию паров цинка латуни имеют небольшую склонность к газонасыщению, что способствует получению плотных отливок.

Отливки из литейных латуней обладают высокой герметичностью и способны выдерживать давление до 30...40 МПа; отливки могут быть получены литьем в земляные формы, в кокиль, центробежным литьем (детали, имеющие ось вращения), литьем под давлением.

Многокомпонентные литейные латуни (типа ЛЦ23А6Ж3Мц2 и др.) (табл. 4.9) отличаются высокой стойкостью против износа при трении и применяются для изготовления подшипников, втулок, вкладышей и др., для которых характерны высокие контактные давления и скорости вращения. Лучший комплекс свойств отливок получается при литье в кокиль. Химический состав и марки литейных латуней приведены в таблице 4.9.

Латунь ЛЦ40Сд применяют для литья под давлением втулок, тройников, переходников, сепараторов, подшипников и др. Из латуни ЛЦ23А6Ж3Мц2 отливают ответственные детали, работающие при высоких удельных знакопеременных нагрузках.

Высокая жидкотекучесть латуни ЛЦ16К4 позволяет получать из нее методом литья тонкостенные детали сложной формы. Из латуней ЛЦ40С, ЛЦ16К4 и некоторых других получают также детали сложной формы с хорошим качеством поверхности, которые не требуют дополнительной обработки резанием.

Основным недостатком большинства литейных латуней по сравнению с бронзами является их пониженная коррозионная стойкость в некоторых средах (морская вода и др.), связанная с обесцинкованием латуни и коррозионным разрушением изделий. Однако имеются марки литейных латуней, например, кремнистая ЛЦ16К4 и др., которые не уступают по коррозионным свойствам бронзам и являются заменителями оловянных бронз. Многокомпонентные литейные латуни с большим количеством β -фазы склонны к сезонному растрескиванию при наличии остаточных напряжений. Для устранения этого недостатка отливки необходимо отжигать при низких температурах.

Физические свойства литейных латуней представлены в таблице 4.10 [84].

Технологические и коррозионные свойства литейных латуней приведены в таблице 4.11.

Механические свойства латуней при литье (П — песчаная форма, К — кокиль, Д — давление, Ц — центробежность) представлены в табл. 4.12.

Химический состав литейных латуней

Марка	Основные компоненты, %										Примеси, %, не более										
	Cu	Al	Fe	Mn	Si	Sn	Pb	Zn	Pb	Sn	Pb	Si	Pb	Sn	Sb	Mn	Fe	Al	P	Ni	Всего
ЛЦ40С	57,0– 61,0	–	–	–	–	–	0,8– 2,0	ост.	–	–	–	–	–	–	0,05	0,5	0,8	0,5	–	1,0	2,0
ЛЦ40Сд	58,0– 61,0	–	–	–	–	–	0,8– 2,0	ост.	–	–	–	–	–	–	0,05	0,2	0,5	0,2	–	1,0	1,5
ЛЦ40Мц1,5	57,0– 60,0	–	–	1,0– 2,0	–	–	–	ост.	–	–	–	0,7	0,1	0,5	0,1	–	1,5	–	0,03	1,0	2,0
ЛЦ40Мц3Ж	53,0– 58,0	–	0,5– 1,5	3,0– 4,0	–	–	–	ост.	–	–	–	0,5	0,2	0,5	0,1	–	–	0,6	0,05	0,5	1,7
ЛЦ40Мц3А	55,0– 58,5	0,5– 1,5	–	2,5– 3,5	–	–	–	ост.	–	–	–	0,2	0,2	0,5	0,05	–	1,0	–	0,03	1,0	1,5
ЛЦ38Мц2С2	57,0– 60,0	–	–	1,5– 2,5	–	–	1,5– 2,5	ост.	–	–	–	–	0,1	0,5	0,1	–	0,8	0,8	0,05	1,0	2,2
ЛЦ37Мц2С2К	57,0– 60,0	–	–	1,5– 2,5	0,5– 1,3	–	1,5– 3,0	ост.	–	–	As 0,05	0,05	0,01	0,6	0,1	–	0,7	0,7	0,1	1,0	1,7
ЛЦ30А3	66,0– 68,0	2,0– 3,0	–	–	–	–	–	ост.	–	–	–	0,7	0,3	0,7	0,1	0,5	0,8	–	0,05	0,3	2,6
ЛЦ25С2	70,0– 75,0	–	–	–	–	–	0,5– 1,5	ост.	–	–	–	–	0,5	–	0,2	0,5	0,7	0,3	–	1,0	1,5
ЛЦ23А6Ж5Мц2	64,0– 68,0	4,0– 7,0	2,0– 4,0	1,5– 3,0	–	–	–	ост.	–	–	–	0,7	0,3	0,7	0,1	–	–	–	–	1,0	1,8
ЛЦ16К4	78,0– 81,0	–	–	–	3,0– 4,5	–	–	ост.	–	–	–	0,5	–	0,3	0,1	0,8	0,6	0,04	0,1	0,2	2,5
ЛЦ14К3С3	77,0– 81,0	–	–	–	2,5– 4,5	–	2,0– 4,0	ост.	–	–	–	–	–	0,3	0,1	1,0	0,6	0,3	–	0,2	2,3

Таблица 4.10

Физические свойства литейных латуней

Марка	Температура плавления, °С	Свойства				
		Плотность γ , кг/м ³	Удельное электропроводление $\rho \cdot 10^6$, Ом·м	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Удельная теплоемкость C_p , Дж/(кг·К)	Коэффициент линейного расширения, $\sigma \cdot 10^6$, К ⁻¹
ЛЦ40Мц3Ж	880	8500	0,122	100	—	22
ЛЦ40Мц3А	920	8400	—	100	480	20
ЛЦ38Мц2С2	880	8600	0,118	46,1	480	21
ЛЦ40С	885	8500	0,068	111	500	20,1
ЛЦ40Сд	885	8500	0,068	111	500	20,1
ЛЦ40Мц1,5	880	8500	0,118	109	480	21,0
ЛЦ30А3	995	8500	0,08	111	—	20,6
ЛЦ16К4	900	8500	0,2	83,8	—	17
ЛЦ14К3С3	909	8600	0,2	83,7	0	17,0
ЛЦ25С2	890	8500	0,118	109	480	—
ЛЦ23А6Ж3Мц2	900	8500	—	50,2	—	19,8
ЛЦ37Мц2С2К	920	8450	—	40	—	20,1

Таблица 4.11

Технологические и коррозионные свойства литейных латуней

Марка	Температура литья, °С	Свойства			
		Жидкотекучесть, мм	Линейная усадка, %	Обрабатываемость резанием, %	Коррозионная стойкость (потеря массы) в морской воде, г/(м ² ·ч)
ЛЦ40Мц3Ж	1000...1060	600	1,6	25	0,047
ЛЦ40Мц3А	1030...1090	350	1,8	20	0,047
ЛЦ38Мц2С2	1020...1080	400	1,8	60	0,05
ЛЦ40С	1000...1060	300	2,2	80	0,059
ЛЦСд	1000...1060	270	2,2	—	0,059
ЛЦ40Мц1,5	1000...1060	360	1,6	30	0,05
ЛЦ30А3	1095...1150	570	1,6	30	—
ЛЦ16К4	1000...1060	800	1,7	30	0,068
ЛЦ14К3С3	1000...1050	600	1,7	50	—

Марка	Температура литья, °С	Свойства			
		Жидкотекучесть, мм	Линейная усадка, %	Обрабатываемость резанием, %	Коррозионная стойкость (потеря массы) в морской воде, г/(м ² ·ч)
ЛЦ25С2	1000...1060	470	1,7	25	—
ЛЦ23А6Ж3Мц2	1030...1090	400	1,9	—	—
ЛЦ37Мц2С2К	1040...1090	400	1,4	80	—

Примечание: обрабатываемость резанием дана в % по отношению к латуни ЛС63–3 (100 %).

Таблица 4.12

Механические свойства латуни при различных способах литья

Марка	Способ литья	Временное сопротивление σ_v , МПа	Относительное удлинение после разрыва δ_5 , МПа	НВ
ЛЦ40С	П	215	12	70
	К, Ц	215	20	80
ЛЦ40Сд	Д	196	6	70
	К	264	18	100
ЛЦ40Мц1,5	П	372	20	100
	К, Ц	392	20	ПО
ЛЦ40Мц3Ж	П	441	18	90
	К	490	10	100
	Д	392		90
ЛЦ40Мц3А	К, Ц	441	15	115
ЛЦ38Мц2С2	П	245	15	80
	К	343	10	85
ЛЦ37Мц2С2К	К	343	2	10
ЛЦ30А3	П	294	12	80
	К	392	15	90
ЛЦ25С2	П	146	8	60

При литье в гипсовые формы по выплавляемым моделям металлические свойства отливок как из бронзы, так и из латуни будут близки к уровню показателей, характерных для литья в песчаные формы (табл. 4.6, 4.12).

4.4. ЦВЕТОВОЙ ДИЗАЙН СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ И МЕТОДЫ ЕГО КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ

При производстве ювелирных и художественных изделий из недорогих металлов используют сплавы меди, имитирующие драгоценные металлы, например, золото [27]. Указанные сплавы, кроме традиционных физико-механических, технологических и коррозионных свойств (табл. 4.4–4.12), должны обладать и качеством цвета (цветовой тон, насыщенность), близким к сплавам золота определенной пробы. Решение этой проблемы применительно к известным или новым сплавам на основе меди, обладающим сочетанием технологических, литейных и цветовыми характеристиками, близкими к сплавам золота, расширяет возможности создания недорогих качественных ювелирных изделий с высоким уровнем дизайна.

В работе [84] исследовались цветовые характеристики ряда сплавов на основе меди с использованием спектрофотометрического метода. Этот метод основан на определении коэффициента зеркального отражения и координат цветности (x , y , z). Один из методов измерения цвета основан на представлении о том, что цвет является функцией трех независимых переменных и может быть геометрически интерпретирован как векторная величина. В трехкоординатном цветовом пространстве, построенном на основных цветах, координаты цветности x , y , z в соответствии международной системе МКО связаны с цветовыми координатами и соотношениями:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; y = \frac{Y}{X+Y+Z}; z = \frac{Z}{X+Y+Z}. \quad (4.1)$$

Единичная плоскость $x+y+z=1$ при пересечении с векторами основных цветов дает прямоугольный треугольник. На рис. 4.1 представлен график цветности (часть прямоугольного треугольника). Точкам кривой соответствуют цвета чистых спектральных излучений в видимой области спектра — от фиолетового до красного. Крайние точки соединяются прямой линией, представляющей пурпурные цвета, которые образуются при смешении красного и фиолетового цветов. Точки на графике (рис.4.1) характеризуют цветовые свойства чистых металлов — меди и золота, а также сплавов Л90 и ЗлСрМ583-80.

Цветовые параметры рассчитывают для источника излучения, воспроизводящего фазу дневного света с коррелированной цветовой температурой.

Один из способов оценки качества цвета — определение цветового тона и насыщенности (чистоты цвета), цветовой тон соответствует длине волны чистого спектрального цвета (λ_d). Доминирующая длина волны определяет, какая часть спектра должна быть смешана с ахроматическим стандартом для получения цветового равенства с исследуемым объектом. Чистота цвета данного объекта определяет степень приближения этого цвета к цвету той части спектра, которая определяется доминирующей длиной волны.

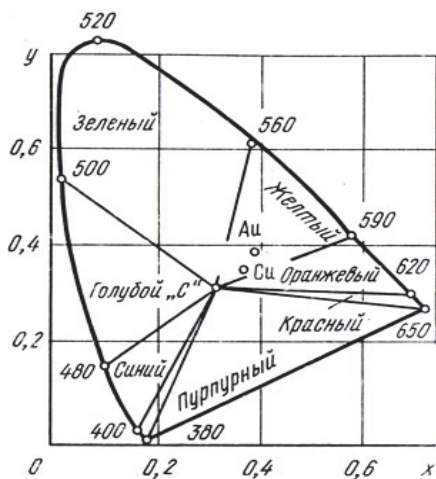


Рис. 4.1. Цветовой график x, y МКО: 1 — сплав $ZlCrM 583-80$

Основным свойством объекта, ответственного за его цвет, является коэффициент зеркального отражения $R(\lambda)$. Это справедливо только для непрозрачных и несамосветящихся объектов. При разработке сплавов на основе меди, имитирующих золотые, в качестве эталона в исследованиях выбирают стандартный ювелирный сплав 583° или 750° пробы. Использование спектрофотометра с приставкой зеркального отражения позволяет определить расчетным методом координаты цвета и цветности для источника света S по методу взвешенных ординат.

При использовании этого метода полученный спектр разбивают на конечное число одинаковых интервалов длин волн $\Delta\lambda$, а координаты цвета определяют путем вычисления соответствующих сумм:

$$\begin{aligned}
 X &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda)x(\lambda)\Delta\lambda; \\
 Y &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda)y(\lambda)\Delta\lambda; \\
 Z &= k \sum_{\lambda} \varphi(\lambda)z(\lambda)\Delta\lambda,
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

где $k=100/[\sum S(\lambda)\bar{y}(\lambda)\Delta\lambda]$; $\varphi(\lambda)\Delta\lambda=R(\lambda)S(\lambda)\Delta\lambda$.

При определении цветовых свойств с использованием, например, спектрофотометра RFC фирмы «Оптон» встроенное вычислительное устройство позволяет получать сразу координаты цветности x и y , термины цвета L , A , B цветового пространства Адамса — Никкерсона, а также цветовое различие ΔE по сравнению с эталоном. Цветовое различие представляет собой расстояние, измеренное в единицах МКО, между двумя точками цветового пространства (рис. 4.2).

При пороге $\Delta E=1$ ед. МКО и ниже цвета сплавов в области спектра красный-желтый воспринимаются как идентичные. В табл. 4.13 приведены цветовые характеристики ювелирного сплава ЗлСрМ 583–80 и сплавов меди. Цветовой тон и насыщенность определяли по стандартному графику xy , исходя из координат цветности x и y [84].

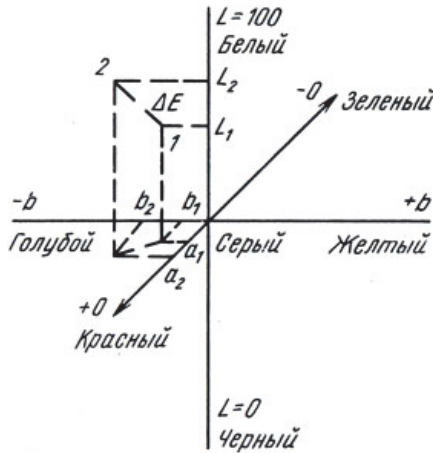


Рис. 4.2. Представление цвета в унифицированном цветовом пространстве Адамса — Никкерсона

Наиболее полно эталонному сплаву золота марки ЗлСрМ 583–80 соответствует сплав Л 96. Из бронз наименьшее отклонение по цве-

товому тону и насыщенности имеет сплав БрА5 и бронза БрОЦ 4–3 (табл. 4.13). Вышеуказанные бронзы уступают на 1,5 и 4,0 ед. МКО сплаву Л 96 по величине ΔE , характеризующей величины отклонения цветового дизайна от сплава-эталоны.

Таблица 4.13

Цветовой дизайн сплавов бронз и латуней, имитирующих ювелирный сплав золота марки ЗлСрМ 583–80

Материал сплава	Цветовой тон λ , нм	Насыщенность цвета, %	Термины цвета, ед. МКО			ΔE ед. МКО
			L	A	B	
ЗлСрМ583–80	583	31	82,76	9,72	16,43	—
Медь	587	30	80,47	13,73	15,72	4,7
Л96	585	28	84,25	10,4	17,29	1,9
Л90	581	30	87,51	7,6	17,16	5,3
ЛА85–05	580	33	89,14	4,27	19,13	8,8
ЛО90–1	581	30,5	86,82	7,1	17,54	5,0
ЛКС80–3–3	577	26	86,27	1,41	14,92	9,2
БрОФ6,5–0,4	583	25	86,27	7,67	14,24	4,3
БрОЦ4–3	583	27	85,67	8,44	15,33	3,4
БрОЦС4–4–2,5	582,5	28	85,68	7,75	15,76	3,6
Бр А5	581	33	85,11	5,6	19,33	5,9
Бр А7	580	33	86,31	4,09	21,63	8,9
БрКМц3–1	582,5	25	82,71	6,65	14,06	3,9
БрМц5	586	24	80,56	10,55	13,5	3,6
МНА6–1,5	583	23	81,81	6,24	12,3	5,5

В таблице 4.14 приведен химический состав медных сплавов, имитирующих цвет золота с указанием их коррозионной стойкости в морской воде [84].

Как следует из данных табл. 4.14, коррозия указанных медных сплавов в морской воде высокая. Поэтому можно полагать, что и под воздействием потовыделений человека при использовании литых украшений на основе бронзы они могут быстро потускнеть или даже способствовать появлению серо-зеленого цвета на коже человека (на пальце, шее, мочке уха) при длительной эксплуатации изделия.

Данные о коррозионной стойкости латуней несколько противоречивы. Например, по данным работы [100], латуни (прокат) устойчивы в городском воздухе, в морском воздухе, в пресной воде и неустойчивы в окислительных растворах, хлоридах, жирных кислотах.

Таблица 4.14

Химический состав и коррозионная стойкость медных сплавов

Марки сплава	Химический состав, мас. %	Цвет сплава	Потери массы г/м ² ·ч в сутки
ЛАМц66–4-3	Zn 26–28 Al 3–5 Mn 2–4	Золото 583° пробы	0,3
ЛСМц064	Zn 14–17 Mn 2–3 Sn 0,2–0,4 Pb 2,0–3,5	цвет золота 750° пробы	0,48
БрОН7–3,5	Sn 6–8 Ni 2–5	цвет золота 375° пробы	0,48

Однако по данным работы [88] коррозионная стойкость латуни в городской среде, а особенно в соленой (морской) воде весьма низкая (табл. 4.15).

Таблица 4.15

Скорость коррозии латуней в зависимости от среды испытаний

Среда	Городская или приморская атмосфера	Вода пресная	Вода соленая (морская)	Раствор аммиака
Скорость коррозии, мкм/год	1,5–4,0	2,0–2,5	7–100	6 мм/год

Особенность коррозии ювелирных украшений состоит в том, что её продукты соприкасаются с кожей человека. Поэтому продукты коррозии могут воздействовать на кожу в месте её контакта с украшением из-за потовыделений. Например, здоровый человек потеет постоянно и в зависимости от температуры окружающей среды либо интенсивности работы может выделять от 0,5–0,7 л до 10 л пота в сутки [86]. При этом под влиянием жирных кислот, выделяемых сальными железами человека, пот представляет собой слабокислую соленую среду, включающую неорганические компоненты (NaCl 0,4–1,0 %, KCl, следы фосфатов, сульфидов и некоторых других солей) и органические составляющие (мочевина — 0,051 %, мочевиная кислота, аммиак — 0,011–0,012 %, циппуровая кислота, индикан) [87]. Поэтому сплавы на медной основе для ювелирного литья необходимо легировать для повышения их стой-

кости к контактной коррозии в системе «кожа человека — материал ювелирного изделия».

В таблице 4.16 приведены данные по коррозионной стойкости различных марок бронз в 10 % растворе серной кислоты при температуре 20° С [88].

Таблица 4.16

Коррозия бронзы в серной кислоте 10 % концентрации и температуре 20° С

Тип бронзы	Алюмини- евая	Марганцо- вистая	Оловяни- стая	Фосфори- стая
Потеря веса бронз, г/м ² час	0,002	0,09	0,01	0,18

Из данных табл. 4.16 можно сделать вывод, что в кислой среде коррозионная стойкость алюминиевой бронзы наиболее высокая среди других её видов. Учитывая, что концентрация кислоты в поте человека приблизительно 1,0 %, то фактические потери массы бронз будут примерно на порядок ниже, чем при испытаниях в 10 % кислоте (табл. 4.16). Благодаря более низкой стоимости алюминия в сравнении с оловом алюминиевые бронзы, например, в машиностроении занимают одно из первых мест среди медных сплавов. В меди растворяется довольно большое количество Al при 1035° С. Однако при затверждении растворимость снижается и составляет 9,4 % при 565° С и около 9 % при комнатной температуре. С увеличением содержания алюминия прочностные свойства сплавов повышаются. Оптимальными механическими свойствами обладают сплавы, содержащие 5...8 % Al.

Наиболее пластичная и наименее прочная бронза — БрА5. Она легко деформируется при всех видах обработки давлением. Меньшей, но достаточно высокой обрабатываемостью давлением отличаются бронзы БрА7, БрАМц9-2, предназначенные для получения прутков, листов и лент. Сплав ЛАМц66—4-3, содержащий 3—5 % Al, имитирует цветовой дизайн золота 583° пробы [27].

Диаграмма состояния сплава «медь — алюминий» представлена на рис. 4.3. Область твердых растворов на основе меди (α -фаза) простирается до 9 % (по массе) Al. С понижением температуры растворимость алюминия и меди повышается и при температурах 1037; 900; 800; 700; 500° С составляет 7,4; 7,8; 8,2; 8,8; 9,4 % (по массе) Al соответственно. Фаза α имеет ГЦК решетку, аналогичную решетки чи-

стой меди, период которой увеличивается с повышением содержания алюминия.

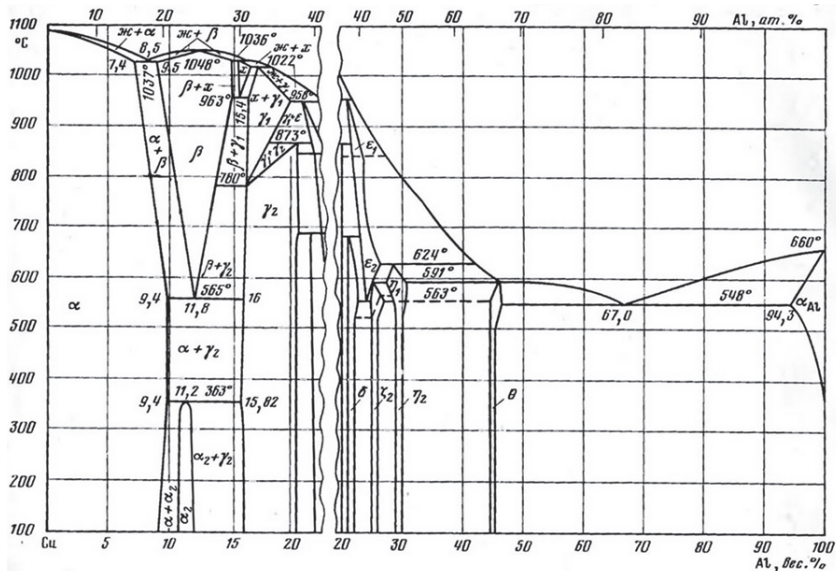


Рис. 4.3. Диаграмма состояния сплавов системы медь — алюминий

Фаза β представляет собой твердый раствор на основе соединения Cu_3Al [12,44 % (по массе) Al]. В сплавах β -области и в зависимости от термообработки и условий охлаждения могут наблюдаться две метастабильные промежуточные фазы β' и β .

Фаза γ_1 — твердый раствор на основе соединения Cu_3Al_4 существует в интервале концентраций 16,0...18,8 % (по массе) Al и имеет моноклинную решетку со 102 атомами в элементарной ячейке. Фаза α_2 имеет решетку, подобную решетке α -фазы.

В области до 20 % (по массе) Al ликвидус сплавов состоит из четырех ветвей первичной кристаллизации фаз α , β , χ и χ_1 . При 1037 °C кристаллизуется эвтектика $\alpha + \beta$ с эвтектической точкой при 8,5 % (по массе) Al. При температурах 1036 °C протекают перитектические реакции $\chi + \beta \leftrightarrow \chi$ и $\chi + \chi \leftrightarrow \gamma_1$ соответственно. Фаза χ существует температурном интервале 1036...936 °C. Фаза β кристаллизуется из расплава по кривой с максимумом при температуре 1048 °C и соответствует концентрации 12,4 % (по массе) Al. В твердом состоянии в этой об-

ласти имеется ряд эвтектоидных и перитектоидных превращений. При 963°C фаза χ распадается на β - и γ_1 -фазы. Эвтектоидная фаза соответствует 15,4 % (по массе) Al. При 780°C γ_1 -фаза распадается по эвтектоидной реакции на β - и γ_2 -фазы. При 873°C по перитектоидной реакции образуется γ -фаза. Предполагается, что в γ_2 -фазе происходит фазовое превращение в интервале температур $400\text{...}700^{\circ}\text{C}$ при содержании алюминия в эвтектоидной точке 11,8...11,9 % (по массе). В области концентрации 9...16 % (по массе) Al предполагается существование еще одной стабильной фазы — χ , образующейся по эвтектоидной реакции при 363°C и содержании алюминия в эвтектоидной точке $\sim 11,2$ % (по массе).

Другими медными сплавами, имитирующими золото, являются оловянные бронзы с цинком и без цинка. Сплавы с цинком используются для отливок, подвергающихся золочению, так как их коррозионная стойкость низкая. Эти сплавы содержат цинк в количестве от 2 до 32 %, Sn от 5 до 40 %, медь — остальное. В зависимости от состава цвет отливок до золочения варьируется от золотистого до темно-золотого [27; 84].

В работе [89] влияние олова на изменение цветовых характеристик оловянной бронзы проводилось с использованием следующей методики. Отливки изготавливались в песчаные или металлические формы, и затем механически обрабатывались до шероховатости $R_z=16$ мкм. Измерения спектрофотометрическим методом проводились с использованием системы регистрации спектров отражения, в которую входит установка СДЛ-2, представляющая собой спектрофотометр, предназначенный для исследования возбуждения и излучения люминесценции в диапазоне от 200 до 33000 нм.

Для измерения спектров отражения была изготовлена специальная подставка-держатель и установлен стабилизированный (равноэнергетический) источник света. На любой его спектральный интервал данной ширины приходится одна и та же энергия. Это значит, что его спектральная характеристика — прямая, параллельная оси длин волн.

Используя вышеупомянутую систему регистрации, для каждого образца был получен спектр отражения. Затем по максимальной длине волны цветового тона была установлена зависимость изменения оттенка сплава от химического состава (табл. 4.17).

Если сравнить данные табл. 4.17 и табл. 4.13 по цветовому тону (λ , нм) с ювелирным сплавом золота марки ЗлСр583—80 (табл. 4.13),

то их данные хорошо совпадают: чистая поверхность не окисленной меди (табл. 4.17) (образец 1); поверхность бронз ОФ 6,5–0,4 и ОЦ 4–3 (табл. 4.13).

Таблица 4.17

Результаты изменений длины волн в зависимости от содержания олова в образце

№ образца	Содержание Sn, %	Длина волны, нм	
		Песчаная форма	Кокиль
1	–	585	585
2	5	565	567
3	15	550	550
4	20	543	545

Альтернативой спектрофотометрическому методу является разработанная методика компьютерного анализа цветовой палитры изображений [91].

Цвет, как трёхмерный вектор, определяется заданием в числовом выражении трёх компонент, представляющих собой доли трёх избранных цветов, смешением которых получают исходный цвет.

Для компьютерного анализа использовалась модель RGB, в которой каждый пиксель описан тремя значениями, каждое из которых показывает уровень интенсивности красного (R), зелёного (G) и синего (B) каналов. Цветное изображение получается в результате смешения этих цветов.

С целью выделения основной составляющей цвета образцов была использована разработанная специально для этих целей компьютерная программа.

С помощью сканера с разрешающей способностью 1200 dpi были получены компьютерные изображения исходных образцов. Предварительно полученное изображение редактировалось путём удаления заведомо дефектных областей.

Редактирование изображения образцов проводилось с использованием графического редактора Corel Photo-Paint.

Далее, используя вышеуказанную программу, определяли параметры цвета каждого пикселя изображения, после чего полученная информация обрабатывалась и определялась вся цветовая гамма, присутствующая в изображении образца. Полученные значения подвергались статистической обработке с целью определения среднего значения цвета (4.3) и среднеквадратичного отклонения (4.4) от него.

$$Color_{cp} = \frac{\Sigma Color, n}{N}; \quad (4.3)$$

$$\Delta Color = \sqrt{((\sum_{i=1}^n [n([Color]_{\downarrow cp} - [Color]_{\downarrow 1}) / (N - 1))}, \quad (4.4)$$

где N — общее число пикселей изображения,

n — число пикселей одинакового цвета.

Корректировка состава цветовой палитры проводилась с учетом выполнения условия: если $(Color_1 > (Color_{cp} - \Delta Color))$ или $(Color_{cp} + \Delta Color)$, т. е. если параметры текущего цвета выходили за допустимый диапазон, то текущий цвет из общего состава цветовой палитры удалялся как ошибочный. Процесс корректировки заканчивался, когда в цветовой палитре оставался один цвет.

Для всех образцов были получены по три числа, описывающих величину каждой цветовой составляющей, и установлена их зависимость от химического состава сплава (табл. 4.18).

Таблица 4.18

Результаты измерений цветовых параметров методом компьютерного анализа

Метод литья	№ обр.	% содержание основных компонентов	R	G	B
В песчаную форму	14	Sn=0	248	152	136
	10	Sn=5	240	152	136
	8	Sn=15	224	168	144
	3	Sn=20	208	160	144
В кокиль	13	Sn=0	248	152	136
	1	Sn=5	232	156	136
	2	Sn=15	216	160	144
	4	Sn=20	208	164	144

Приведенные на базе разработанных методик исследования зависимости цветовых характеристик от химического состава сплава позволили провести регрессионный и дисперсионный анализы. Полученные уравнения регрессии для бронзы (4.5) позволяют вычислить количество легирующего элемента для любых промежуточных значений исследуемых факторов в исследуемом диапазоне.

$$\begin{aligned} \lambda &= 581,1 - 1,94x \pm 4,78; \\ R &= 245,2 - 1,92x \pm 3,34; \\ G &= 152,4 + 0,56x \pm 0,89; \\ B &= 135,2 + 0,48x \pm 1,78, \end{aligned} \quad (4.5)$$

где x — содержание олова в сплаве, % [0...20].

Таким образом, при увеличении содержания олова в сплаве с медью от 0 до 20 % вызывает уменьшение длины волн λ от 585 до 543 нм; уменьшение красной составляющей (R) на 40 единиц интенсивности; увеличение зелёной (G) и синей (B) составляющих на 12 и 10 ед. интенсивности соответственно.

Наглядно изменение цвета можно проследить невооружённым взглядом, например, на образцах-эталолах. Например, в табл. 4.19 приведены [27] химические составы сплавов системы Cu-Sn и их цвета в зависимости от содержания в сплаве олова.

Таблица 4.19

**Влияние содержания олова в сплаве на основе меди
на изменение его цвета**

Содержание Sn, %	1	5	8	10	15	20
Цвет сплава	бледно-красный	бледно-розовый	красновато-жёлтый	оранжево-жёлтый	оранжево-жёлтый	жёлтый с золотистым отливом

Однако, как уже отмечалось, сплавы системы Cu-Sn, имеют в сравнении со сплавами Cu-Al в 5 раз более низкий уровень коррозионной стойкости в кислых средах (табл. 4.16).

Современные спектрофотометры и спектроколориметры позволяют повысить точность измерений характеристик цвета и их фиксации [90].

Спектрофотометры измеряют спектральные коэффициенты пропускания, отражения, спектральные оптические плотности отражения или пропускания. Полученные данные затем могут быть использованы для расчета координат цвета. Измерения могут проводиться вручную для каждой длины волны с автоматической последовательной разверткой спектра или одновременно. Величины измерений могут считываться визуально, вычерчиваться в виде графика или запоминаться микропроцессором в цифровом виде.

Принципиальная блок-схема регистрирующего спектрофотометра приведена на рис. 4.4.

Основной блок спектрофотометра — монохроматор — это устройство, разлагающее белый свет в спектр. В основе разложения в спектр лежат три принципа: преломление, дифракция или интерференция.

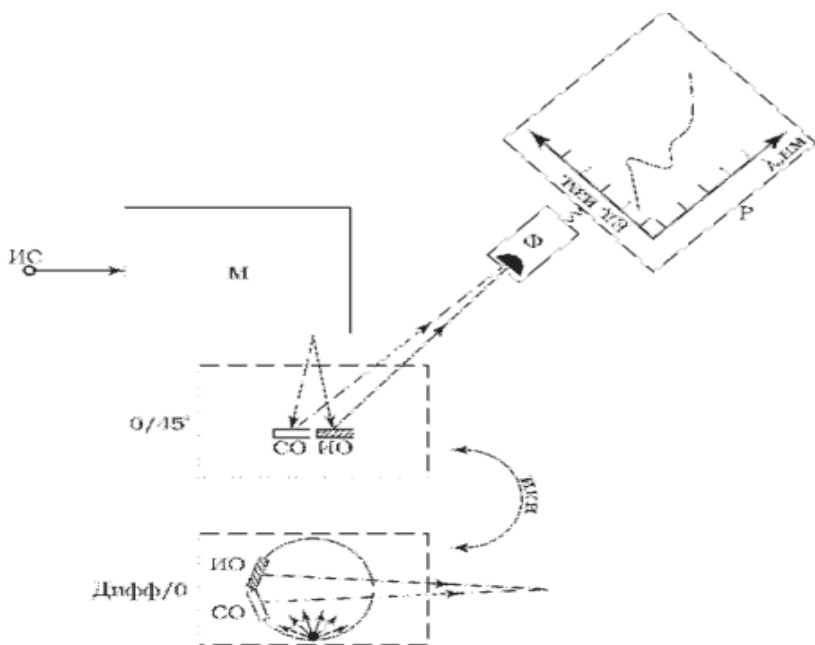


Рис. 4.4. Принципиальная схема спектрофотометра: ИС — источник света; М — монохроматор; 0/45 или Дифф/0 — способ измерения в соответствии с СИЕ; Ф — фотоэлемент; Р — графическое представление результатов измерения

Преломление света внутри оптической среды зависит от длины волны (дисперсия света), используется для получения спектра с помощью призмы. Дисперсия призматического спектра нелинейна, т. е. в разных частях спектра на единицу длины приходится различный интервал длин волн.

Причина дифракции сходная, но здесь преломление света происходит на призматической поверхности и многократно. Такой спектр получают с помощью дифракционной решетки, которая представляет собой большое количество (от 300 до 2500 лин/мм) бороздок с гладкими стенками, расположенными под определенным углом к нормали. Дифракционный спектр в рабочей части практически линейен. Нелинейность возникает в нерабочей части на концах спектра.

Явление интерференции связано с преломлением света на тонких пленках с последующей интерференцией, т. е. ослаблением или

усилением потока, основанных на волновой теории света. Монохроматоры строят на основе либо набора монохроматических светофильтров, которые необходимо поочередно вводить в световой поток, либо интерференционного клина, сразу разлагающего поток на спектр. Таким способом возможно получить достаточно высокую линейную дисперсию.

Спектроколориметры имеют то же строение, что и спектрофотометры, но в них добавлен блок обработки результатов измерения (процессор). В памяти процессора могут содержаться данные о нескольких колориметрических источниках света.

Прогресс микроэлектроники позволил создать компактные высокопроизводительные спектроколориметры. При их изготовлении применяются голографические дифракционные решетки, ПЗС-линейки позволяют проводить моментальные измерения по всему спектру, не используя движущихся деталей, а также быстрое проведение расчета координат цвета с шагом от 1 до 20 нм.

4.5. ПАТЕНТУЕМЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ НА СОСТАВЫ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ ДЛЯ ЮВЕЛИРНОГО ЛИТЬЯ

Известен сплав на основе меди, содержащий, мас. %: бериллий 0,1–0,5; серебро 10,0–35,0; цинк 6,0–10,0; медь 40,0–60,0; золото — остальное (Патент JP 57-152437, С22С 9/00, 1982).

Недостатком сплава является его высокая себестоимость, связанная с наличием в сплаве золота. Известен сплав на основе меди, содержащий бериллий, серебро, цинк, при этом дополнительно содержащий галлий при следующем соотношении компонентов, мас. %: бериллий 0,03–0,07; серебро 0,5–1,0; цинк 26,0–30,0; галлий 6,0–10,0; медь — остальное (патент РФ № 2486270, МПК: С22С-прототип).

В составе указанного сплава компоненты проявляют себя следующим образом. Бериллий и серебро способствуют получению сплава с мелкозернистой структурой, повышают прочность и пластичность сплава. Цинк улучшает жидкотекучесть сплава. Галлий препятствует окислению сплава на воздухе. Недостатком сплава является его высокая себестоимость, связанная с наличием в сплаве галлия. Кроме этого, наличие галлия в сплаве приводит к растрескиванию и размыванию сплавов при высокой температуре.

Задачей изобретения [92] является снижение себестоимости сплава при сохранении им стойкости к окислению. Решение указанной задачи достигается тем, что предложенный сплав на основе меди, содержащий бериллий, серебро, цинк, согласно изобретению дополнительно содержит висмут, олово и марганец при следующем соотношении компонентов, мас. %: бериллий 0,03–0,07; серебро 0,5–1,0; цинк 26,0–30,0; висмут 0,002–0,005; олово 7–9; марганец 0,5–1,5; медь — остальное.

В таблице 4.20 приведены составы предложенного сплава на основе меди.

Таблица 4.20

Состав сплавов на основе меди

Компоненты	Содержание, мас. % в составах		
	0,07	0,05	0,03
Бериллий	0,07	0,05	0,03
Серебро	0,5	0,75	1,0
Цинк	26,0	28,0	30,0
Висмут	0,002	0,004	0,005
Олово	7	8	9
Марганец	0,5	1	1,5
Медь	остальное	остальное	остальное

В составе сплава компоненты проявляют себя следующим образом. Бериллий и серебро способствуют получению сплава с мелкозернистой структурой, повышают прочность и пластичность сплава. Цинк улучшает жидкотекучесть сплава. Олово и марганец препятствуют окислению сплава на воздухе.

Изобретение [93] относится к области металлургии, а именно к составам сплавов на основе меди, которые могут быть использованы для расширения ассортимента сплавов на основе меди в ювелирной промышленности [93].

Известен сплав на основе меди, содержащий, мас. %: медь 50,0–85,0; серебро 0,5–15,0; индий 1,0–14,0 (Патент VS 3977869).

Технический результат достигается тем, что сплав на основе меди, содержащий серебро, дополнительно содержит золото, галлий и олово, причем компоненты находятся при следующем соотношении, мас. %: медь 50,0–54,0; серебро 20,0–25,0; золото 2,0–3,0; галлий 10,0–13,0; олово 10,0–13,0.

В составе сплава компоненты проявляют себя следующим образом. Серебро в указанном количестве в сочетании с медью, золотом

и оловом обеспечивает прочность и пластичность сплава. Золото и галлий препятствуют окислению сплава на воздухе.

В таблице 4.21 приведены составы сплава на основе меди

Таблица 4.21

Составы сплавов на основе меди

Компоненты	Содержание, мас. % в составах	
	1	2
Медь	50,0	54,0
Серебро	25,0	20,0
Золото	2,0	3,0
Галлий	13,0	10,0
Олово	10,0	13,0

Изобретение [94] относится к области металлургии, а именно к составам сплавов на основе меди, которые могут быть использованы для изготовления корпусов часов, монет, столовых приборов, ювелирных изделий. Известен сплав на основе меди, содержащий мас. %: бериллий 0,1–0,5; серебро 10,0–35,0; цинк 6,0–10,0; медь 40,0–60,0; золото — остальное. Задачей изобретения является повышение жидкотекучести сплава. Технический результат достигается тем, что сплав на основе меди, содержащий бериллий, серебро, цинк, золото, дополнительно содержит алюминий, индий и олово при следующем соотношении компонентов, мас. %: бериллий 0,2–0,3; серебро 30,0–35,0; цинк 2,0–3,0; золото 2,0–3,0; алюминий 0,1–0,15; индий 0,1–0,15; олово 2,0–3,0; медь — остальное.

Жидкотекучесть сплава (по спиральной пробе) — 450 мм.

В составе сплава компоненты проявляют себя следующим образом. Цинк и алюминий уменьшают плотность сплава, снижают его линейную усадку. Бериллий и серебро увеличивают упругость сплава. Индий и золото препятствуют окисляемости сплава на воздухе. Индий и олово улучшают жидкотекучесть сплава. Выплавка сплава на основе меди может быть проведена в тигельных печах, футерованных шамотом. Для очистки расплава от растворенного водорода он может быть подвергнут фильтрованию через зернистые фильтры из фторидов кальция, предварительно подогретые до температуры 800 °С.

Известен сплав на основе меди, содержащий, мас. %: бериллий 0,1–0,5; серебро 10, — 35,0; цинк 6,0–10,04; медь 40,0–60,0; золото — остальное (Патент JP57-152437, C22C 9/00, 1982). Недостатком

сплава является его высокая себестоимость, связанная с наличием в сплаве золота.

Известен сплав на основе меди, содержащий бериллий, серебро, цинк, при этом дополнительно содержащий галлий при следующем соотношении компонентов, мас. %: бериллий 0,03–0,07; серебро 0,5–1,0; цинк 26,0–30,0; галлий 6,0–10,0; медь — остальное (Патент РФ № 2486270, МПК С22С 9/04-прототип).

В составе указанного сплава компоненты проявляют себя следующим образом. Бериллий серебро способствуют получению сплава с мелкозернистой структурой, повышают прочность и пластичность сплава. Цинк улучшает жидкотекучесть сплава. Галлий препятствует окислению сплава на воздухе. Недостатком сплава является его высокая себестоимость, связанная с наличием в сплаве галлия. Кроме этого, наличие галлия в сплаве приводит к растрескиванию и размыванию сплавов при высокой температуре.

Задачей изобретения [95] является снижения себестоимости сплава при сохранении им стойкости к окислению на воздухе.

Решение указанной задачи достигается тем, что предложенный сплав на основе меди, содержащий бериллий, серебро, цинк, согласно изобретению дополнительно содержит висмут и мышьяк при следующем соотношении компонентов, мас. %: бериллий 0,03–0,07; серебро 0,5–1,0; цинк 26,0–30,0; висмут 0,002–0,005; мышьяк 0,02–0,05; медь — остальное. В таблице 4.22 приведены составы сплава на основе меди.

Таблица 4.22

Составы сплава на основе меди

Компоненты	Содержание, мас. %, в составах		
	Бериллий	0,07	0,05
Серебро	0,5	0,75	1,0
Цинк	26,0	28,0	30,0
Висмут	0,002	0,004	0,005
Медь	остальное	остальное	остальное
Мышьяк	0,02	0,03	0,05

В составе сплава компоненты проявляют себя следующим образом. Бериллий и серебро способствуют получению сплава с мелкозернистой структурой, повышают прочность и пластичность сплава. Цинк улучшает жидкотекучесть сплава. Висмут и мышьяк используются для улучшения пластических свойств сплава и упрочняют его

обработку. Выплавка сплава на основе меди может быть проведена в электропечах.

Изобретение [96] относится к области металлургии, а именно к составам сплавов, которые могут быть использованы для изготовления монет.

Известен сплав, содержащий, мас. %: золото 33,0–90,0; цинк 0,01–25,0; медь и примеси — остальное (GB 2279662, C22C30/02).

Задачей изобретения является удешевление сплава.

Технический результат достигается тем, что сплав для чеканки монет, содержащий цинк, медь, дополнительно включает никель, олово и свинец, причем компоненты находятся при следующем соотношении, мас. %: медь 53,3–56,7; цинк 40,0–43,0; никель 0,1–0,15; олово 0,1–0,15; свинец 3,0–3,5.

В таблице 4.23 приведены составы сплава для чеканки монет.

Таблица 4.23

Составы сплавов на основе меди

Компоненты	Содержание % мас. в составах		
	1	2	3
Медь	56,7	55,0	53,3
Цинк	40,0	41,5	43,0
Никель	0,15	0,1	0,1
Олово	0,15	0,1	0,1
Свинец	3,0	3,3	3,5

В сплавах (табл. 4.23) цинк увеличивает прочность сплава, никель и олово измельчают структуру, свинец повышает плотность сплава.

Изобретение [97] относится к области металлургии, а именно к составам сплавов на основе меди, которые могут быть использованы для изготовления корпусов часов, монет, столовых приборов, ювелирных изделий.

Известен сплав на основе меди цвета золота, содержащий, мас. %: бериллий 0,1–0,5; серебро 19,0–35,0; цинк 6,0–10,0; медь 40,0–60,0; золото — остальное (JP 57-152437, C22C 9/00).

Задачей изобретения является повышения жидкотекучести сплава.

Технический результат достигается тем, что сплав на основе меди цвета желтого золота, содержащий бериллий, серебро, цинк, золото, дополнительно содержит никель и бор, при следующем соотношении компонентов, мас. %: бериллий 0,01–0,03; серебро 3,0–5,0; цинк 6,0–10,0; золото 2,0–3,0; никель 0,2–0,3; бор 0,01–0,03;

медь — остальное. В таблице 4.24 приведены исследованные составы сплава [97].

Таблица 4.24

Составы сплавов на основе меди

Компоненты	Содержание, мас. % в составах		
	Бериллий	0,01	0,02
Серебро	5,0	4,0	3,0
Цинк	10,0	8,0	6,0
Золото	2,0	2,5	3,0
Никель	0,2	0,25	0,3
Бор	0,01	0,02	0,03
Медь	остальное	остальное	остальное
Жидкотекучесть сплава (по спиральной пробе), мм	430–450	430–450	430–450

В составе сплава компоненты проявляют себя следующим образом. Цинк уменьшает плотность сплава, снижает его линейную усадку. Бериллий и цинк раскисляют медь. Серебро упрочняет твердый раствор. Золото и никель препятствуют окисляемости сплава на воздухе. Бор способствует измельчению зерна.

Выплавка сплава может быть проведена в тигельных печах, футерованных шамотом. Для очистки расплава от растворенного водорода, он может быть подвергнут фильтрованию через зернистые фильтры из фторидов кальция, предварительно подогретые до температуры 800 °С.

Изобретение [98] относится к области металлургии, а именно к составам сплавов на основе меди, которые могут быть использованы для изготовления корпусов часов, монет, столовых приборов, ювелирных изделий.

Известен сплав основы меди цвета золота, содержащий, мас. %: бериллий 0,1–0,5; серебро 10,0–35,0; цинк 6–10,0; золото — остальное (JP57-152437, C22C 9/00).

Задачей изобретения является повышение жидкотекучести сплава.

Технический результат достигается тем, что сплав на основе меди цвета золота, содержащий бериллий, серебро, цинк, золото, дополнительно содержит церий и вольфрам при следующем соотношении компонентов, мас. %: бериллий 0,01–0,03; серебро 5,5–6,5; цинк 14,0–15,0; золото 0,5–1,0; церий 0,2–0,3; вольфрам 0,2–0,3; медь — остальное.

В таблице 4.25 приведены составы сплава.

Таблица 4.25

Состав сплава на основе меди цвета золота

Компоненты	Содержание, мас. % в составах		
	Бериллий	0,01	0,02
Серебро	5,5	6,0	6,5
Цинк	15,0	14,5	14,0
Золото	1,0	0,75	0,5
Церий	0,2	0,25	0,3
Вольфрам	0,2	0,25	0,3
Медь	остальное	остальное	остальное
Жидкотекучесть сплава (по спиральной пробе), мм	450–470	450–470	450–470

В составе сплава компоненты проявляют себя следующим образом. Цинк уменьшает плотность сплава, его линейную усадку. Бериллий и цинк раскисляют медь. Серебро упрочняет твердый раствор. Золото препятствует окисляемости сплава на воздухе. Церий нейтрализует вредное влияние примесей сурьмы, мышьяка и свинца. Вольфрам способствует измельчению зерна.

Выплавка сплава может быть проведена в тигельных печах, футерованных шамотом. Для очистки расплава от растворенного водорода его можно пропускать через зернистые фильтры из фторидов кальция, предварительно подогретые до температуры 800 °С.

Анализ задач, решаемых в вышеуказанных изобретениях, показывают следующую направленность исследований в области разработки сплавов на основе меди для ювелирных изделий: снижение себестоимости сплава — 3, расширение ассортимента ювелирных изделий — 1, повышение жидкотекучести сплава — 2.

4.6. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СПЛАВА НА ОСНОВЕ МЕДИ НА ЕГО ЦВЕТОВОЙ ТОН, КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ И ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ

Легирование меди отдельными, наиболее часто применяемыми компонентами оказывает различное влияние на цветовой тон литых изделий. На рис. 4.5 представлено влияние различных компонентов сплава на основе меди на величину отклонения цвето-

вого тона (ΔE) от цветового тона ювелирного сплава золота марки ЗлСрМ 583–80 [84].

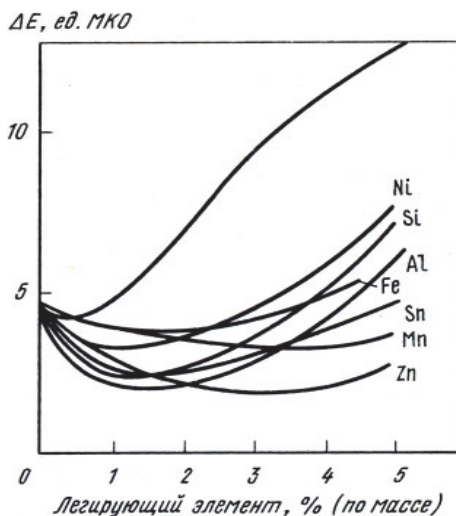


Рис. 4.5. Влияние легирующих элементов на величину отклонения его цветового тона от эталона (золото марки ЗлСр М 583–80) в сплаве на основе меди

Для разработки литейного медного сплава для получения изделий сложной формы, с декором и с новым цветовым дизайном, например, соответствующего золоту 750° пробы, сплав должен обладать комплексом технологических характеристик. Важнейшим из которых является выбор химического состава, обеспечивающего заданный цветовой тон и его насыщенность, жидкотекучесть, и коррозионную стойкость сплава. При этом для потребителя ювелирного изделия в виде украшений (кольца, серьги и др.), принимающего решение о выборе изделия исходя из эффекта воздействия художественной выразительности (табл. 1.2), главными показателями, формирующими уровень образной выразительности изделия, являются: сложная оригинальная форма, декоративная выразительность (цвет, блеск, тон, рельеф); чистота (шероховатость) поверхности.

Если сравнивать оловянные, цинковистые и алюминиевые бронзы по уровню жидкотекучести, а, следовательно, и возможности выполнения сложной тонкостенной формы и тонкого рельефа (выступы, впадины, рисунок, сетка), то наименьшие показатели имеют

оловянные бронзы марки БрОЦС 4-4-17 и алюминиевые БрАЖС 7-1,5 -1,5. Показатели бронз марки ОЦС 3-12-5, ОЦСМ 3-7-5-1 и алюминиевой БрАЖМ 11-6-6 в два раза выше, чем у вышеуказанных марок оловянной и алюминиевой бронзы.

Коррозионная стойкость оловянных бронз в атмосферных условиях достаточно высокая, в слабосоленой воде — относительно высокая, но значительно ниже, чем у алюминиевых бронз. Увеличение содержания олова в оловянистых бронзах повышает их коррозионную стойкость. Алюминий повышает их жидкотекучесть, механические и коррозионные свойства латуней. Поэтому для достижения в медном сплаве цветового тона и его насыщенности, соответствующей, например, сплаву 750° пробы, его цветовые характеристики должны быть максимально приближены к чистому (100 %) золоту.

В таблице 4.26 представлены спектрографические характеристики чистого золота [99].

Таблица 4.26

Спектофотометрические цветовые характеристики чистого золота

Координаты			Цветности		Цветовой тон, нм	Насыщенность цвета, %
Цвета для источника «С»			х	у		
х	у	z	х	у		
64,6	63,5	35,2	0,395	0,389	579	44

Чтобы определить, какой основной цвет должно иметь золото 750° пробы, в имитирующем его сплаве меди, не содержащем золото, можно использовать данные о его цвете в сплавах системы Au-Ag-Cu (табл. 4.27) [100].

Таблица 4.27

Химический состав и цвет поверхности ювелирных сплавов системы Au-Ag-Cu 750° пробы

Массовая доля, %			Цвет
Золото	Серебро	Медь	
75	4,0	21	красный
75	8,3	16,7	красноватый
75	12,5	12,5	ярко-желтый

В таблице 4.28 приведены химические составы медно-оловянных и медно-цинковых сплавов, которые потенциально могут обеспечивать цвет, имитирующий золото 750° пробы (табл. 4.27) [27].

Химический состав и цвет медно-оловянных и медно-цинковых сплавов

Химический состав, %			Цвет сплава системы	
Sn	Zn	Cu	Cu-Sn	Cu-Zn
5	—	остальное	бледно—розовый	—
—	5	остальное	—	красный с желтым отливом
10	—	остальное	оранжево—желтый	—
—	10	остальное	—	красно—желтый
14	—	остальное	желтый	—
—	14	остальное	—	желто—красный
16	—	остальное	желтый	—
—	16	остальное	—	желтый
20	—	остальное	желтый с золоти- стым оттенком	—
—	20	остальное	—	Красновато—желтый

Из анализа вышеуказанных составов (табл. 4.28) наиболее близкими по цвету к золоту 750° пробы (табл. 4.27) и с низким содержанием легирующего компонента являются бронзы с содержанием Sn 10 и 14 % и латуни с содержанием Zn 5 и 10 %.

На рис. 4.6 приведена диаграмма состояния системы Cu-Sn, которая содержит ряд фаз, образующихся как при первичной кристаллизации, так и при превращениях в твердом состоянии.

Фазы α , β , γ , ϵ , η образуются при первичной кристаллизации, фазы ζ и δ — в твердом состоянии. Фазы β , γ и η образуются по перитектическим реакциям при температурах 798, 755 и 415 °С.

Период решетки α -фазы увеличивается от 0,3672 до 0,3707 нм. Фазы β и γ кристаллографически подобны и имеют ОЦК решетку.

Фаза ϵ существует на основе соединения Cu_3Sn и имеет ромбическую решетку. η -фаза соответствует соединению Cu_6Sn_5 [45,45 % (ат.) или 60,89 % (по массе) Sn]. Она упорядочивается при 189...186 °С. Фаза ζ имеет гексагональную решетку предполагаемого состава $\text{Cu}_{20}\text{Sn}_6$ [23,08 % (ат.) или 35,92 % (по массе) Sn]. δ -фаза имеет структуру γ -латуни, она является электронным соединением и соответствует формуле $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ при 20,6 % (ат.) Sn.

Растворимость олова в меди, по данным рентгеноспектрального анализа, составляет, % (ат.) Sn [% (по массе) — в круглых скобках]: 6,7 (11,9); 6,5 (11,4); 5,7 (10,10) при температурах 350; 250; 150 °С соответственно. Растворимость меди в олове в твердом состоянии при эвтектической температуре составляет 0,01 % (ат.).

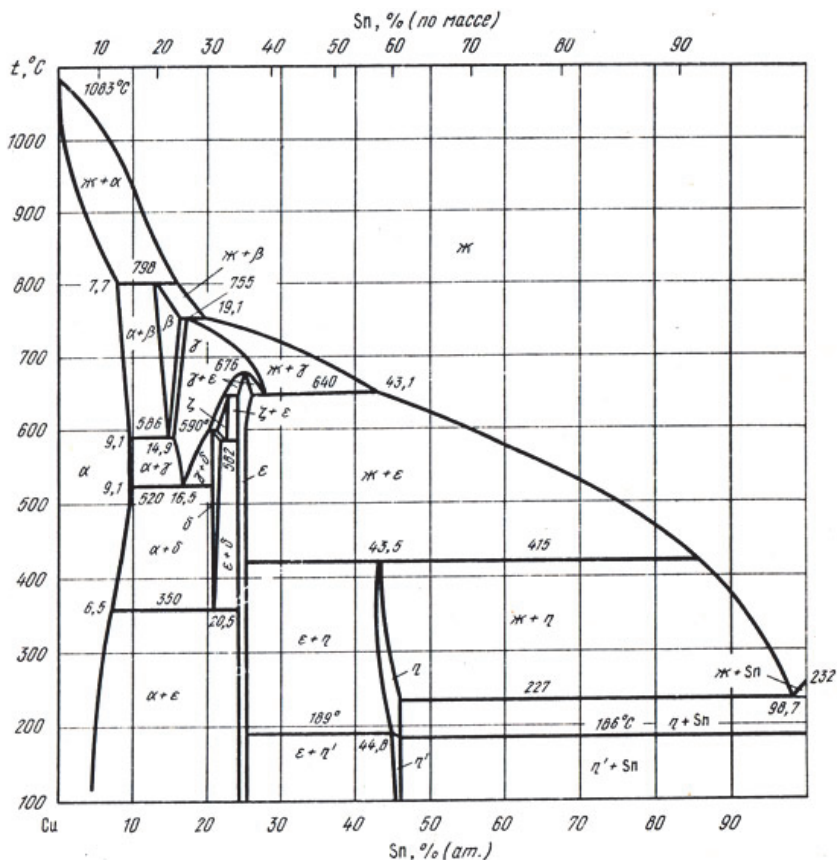


Рис. 4.6. Диаграмма состояния сплавов системы медь-олово

Известен также литейный медный сплав, имитирующий золото, в состав которого входит 10 % Al и 2 % Ni [27]. Однако этот сплав сложен при плавке, так как необходимо применение большого объема флюса из-за склонности его к окислению.

Для повышения стойкости к контактной коррозии в системе «ювелирное изделие — потовые выделения — кожа человека» медные сплавы, например, сплавы с цинком можно легировать небольшим количеством алюминия, например, в количестве ~ 3 %.

Диаграмма состояния системы «Al-Zn» и представлена на рис. 4.7.

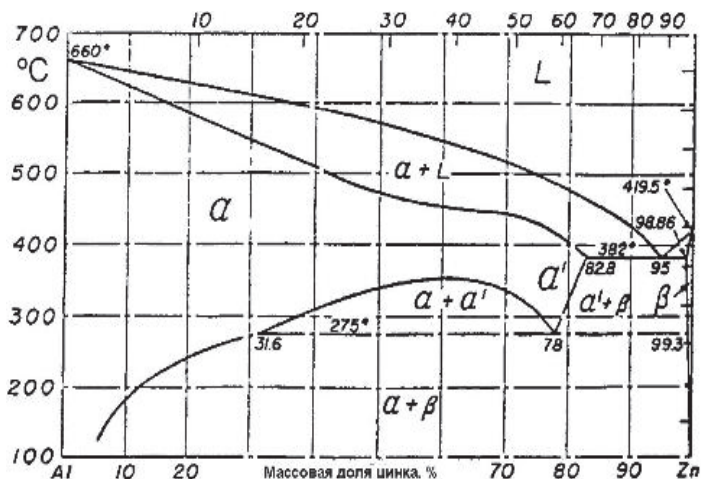


Рис. 4.7. Диаграмма состояния Al-Zn

В системе наблюдается два невариантных равновесия: эвтектическое — Ж ↔ (Al) + β при температуре 382 °С и монотектоидное α₁ ↔ α + β при температуре 275 °С, где α и α₁ — твердые растворы на основе Al, β — твердый раствор на основе (Zn). Критическая точка на бинадальной кривой, ограничивающей двухфазную область α + α₁, имеет координаты 351,5 °С и 39,5 % (ат.) Zn. Различие между рассчитанными и экспериментальными значениями температур ликвидуса и солидуса не превышает ±1,5 °С, а температур монотектоидного превращения и начала расслаивания твердого раствора на две фазы ± 3 °С.

Максимальная растворимость Al в (Zn) при эвтектической температуре 382 °С составляет 2,5 % (ат.), а растворимость Zn (Al) — 33,5 % (ат.). При старении закаленных сплавов, содержащих 6–30 % (ат.) Zn, обнаружено расслоение твердого раствора Al.

Жидкотекучесть сплава должна обеспечивать возможность получения тонкостенного ювелирного изделия сложной формы с мелким рельефом. Поэтому она должна быть высокой, например, не менее 450–470 мм. Этим условиям удовлетворяют безоловянные бронзы, показатели жидкотекучести которых в зависимости от состава составляют от 500 мм (БрАМ ц9-2) до 850 мм (Бр АЖ 9-4) [85].

Указанная жидкотекучесть алюминиевых бронз обусловлена высокой теплотой кристаллизации алюминия, которая (ρ) равна 93 ккал/кг.

Для сравнения величина ρ меди и олова составляет 48,8 и 14,4 ккал/кг соответственно. Поэтому оловянная бронза с содержанием, например, 10 % Sn имеет жидкотекучесть значительно ниже, чем с 10 % Al. Латунни имеют более высокую жидкотекучесть, чем оловянные бронзы — от 400 мм (ЛКС 80-3-3) до 660 мм (ЛА 67-2,5). Однако, коррозионная стойкость как оловянных бронз, так и латуней в условиях контакта со слабосоленой средой, содержащей мочевины и аммиак, которые имитируют человека, изучена недостаточно.

Можно полагать, что коррозионная стойкость алюминиевого сплава, имитирующего золото (BrA5 или BrA10), будет выше, чем у сплавов системы Cu-Sn или Cu-Zn. Как уже отмечалось, алюминиевые бронзы с содержанием 5–10 % сложны для изготовления при плавке и литье. Поэтому перспективными для разработки сплавов меди, имитирующих золото 750° пробы, могут стать следующие подходы: использовать в качестве шихты готовый стандартный сплав деформируемой бронзы марки BrA5, и легировать ее при плавке добавками Sn; для получения необходимого цветового тона использовать медные сплавы, имитирующие цветовой тон золота, небольшими добавками Al (0,5–1,5 %) с целью повышения их жидкотекучести, так и приближения их цвета к натуральному золоту либо золоту 750° пробы. Например, сплав меди с 10 % Sn имеет оранжево-желтый цвет (табл. 4.28). Возможно, что, при легировании его алюминием в количестве ≤ 3 % цвет сплава изменится на желтый и одновременно повысится жидкотекучесть. Сплав меди с 10 % Zn (табл. 4.28) имеет красно-желтый цвет. Возможно, что и в этом случае добавка алюминия повлияет на изменение цвета с красно-желтого на желтый. При этом одновременно повысится коррозионная стойкость сплава. Визуальная оценка цветового дизайна должна быть подтверждена исследованиями показателей цветового тона и его насыщенности спектрофотометрическим методом и выявить уровень приближения цвета к аналогичным показателям чистого золота (табл. 4.25) или золота 750° пробы (табл. 4.26).

Новым способом повышения коррозионной стойкости сплавов на основе меди и сохранения цветового дизайна на изделиях является нанесение бесцветного покрытия анодным способом [122].

Исследования коррозионной стойкости исходных легированных алюминием сплавов следует провести длительной выдержкой их на воздухе либо в слабосоленом растворе (1 % NaCl) с добавкой других компонентов потоотделений человека (фосфатов, сульфидов, мочевины, аммиака).

При выдержке на воздухе можно оценить степень окисления по изменению поверхности, например, периода потускнения исходного цвета. Фиксирование этого процесса возможно фотографированием поверхности образцов, например, через неделю выдержки в течение двух-трех месяцев.

Химическую коррозию можно выявить как визуально (образование окисных плёнок на образцах), так и взвешиванием образцов через каждый месяц выдержки в растворе, моделирующем состав потовыделений человека. Эти показатели будут характеризовать эстетичность ювелирного изделия: сохранение совершенства производственного исполнения товарного вида (табл. 1.2).

4.7. ХАРАКТЕРИСТИКА ЦВЕТОВОГО ДИЗАЙНА ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ЛИТЬЯ ИСКУССТВЕННОГО КАМНЯ НА ПРИМЕРЕ ИЗУМРУДА

4.7.1. Промышленная классификация и художественная выразительность ювелирных камней

Имеются несколько видов классификации драгоценных и ювелирных камней [101]. Учитывая промышленный характер производства ювелирных изделий из драгоценных сплавов или имитирующих сплавов с использованием огранённых вставок из природных или синтетических камней, получаемых технологией высокотемпературного синтеза, рассмотрим промышленную классификацию ювелирных камней разработанную ВНИИювелирпромом [102].

Тип I. Ювелирные камни

Подтип I-1. Прозрачные камни:

группа I-1-1. Твердость 10 — алмаз;

группа I-1-2. Твердость 7... 10 — корунд, берилл, турмалин, гранат, хризоберилл, шпинель, монокристаллы кварца, топаз, эвклаз, фенакит, циркон, кордиерит, андалузит, ставролит;

группа I-1-3. Твердость менее 7 до 5 — сподумен, хризолит, кланит, диоптаз, бразилианит, танзанит, хромдиопсид, апатит, бенитонит, оксинит, сканолит, томсонит, данбурит, улексит, касситерит, гамбергит, актинолит, зеленый обсидиан;

группа I-1-4. Твердость менее 5 — сфалерит, флюорит, брусит, цинкит, шеелит.

Подтип I-2. Непрозрачные, сверкающие камни:

группа I-2-1. Однородные — гематит-кровавик, пирит, кобальтин, псиломелан;

группа I-2-2. Рисунчатые — гематит-гетитовая стеклянная голова, криптомелан-голландитовая стеклянная голова.

Подтип I-3. Просвечивающие камни:

группа I-3-1. Яркоокрашенные камни — сердолик, хризопраз, хлоропал, розовый кварц, цветные полууалы, смитсонит, пренит, цоизит, полупрозрачный жадеит;

группа I-3-2. Камни с рисунком или красивыми включениями — агат, волосатик, моховик, оникс (сардоникс, карнеол, оникс);

группа I-3-3. Камни без рисунка и цветной окраски — халцедон, полууал, кахолонг;

группа I-3-4. Псевдохроичные камни с определенной ориентировкой — благородный опал, лунный камень, иризирующий обсидиан.

Подтип I-4. Непрозрачные матовые камни с красивой окраской и плотной фактурой поверхности:

группа I-4-1. Камни, применяемые в изделиях с последующей обработкой, — бирюза, варисцит, коралл;

группа I-4-2. Камни, применяемые в естественном виде, — жемчуг.

Тип II. Ювелирно-поделочные камни

Подтип II-1. Вязкие камни, твердость более 6:

группа II-1-1. Нефрит, жадеит и их твердые естественные имитации, гранат-хлоритовая порода, ксенотлит, фибролит.

Подтип II-2. Камни средней вязкости, твердость 5...6:

группа II-2-1. Яркоокрашенные камни — лазурит, родонит, амазонит, яшма, унакит (агрегат эпидота и калиевого полевого шпата), чароит;

группа II-2-2. Рисунчатые камни — окаменелое дерево, пегматит графический, кремь рисунокчатый, яшма, обсидиан, гелиотроп, перилит;

группа II-2-3. Псевдохроичные камни — беломорит, соколиный и тигровый глаз, серебристый («иризирующий») обсидиан, авантюрин, перламутр;

группа II-2-4. Камни, применяющиеся в естественном виде:

подгруппа II-2-4а. Массивные камни — почки халцедона, смитсонита, нефрита;

Подгруппа II-2-4б. Корки и наросты — аметистовые и кварцевые щетки, корочки уваровита, дендриты марганцевых минералов, самородной меди и серебра.

Подтип II-3. Мелкие и средней твердости камни:

группа II-3-2. Обрабатываемые в холодном состоянии — малахит, азурит, змеевик, антрацит.

Тип III. Поделочные камни

Подтип III-1. Твердость более 5:

группа III-1-1. Стекловатые — обсидианы, яшмы, роговики, микрокварциты, железистые роговики;

группа III-1-2. Гетерогенные горные породы и минеральные агрегаты:

подгруппа III-1-2а. Льдистый кварц, кварцит-таганай, амazonитовый гранит;

подгруппа III-1-2б. Перидотиты, пиродксениты, геденбергитовый скарн;

подгруппа III-1-2в. Лиственит, джеспилит;

подгруппа III-1-2г. Эклогит, гранатовый гнейс, турмалин и кружащие породы;

подгруппа III-1-2д. Гранитоиды, нефелиновые сиениты, кабридоорий, порфиры и т. д.

Подтип III-2. Твердость от 5 до 3:

группа III-2-1. Просвечивающие — оникс, арагонитовый и кальцитовый, флюорит;

группа III-2-2. Непрозрачные — мраморы, офиокальцит, ангидрит, змеевик, хлоритсерпентиновая порода.

Подтип III-3. Мягкие, твердость менее 3:

группа III-3-1. Просвечивающие — алебастр, селенит, галит;

группа III-3-2. Непрозрачные — графит, талькохлорит, пирофиллит, брусит, стеатит.

Приведенная классификация имеет ряд недостатков. Так, например, к типу I — ювелирные камни — отнесены драгоценные камни высокой стоимости и поделочные камни сравнительно низкой стоимости (флюорит, гематит, пирит, апатит, обсидиан зелёный, жадеит, кахолонг, халцедоны и ряд других камней). В одну группу 1-1-2 входят корунды, бериллы, шпинель и кристаллический кварц, эндалузит

и ставролит, стоимость которых также различна. В перечне камней не указан один из самых ценных природных камней изумруд. По другой системе классификации (Киевленко Е. А.) этот камень не только входит в первую группу драгоценных камней, но и размещен в ней в следующей ценовой последовательности: алмаз, изумруд, синий сапфир, рубин.

Художественная выразительность ювелирных драгоценных и недорогих камней в первую очередь зависит от их цвета, оптических цветовых эффектов (игры света) в камне после его огранки [102; 103].

Световые волны разной длины проходят через камень, отражаются или поглощаются им, поэтому человеческий глаз видит множества оттенков камня. Природный камень может быть окрашен по двум типам: «собственной» окраской и «чужой». Своя окраска определяется собственной индивидуальной структурой и химическим состоянием минерала. Характер светопоглощения зависит от структуры кристалла, расположения в нем атомов и измельченных примесей. «Чужая» же окраска зависит от примесей других, не входящих в состав структуры кристалла цветных минералов (вроски). Например, агат может приобрести желтоватый оттенок за счет включений гематита и гидроксидов железа или после шлифовки иметь разнообразную характеристику и индивидуальную структуру [2] (рис. 4.8).

Кроме «прямой» природной окраски многие ювелирные камни становятся особенно красивы за счет дополнительных оптических цветовых эффектов или так называемой игры света. Вот перечень основных оптических эффектов:

Астеризм (изнутри камня в стороны расходятся лучики как от звезды):

1. Кошачий глаз (вариации — соколиный, тигровый);
2. Опалесценция;
3. Иризация, включающая разновидности:
 - а) авантюресценция;
 - б) адуляресценция;
 - в) лабрадоресценция;
 - г) шиллересценция (так называют эффект лунных камней).

Эффект звезды (астерии) появляется у камня при наличии пластинчатых или игольчатых включений других минералов. Обычно они «врастают» вдоль граней и ребер кристаллов. Проявление этого эффекта отражается в названиях, например, «звездчатый сапфир».



Рис. 4.8. Цветовой дизайн агата в разрезе после шлифования

Эффект «кошачьего глаза» образуется из-за особого строения камня — за счет волокон из других минералов или трубчатых пустот. Волокна придают камню своеобразный шелковый блеск. Кошачьи или тигровые глаза характерны для хризобериллов, нефритов, кварцев.

Весьма красивым и необычным считается эффект опалесценции, наиболее ярко проявляющий себя у опалов. Самые разные цвета — красный, зеленый, голубой — буквально искрятся и переливаются, удивляя наблюдателей играющими на свету проблесками. Указанные цветные блеск и переливы появляются вследствие дифракции падающих лучей от 3-мерной структуры из тонких слоев глобулей глинозема (дифракционной решетки).

Отдельного внимания заслуживают разнообразные варианты иризации (искристого блеска). Эффект авантюресценции выявляют в поликристаллических тонкозернистых кварцах, в состав которых входят тонкие включения других минералов. Например, авантюриновый полевой шпат («солнечный камень») с золотистым блеском, который формируется путем отражения света от пластинок гематита в материале кварца.

Адуляресценция и шиллересценция — это особенность лунных камней. Лунные камни (адуляры и перистериты) как будто «обволакиваются» нежно-туманной голубовато-серой или голубой «плен-

кой» со слабым сиянием. Например, камни этого вида из Бирмы имеют перламутровую опалесценцию и радуют глаз игрой жемчужно-белых и голубых оттенков. Считается, что лунные камни иризируют за счет интерференции и рассеяния света на границах пертитовых и анти-пертитовых вrostков.

Дисперсия — игра света в кристалле (когда камень буквально сияет). Явление дисперсии проявляется у минералов с высоким преломлением света. У такого рода минералов по-разному показывают себя волны красной и фиолетовой частей спектра при прохождении через кристалл. Самая высокая дисперсия — у алмаза.

Блеск камня зависит от показателя преломления и способности минерала отражать свет. Ювелиры различают следующие виды блеска:

- стеклянный;
- алмазный;
- перламутровый.

Прозрачность также влияет на применение и стоимость камня, например, прозрачный алмаз является самым ценным ювелирным камнем. Полупрозрачным ювелирным камнем может быть светлый изумруд (рис.4.9).

Непрозрачные камни относятся к категории поделочных (нефрит, лазурит) и имеют значительно меньшую рыночную стоимость.

По степени прозрачности камни делятся на:

- прозрачные;
- полупрозрачные;
- просвечивающие в тонких сколах;
- непрозрачные.

4.7.2. Характеристика и цветовой дизайн природных, синтетических и искусственных изумрудов

Изумруд — это природный камень, который в зависимости от его состава и месторождения может иметь пять оттенков зеленого цвета: светлый, светло-зеленый, средний, темно-зеленый и насыщенный (рис. 4.9) [103; 104].

Химическая формула изумруда $\text{Al}_3\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$.

Химический состав (в %): Be — 14,1, Al_2O_3 —19, SiO_2 — 66,9, примеси хрома — 1–2 %, а также прочие примеси натрия, лития, цезия, железа, ванадия [108].

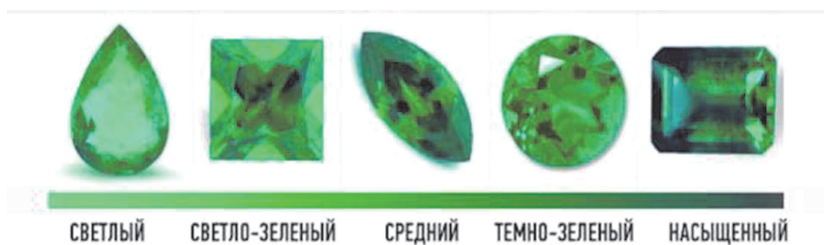


Рис. 4.9. Цветовой дизайн эталонов изумруда

Изумруд имеет следующие характеристики:

- блеск — стеклянный;
- прозрачность — прозрачный, просвечивающийся, излом неровный;
- твердость — 7,5–8,0, хрупкий.

Основной вид каркасной структуры берилла представляют шестерные структуры кольца SiO_3 -тетраэдров- Si_6O_{18} , связанные друг с другом BeO_4 -тетраэдрами в гексагональные колонки с крупными каналами внутри таких колонок. Эти колонки связываются друг с другом BeO_4 -тетраэдрами и AlO_6 -октаэдрами.

Изумруд — разновидность берилла — является одним из наиболее дорогих драгоценных камней [105]. Большая редкость и высокая стоимость изумруда стимулировали работы по изготовлению его искусственных заменителей. Чистый изумрудно-зеленый цвет, характерный для природного изумруда, не встречается ни у одного прозрачного камня.

Берилл представляет собой силикат бериллия и алюминия. Цвет изумруда обусловлен присутствием ионов хрома, частично замещающих ионы алюминия в гексагональной решетке берилла. Особенность этого хромофора состоит в том, что даже окрашивая камень в зеленый цвет, он пропускает часть лучей темно-красного цвета. Именно поэтому большинство изумрудов выглядят красными или красноватыми, когда они ярко освещены и рассматриваются через фильтр Челси, пропускающий свет только в темно-красной и желто-зеленой частях спектра. Большинство имитаций искусственного изумруда из стекла интенсивно поглощают красный цвет и поэтому при наблюдении через фильтр выглядят зелеными. Так же ведет себя нагретый зеленый турмалин, внешне похожий на изумруд.

Присутствие хрома в изумруде обуславливает его очень характерный спектр поглощения, по которому можно отличить изумруд от всех других драгоценных камней. Изучение спектра полезно и в тех случаях, когда возникает сомнение, как назвать камень: изумрудом или же просто зеленым бериллом, поскольку известны зеленые бериллы, цвет которых обусловлен в основном железом.

Что касается других свойств изумруда — его показателей преломления и удельного веса, то они заметно различны у разных камней из разных месторождений из-за небольших различий в химическом составе. Следы железа и особенно присутствие более тяжелых щелочных металлов, таких как цезий. Присутствие примесей изменяет показатели преломления и его плотность, кроме того, для каждого месторождения обычно характерны определенные включения внутри камня.

Встречаются имитации изумруда из стекла. Обычно их делают из свинцовых стекол, имеющих показатель преломления от 1,60 до 1,66 и удельный вес от 3,40 до 4,00. Наличие в расплаве стекла включений может придавать таким имитациям вполне «правдоподобный» характерный для изумруда вид. Однако под микроскопом видно, что включения представляют собой лишь скопления, цепочки пузырьков. Изредка встречаются имитации из бериллового стекла, окрашенного хромом. Они необычно тверды для стекла, однако их удельный вес и показатель преломления значительно ниже, чем у кристаллического берилла. Изумруды из стекла называются искусственными.

Синтез кристаллов изумруда, пригодных для огранки, впервые осуществили в 30-х годах прошлого столетия доктор Г. Эспиг с коллегами. Они работали в исследовательских лабораториях немецкого концерна «И. Г. Фарбениндустри» [104].

Все существующие методы получения синтетических изумрудов постоянно совершенствуются, что обеспечивает изготовление синтетических камней с улучшенными характеристиками. Изумруды выращивают искусственно в США, Швейцарии, России и Японии.

Синтетические изумруды имеют весьма характерный насыщенный голубовато-зеленый цвет, который отчасти выдает их происхождение, хотя почти такой же оттенок имеют некоторые колумбийские изумруды. Через фильтр Челси они выглядят интенсивно-красными, гораздо более красными, чем большинство природных изумрудов.

В расплавах синтетических изумрудов преобладают включения в виде «вуалей» или «кружев», обычно изогнутых, значительно отличающиеся от образований, наблюдаемых в природных изумрудах. Такие «вуали», похожие на отпечатки пальцев, обычно заполнены остаточным расплавом, но могут также содержать и газ.

Синтетические изумруды гидротермального происхождения обычно содержат жидкие или газообразные включения в виде остроконечных шипов или «шляпок от гвоздя», на широких концах которых часто видны кристаллики фенакита. Одиночные кристаллы фенакита присутствуют в обоих типах изумрудов [105].

Основная геммологическая информация об изумруде включает следующие данные:

Минерал: Берилл.

Разновидность: Изумруд.

Цвет: Зеленый, зеленовато-желтый, голубовато-зеленый.

Химический состав: $\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$, алюмосиликат бериллия.

Кристаллическая структура: шестиугольная призма.

Кристаллическая группа: гексагональная.

Твердость: 7,5–8,0.

Плотность: 2,67–2,78.

Коэффициент преломления: 1,565–1,602.

Двупреломление: 0,005–0,010.

Цвет полосы: Белый.

Длины волны спектра поглощения: 883, 881, 662, 646, 637, 606, 594, 630–580, 477, 472.

Флюоресценция: Обычно отсутствует.

Все природные изумруды содержат характерные включения. Для быстрой идентификации зеленого берилла как изумруда достаточно определить его хромофор (наличие примесей хрома и железа). Светлые и очень светлые бериллы изумрудами не считаются. Наиболее ценными на рынке природных изумрудов являются колумбийские изумруды, имеющие цвет травы. Точная идентификация и происхождение изумрудов проводится на основании их оптических характеристик и плотности (табл. 4.29) [105].

Самый популярный цвет колумбийских изумрудов — слабо синевато-зеленый средне-темного тона с высокой насыщенностью (рис. 4.10).

Однако этот цвет очень редкий. Значительно чаще колумбийские изумруды имеют цвет травы темно- или средне-зеленого цве-

та. В синтетических изумрудах цвет имитируют, например, средне-зеленый цвет, но в них нет включений, характерных для природных изумрудов. Количество добытых природных изумрудов, чистых от включений, исчисляется десятками или штуками в год, а стоимость — десятками тысяч долларов за один карат.

Таблица 4.29

Характеристика природных изумрудов различного происхождения

Происхождение (изготовление)	Коэффициент преломления	Двулучепреломление	Относительная плотность
Австралия	1,570–1,579	0,005–0,007	2,87–2,70
Австрия	1,581–1,584	0,007	2,72–2,76
Афганистан	1,568–1,578	0,006	2,68–2,70
Бразилия	1,566–1,575	0,005	2,68–2,70
Замбия	1,580–1,590	0,004–0,010	2,71–2,76
Зимбабве	1,586–1,593	0,007	2,73–2,77
Индия	1,585–1,593	0,007	2,73–2,74
Колумбия	1,568–1,586	0,006	2,69–2,71
Мадагаскар	1,567–1,574	0,005	2,68–2,70
Пакистан	1,588–1,600	0,007	2,75–2,78
Россия	1,585–1,596	0,007	2,72–2,75
Танзания	1,578–1,585	0,007	2,74
Южная Африка	1,586–1,593	0,007	2,75
Синтетический гидропирмальный	1,560–1,563	0,003	2,67–2,69
Синтетический, выращенный во флюсе	1,560–1,565	0,003–0,004	2,67–2,69

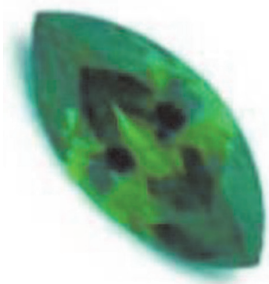


Рис. 4.10. Цветовой дизайн природного изумруда средне-темного зеленого тона с высокой насыщенностью

Огранка изумрудов в готовом ювелирном изделии преимущественно классическая (рис. 4.11) [106].

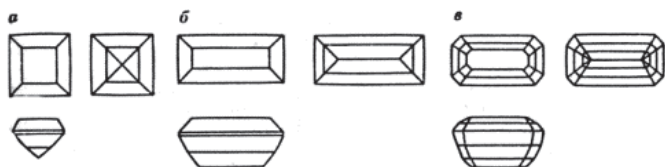


Рис. 4.11. Формы огранки изумруда: а — каре; б — прямоугольная; в — изумрудная

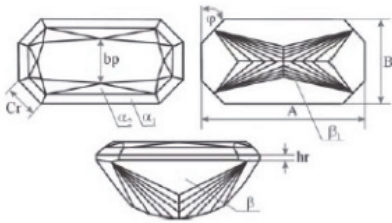
Новые (фантазийные) формы огранки изумрудов и бриллиантов приведены на рис. 4.12–4.15 [106].

Изумруд И-65			
Параметры бриллианта		Общий вид бриллианта	
Группа	А		
$n=A/B$	1.10-1.80		
br, %	50-70	β_1 , град	39-43
hr, %	1.0-3.0	β_2 , град	32-38
α , град	35-45	β_3 , град	20-30
α_1 , град	32-36	φ , град	40-50
α_2 , град	18-30	Cr, %	20-25
β , град	45-60		

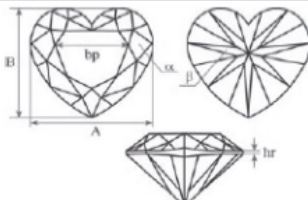
Принцесса П-65			
Параметры бриллианта		Общий вид бриллианта	
Группа	А		
$n=A/B$	1.00-1.05		
br, %	75-85	β , град	50-60
hr, %	2.0-6.0	β_1 , град	39-42
α , град	35-38	H_{H_1} , % от H_H	35-70
α_1 , град	29-33	H_{B_1} , % от H_B	50-55

Рис. 4.12. Новые формы огранки изумрудов и бриллиантов

Радиянт Ра-65

Параметры бриллианта				Общий вид бриллианта	
Группа	А				
$n=A/B$	1.06-1.50				
bp, %	60-80	α_2 , град	38-44		
hr, %	1.0-3.0	β , град	50-60		
Cт, %	20-25	β_1 , град	39-42		
α_1 , град	44-48	φ , град	40-50		

Сердце Се-57

Параметры бриллианта				Общий вид бриллианта	
Группа	А				
$n=A/B$	0.90-1.20				
bp, %	50-65	α , град	30-36		
hr, %	1.0-3.0	β , град	39-43		

Триллиант Т-52

Параметры бриллианта				Общий вид бриллианта	
Группа	А				
$n=A/B$	1.00-1.10				
bp, %	60-70	Нкв, % от Нв	50-55		
hr, %	1.0-5.0	Нкн, % от Нн	80-90		
α , град	30-34	φ , град	2-4		
β , град	40-42	Cт, %	12-16		

Рис. 4.13. Новые формы огранки изумрудов и бриллиантов

Природные изумруды часто имеют микротрещины, поэтому их огранка является очень сложным, трудоемким и дорогостоящим процессом. Микротрещины порядка не видны невооруженным глазом, но заметны при увеличении $\times 40$. Микротрещины II порядка видны невооруженным взглядом.

Багет прямоугольный Бп-33

Параметры бриллианта				Общий вид бриллианта	
Группа	А				
$n=A/B$	от 1.40				
bp, %	50-70	β , град	50-60		
hr, %	1.0-3.0	β_1 , град	39-42		
α , град	35-45	β_2 , град	33-36		
α_1 , град	33-37	β_3 , град	20-30		
α_2 , град	18-30				

Багет трапецевидный Бт-25

Параметры бриллианта				Общий вид бриллианта	
Группа	А				
$n=A/B$	от 1.40				
bp, %	50-70	β , град	45-55		
hr, %	1.0-3.0	β_1 , град	39-43		
α , град	35-45	β_2 , град	34-38		
α_1 , град	18-30				

Маркиз М-55

Параметры бриллианта					Общий вид бриллианта	
Группа	А			Б		
$n=A/B$	от 1.4					
Масса, карат	до 0.49	0.50-0.99	от 1.00	от 0.10		
bp, %	55-65	55-65	55-65	55-65		
hr, %	1.5-3.0	0.7-2.5	0.7-2.5	0.7-3.0		
α , град	30-35	30-35	30-36	30-36		
β , град	39-42	39-42	39-42	39-42		

Рис. 4.14. Новые формы огранки изумрудов и бриллиантов

В синтетических изумрудах и камнях существенным недостатком является неоднородность их окраски. Это явление объясняется тем,

что в процессе роста кристаллов имеет место селективный характер вхождения примесей в кристаллы [105].

Груша Г-56					
Параметры бриллианта				Общий вид бриллианта	
Группа	А		Б		
$n=A/B$	1.25-1.80				
Масса, карат	до 0.49	0.50-0.99	от 1.00		от 0.10
$br, \%$	55-65	55-65	55-65		55-65
$hr, \%$	1.5-3.0	0.7-2.5	0.7-2.5		0.7-3.0
$\alpha, \text{град}$	30-35	30-35	30-36		30-36
$\beta, \text{град}$	39-42	39-42	39-42	39-42	

Овал Ов-57					
Параметры бриллианта				Общий вид бриллианта	
Группа	А		Б		
$n=A/B$	1.20-1.80				
Масса, карат	до 0.49	0.50-0.99	от 1.00		от 0.10
$br, \%$	55-65	55-65	55-65		55-65
$hr, \%$	1.5-3.0	0.7-2.5	0.7-2.5		0.7-3.0
$\alpha, \text{град}$	30-35	30-35	30-36		30-36
$\beta, \text{град}$	39-42	39-42	39-42	39-42	

Рис. 4.15. Новые формы огранки изумрудов и бриллиантов

В отношении свойств и характеристик искусственных изумрудов, получаемых методом литья, информация ограничена описаниями к патентам и формулам изобретений на составы смесей для литья в кокиль.

4.7.3. Патенты на составы сырьевых смесей и литье искусственных изумрудов

Известна сырьевая смесь для получения искусственного изумруда, включающая, вес. ч.: 36 горного хрусталя, 12 соды, 7 1/2 буры, 2 1/2 селитры, 1/10 углекислого кобальта, 2/3 углекислого хрома. Такая сырьевая смесь не является экологически безопасной, поскольку содержит компонент — свинцовый глет.

Задача изобретения [77] состоит в получении экологически безопасной сырьевой смеси для изготовления искусственного изумруда.

Технический результат достигается тем, что сырьевая смесь для получения искусственного изумруда, включающая соду, углекислый кобальт, углекислый хром, дополнительно содержит бой хрустального стекла, при следующем соотношении компонентов, вес. ч.: бой хрустального стекла 89,1–91,2; сода 8–10; углекислый кобальт 0,05–0,1; углекислый хром 0,75–0,8.

Для получения искусственного изумруда могут быть использованы составы сырьевой смеси, приведенные в таблице 4.30

Таблица 4.30

Состав сырьевых смесей для изготовления искусственного изумруда

Компоненты	Содержание, вес. ч. в состава		
	Бой хрустального стекла	91,2	90,2
Сода	8	9	10
Углекислый кобальт	0,05	0,05	0,1
Углекислый хром	0,75	0,75	0,8

Для изготовления шихты используют бой хрустального стекла, характеризующегося следующим химическим составом, мас. %: SiO_2 61,5–63,0; V_2O_3 1,0; Al_2O_3 0,5; CaO 0,5–1,0; ZnO 1,0; K_2O 14,5–16,5; Na_2O 2; PbO 1,0; SO_3 0,5.

Бой хрустального стекла промывают от загрязнений и измельчают до порошкообразного состояния с последующим просеиванием через сетку 014. Компоненты дозируют в требуемых количествах и смешивают. Полученную смесь сплавляют в тигле при температуре 950–1000 °С. При сплавлении компонентов предложенной смеси не происходит интенсивного выделения соединений свинца и бора, как при использовании смеси, содержащей свинцовый глет и буру. Расплав заливают в металлические формы. Полученные отливки отжигают, после чего шлифуют, полируют. Полученные искусственные изумруды имеют зеленый цвет, стеклянный блеск.

Патентуемый состав смеси (формула изобретения).

Сырьевая смесь для получения искусственного изумруда, включающая соду, углекислый кобальт, углекислый хром, отличающаяся тем, что дополнительно содержит бой хрустального стекла при следующем соотношении компонентов, вес. ч.: бой хрустального стекла 89,1–91,2; сода 8–10; углекислый кобальт 0,05–0,1; углекислый хром 0,75–0,8.

Известна сырьевая смесь для получения искусственного изумруда, включающая, вес. ч.: зеленое тарное стекло 56–62; свинцовый глет 2–3; соду 11–13; селитру 1–3; углекислый хром 1/3 — 2/3 (RV 2366 623, 2009).

Задача изобретения [108] состоит в упрощении технологии получения искусственного изумруда.

Технический результат достигается тем, что сырьевая смесь для получения искусственного изумруда, включающая зеленое тарное стекло, свинцовый глет, углекислый хром, дополнительно содержит окись меди при следующем соотношении компонентов, вес. ч.: зеленое тарное стекло 84,5–89,5; свинцовый глет 10–15; углекислый хром 0,2–0,3; окись меди 0,2–0,3.

Для получения искусственного изумруда могут быть использованы составы сырьевой смеси, приведенные в таблице 4.31.

Таблица 4.31

Состав сырьевых смесей для изготовления искусственного изумруда

Компоненты	Содержание, вес. ч. в составах		
Зеленое тарное стекло	89,5	87,5	84,5
Свинцовый глет	10	12	15
Углекислый хром	0,3	0,25	0,2
Окись меди	0,2	0,25	0,3

Зеленое тарное стекло промывают от загрязнений и измельчают до порошкообразного состояния с последующим просеиванием через сетку 014. Порошки свинцового глета, углекислого хрома и окиси меди смешивают с измельченным стеклом и сплавляют в тигле при температуре 950–1000 °С. Расплав заливают в металлические формы. Полученные отливки отжигают, после чего шлифуют, полируют. Полученные заготовки имеют насыщенный зеленый цвет и по внешнему виду напоминают изумруд.

Патентуемый состав смеси (формула изобретения).

Сырьевая смесь для получения искусственного изумруда, включающая зеленое тарное стекло, свинцовый глет, углекислый хром, отличающаяся тем, что дополнительно содержит окись меди при следующем соотношении компонентов, вес. ч.: зеленое тарное стекло 84,5–89,5; свинцовый глет 10–15; углекислый хром 0,2–0,3; окись меди 0,2–0,3.

Известна сырьевая смесь для получения искусственного изумруда, включающая, вес. ч.: 36 горного хрусталя; 12 соды, 7 1/2 буры, 7 1/2 сурика, 2 1/2 селитры, 1/10 углекислого кобальта, 2/3 углекисло-

го хрома. Состав этой смеси требует высокой температуры для сплавления компонентов.

Задача изобретения [109]) состоит в снижении температуры сплавления компонентов сырьевой смеси.

Технический результат достигается тем, что сырьевая смесь для получения искусственного изумруда включает соду, буру, селитру, углекислый хром. Дополнительно содержит зеленое тарное стекло и свинцовый глет при следующем соотношении компонентов, вес. ч.: зеленое тарное стекло 56–62 свинцовый глет 2–3; сода 11–13; бура 7–8; селитра 1–3; углекислый хром 1/3 — 2/3.

В табл. 4.32 приведены составы испытанных сырьевых смесей.

Таблица 4.32

Составы сырьевых смесей для изготовления искусственного изумруда

Компоненты	Содержание, вес. ч. в составе		
	56	59	62
Зеленое тарное стекло	56	59	62
Свинцовый глет	2	2 1/2	3
Сода	11	12	13
Бура	8	7 1/2	7
Селитра	1	2	3
Углекислый хром	1/3	2/3	1/3

Зеленое тарное стекло промывают от загрязнений и измельчают до порошкообразного состояния с последующим просеиванием через сетку 014. Компоненты дозируют в требуемых количествах. Например, берут 560 г измельченного зеленого тарного стекла, 20 г свинцового глета, 110 г соды, 80 г буры, 10 г селитры, 3,33 г углекислого хрома и смешивают. Полученную смесь сплавляют в тигле при температуре 970–1000 °С.

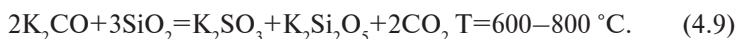
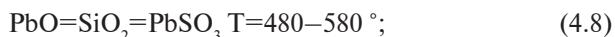
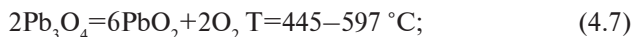
Расплав заливают в металлические формы. Полученные отливки отжигают, после чего шлифуют, полируют. Полученные искусственные изумруды имеют насыщенный зеленый цвет и характерный для минерала блеск.

Патентуемый состав смеси (формула изобретения).

Сырьевая смесь для получения искусственного изумруда, включающая соду, буру, селитру, углекислый хром, отличающаяся тем, что дополнительно содержит зеленое тарное стекло и свинцовый глет при следующем соотношении компонентов, вес. ч.: зеленое тарное стекло 56–62; свинцовый глет 2–3; сода 11–13; бура 7–8; углекислый хром 1/3–2/3, селитра 1–3.

Как следует из описания к патентам [77; 108; 109], их цветовой дизайн оценивался только визуально, без использования приборов, позволяющих определить коэффициент преломления, двулучеспущения, цветовой тон литого изумруда и сопоставить полученные результаты с аналогичными показателями природных либо синтетических изумрудов (рис. 4.9, табл. 4.28).

Хрустальное стекло для изготовления бытовых изделий (вазы, бокалы и др.) приготавливают из шихты, основными материалами которой являются кварцевый песок, поташ и свинцовый сурик [110]. Реакция силикатообразования осуществляется в следующем порядке [111]. Около формул указана температура реакции:



Хрустальное стекло имеет следующий состав (мас. ч.): SiO_2 56, K_2O 11, Pb_3O_4 33. Температура при выдувании художественного стекла 750–1100 °С, вязкость $5 \cdot 10^3\text{--}5 \cdot 10^7$ П [114].

Плавление измельченного и просеянного боя хрусталя при литье имеют следующие преимущества: снижение стоимости шихты; резко сокращается процесс стеклообразования, который при первичном изготовлении хрусталя (либо иного стекла) занимает 80 % времени варки стекломассы; температура сплавления просеянного боя составляет 970–1000 °С. Это позволяет использовать температуры заливки стекломассы в кокиль ≤ 1200 °С. Заготовки имеют простую форму, например, цилиндров или прямоугольной призмы. После термической обработки для снятия внутренних напряжений их разрезают (либо раскалывают) на части, близкие по размерам к изделиям для огранки ювелирных камней и получения вставки в кольца или серьги либо для изготовления кулонов, брошей и др. Поэтому научный и практический интерес представляет изучение возможности литья и достижение соответствия цветового дизайна искусственных изумрудов, приготовленных на основе просеянного боя хрустального стекла с плавнями и красителем в металлические и гипсовые формы. Для исключения взаимодействия расплава стекла с материалом формы предлагается использовать защитное покрытие из графита. Такой способ литья

и формообразования позволит получить литые заготовки из стекла, максимально приближенные по размерам и форме, необходимой для огранки (рис. 4.12–4.15).

Для определения соответствия коэффициента преломления и цвета образцов из искусственного изумруда и соответствия их природному изумруду (табл. 4.28, рис. 4.9) рассмотрим современные методы оценивания изделий из цветного стекла с использованием специальных устройств.

4.7.4. Методика определения показателей преломления и цветности изделий из стекла

Определение показателя преломления стекла можно выполнять различными методами.

Рассмотрим основы теории проведения измерений с помощью микроскопа [113].

Пусть из некоторой точки S , находящейся под стеклянной плоскопараллельной пластинкой толщиной d , идет узкий световой пучок расходящихся лучей (рис. 4.16).

Ход лучей, падающих на поверхность CC_1 под углом α . В точках B луч переходит из стекла в воздух. Направление луча изменяется в соответствии с законом преломления Снеллиуса

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \beta} = n_{21}, \quad (4.10)$$

где α — угол падения, β — угол преломления, n_{21} — относительный показатель преломления второй среды 2 (среды преломленного луча) относительно первой среды 1 (среды падающего луча);

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (4.11)$$

где n_1 и n_2 — абсолютные показателя преломления сред 1 и 2 соответственно, т. е. показатели преломления этих сред относительно вакуума.

Второй средой в данном случае является воздух, абсолютный показатель преломления воздуха очень мало отличается от показателя преломления вакуума и в данной работе абсолютный показатель преломления воздуха n_2 можно принять за единицу. Первой средой является стекло, его абсолютный показатель преломления n_1 обозначим через n . Тогда, согласно формуле (4.10):

Для малых углов α и β (а только такие лучи от точки S попадают в объектив микроскопа) отношение тангенсов углов можно заменить отношением синусов:

$$\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{d}{d-\alpha}.$$

Отсюда с учетом формулы (4.11) получаем:

$$n = \frac{d}{d-\alpha}. \quad (4.15)$$

Толщину d стеклянной пластинки измеряют микрометром. Расстояние a или $(d-a)$ можно измерить с помощью микроскопа (рис. 4.17).

Оптическая система микроскопа состоит из двух линз: объектива и окуляра.

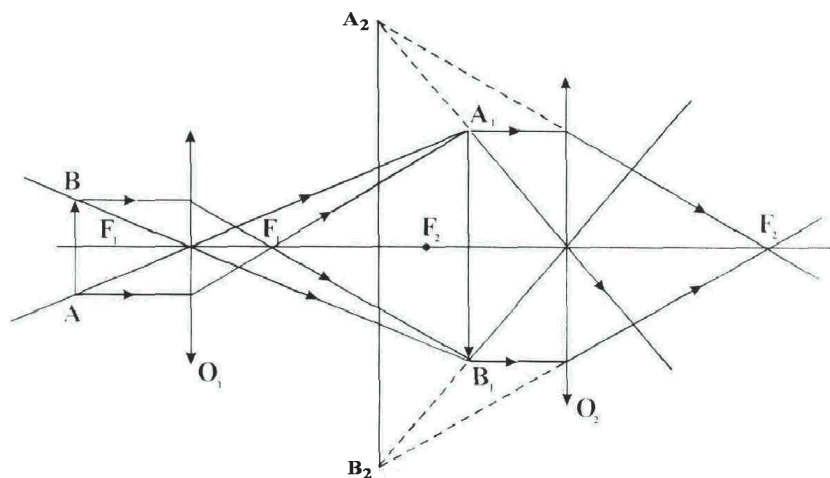


Рис. 4.17. Ход лучей в микроскопе

Обе линзы заключены в металлическую трубку-тубус. Объектив O₁ является короткофокусной линзой, а окуляр O₂ длиннофокусной. Рассматриваемый предмет АВ помещается перед объективом на расстоянии чуть большем его фокусного расстояния. Объектив O₁ даёт действительное увеличенное изображение A₁B₁ предмета, которое, в свою очередь, является предметом для окуляра O₂. Окуляр распо-

ложен на таком расстоянии, чтобы изображение A_1B_1 попало между окуляром и его главным фокусом.

Изображение A_2B_2 , даваемое окуляром, будет мнимым, обратным относительно предмета и увеличенным. Наблюдатель перемещает тубус микроскопа с помощью микрометрического винта до тех пор, пока мнимое изображение A_2B_2 не окажется от глаза на расстоянии наилучшего зрения.

Порядок выполнения измерений

1. Поместить на предметный столик микроскопа прозрачную стеклянную плоскопараллельную пластинку с черной точкой на её поверхности.

2. Включить осветительную лампочку и установить её так, чтобы свет от нее падал на зеркальце микроскопа, помещенное под предметным столиком.

3. Поворачивая зеркальце, добиться хорошего освещения стеклянной пластинки на предметном столике микроскопа.

4. Глядя в окуляр микроскопа и пользуясь микрометрическим винтом, установить тубус микроскопа так, чтобы черная точка была отчетливо видна. Записать в таблицу испытаний отсчет N_1 по шкале микрометрического винта, соответствующий положению тубуса микроскопа в данный момент.

5. На пластинку с черной точкой положить стеклянную пластинку, показатель преломления которой является объектом испытания.

6. С помощью микрометрического винта поднимать тубус микроскопа до тех пор, пока черная точка не станет снова отчетливо видна. При подъеме тубуса сосчитать количество оборотов головки микрометрического винта.

Разность отсчетов N_1 и N_2 определяет кажущееся поднятие точки, т. е. величину a (рис. 4.13)

$$a = N_1 - N_2 \quad (4.16)$$

Опыт повторяется не менее 3 раз, толщину стеклянной пластины измеряют микрометром.

Для точного определения цвета и его количественной характеристики Международной комиссией по освещению (МКО, в международном обозначении — CIE) приняты различные цветовые пространства (цветовые шкалы) и методы расчета в них цветовых координат [114].

Наиболее широко используемым остается принятое в 1931 году пространство XYZ. Оно представлено мнимыми цветами, близкими красному, зеленому и синему.

В этом колориметрическом пространстве каждый цвет представлен точкой с тремя координатами: X Y Z. Координаты цвета X Y Z рассчитываются по формулам, в которых учитываются спектральные характеристики (пропускание или отражение) образца, спектральная плотность излучения стандартного источника света, удельные координаты цвета для стандартного колориметрического наблюдателя МКО (функции сложения цветов) и ширина интервала длин волн. Указанные функции количественно определяют чувствительность конических рецепторов среднего наблюдателя к красному, зеленому и синему цвету. Они установлены экспериментально для угла обзора 2° и угла обзора 10°. В качестве источника света могут применяться источники нескольких типов, воспроизводящие различные условия освещения:

– тип А (T=2856 К) — искусственного электрическими лампами накаливания;

– тип В (T=4874 К) — прямого солнечного;

– тип С (T= 6774 К) — рассеянным дневным светом;

– тип Д65 (6504 К) — усредненным дневным светом. Для случая использования украшений и, в частности, из изумруда, источники типа С или Д65 являются более предпочтительными.

Расчетная колориметрическая система X Y Z построена так, что только одна координата Y определяет количественную характеристику цвета — яркость (или светлоту). При этом координата цвета Y численно совпадает с коэффициентом пропускания или отражения света образца, цвет которого определяется.

Для качественной характеристикой цвета применяются так называемые координаты цветности x, y, z, которые являются относительными характеристиками и равны, соответственно:

$$x=X/(X+Y+Z); y=Y/(X+Y+Z); z=Z/(X+Y+Z).$$

Поскольку $x + y + z = 1$, то для определения цветности объектов достаточно двумерного пространства. Объекты с одинаковыми x, y, но разными Y характеризуются одинаковой цветностью, но различной яркостью, и, наоборот, объекты с разными x, y, но одинаковыми Y будут одинаковы по яркости и разными по цветности. В качестве примера одинаковых по цветности, но с различной яркостью объектов могут служить стекла одного и того же состава, но разной толщины.

Так обычное прозрачное листовое стекло толщиной 4 мм характеризуется параметрами цветности $x = 0,312$ и $y = 0,33$ и координатой цвета Y (светопропускание) $= 90$, а такое же стекло толщиной 2 мм при тех же координатах цветности имеет координату цвета $Y = 91$ (расчет для Д 65,2°). Для 3 мм $Y = 90,5$.

Следует отметить, что поскольку характеристики пропускания и отражения стекла (как и любого другого материала) различны, то и цвет одного и того же образца, воспринимаемый «на просвет» и в отраженном варианте, будет разным. Поэтому разными будут и значения координат цвета, рассчитанные по спектру пропускания и по спектру отражения этого образца.

В качестве примера можно привести параметры стекла с отражающим покрытием (зелёное, классик) (табл. 4.33) [114].

Естественно, что сравнивать и контролировать объекты по цвету можно только по цветовым характеристикам, рассчитанным либо только по пропусканию, либо только по отражению с соответствующей стороны. При этом расчеты также должны быть произведены для одинаковых источников света и одинаковых углов обзора. Это касается и цветовых параметров, полученных непосредственно с помощью колориметров, конструкция которых также предусматривает регистрацию либо прошедшего через образец излучения, либо излучения, отраженного от образца.

Таблица 4.33

Колориметрические параметры (для Д 65,2°)

	По отражению со стороны пленки	По отражению со стороны стекла	По пропусканию
X	30,16	17,63	32,39
Y	32,38	20,47	34,66
Z	62,53	20,16	33,40
x	0,24	0,30	0,32
y	0,26	0,35	0,34

Поскольку из самих значений X Y Z трудно понять цвет объекта, МКО (CIE) были разработаны другие цветовые более однородные (линейные) шкалы, чтобы приблизиться к тому, как мы сами воспринимаем цвет, упростить понимание и улучшить передачу цветовых различий.

Наиболее популярным цветовым пространством для измерения цвета объекта и широко применяемых в различных областях является

сы цветовое пространство $L^*a^*b^*$ (обозначаемое также как CIE Lab), принятое CIE в 1976 году. Оно обеспечивает процедуру единообразной оценки цветовых различий в соответствии с визуальными различиями и, более того, позволяет количественно определить цвет.

Эта колориметрическая система представляет собой трехмерное цветовое пространство, каждый цвет в котором представлен точкой с тремя координатами: L^* , a^* и b^* , где L^* указывает светлоту, a^* и b^* — хроматические координаты. Положительные значения a^* указывают на преобладание красного, а отрицательные — на преобладание зеленой составляющей, тогда как положительные значения b^* указывают на преобладание желтой, а отрицательные — синей составляющей. Центр является ахроматичным (т. е. нейтральным).

Координаты цвета в системе $L^*a^*b^*$ рассчитывают исходя из значений координат системы XYZ. Вот как выглядят в этой системе цветовые параметры стекла с покрытием, для которого выше приводились данные в системе XYZ (табл. 4.34). Здесь соответствующие величины приведены и для разных источников света.

Таблица 4.34

Координаты цвета в системе $L^*a^*b^*$ стекла с отражающим покрытием

а) источник Д 65,2°

	По отражению со стороны пленки	По отражению со стороны стекла	По пропусканию
L^*	63,66	52,36	65,48
a^*	-2,3	-9,52	1,97
b^*	3,75	3,88	5,61

б) источник С 2°

	По отражению со стороны пленки	По отражению со стороны стекла	По пропусканию
L^*	63,65	52,32	65,48
a^*	-2,34	-9,46	-2,15
b^*	3,69	3,86	5,59

в) источник А 2°

	По отражению со стороны пленки	По отражению со стороны стекла	По пропусканию
L^*	63,65	51,61	65,69
a^*	-1,32	-8,98	-1,35
b^*	3,33	1,71	5,45

Из таблицы 4.34 следует, что если по светлоте (L^*) различия не столь велики, то по другим параметрам (a^* и b^*) они весьма значительны. Поскольку цвет объектов в этой системе представлен более наглядно, приведем цветовые координаты в ней стекла с покрытием, параметры которого в системе XYZ были даны выше, в графическом варианте в двумерном пространстве a^*b^* , т. к. различия по светлоте не столь существенны. Приведенные примеры показывают, как важно, чтобы цветовые параметры исходных материалов задавались с учетом того, как эти материалы будут наблюдаться при их использовании на практике: на просвет, на отражение, при каком освещении преимущественно.

Цветовая разница объектов (или ее отсутствие) как в системе XYZ, так и в системе $L^*a^*b^*$ количественно определяется по разности величин соответствующих параметров ΔX , ΔY , ΔZ или ΔL^* , Δa^* , Δb^* :

$$\begin{aligned}\Delta X &= X_{\text{объект2}} - X_{\text{объект1}} \quad \Delta L^* = L^*_{\text{объект2}} - L^*_{\text{объект1}}; \\ \Delta Y &= Y_{\text{объект2}} - Y_{\text{объект1}} \quad \Delta a^* = a^*_{\text{объект2}} - a^*_{\text{объект1}}; \\ \Delta Z &= Z_{\text{объект2}} - Z_{\text{объект1}} \quad \Delta b^* = b^*_{\text{объект2}} - b^*_{\text{объект1}}.\end{aligned}$$

В области колориметрических измерений в системе $L^*a^*b^*$ иногда также принято [114] указывать величину общей цветовой разницы ΔE^* , представляющую собой среднее квадратичное отклонение значений ΔL^* , Δa^* и Δb^* :

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}. \quad (4.17)$$

Но этот параметр не всегда является абсолютным критерием цветовых различий. Например, образец 1 имеет по отношению к эталону разности параметров (дельты): $\Delta L^* = 0,57$; $\Delta a^* = 0,57$; $\Delta b^* = 0,57$ и визуально хорошо с ним согласуется, а образец 2 от эталона визуально существенно отличается (менее зеленый) и характеризуется следующими дельтами: $\Delta L^* = 0,0$; $\Delta a^* = 1,0$; $\Delta b^* = 0,0$; т. е. для него все различия связаны параметром a^* . Тем не менее оба образца имеют одинаковое значение ΔE_{ab}^* .

$$1 - \Delta E_{ab}^* = [(0,57)^2 + (0,57)^2 + (0,57)^2]^{1/2} = 1;$$

$$2 - \Delta E_{ab}^* = [(0,0)^2 + (1,0)^2 + (0,0)^2]^{1/2} = 1.$$

Поэтому применение параметра ΔE_{ab}^* как единственного критерия возможно не всегда. Для большей надежности помимо него следует учитывать величины самих координат L^* , a^* , b^* . Выбор критерия

зависит от вида продукции и требований к ней и определяется производителем (индивидуально). Так, европейская ассоциация производителей листового стекла (GERVP) считает, что параметр ΔE_{ab}^* не достаточно точно отражает цветовые различия и в требованиях к допустимым цветовым различиям ограничивается только предельными величинами ΔL^* , Δa^* и Δb^* . В то же время в американском стандарте ASTM standard C 1376—03 для стекол с покрытием для оценки цветовых различий используется именно параметр ΔE_{ab} .

Хотя система L^* , a^* , b^* более «наглядна», ее применение предусматривает сначала расчет X , Y , Z и последующий пересчет из них параметров L^* , a^* , b^* соответственно. Поэтому целесообразно использовать колориметры, выдающие результаты сразу в L^* , a^* , b^* координатах.

Величины предельно допустимых расхождений, выбранных в качестве критерия параметров образца и параметров эталона, задаются исходя из предварительной специальной визуальной оценки цвета образцов и эталона для каждого вида оттенков изумруда (рис. 4.9). Для точных и правильных колориметрических измерений и расчетов необходимо оперировать в едином цветовом пространстве, с единым стандартным типом источника излучения. Значения $\Delta\lambda$ составляют обычно 5 или 10 нм в зависимости от требуемой точности измерений и вида спектральной характеристики образца. При наличии избирательных полос в спектральной кривой точность особенно зависит от величины $\Delta\lambda$, и чем она меньше, тем выше точность.

ВЫВОДЫ

1. Сплавы для литья ювелирных изделий можно разделить на две группы: сплавы на основе драгоценных металлов (золота, серебра, платины и др.); сплавы на основе цветных металлов, например, меди, имитирующие цветовой дизайн изделий на основе драгоценных металлов.
2. Сплавы на основе меди, имитирующие цвет и насыщенность тона некоторых ювелирных сплавов на основе золота, в качестве легирующих металлов содержат, например, Sn либо Zn или Al, а также другие металлы, улучшающие технологические свойства сплава при литье или механической обработке шлифованием, либо эксплуатации изделия в качестве украшения.

3. Стандартный сплав на основе меди с содержанием Sn, например, 10 %, имеет жидкотекучесть ~ 450 мм и коррозионную стойкость, например, в морской воде 0,01 г/м²ч; сплав на основе меди с содержанием Zn, например, 10 % имеет жидкотекучесть ~ 800 мм и коррозионную стойкость 0,068 г/м²ч.
4. Для повышения коррозионной стойкости и достижения цветового дизайна ювелирного изделия из сплава на медной основе, соответствующего цветовому тону золота 750°, перспективны: сплав (% мас.): Zn 20–22; Mn 1,5–2,5; Sn 3,0–5,0; Al 0,5–1,0; Cu — все остальное; применение бесцветного защитного покрытия, например, получаемого анодной обработкой изделия.
5. Предлагается установить термо-временные параметры литья в вытряхной кокиль и возможность литья в гипсовую форму с покрытием из графита фасонных заготовок для получения искусственного изумруда с использованием сырьевой смеси, включающей (% мас.): отсеянный порошок боя хрустального стекла 88–84; соду 6–8; буру 5–6; оксид хрома 0,6–1,2; оксид меди 0,4–0,8.
6. Для достижения соответствия цветового дизайна литых искусственных изумрудов из хрустального стекла природному изумруду необходимо использовать количественные методы оценивания их цветовых и оптических характеристик, а также метод сравнения с эталонами цветового дизайна природного изумруда.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ И 3D-ПЕЧАТЬ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

5.1. ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТЫХ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Дизайн-проектирование объектов — это художественно-техническая деятельность по разработке внешнего вида объекта, его структурных и функциональных особенностей с учетом требований эстетики, эргономики и технологии изготовления объекта [2]. В дизайн-проектировании литых ювелирных изделий используются общие подходы, но с учетом специфики проектирования объекта в виде украшения, для которого определяющей характеристикой является художественная выразительность.

В производстве изделий технического назначения проектирование начинается после проведения маркетинга рынка, анализа новых технических решений и недостатков серийного образца и включает: техническое предложение, эскизный проект, технический проект и разработку технической документации [2; 10]. Работа над дизайном является частью эскизного и технического проекта. Проектирование в ювелирном производстве также начинается после изучения данных о конъюнктуре рынка и генерации идеи нового или модернизируемого художественного образа украшения. Затем следуют этапы концептуальной проработки реализации идеи в виде набросков и эскизов в черно-белом и цветном исполнении. Идея может быть предложена дизайнером или художником, однако возможность ее практического исполнения обусловлена техническими и экономическими возможностями предприятия. Из группы эскизов выбирается лучший. Ювелир-модельер или дизайнер с использованием устройства 3D-моделирования и специальной программы прорисовывает трехмерную модель будущего изделия. На ней отрабатываются форма, элементы декорирования, цвет, компоновка съемных элементов на изделии [115].

Изготавливается макет украшения, на котором уточняются его эстетические, эргономические характеристики и возможности ис-

полнения изделия определенными технологиями: литьевой — для основы изделия, например, кольца; механической — для выполнения шлифовки и полировки; установки и закрепления ювелирного камня; химической — для нанесения покрытия и др. При наличии у предприятия 3D-принтера выполняется прототипирование модели в виде полноразмерного прототипа украшения. Современные 3D-принтеры позволяют выполнять эту операцию непосредственно с эскиза (рисунка) из воскоподобных материалов или пластиков. В процессе проектирования наиболее сложной творческой задачей является выбор идеи для реализации нового художественного образа ювелирного изделия и концептуального решения по реализации ее на оборудовании и по технологиям, имеющимся на предприятии, либо новыми технологиям. Источниками возникновения идеи являются талант дизайнера, результаты анализа спроса и предложений на рынке, а также использование новых технических решений из патентной информации на изобретения, полезные модели и промышленные образцы.

Изобретения на способы, конструкции и материалы выявляют в процессе патентного поиска и используют как в ювелирном производстве, так и в смежных областях (огранка камней, технологии нанесения покрытий и др.).

Проследим развитие идей и концептуальных подходов к дизайну на примере современных диссертационных исследований и некоторых патентуемых технических решений.

В работе [116] при разработке нового дизайна для технологии литья в гипсовые формы по выплавляемым моделям в качестве основы моделей предложено использовать природные растительные материалы: листья, цветы, соцветия. Для решения поставленной цели решались следующие задачи: изучить современные приемы дизайна и технологии создания изделий с флористическим сюжетом; разработать дизайн и технологию литья изделия на основе модели в виде цветов и листьев; изготовить по специально подготовленным природным моделям (нанесение покрытия из воска, лака) экспериментальных образцов с предлагаемым дизайном в виде сувенирной продукции (рис. 5.1) и кольца из серебра 925° пробы.

Для повышения коррозионной стойкости серебряного кольца предлагаемая технология предусматривала его оксидирование. Это одновременно позволяло придавать изделию более высокий уровень контрастности с растительным элементом кольца.

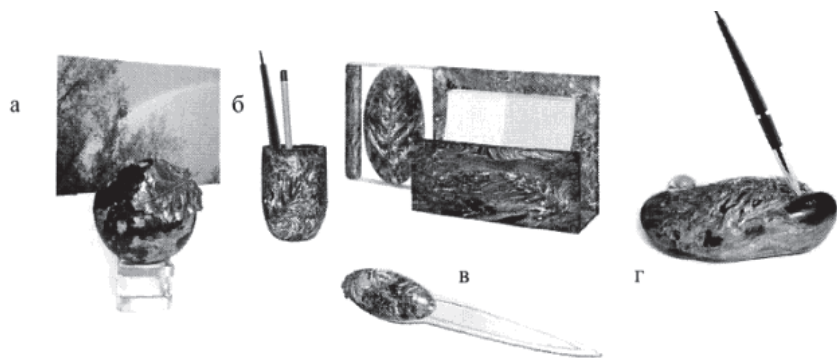


Рис. 5.1. Дизайн сувенирной продукции с элементами флористики: а — подставка под фотографию; б — письменный набор; в — закладка для книг; г — подставка для ручки [116]

В исследовании [117] в качестве концепции предложено использовать в ювелирных изделиях природные формы алмазного сырья в том числе с дефектами, пригодного для обработки волновым методом. Для этого сырье классифицировали: по размерам, формам и степени их искажения; видам поверхности естественных граней; по видам дефектов; цвету.

В исследовании [118] для улучшения дизайна предложено взамен сплава на основе серебра (Ag 92,5 %, Cu 7,4 %) использовать сплав на основе меди (Ni 14,2 %, Zn до 8 %, Cu остальное).

Дизайнерский подход [118] кроме изготовления ювелирного изделия сплава на основе меди, имитирующего сплав на основе серебра, включает: использование двух типов проволок — гладкой и скрученной — с целью придания изделию более высокой декоративности; подбор к изделию ювелирно-поделочного минерала в виде нефрита соответственно цветовой характеристике сплава (нейзильбер).

На кафедре инженерной графики и технического дизайна в Одесской национальной академии пищевых технологий на основании изучения конъюнктуры рынка ювелирных изделий в Украине [119] и патентной информации разрабатываются идея и концептуальный подход ее реализации методом литья изделий с использованием экономичных формовочных смесей и литейных сплавов. С этой целью и для удовлетворения потенциального спроса на ювелирные изделия из золота и драгоценных камней в Украине, которые в период кризиса стали большинству населения недоступны, предлагается:

— использовать изделия из сплавов на основе меди, позволяющие имитировать цвет и насыщенность тона ювелирного золота заданной пробы и обладающие повышенной стойкостью к потускнению (коррозии) в период эксплуатации изделия;

— применять в изделиях ювелирные камни, выполненные методом литья в вытряхные в металлические или гипсовые формы с графитовым покрытием из шихты на основе боя хрустального стекла с добавками, например, имитирующие дизайн камней из природного изумруда по цвету, тону и показателю светового преломления;

— разработать экономичную формовочную смесь взамен импортной с равноценными техническими и технологическими характеристиками.

В отличие от литья в кокиль массивных заготовок из стекла технология литья в гипсовую форму с графитовым покрытием потенциально позволяет изготавливать заготовки, максимально приближенные к изделию, разнообразить их форму. Например, имитировать в литых ювелирных камнях из искусственного изумруда кристаллические формы природных минералов (рис. 5.2) [120].

5.2. ПРИМЕРЫ ПАТЕНТУЕМЫХ ИЗОБРЕТЕНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ДИЗАЙНА ЛИТЫХ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Изобретение [121] относится к ювелирным изделиям, в частности к носимым на пальцах перстням или кольцам, имеющим встроенные подвижные декоративные элементы. Оно может также использоваться для ношения в качестве брошей, клипс и других украшений.

Известны ювелирные изделия с подвижными декоративными элементами, перемещающимися, преимущественно вращающимися под воздействием специальных приводов.

В конструкции, представленной патентом DE № 2933309 от 1981 г., несколько подвижных элементов вращаются с разными угловыми скоростями путем использования микродвигателя и редуктора, выполненного в виде набора шестеренчатых передач. В патенте RU № 94032565 от 1994 г. предложена конструкция редукционно-распределительной системы привода в ювелирном изделии, содержащая миниатюрный подшипник качения, у которого вращающиеся с разными скоростями кольцеобразные детали являются базами для размещения на них декоративных элементов.

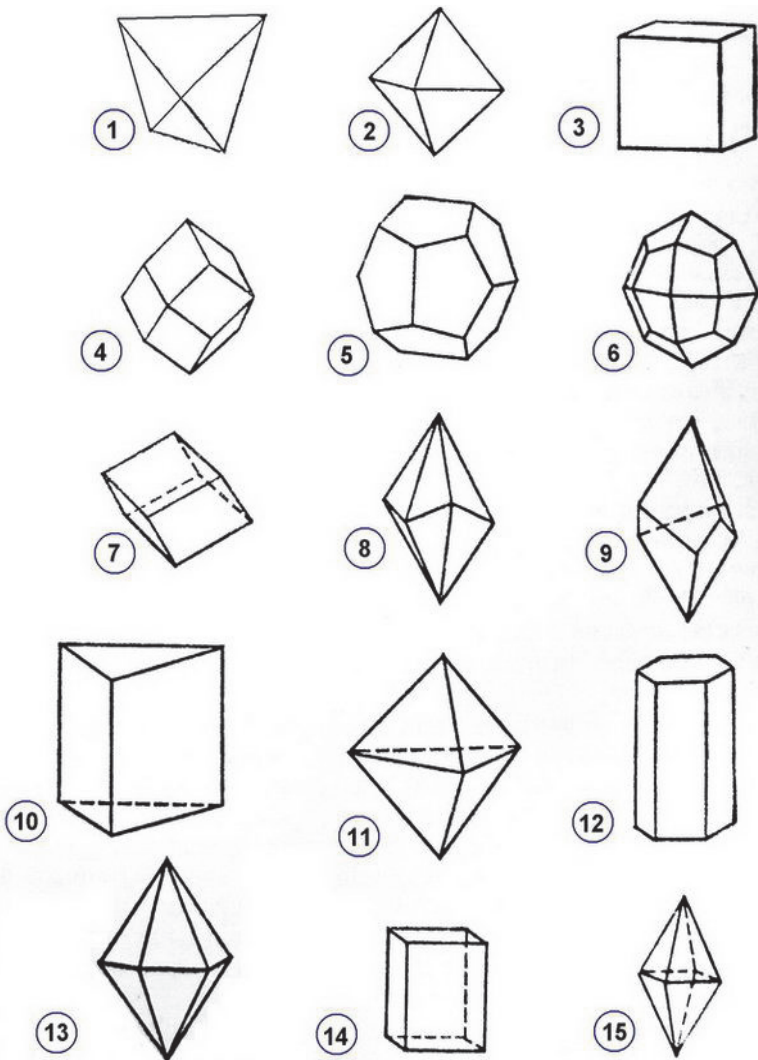


Рис. 5.2. Кристаллические формы природных минералов: 1 — тетраэдр, 2 — октаэдр, 3 — куб, 4 — ромбоэктаэдр, 5 — пентагондекаэдр, 6 — тетрагонтриоктаэдр, 7 — ромбоэдр, 8 — скамноэдр, 9 — трапецоэдр, 10 — трехгранная призма, 11 — трехгранная бипирамида, 12 — шестигранная призма, 13 — шестигранная бипирамида, 14 — четырехгранная призма, 15 — четырехгранная бипирамида

Известно также ювелирное изделие с приводом подвижных декоративных элементов на базе механизма наручных часов с использованием анкерного механизма для обеспечения равномерности и продолжительности хода.

Общим недостатком ювелирных изделий с подвижными декоративными элементами, для перемещения которых используется специальный привод, является жесткая предопределенность перемещения декоративных элементов и соответственно определенная механистичность общего облика изделия. Между тем, во многих случаях целесообразно обеспечить случайную, неповторимую игру света, создать случайные, нерегулируемые колебания, имитирующие, например, многогранность входящих в декоративные элементы камней, и таким образом увеличить число отблесков от них.

Известен ряд ювелирных изделий с подвижными декоративными элементами, установленными нежестко на подложке корпуса ювелирного изделия, вследствие чего при изменении углового положения последнего или при изменении его движения декоративные элементы могут в некоторых пределах изменять свое пространственное положение в корпусе ювелирного изделия.

В патенте US № 4294084 от 1981 г. представлено кольцо для пальца, снабженное на его верхушке приливом с полым удлиненным вырезом прямоугольной формы с днищем, причем внутренняя поверхность выреза выполнена зеркальной, а в пазу выреза с возможностью свободного перемещения вдоль выреза установлен прозрачный ограненный декоративный элемент — драгоценный или полудрагоценный камень, образующий совместно с указанным вырезом ювелирную вставку. При движении или изменении положения пальца этот ограненный декоративный элемент перемещается вдоль выреза, изменяя направление отраженных от зеркальных граней выреза лучей света, проходящих через декоративный элемент.

Известна также полезная модель «Кольцо с декоративным элементом» (патент RU № 37909 от 2003 г.), в соответствии с которой декоративный элемент не жестко встроен в корпус кольца с возможностью ограниченного перемещения. Камень выполнен в виде скрепленных вместе собственно украшающей его единицы, ее вертикальной стойки и основания в виде шарового сегмента, который опирается на съемную подложку, встроенную в корпус кольца. Декоративный элемент своей украшающей единицей через ограничитель его боковых движений выполнен как сквозное отверстие в корпусе

кольца, выступает за его обводы. Съемная подложка скреплена с корпусом кольца механическим соединением с фиксацией, например, посредством приливов-крапанов. При изменении движения пальца или его произвольном подрагивании указанный декоративный элемент будет несколько покачиваться, усиливая за счет этого визуальное восприятие от украшающей его единицы.

Данная полезная модель «Кольцо с декоративным элементом» выбрана [121] в качестве прототипа, поскольку является наиболее близкой по технической сущности к заявляемому изобретению. Недостаток указанного технического решения состоит в том, что кольцо имеет один декоративный элемент, образующий единственную ювелирную вставку, а конструкция имеет высокий момент сопротивления свободным колебаниям (качаниям) декоративного элемента, что обусловлено трением его стойки о края ограничительного отверстия корпуса кольца.

Технической задачей заявляемого изобретения является создание ювелирного изделия со сборной ювелирной вставкой из нескольких свободно качающихся в заданных направлениях декоративных элементов, формирующей определенную законченную фигуру.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является размещение в корпусе и согласование по направлениям качаний декоративных элементов с целью образования на его наружной поверхности сборной ювелирной вставки и повышение чувствительности подвески каждого декоративного элемента в корпусе ювелирного изделия.

Получение указанного технического результата обеспечивается тем, что ювелирное изделие, содержащее корпус и установленный в корпусе с возможностью ограниченного углового перемещения декоративный элемент, снабжено несколькими декоративными элементами, размещенными в корпусе с образованием на его наружной поверхности сборной ювелирной вставки.

При этом размах возможных углов качания декоративных элементов ограничен углами 5–30°, а контактирующая с корпусом поверхность каждого декоративного элемента выполнена в виде одного или нескольких секторов цилиндрической или конической поверхности. Часть корпуса, контактирующая с декоративными элементами, может быть выполнена подвижной относительно общего корпуса ювелирного изделия и сборной из нескольких деталей, соединенных между собой с возможностью поворота относительно друг друга.

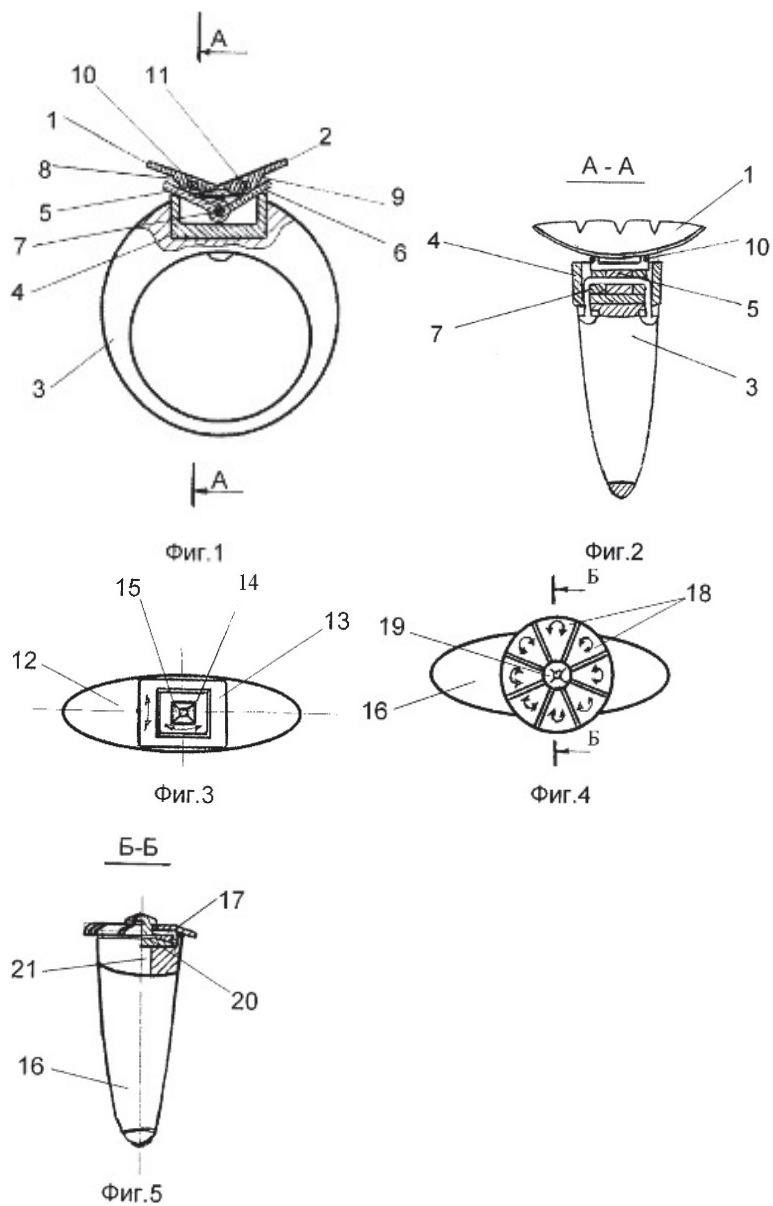


Рис. 5.3. Варианты выполнения колец по изобретению RV 2383292

На рис. 5.3 (фиг. 1–5) представлены некоторые возможные варианты выполнения колец, которыми может быть реализовано заявляемое изобретение.

На фиг. 1–2 (рис. 5.3) представлено кольцо (в исходном или транспортном положении) с набором из двух декоративных элементов 1, 2, формирующих в районе верхушки кольца сборную ювелирную вставку, представляющую собой стилизацию фигуры типа бабочки. Кольцо содержит корпус 3 с приливом в районе его верхушки, в котором в утопленном положении закреплен фланец 4, выполненный в виде стакана. На фланце 4 размещена подвижная составная подложка, состоящая из двух поворотных относительно одна другой частей 5 и 6, установленных на П-образной оси, концы которой выпущены внутрь кольца и снабжены утолщениями, препятствующими выпадению ее из корпуса 3 и фланца 4. Утолщения могут выполняться как с использованием материала собственно оси 7, так и с использованием небольших отдельных фланцев, прикрепляемых к концам указанной оси сваркой или пайкой.

На нижней поверхности декоративных элементов 1 и 2 выполнены основания (выступы) 8, 9, нижние поверхности которых представляют собой цилиндрические поверхности, образующие которых перпендикулярны плоскости кольца. Основания снабжены отверстиями, параллельными образующим цилиндрических поверхностей, в которых с зазорами размещены фиксирующие декоративные элементы оси 10, 11, концы которых изогнуты под прямым углом и прикреплены к поворотным частям 5, 6 подложки любым известным образом, например, сваркой, пайкой, клеевой. Поскольку диаметр осей 10, 11 выбран меньшим, чем диаметр указанных отверстий в выступах 8, 9, то в рабочем положении (в котором центральная часть подложки приподнята относительно показанного на фиг. 1 положения) декоративные элементы 1, 2 могут покачиваться на подложке путем некоторого перекатывания их оснований по поверхности ее поворотных частей 5, 6.

Верхняя поверхность декоративных элементов 1, 2 представляет собой имитацию крыльев бабочки, причем она может быть выполнена из драгоценных металлов и (или) сплавов и украшена гравировкой и (или) инкрустацией из драгоценных или полудрагоценных камней.

Функционирование устройства, представленного на фиг. 1, 2, осуществляется следующим образом. В исходном транспортном положении концевые утолщения оси 7 выступают внутрь кольца

глубже внутреннего контура кольца в районе его верхушки. При надевании кольца на палец указанные концевые утолщения оси 7 подпираются поверхностью пальца, вследствие чего центральная часть составной подложки, состоящей из поворотных частей 5, 6, приподнимается вверх вместе с установленными на ней декоративными элементами 1, 2.

Вследствие выбранных вышеизложенных соотношений между диаметрами отверстий в выступах 8, 9 декоративных элементов 1, 2 и диаметрами осей 10, 11, на которых установлены декоративные элементы, последние могут совершать ограниченные угловые качания на подложке, что может происходить как при движении руки, так и при непроизвольном подрагивании пальцев. При этом соответственно будет изменяться и светоотражение декоративных элементов, т. е. будет становиться более разнообразной так называемая игра света на всем ювелирном изделии в целом.

Поскольку цилиндрические поверхности оснований декоративных элементов 1, 2 и фиксирующие их оси 10, 11 параллельны друг другу, то колебания декоративных элементов будут имитировать взмахи (вздрагивания) крыльев бабочки.

На фиг. 3–5 (рис. 5.3) схематично представлены другие варианты выполнения кольца, в которых сборные ювелирные вставки представляют собой два типа фигур в виде орнаментов. В этих вариантах заданные направления покачиваний различных декоративных элементов отличны друг от друга, т. е. не параллельны друг другу.

На фиг. 3 (рис. 5.3) на верхушке кольца на его корпусе 12 закреплены (крепление не показано) с возможностью качания два подвижных прямоугольных декоративных элемента — внешний 13, выполненный в виде рамки, и внутренний 14, выполненный в виде свободно размещенного в указанной рамке квадрата с центральной украшающей единицей 15. Направления покачиваний декоративных элементов взаимно перпендикулярны и показаны стрелками. Сами декоративные элементы могут быть выполнены из драгоценных металлов и (или) сплавов и могут иметь дополнительные украшения в виде гравировки и (или) инкрустации.

На фиг. 5 (рис. 5.3) на корпусе 16 кольца на радикально расположенных осях 17 закреплено восемь радиально расположенных подвижных декоративных элементов 18, обрамляющих центральную неподвижную украшающую единицу 19. Последняя, в общем случае, может быть также не жестко закреплена на корпусе 16 кольца. Декоративные

элементы 18 установлены на подложке 20. Центральная выступающая часть подложки 20 выполнена в виде стакана, в котором установлена центральная неподвижная украшающая единица 19, а периферийная кольцевая часть представляет собой коническую поверхность, на которую опираются своими нижними коническими поверхностями декоративные элементы 18. В декоративных элементах 18 выполнены отверстия (вдоль оси их конических поверхностей), в которые с зазором входят радиально расположенные Г-образные фиксирующие оси 17. Горизонтальный конец осей 17 входит в отверстия в боковой стенке центральной выступающей части подложки 20, а изогнутый вертикальный конец закрепляется на периферийной части подложки 20 любым известным способом. После закрепления декоративных элементов на подложке она устанавливается в отверстие в верхушке кольца, после чего закрепляется в нем через сквозное отверстие 21, например, сваркой или пайкой. Декоративные элементы 18 могут быть выполнены из драгоценных металлов или сплавов и украшены гравировкой, инкрустацией. Поскольку декоративные элементы 18 свободно размещены на осях 17, они могут покачиваться относительно радиальных направлений — от центра украшающей единицы 13.

При движении руки или при непроизвольном подрагивании пальцев декоративные элементы 18 будут качаться и соответственно будут изменяться их светоотражения, внешне выглядящие как случайные, и, следовательно, будет увеличиваться разнообразие световых лучей от всей сборной ювелирной вставки изделия.

Варианты реализации заявляемого изобретения не ограничиваются представленными на фиг. 1–5 (рис. 5.3). Фигуры, создаваемые различным образом размещенными декоративными элементами, могут быть достаточно разнообразны. При этом подложка, на которой размещены декоративные элементы, может быть выполнена как подвижной (как на фиг. 1, 2), так и неподвижной, а ее поверхность может быть выполнена как плоской, так и вогнутой, причем радиус ее должен превышать радиус поверхности опирающегося на нее основания декоративного элемента.

Основание декоративных элементов может выполняться из материалов, отличных от материала их наружной поверхности, в частности из материалов большего удельного веса. Сама поверхность основания, опирающаяся на подложку, может выполняться с покрытием, увеличивающим сцепление с подложкой с тем, чтобы исключить проскальзывание основания на подложке.

Крепление декоративных элементов на подложке может осуществляться и другими вариантами, нежели представлено на вышеприведенных фигурах, важно лишь, чтобы оно обеспечивало возможность покачивания декоративных элементов при минимальном моменте сопротивления в достаточно небольшом диапазоне углов их колебаний.

Из анализа расположения цилиндрического или конического основания декоративного элемента на подложке корпуса ювелирного изделия следует, что для снижения момента сопротивления колебаниям декоративного элемента, т. е. повышения чувствительности его подвески целесообразно располагать фиксирующую его ось (либо другие элементы, предохраняющие его от выпадения из корпуса ювелирного изделия, но не препятствующие его некоторым колебаниям, например, опоры на центрах, на керне и др.), возможно ближе к поверхности подложки. Важно также, что при этом увеличивается и диапазон углов качания декоративного элемента.

Если для варианта ювелирного изделия, представленного на фиг. 1 (рис. 5.3) обозначить через D и d соответственно диаметр вышеуказанного отверстия в основании декоративного элемента и диаметр фиксирующей его оси соответственно, а через R радиус поверхности основания декоративного элемента в точке его касания подложки корпуса ювелирного изделия, то размах возможных углов качания декоративного элемента составит примерно $(D-d)/(R \cdot K)$, где $K=H/R$, а H — высота расположения фиксирующей оси над поверхностью подложки. Видно, что чем меньше K , тем больше диапазон возможных углов качания декоративного элемента.

Анализ [121] практически изготовленных сборных ювелирных вставок, составленных из ряда декоративных элементов, показал, что для получения дополнительного визуального эффекта от подвижности декоративных элементов достаточно обеспечить их качание в пределах $5-30^\circ$. При больших размахах углов качания улучшения зрительного восприятия практически не наблюдается, а технические сложности в обеспечении этого диапазона углов существенно возрастают. При этом для обеспечения указанных углов качания декоративных элементов целесообразно выбирать коэффициент K в диапазоне $0,2-0,8$, т. е. принимать высоту H в диапазоне $(0,2-0,8) \cdot R$.

Так, например, при практическом изготовлении фигуры типа бабочки (для ювелирного изделия, представленного на фиг. 1, 2) использовались следующие соотношения: $D=2$ мм, $d=1$ мм, $R=10$ мм

(т. е. высота расположения фиксирующей оси над подложкой корпуса составила 4 мм).

При этом диапазон возможных углов качания декоративного элемента составил около 0,25 рад, т. е. приблизительно 15 градусов.

Следует отметить, что для обеспечения устойчивости расположения и качания декоративных элементов целесообразно радиус поверхности их основания выполнять переменным, несколько увеличивая его по мере удаления от положения равновесия, что способствует устойчивости возврата декоративных элементов в их среднее положение.

Формула изобретения.

1. Ювелирное изделие, содержащее корпус и установленный в корпусе с возможностью ограниченного углового перемещения декоративный элемент, образующий ювелирную вставку, отличающееся тем, что оно снабжено несколькими, по меньшей мере, двумя декоративными элементами, размещенными в корпусе с образованием на его наружной поверхности сборной ювелирной вставки, при этом каждый декоративный элемент установлен с возможностью независимого качания в направлении, определяемом формой сборной ювелирной вставки.

2. Ювелирное изделие по п. 1, отличающееся тем, что размах возможных углов качания декоративных элементов ограничен углами 5–30°.

3. Ювелирное изделие по п. 1, отличающееся тем, что контактирующая с корпусом поверхность каждого декоративного элемента выполнена в виде одного или нескольких секторов цилиндрической или конической поверхности, и качание декоративного элемента осуществляется путем перекачивания его указанной поверхности по контактирующей с ним поверхности корпуса ювелирного изделия.

4. Ювелирное изделие по п. 3, отличающееся тем, что часть корпуса, контактирующая с декоративными элементами, выполнена подвижной относительно общего корпуса ювелирного изделия.

5. Ювелирное изделие по п. 4, отличающееся тем, что указанная часть корпуса выполнена сборной из нескольких деталей, соединенных между собой с возможностью поворота относительно друг друга.

В изобретении [122] улучшение дизайна ювелирного украшения из литейных сплавов на основе меди достигается использованием нового способа получения защитного прозрачного покрытия.

Известный способ предназначен для получения на поверхности медных и омедненных деталей защитных покрытий, имеющих глубокую бархатисто-черную окраску, изменяющую внешний вид изделий.

Для изделий из мельхиора, таких как памятные сувениры, ювелирные изделия, столовые приборы и т. д., предпочтительно получение бесцветного защитного покрытия, не изменяющего исходный цвет изделия. Кроме того, известный способ технологически сложен из-за необходимости выбора оптимального режима нескольких переменных параметров процесса и поддержания достаточно высокой температуры электролита.

Общей для известного и заявленного способов является анодная обработка поверхности изделий из сплава на основе меди в щелочном электролите с образованием защитного покрытия.

Наиболее близок по технической сущности к заявляемому способ анодного оксидирования меди и сплавов на ее основе, который ведут в электролите, содержащем 150–200 г/л гидроксида натрия, при температуре 80–100 °С, анодной плотности тока 0,8–2,0 А/дм² и продолжительности процесса 10–30 минут. На окончание процесса оксидирования указывает появление пузырьков газа у обрабатываемых деталей или резкое повышение напряжения процесса. В качестве катода может быть использована сталь или никель.

Способ предназначен для получения защитного покрытия на изделиях из меди и таких ее сплавах, как бронза и латунь, однако способ недостаточно эффективен при нанесении покрытий на изделия из мельхиора. Известный способ сложен в реализации и характеризуется малой эффективностью.

Общим для известного и заявленного способов получения защитных покрытий на поверхности изделий из сплава на основе меди является анодная обработка поверхности изделий в щелочном растворе.

Изобретение направлено на создание простого в осуществлении способа, обеспечивающего получение бесцветного защитного покрытия на изделиях из сплава на основе меди, в частности мельхиора.

Это достигается тем, что в способе получения защитного покрытия на поверхности изделий из сплава на основе меди путем их анодной обработки щелочным раствором анодную обработку предварительно обезжиренных изделий из мельхиора ведут в водном растворе, содержащем 100–200 г/л гидроксида калия, с анодной плотностью тока 2–20 А/дм² в течение 6–10 минут. Катод изготавливают из мельхиора. Температура электролита при этом может быть от 5 до 70 °С.

Способ осуществляется следующим образом. Изделия, например, из мельхиора (памятные сувениры, ювелирные изделия и т. д.) обезжиривают, промывают водой, затем подвергают анодной обработке в щелочном электролите, содержащем гидроксид калия в количестве 100–200 г/л. Катодом служит пластинка из мельхиора, а анодом является изделие из мельхиора, на поверхности которого необходимо получить защитное покрытие. Анодная плотность тока составляет 2–20 А/дм². Длительность процесса 6–10 минут. При меньших плотностях тока и времени выдержки процесс становится неэффективным, при больших — защитное покрытие становится видимым. Процесс анодной обработки ведется при температурах 5–70 °С. После обработки изделия промывают водой и сушат (на воздухе, в потоке теплого воздуха или протирая мягкой тканью).

Пример 1. Анодную обработку обезжиренных и промытых изделий из мельхиора марки МН-19 в виде медалей в количестве 12 штук диаметром 60 мм, общей площадью 260 см² проводили в щелочном электролите, содержащем гидроксид калия в количестве 150 г/л. Изделия служили анодом. В качестве катода использовалась мельхиоровая пластина. Анодная обработка осуществлялась при температуре электролита 25 °С, анодной плотности тока 2 А/дм² в течение 6 минут, после чего следовали отмывка изделий от электролита проточной водой и сушка. Поверхность изделий имела светлый вид и визуально не отличалась от исходных изделий. При хранении в закрытой емкости над 1 %-м раствором сернистого натрия (Na₂S) в течение 7 суток потемнения поверхности изделий не произошло. Незащищенные покрытием медали из этой же партии потемнели в течение 1 часа.

Пример 2. Анодной обработке подвергались предварительно обезжиренные и промытые изделия из мельхиора марки МН-Ж-Мц-10–1-1,5 в виде дисков диаметром 36,7 мм в количестве 7 штук общей площадью 155 см². В качестве анода использовались сами изделия, а в качестве катода — пластина из мельхиора марки МН-19. Электролиз проводили при температуре 60 °С, анодной плотности тока 17 А/дм² в течение 10 минут без корректировки режима процесса. Далее изделия промывали проточной водой и сушили. Цвет поверхности мельхиоровых изделий после обработки не изменился. При последующей выдержке изделий, имеющих защитное покрытие, в воздушной среде в течение трех месяцев отмечено, что они не потемнели в отличие от аналогичных изделий, не имеющих защитного покрытия.

Таким образом, заявленный способ, реализуемый при высокой плотности тока в широком интервале температур, технологически прост, достаточно интенсивен и обеспечивает получение бесцветных защитных покрытий на изделиях из сплавов на основе меди, в частности мельхиора, сохраняющих свой исходный внешний вид при длительном хранении.

Формула изобретения.

Способ получения защитного покрытия на поверхности изделий из сплава на основе меди путем их анодной обработки в щелочном растворе, отличающийся тем, что анодную обработку изделий из мельхиора ведут при температуре 5–70 °С в водном растворе, содержащем 100–200 г/л гидроксида калия, с анодной плотностью тока 2–20 А/дм² в течение 6–10 минут и с катодом, выполненным из мельхиора.

5.3. СЕМИОТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Дизайн ювелирного изделия можно расчленить на ряд сегментов, которые, трансформируясь и влияя друг на друга, образуют высокохудожественное произведение на единой концептуальной стилистической и композиционной основе. К сегментам дизайна относятся форма ювелирного изделия, стилистика, символика цвета сплава и драгоценных, полудрагоценных или искусственных камней. В работе [123] исследовалась семиотика формы на примере 200 ювелирных изделий, отобранных из патентных фондов и каталогов ведущих ювелирных фирм. Критерием оценивания являлось соответствие частей изделия пропорции «золотого сечения».

Классическое определение золотой пропорции — это деление непрерывной величины на части в том отношении, при котором меньшая часть так относится к большей, как большая ко всей величине. Обозначив золотую пропорцию величиной τ , получим:

$$\tau = (\sqrt{5}+1)/2 \approx 1,61803. \quad (5.1)$$

Измерения частей изделия проводились с точностью $\pm 0,1$ мм. Ниже приведены некоторые виды исследованных ювелирных изделий (рис. 5.4–5.11) и результаты измерений [123].

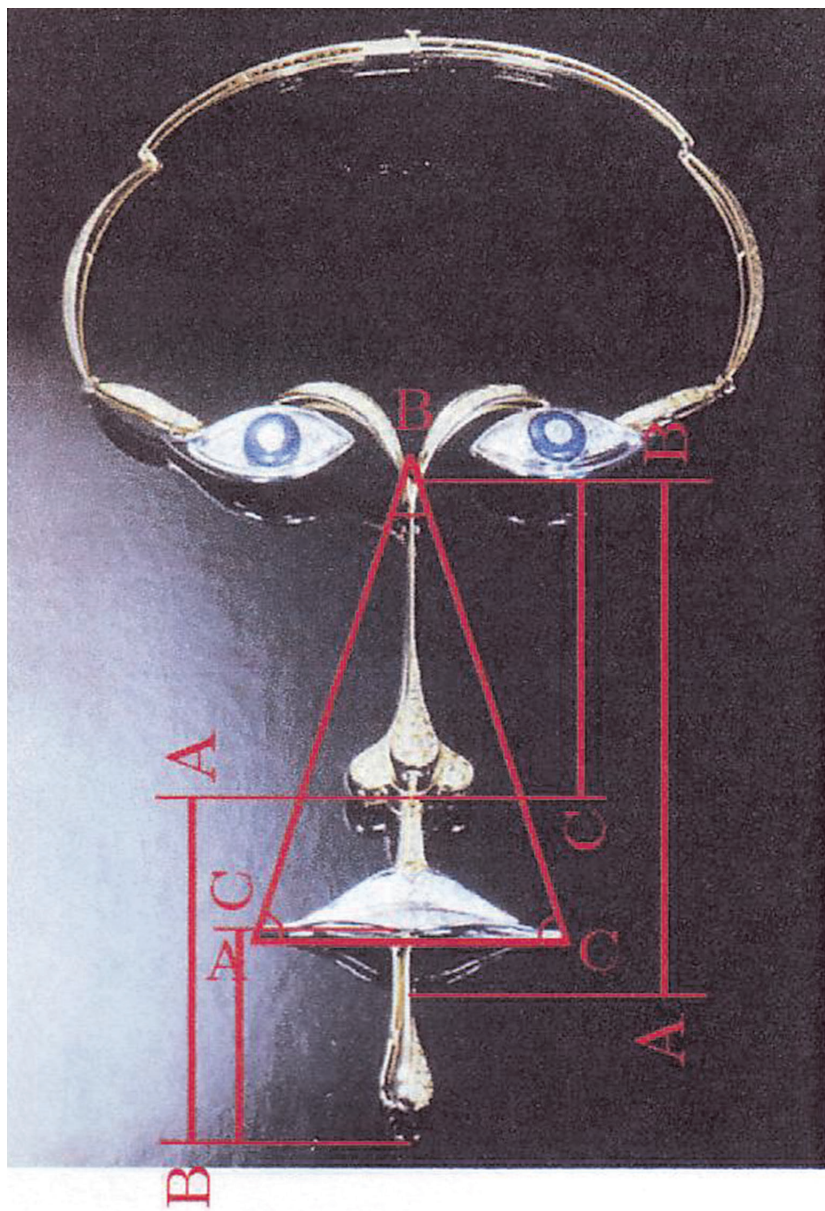


Рис. 5.4. Ко́лье

Центральная часть подвески вписана в равнобедренный треугольник. Отношение нижней части губы до переносицы и от носа до переносицы соответствует пропорциям золотого сечения. $AB/CB=93,625/57,864=1,618$. Такое же отношение от нижней части подвески до носа и от нижней до середины губ: $AB/BC=62,366/38,545=1,606$.

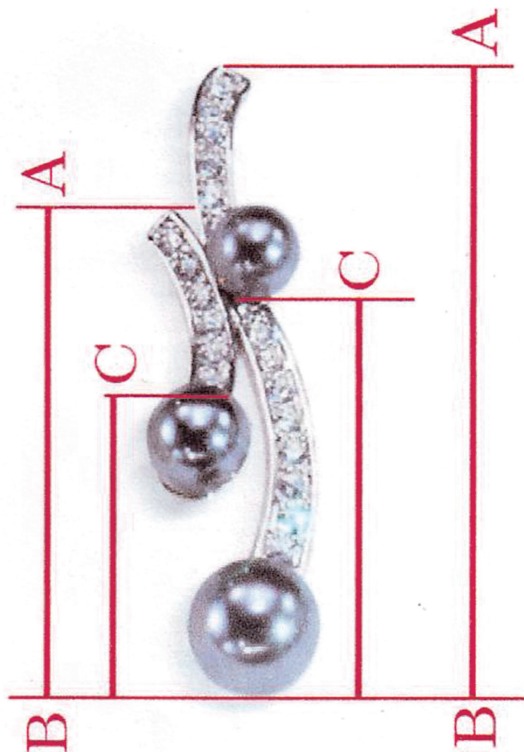


Рис. 5.5. Серьги

Гармония украшения достигается за счет соблюдения при построении принципов золотого сечения. Главный элемент с его большей частью находится в отношении пропорции $AB/BC=126,495/80,033=1,618$. А также нижняя часть украшения до второстепенного элемента находится в отношении $AB/BC=97,348/60,165$.

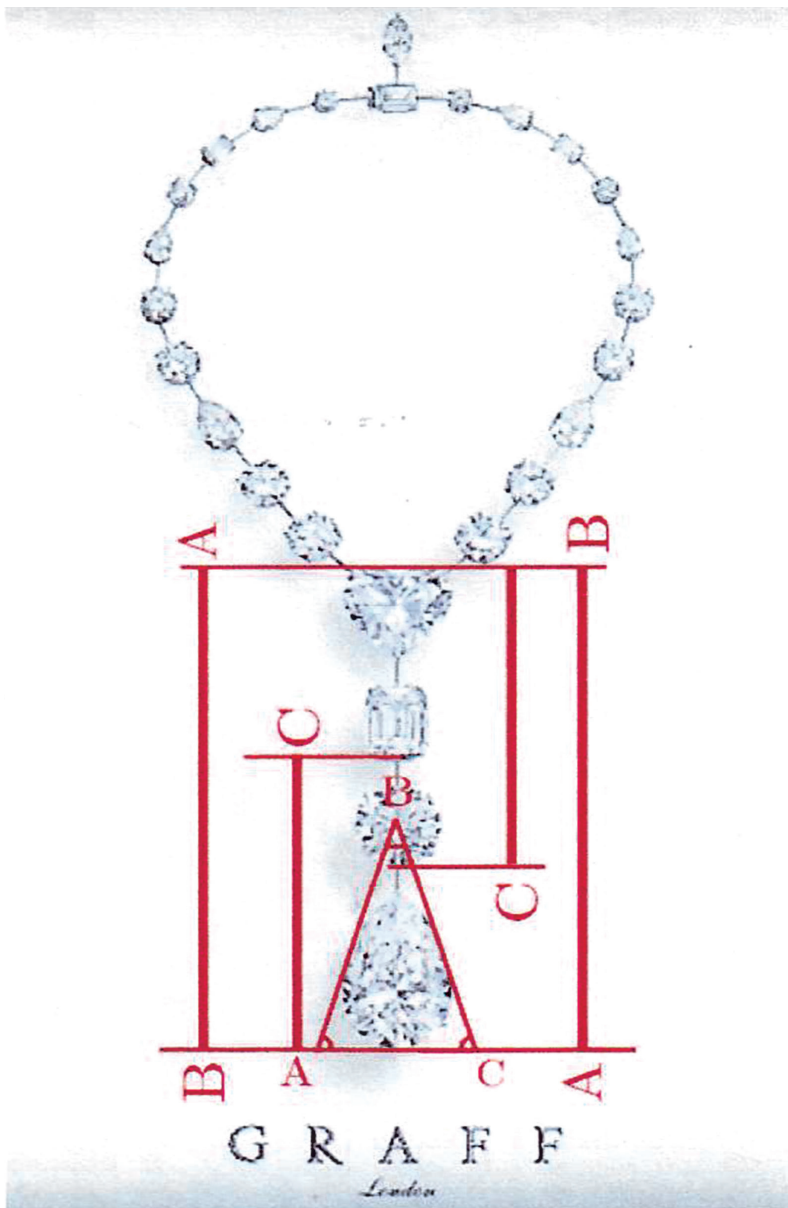


Рис. 5.6. Колье

Основной элемент кольца — центральная подвеска, элементы которой находятся в отношении золотого сечения.

Отношение $AB/BC=71,363/44,105=1,618$, где AB — размер подвески, а BC — размер, включающий в себя 3 камня, также $AB/BC=71,363/44,105=1,618$.

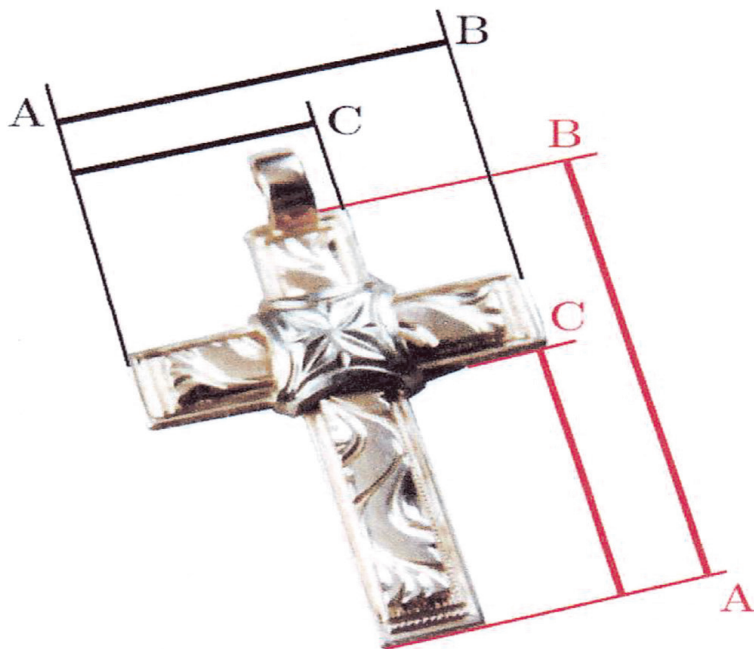


Рис. 5.7. Крест

Отношение $AB/AC=87,072/53,814=1,618$, где AB — высота крестика (рис. 5.7), AC — расстояние от нижней части до центральной горизонтальной линии. Еще одно отношение $AB/AC=68,076/42,074=1,618$, где AB — длина крестика, AC — расстояние от края до центральной вертикальной линии, включая ее.

Основной элемент данных украшений (рис. 5.8) построен на основе двух золотых фигур: пятиугольника и пентакли (магическая фигура пятиконечной звезды).

Отношение $AC/AB=57,999/35,846=1,618$, где AC — диаметр кольца, AB — расстояние от края до центра камня.



Рис. 5.8. Кольцо и серьги

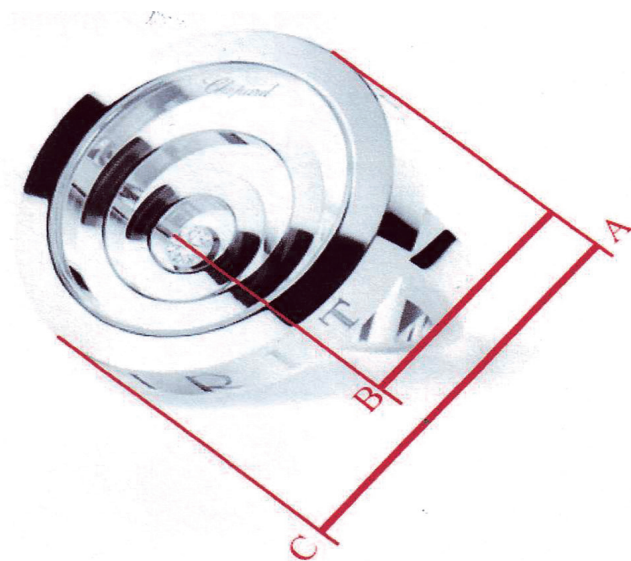


Рис. 5.9. Кольцо



Рис. 5.10. Подвеска

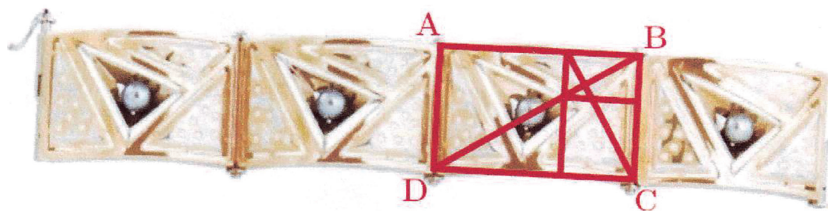


Рис. 5.11. Браслет

Композиция украшения (рис. 5.10) составлена таким образом, что ее отдельные элементы находятся в отношении золотого сечения. Таким образом, отношение $BA/BC=120,969/74,764=1,618$, где BA — длина всей подвески, BC — длина элемента до камня. Композиция, состоящая из большого камня, окруженного по периметру камнями меньшего размера, прекрасно вписывается в золотой эллипс.

Исследуемый жесткий браслет (рис. 5.11) состоит из отдельных сегментов, каждый отдельный сегмент браслета построен по прин-

ципам золотого сечения, а именно он точно повторяет пропорции золотого прямоугольника.

Для анализа криволинейных форм ювелирных изделий обратимся к так называемой спирали Фибоначчи, которая является хорошей аппроксимацией природных закручивающихся спиралей (галактики, усики растений и т. д.). Конструкция спирали Фибоначчи представлена на рис. 5.12.

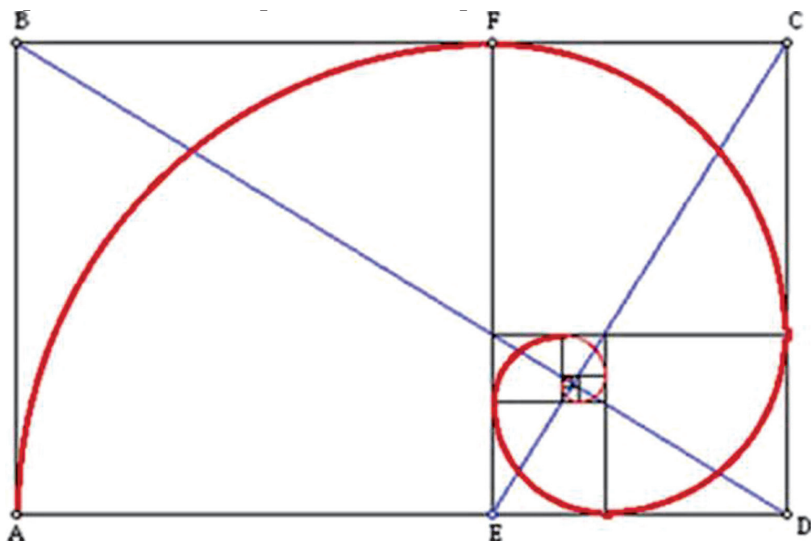


Рис. 5.12. Спираль Фибоначчи

Спираль Фибоначчи идентична логарифмической спирали. Разница заключается в том, что спираль Фибоначчи — это интерпретация при помощи целых чисел арифметически возможной спирали золотого сечения. У спирали Фибоначчи есть определенное начало и она бесконечна: из любой точки спирали можно двигаться без ограничений в направлении внутрь или наружу.

Для исследования [123] криволинейных форм было отобрано 100 лучших образцов ювелирного искусства. Оказалось, что любая кривая указанных ювелирных изделий соответствует кривой Фибоначчи. На рис. 5.13 в качестве примера представлен дизайн 6 ювелирных изделий, криволинейные параметры которых совпадают с каким-либо участком бесконечной спирали Фибоначчи.



Брошь



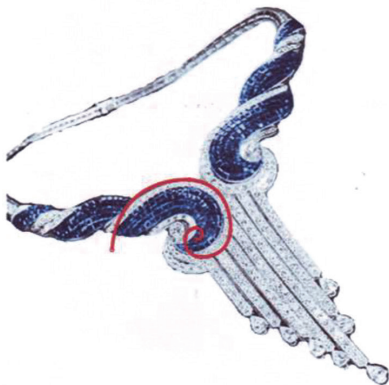
Кольцо



Подвеска



Подвеска



Колье



Перстень

Рис. 5.13. Ювелирные изделия, криволинейная форма которых соответствует части спирали Фибоначчи

Таким образом, при проектировании ювелирных изделий с высоким уровнем дизайна по форме соотношение размеров их частей должно удовлетворять пропорции «золотого сечения», а криволинейная форма — геометрической интерпретации спирали Фибоначчи.

5.4. ПРОГРАММЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ И 3D-ПЕЧАТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

3D-моделирование — это процесс разработки трехмерных виртуальных объемных моделей объектов различной формы и сложности с высокой точностью. Построение различных вариантов 3D-моделей с использованием определенных программ и специальных устройств, позволяющих дизайнеру создавать в заданном масштабе, форме и цвете и прорабатывать различные варианты моделей с использованием новых художественных идей или технических решений (изобретений, полезных моделей, промышленных образцов). Из нескольких вариантов моделей дизайнер совместно с конструктором и технологом выбирают вариант, имеющий наиболее высокий уровень художественной выразительности и возможный к исполнению технологиями, имеющимися на предприятии. Уровень эстетичности литого ювелирного изделия оценивается по показателям, представленным в табл. 1.2.

Формообразование методом литья в странах СНГ преимущественно используется в мелкосерийном производстве с целью создания высокохудожественных, оригинальных или авангардных изделий из различных сплавов. В технологии ювелирного литья по выплавляемым моделям в гипсовые формы возможности изменения или повышения уровня дизайна достигаются посредством применения:

- выплавляемых моделей, придающих самые сложные формы, поверхностную геометрию и высокий уровень чистоты поверхности изделия;

- материала формы, обеспечивающего высокий уровень воспроизводимости поверхности модели, качество поверхности отливки, а также технологичность ее изготовления;

- материала сплава, обладающего высоким уровнем жидкотекучести, цветовым дизайном драгоценного металла, достаточно высоким уровнем технологических и эксплуатационных характеристик;

- реализации художественных образов сложной геометрической формы в процессе дизайн-проектирования в виде рисунков, эскизов

или виртуальных 3D-моделей, а также в литых изделиях, например, посредством печати на 3D-принтерах восковых моделей или мастер-моделей из пластика.

На международном рынке представлены программы и устройства для моделирования ювелирных изделий различных производителей. Особенность программ и устройств для 3D-моделирования фирмы Matrix заключается в том, что в США и Канаде более 80 % модельеров-ювелиров используют ее при разработке дизайна и проектировании изделий [124].

Программа Matrix 3D — это симбиоз трех компонентов: Rhinoceros 4.0 — мощнейшего продукта для трехмерного моделирования, V-Ray — программы для визуализации трехмерных объектов и, собственно, Matrix — модуля, включающего в себя все необходимые элементы для моделирования ювелирных изделий.

В состав Matrix 3D входят библиотеки камней всех известных типов огранок и форм, сечений (профилей) шинки, которые могут изменяться и дополняться, резаков, цветов металлов и камней для визуализации и многое другое.

Основная концепция работы в Matrix 3D — это управление набором конструкторов. Конструкторы — это простые времясберегающие меню с пошаговым управлением, позволяющие пользователю изменять все параметры элементов. Диалоговые средства управления обеспечивают изменение проекта в реальном времени на экране монитора. Компьютерное проектирование преобразовано в интерактивный процесс моделирования, изменяющийся со скоростью воображения дизайнера.

Возможности программы в виде концепции и инструментов специально подобраны для работы дизайнеров ювелирных украшений. Вместо сложных древовидных схем или списка правил для исполнения опция предыстории в Matrix работает в точности так, как вы от нее ожидаете: интуитивно понятно и автоматически. Можно отслеживать обновления оперативно, по мере внесения корректировок в дизайн или же радикальных изменений. Сложные изменения при традиционном дизайн-проектировании, для которых понадобилось бы множество этапов, теперь происходят быстро, а творческая деятельность стала свободной и превратилась в интуитивный художественный процесс. Разработав при помощи указанных инструментов ювелирное изделие, можно вносить в его внешний вид (дизайн) любые необходимые изменения под потребности нового клиента:

размер, стиль, вставку. При этом изменение размера, формы или размещение контуров и профилей происходит при мгновенном отображении результата на визуальной модели изделия.

Украшение совершенствуется путем внесения изменений в библиотеку уже готовых составных частей и изделий с применением принципов, заложенных в опцию History (предыстория).

Естественным образом связанные между собой инструменты — вставки (Gems), крапаны (Prongs), верхушки (Heads) и оправы (Bezels) — имеют встроенную предысторию (History), так что вносимые изменения плавно перетекают по стадиям дизайна от одной его части к другой, взаимосвязанной с нею.

Опция Match Attributes (привести в соответствие атрибуты): обеспечивает, чтобы камень в программе «помнил» значения, которые были использованы для всех закрепочных (Setting) или режущих (Cutter) инструментов, связанных с ним. Опция «Match Attributes» переносит эти установки на другой камень из программы, одновременно подгоняя все различия в их форме, размере и расположении. Указанные опции позволяют разработать новый объект с повышенным уровнем дизайна.

Тот факт, что закрепочные инструменты (Settings tools) имеют опцию предыстории (History-enabled), означает, что каждый объект сохраняет «память» о программных значениях, использованных при его создании. Поэтому можно быстро изменить объект, открыв конструктор, использованный при его создании, и изменив значения, относящиеся к каждому измерению выбранного объекта.

С программным продуктом и полным набором функций конструктора Matrix можно разработать и при помощи командной строки Rhino. Для этого имеется интуитивно понятный интерфейс конструктора или возможность изменения изделия в просмотревых окнах, с помощью рукояток управления просмотревыми окнами — Viewport Control Handles (VCH). Каждый из этих способов предлагает несколько отличный подход к созданию виртуальных моделей. Однако все они могут работать совместно без каких-либо затруднений.

Большинство пользователей подробно изучают лишь несколько инструментов и предпочитает пользоваться только ими. Если необходим дизайн, для осуществления которого потребуются новые для пользователя инструменты, то для этого имеется клавиатурная команда быстрого вызова, призванная помочь вам найти необходимый инструмент всякий раз, когда он оказывается нужен.

Для этого можно выбрать дизайн, который необходимо разработать, например, простой контур кольца, либо полная раскладка камней в изделии, и нажать соответствующую клавишу в интерфейсе (рис. 5.14) [124].

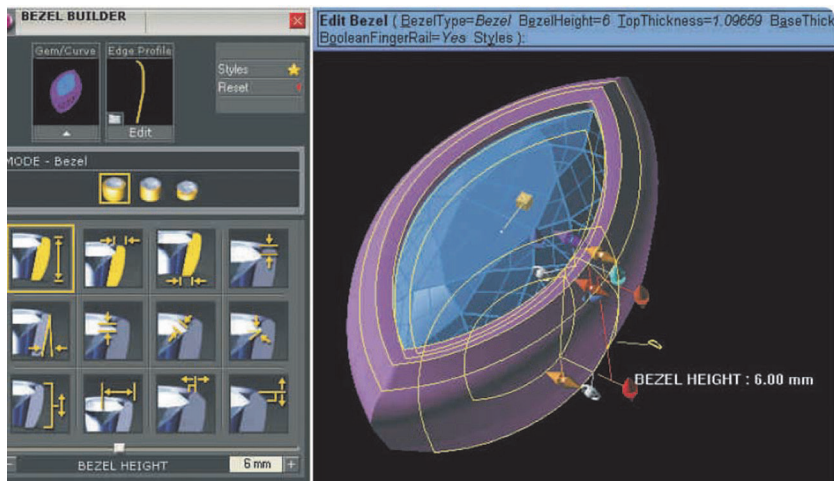


Рис. 5.14. Интерфейс конструкции Matrix: клавиатура (слева); виртуальная модель (справа) [124]

Например, на интерфейсе расположена клавиша FG, нажав на которую можно увидеть меню со всеми доступными для работы инструментами с тем или иным объектом дизайна (кольцо, кольцо, серьги и др.) (рис. 5.15).

Каждый конструктор в программе выполнен таким образом, чтобы добиться обновленного, детально проработанного и более простого в исполнении ювелирного изделия. Новые установки контролируются единственным ползунком, а режимы работы, предлагаемые большинством конструкторов, направляют пользователя на этот путь.

Новый вид библиотеки стилей, доступной изнутри каждого инструмента для закрутки (Setting) и резки (Cutter), дополнительно облегчает загрузку новых предустановленных программных стилей и сохранение собственных стилей по умолчанию, обеспечив создание вашей собственной библиотеки стилей в каждом конструкторе.

Опции также позволяют предварительный просмотр уже подвергнутой обработке поверхности, а не изображение режущего инстру-

мента, необходимого для получения требуемой чистоты (шероховатости) поверхности.



Рис. 5.15. Меню и виртуальная модель кольца с камнями

С целью удовлетворения разнообразных потребностей дизайнера (модельера) для оттенения моделей в Matrix предусмотрена совокупность новых «рабочих режимов». Режимы для лучшего отображения поверхности, «технического рисунка», для оценки допусков, а также режимы дизайнерского просмотра с отображением полированного металла и камней, которыми можно управлять в реальном времени. Каждое из них облегчает просмотр, исполнение, дизайн, оценку и представляет ювелирное изделие во множестве вариантов, которые могут быть предложены потребителю.

Например, использование нового блока визуализации V-Ray, инструментов Matrix и опции Gemvision позволяет: подбирать необходимые металлические сплавы и материалы для вставок; преобразовывать плоский рисунок (эскиз) в объёмную виртуальную модель для демонстрации её заказчику (рис. 5.16).

Непосредственный диалог с потребителями позволил компании Gemvision адаптировать программный продукт к особенностям запросов потребителей.

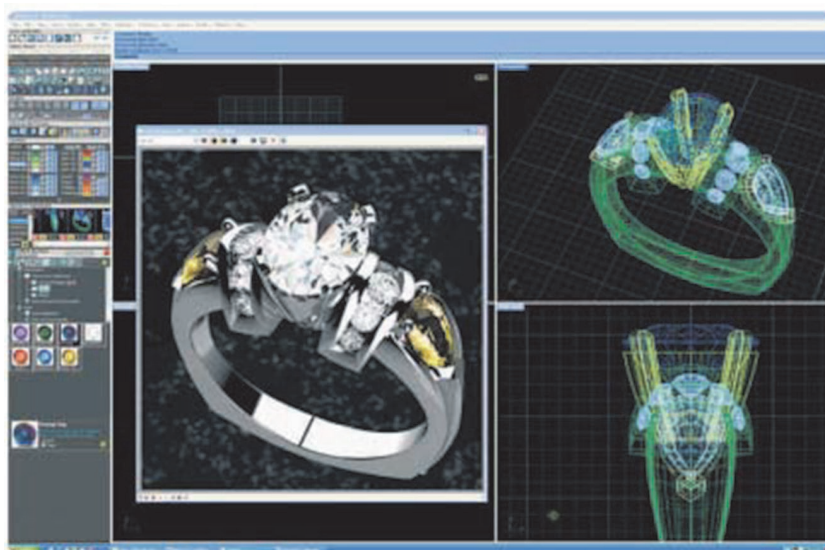


Рис. 5.16. Дизайн 3D-модели кольца с камнями в новом блоке для его визуализации

Есть два способа использования программы: при разработке нового изделия используются «творческие» инструменты, позволяющие свободно работать с формой; уже имеющуюся модель инструменты позволяют очень быстро и точно дублировать или изменять базовую форму изделия (рис. 5.17).



Рис. 5.17. Дублирование формы колец с использованием нового цветового дизайна и ювелирных камней [124]

Добавлена возможность переключения между опциями отражения предыстории Matrix History и Rhino History с помощью управ-

ляемого посредством иконок нового меню Information and Settings (информация и установки).

Виртуальный 3D-скульптор Claytrix для системы моделирования Matrix 3D включает скульптор Sensable Phantom Omni 3D и программное обеспечение Gemvision Clagtrix. Использование манипулятора с обратной связью дает возможность дизайнеру (модельеру) чувствовать модель в 3D-пространстве и существенно упрощает процесс как разработки, так и моделирования.

Указанный набор обеспечивает полную интириацию: любой объект из Matrix (поверхность, кривая, твердое тело) может быть экспортирован в Clagtrix и после скульптурных изменений возвращен обратно для дальнейших модификаций. Указанная система обладает следующими возможностями:

- конвертирование файлов в скульптор с новой функцией, например, изменением только той или иной детали, оставляя посадочные места нетронутыми;
- выделять нужный фрагмент на модели линиями и проводить скульптурные изменения внутри фрагмента;
- использовать 2D-изображения для наложения структур;
- контролировать закрепленные края посредством цифровых значений, выбирая степень сглаживания.

С начала 1980-х в ювелирном производстве начали интенсивно развиваться технологии формирования трехмерных объектов не путем удаления материала (точение, фрезерование, электроэрозионная обработка) или изменения формы заготовки (ковка, штамповка, прессовка), а путем постепенного наращивания (добавления) материала или изменения фазового состояния вещества в заданной области пространства. На данный момент значительного прогресса достигли технологии послойного формирования трехмерных объектов по их компьютерным образам.

Подобные технологии иначе называются аддитивные (Additive Fabrication, AF-технологии), от английского слова additive — «добавление». По традиции их еще часто называют «технологиями быстрого прототипирования» или RP-технологиями (от Rapid Prototyping), но это первоначальное название достаточно быстро устарело, так как на современном этапе развития эти технологии используются не столько для изготовления моделей и макетов, сколько для создания конечных продуктов, в частности серийных, к которым термин «прототип» применять некорректно.

За рубежом в ювелирной промышленности используется несколько типов аддитивных технологий, которые отличаются друг от друга методом построения модели, материалами, из которых эти модели формируются, длительностью периода построения и чистотой поверхности готового изделия [125].

Стереолитография (SLA — Stereo Lithography Apparatus). В данной технологии в качестве модельного материала используются фотополимеры — специальные светочувствительные смолы. Ультрафиолетовый лазер послойно переводит поперечные сечения модели на поверхность емкости с фотополимером, который под действием светового пучка лазера твердеет. Качество поверхности модели зависит от шага построения. SLA-технология дает наилучший результат при изготовлении ювелирных мастер-моделей. Одну из самых продвинутых SLA-установок новую концепт-систему Digital Wax 030 на выставке в Базеле представила итальянская фирма DWS.

Лазерное спекание (SLS — Selective Laser Sintering). В этом случае также используется лазер, но лазерный луч является не источником света, а источником тепла. Лазер послойно спекает частицы порошка, превращая его в твердую массу согласно выстроенной модели. В качестве порошковых материалов используются полиамид, полистирол и порошки некоторых металлов. Недостатком технологии, с точки зрения использования в ювелирной отрасли, можно считать высокую стоимость и большие габариты SLS-машин.

Технология многослойного моделирования (MJM — Multi Jet Modelling). В данной технологии построение модели ведется путем нанесения расплавленного модельного воска с помощью многоструйных головок, как в струйном принтере. Применяется для непосредственного выращивания восковой модели и дальнейшего получения металлической отливки методом литья в керамические оболочковые или гипсовые формы. Технология обеспечивает возможность быстрого получения литого изделия без изготовления литейной оснастки для получения выплавляемой модели.

Моделирование при помощи склейки (LOM — Laminated Object Modeling). В технологии используется послойное склеивание пленочных материалов, например, полимерной пленки или ламинированной бумаги, с последующим формированием («вырезанием») модели с помощью лазерного луча. Материал из подающего рулона поступает в рабочую зону и приклеивается к детали, затем лазерный луч вырезает контур очередного слоя. Для того, чтобы обеспечить впо-

следствии легкость удаления неиспользуемой части материала, она разрезается лазером на мелкие прямоугольные куски.

ЛОМ — наиболее дешевая технология по расходуемым материалам и ресурсу лазера, она очень эффективна для крупногабаритных изделий, поскольку в отличие от других технологий производит обработку не площади, а контура слоя. Модели из ПВХ-пленки могут использоваться в качестве мастер-моделей при литье в силиконовые формы полиуретановых смол, а также восковых моделей для последующего литья по выплавляемым моделям. Основной недостаток — невысокое качество поверхности, сложность ее обработки, низкая прочность получаемых моделей.

Для изготовления выплавляемых (удаляемых) моделей для ювелирного литья необходимы технологии и устройства (3D-принтеры), которые обеспечивают высокий уровень воспроизводимости и чистоты поверхности моделей. Например, это могут быть технологии многослойного моделирования или стереолитографии.

Для изготовления реальной модели из воскоподобных материалов по виртуальной модели можно использовать машины фирмы DWS (Италия). Преимущества указанных машин перед аналогами (табл. 5.1) — компактность, экологичность и небольшой вес [126]. На рис. 5.18 представлен общий вид машины мод. Digital Wax 029 и внешний вид модели (колец) из воскоподобных материалов, изготовленных на указанной машине.

Время создания всех моделей (65 колец) — 5 часов 45 мин.

Digital Wax 028 является уменьшенной версией установки DW029, использующей новейший принцип фокусировки лазерного луча.

Digital Wax 008 является самой доступной установкой в области быстрого прототипирования, разработанной специально для ювелирного производства.

Машины Digital Wax работают непрерывно, в автоматическом режиме, без контроля со стороны оператора. Единственный расходимый компонент — фотополимер, который используется без отходов.

Благодаря безопасности технологии и экологически чистым материалам, для установки машин Digital Wax не требуются специальные помещения и дополнительная вентиляция. Их можно размещать непосредственно рядом с рабочими местами разработчиков.

В табл. 5.2 приведены характеристики высокопроизводительной машины Digital Wax.

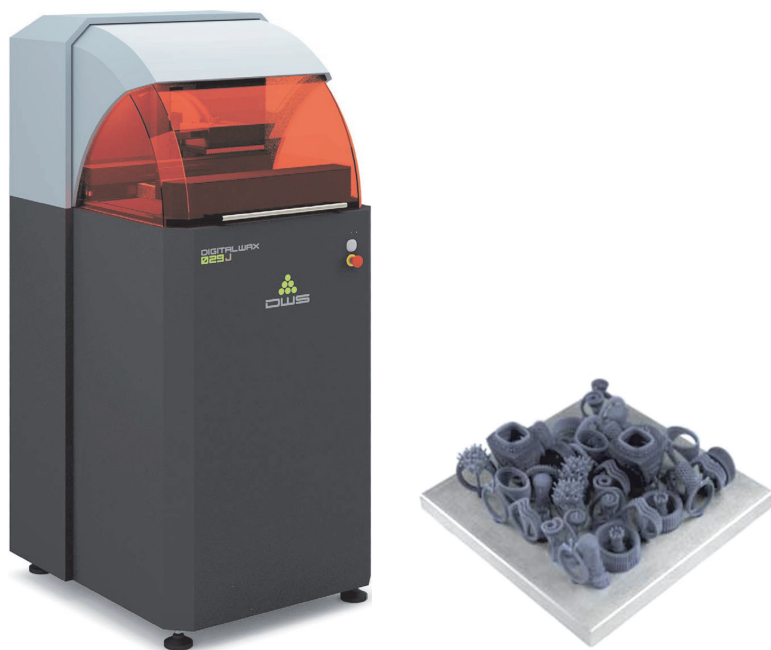


Рис. 5.18. Общий вид машины мод. Digital Wax 029, моделей из воскоподобных материалов

Таблица 5.1

Технические характеристики машин Digital Wax 008 и Digital Wax 028 (фирма DWS, Италия)

Технические характеристики	Digital Wax 008	Digital Wax 028
Рабочая зона	50x50x60 мм	65x65x60 мм
Толщина слоя	0,01–0,1 мм	
Разрешение	0,01 мм	
Лазерный источник	Твердотельный	
Скорость перемещения лазера	0–40 мм/сек	0–1500 мм/сек
Формат данных на входе	STL, SLC	
Программное обеспечение	Digital Wax Controller	Digital Wax 028 Controller

Технические характеристики	Digital Wax 008	Digital Wax 028
Программная поддержка	Windows XP/2000/Vista	Windows XP Professional
Интерфейс коммуникации	TCP/IP, USB 1.01	
Электропитание	220 В, 50/60 Hz, 200 Вт	220 В, 50/60Hz, 400 Вт
Габаритные размеры	380x495x560 мм (l x w x h)	380x495x670 мм (l x w x h)
Вес	45 кг	50 кг

Таблица 5.2

Технические характеристики Digital Wax 029

Рабочая зона	110x110x60 мм
Толщина слоя	0,01–0,1 мм
Разрешение	0,01 мм (по осям X, Y, Z)
Лазерный источник	Твердотельный Blue Edge
Скорость перемещения лазера	0–2200 мм/сек
Формат данных на входе	STL, SLC
Программное обеспечение	Digital Wax Controller
Программная поддержка	Windows XP Professional
Интерфейс коммуникации	Персональный компьютер в комплекте
Питание	220 В, 50/60 Hz, 500 Вт
Размеры	770x545x1350 мм
Вес	110 кг

Машина мод. Digital Wax 009 на рынке Украины на период 2014 г. имела стоимость 388956 грн.

Для трехмерного моделирования используется специальный жидкий фотополимер, похожий по своим свойствам на пластмассу. Материал мгновенно затвердевает под воздействием лазерного излучения.

Благодаря технологии формирования «слой слоем» нет ограничений в геометрической сложности моделей: углы, полости, углубления, тонкие перегородки и сложные геометрические формы реализуются с одинаковой простотой. Благодаря эксклюзивным фотополимерам модели получаются очень прочными и легко подвергающимися полировке.

Созданные модели по технологии Digital Wax могут быть использованы непосредственно для литья, а также для создания силиконо-

вых форм как в горячем, так и в холодном режиме. Модели выдерживают температуру 170 °С.

Белый полимер DC 400.

Разработан с применением воска для улучшения качества литья. Модели из белого полимера дорабатываются, полируются, запекаются в резину или отливаются (полимер выжигается как воск). Стоек к свету.

Фотополимер DM 200.

Обладает повышенной твердостью по сравнению с DC 500. Разработан для снятия резиновых форм с модели.

Фотополимеры поставляются в упаковке массой по 500 г.

В таблице 5.3 приведены данные по качеству изготавливаемых моделей.

Таблица 5.3

Качество изготавливаемых моделей

Качество	max	высокое	среднее	минимальное	пояснение
slicing, мм	0,03	0,04	0,04	0,06	slicing — расстояние между слоями по горизонтали по оси X
hatching, мм	0,08	0,08	0,07	0,06	hatching — расстояние между слоями по оси Z

Для условий мелко- и крупносерийного производства ювелирных изделий, изготавливаемых по выплавляемым моделям в гипсовые формы, также используются 3D-принтеры компании ProJet [127]. В ювелирном литье изготовление выплавляемых моделей сложной формы и с высоким качеством поверхности одна из приоритетных задач. Наиболее часто модели создаются из воска, поэтому для решения подобных задач применяются специальные 3D-принтеры ProJet для изготовления моделей из воска.

При разработке украшений по традиционной технологии процесс изготовления моделей является наиболее трудоемкой процедурой. Применение же современных 3D-принтеров позволяет: осуществлять разработку дизайна украшений в программном обеспечении; полностью автоматизировать процесс печати; обеспечить высокое качество формы и чистоты поверхности восковой модели.

Эта категория 3D-принтеров представлена моделями ProJet CP 3510, ProJet CPX 3510, ProJet CPX 3510 Plus [127]. Все принтеры печатают детали из воска и применяются в основном для литья по выплавляемым моделям. Данные модели 3D-принтеров отличаются между собой точностью, разрешающей способностью и скоростью работы.

ProJet CP 3510—3D принтер, начинающий линейку 3D принтеров, для изготовления моделей из воска. Основное назначение ProJet CP 3510 — создавать мастер-модель, по которой затем выполняют восковые модели.

Этот 3D-принтер способен производить крупные партии шаблонов любой формы, состоящих на 100 % из воска RealWax, с гладкой поверхностью и высокой точностью исполнения, что представляет широкие возможности его применения.

ProJet CPX 3510 — более усовершенствованная модель 3D-принтера, обладающая повышенной точностью и высоким разрешением. В основном ProJet CPX 3510 предназначен для получения миниатюрных литейных моделей из воска с высоким качеством поверхности и поэтому используется в ювелирной промышленности. ProJet CPX 3510 имеет возможность работать в двух режимах: High Definition (HD Mode) и Xtrem High Definition (XHD) Mode. Высокое разрешение, минимальная толщина стенки позволяют создавать прототипы ювелирных изделий с высокой точностью, используя их в литье по выплавляемым моделям.

ProJet CPX 3510 Plus в отличие от ProJet CPX 3510 способен выращивать детали в режиме UHD — Ultra High Definition (сверхвысокая четкость), с толщиной слоя всего 16 микрон, для получения очень высокой детализации и идеального качества поверхности моделей.

Модели RealWax, ProJet, CPX идеально подходят для литья ювелирных изделий, одежды, мелких медицинских приборов, медицинских имплантатов, электрических компонентов, статуэток, предметов для коллекционирования и многого другого.

Все 3D-принтеры этой линейки используют технологию многоструйного моделирования MJM (Multi_Jet_Modeling).

Данная линейка 3D-принтеров при изготовлении моделей использует материалы на основе натурального воска из серии RealWax VisiJet. В качестве материала поддержки используется восковой материал VisiJet S400. Отличительные особенности и характеристики, рассмотренных 3D-принтером сведены в таблицу 5.4.

**Отличительные особенности и характеристики профессиональных
3D-принтеров**

Сравнение характеристик профессиональных 3D-принтеров			
Модель	ProJet CP 3510	ProJet CPX 3510	ProJet CPX 3510 Plus
Режимы печати	HD — высокая четкость HDHiQ — высокая четкость и качество	HD — высокая четкость HDHiQ — высокая четкость и качество XHD — максимальная четкость	HD — высокая четкость HDHiQ — высокая четкость и качество UHD — сверхвысокая четкость XHD — максимальная четкость
Максимальный объем печати (XYZ), мм			
Режим HD	298 x 185 x 203	298 x 185 x 203	298 x 185 x 203
Режим HDHiQ	298 x 185 x 203	298 x 185 x 203	298 x 185 x 203
Режим UHD	—	—	203 x 178 x 152
Режим XHD	—	127 x 178 x 152	203 x 178 x 152
Разрешение, dpi			
Режим HD	375 x 375 x 775	375 x 375 x 775	375 x 375 x 775
Режим HDHiQ	375 x 375 x 775	375 x 375 x 775	375 x 375 x 775
Режим UHD	—	—	694 x 750 x 1300
Режим XHD	—	694 x 750 x 1600	694 x 750 x 1600
Точность	0,025–0,05 мм		
5-летняя гарантия на печатающую головку	Стандартная	Стандартная	Стандартная
Рабочие материалы	VisiJet Prowax	VisiJet Hi-Cast	VisiJet Hi-Cast
Материал поддержки	VisiJet S400	VisiJet S400	VisiJet S400
Размеры (Ш x Г x В), мм:			
в ящике	826x1429x1740	826x1429x1740	826x1429x1740
без ящика	749x1194x1511	749x1194x1511	749x1194x1511
Вес:			
в ящике	434 кг	434 кг	434 кг
без ящика	323 кг	323 кг	323 кг

Для крупносерийного ювелирного литья наиболее подходит модель ProJet CPX 3510.

ProJet CPX 3510 предназначен для производства состоящих на 100 % из воска шаблонов с высочайшим качеством поверхности, максимальной степенью детализации и исключительной точностью. Способствует сокращению времени печати, дает возможность крупносерийного изготовления продукции по индивидуальному заказу и улучшает эффективность и производительность процесса литья. Выход годного продукта при литье аналогичен стандартным отливочным воскам, и эффективность шаблонов не уступает восковым шаблонам, применяемым в традиционных процессах и оборудовании, основанных на литье по выплавляемым моделям.

Шаблоны RealWax, ProJet, CPX идеально подходят для литья ювелирных изделий, а также предметов экипировки, медицинской продукции с высокой степенью детализации, электрических компонентов, статуэток, копий, предметов коллекционирования.

Преимущества ProJet CPX 3510:

- программное обеспечение ProJet TM Accelerator;
- средства оптимизации автоматического размещения деталей и печати;
- возможность печати в несколько уровней и в несколько ячеек;
- широкий набор инструментальных средств редактирования файла детали;
- автоматическое создание поддержки.

Применение 3D-принтера позволяет осуществлять разработку дизайна украшений в программном обеспечении, а процесс печати модели полностью автоматизировать. На рис. 5.19 представлены виды изделий из воска, полученных на принтере ProJet CP 3510 для литья изделий различного назначения в условиях крупносерийного производства [128].

Восковой материал — VisiJet S400.

В принтере ProJet CP 3510 используется технология MJM — Multi Jet Modeling. Ее особенность заключается в том, что она универсальна, поскольку позволяет печатать модели из различных материалов в виде пластика или воска. Именно поэтому технология MJM — Multi Jet Modeling применена в большинстве принтеров ProJet.

На рисунке 5.20 приведена принципиальная схема создания моделей по технологии MJM.

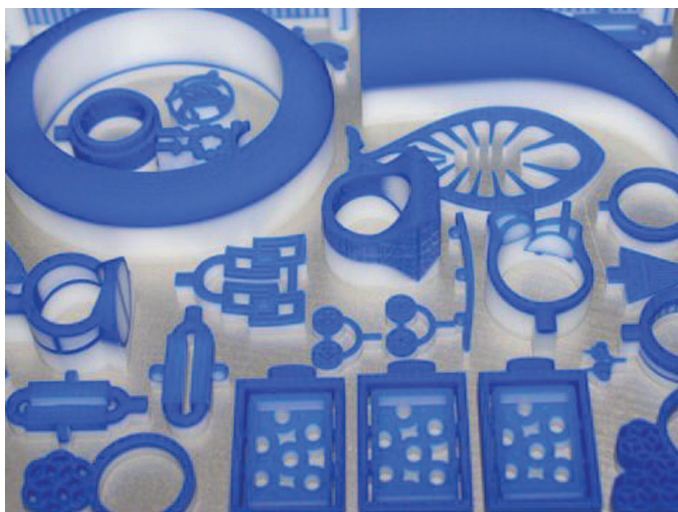


Рис. 5.19. Примеры восковых моделей, получаемых с использованием 3D-принтера ProJet CP 3510 [127]

Создание модели с использованием 3D-принтера по схеме, представленной на рис. 5.20, осуществляется следующим образом.

1. Программным обеспечением подготовленный САD-файл будущей 3D-модели разбивается на слои сечения, которые последовательно отправляются на 3D-принтер для печати.

2. Система подачи материала 3D-принтера нагревает используемый материал до температуры плавления (около 80 °С). Расплавленный материал (в зависимости от модели 3D-принтера это либо фотополимер, либо воск) подается в печатающую головку.

3. Печатающая головка через группы сопел выпускает на горизонтальную движущуюся платформу расплавленный материал, формирует очередной слой будущей модели.

4. Если 3D-печать выполняется из воска, то после нанесения слоя на строительную платформу происходит его естественное затвердевание под действием температуры (поскольку температура в рабочей камере ниже, чем в системе подачи материала). После этого печатающей головкой наносится следующий слой и процесс повторяется.

По окончании печати последнего слоя с помощью специального раствора удаляется материал поддержки и модель готова к использованию.

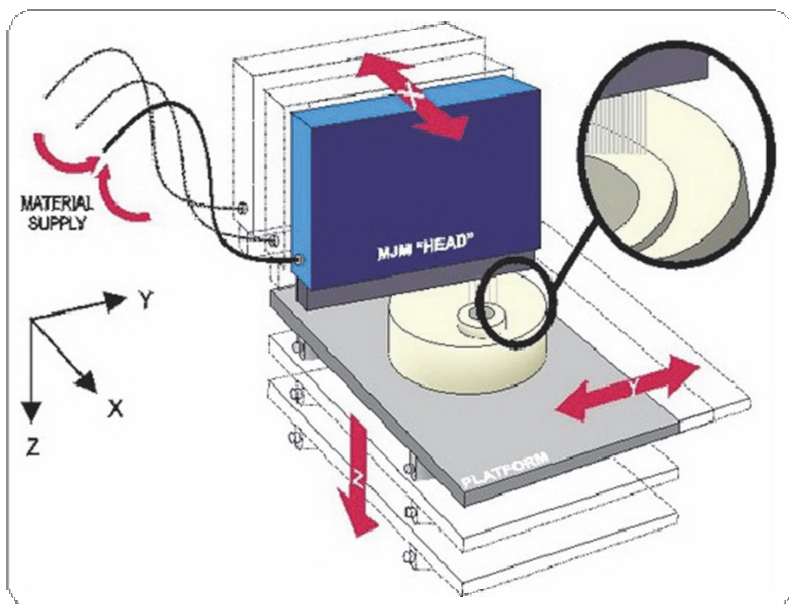


Рис. 5.20. Принципиальная схема создания восковых моделей по технологии MJM

Достоинства технологии MJM:

- Возможность создания одновременно нескольких деталей, расположенных на строительной платформе. Модели, размеры которых превосходят габариты рабочей зоны, можно строить по частям, а затем собирать в единое целое (например, склеивая отдельные части).
- Простота данной технологии позволяет создавать прототипы всего за несколько часов (в зависимости от размера).
- По окончании построения изделие можно сразу использовать без последующей доработки.
- Благодаря безопасным технологиям и экологически чистым моделирующим материалам для эксплуатации оборудования не требуются специальные условия. 3D-принтеры ProJet можно размещать непосредственно в помещениях конструкторских отделов рядом с рабочими местами разработчиков.

На рынке СНГ на период 2015 г. стоимость 3D-принтера мод. HD 2510 составляла 75000 USD.

На 3D-принтерах, печатающих пластики, потенциально возможно изготовление разъемной оснастки для последующего изготовления в ней выплавляемых моделей методом прессования. При этом для мелкосерийного производства потенциально может быть использован недорогой 3D-принтер. Например, в Одесской академии пищевых технологий для обучения студентов технологии 3D-печати и разработки технологии и изготовления разъемной оснастки для восковых моделей в ювелирном литье используется 3D-принтер «Malyan desktop 3d-printer». Этот принтер (рис. 5.21) является аналогом широко распространенного принтера «MakerBot Replicator 2 Desktop 3d-printer» (технология FDM).

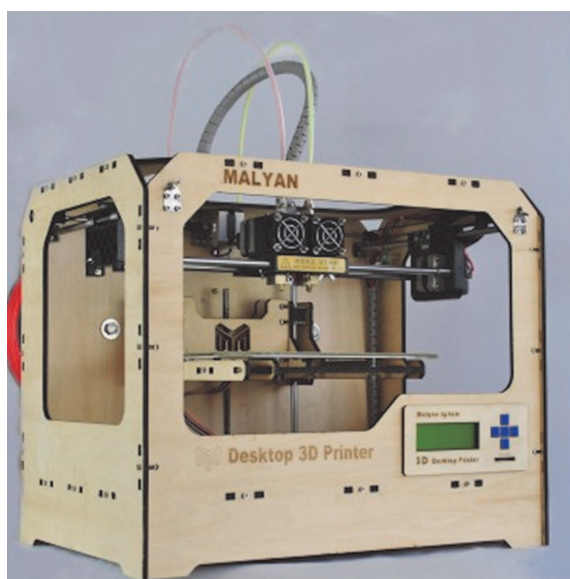


Рис. 5.21. Принтер «Malyan desktop 3d-printer»

Изготовление указанных принтеров в Китае и других странах стало возможным вследствие окончания в 2009 году срока действия патента на технологию FDM компании Stratasys. Особенность этой технологии — низкая стоимость, поэтому цена принтера на порядок ниже цены его промышленных аналогов.

Ниже приведены основные технические характеристики 3D-принтера «Malyan desktop 3d-printer».

Технические характеристики:

Тип 3D-печати: FDM

Сдвоенный экструдер

Пластик для печати: ABS, PLA

Диаметр пластика: 1,75 мм

Точность позиционирования по осям X, Y: 0,02 мм

Точность позиционирования по оси Z: 0,005 мм

Максимальная скорость по осям X, Y: 5000 мм/минуту

Максимальная скорость по оси Z: 1000 мм/минуту

Характеристики объекта печати:

Точность позиционирования: 0,1 мм

Высота слоя: 0,1–0,4 мм

Максимальные размеры объекта печати: 220 x 150 x 150 мм

Спецификации компонентов:

Материал корпуса: дерево, фанера

Отверстие дюзы: 0,4 мм

Максимальная температура экструдера: 240° С

Максимальная температура платформы: 110° С

Температурные сенсоры: термопары

Блок питания: 220V/110V (универсальный блок питания)

Мощность: 300 W

Подсветка области печати: есть, белая

Формат модели для печати: STL, G code

Поддерживаемые ОС: Windows, Linux, Mac

Интерфейс взаимодействия: SD карта или USB кабель

Печать без компьютера: при помощи SD карт, формат X3G.

Программное обеспечение: Replicator G, MakerWare Malyan profile

Габариты (размеры) принтера: 465 x 320 x 375 мм

Габариты (размеры) упаковки: 521 x 396 x 446 мм

Масса: 12,7 кг

Страна-производитель: Китай, <http://malyan.com/>

Принтеры являются модифицированными копиями известного принтера MakerBot Replicator DUAL с некоторыми конструктивными изменениями, которые, на наш взгляд, выгодно отличают его от прототипа и ряда других копий.

С прототипом принтер (рис. 5.21) имеет следующие общие конструктивные и технологические возможности:

1. Практически идентичная геометрия и размеры.
2. Идентичная схема приводов стола и печатающей головки.
3. Два экструдера.
4. Возможности печати с карты памяти 5D с ПО ПК Replicator G или Maker Ware.

5. Для управления функциями без подключения к ПК на передней панели имеется LCD-дисплей и 5 кнопок управления.

6. Термостолик с подогревом для снижения эффекта коробления остывшего пластика и более плотного прилипания формируемой 3D-печатью изделия к столу.

7. Светодиодная подсветка на камеры печати. Отличия от прототипа в китайской модели включают:

- изготовление дешевого корпуса из дерева лазерной резкой, что снизило стоимость принтера без ухудшения качества его работы и дизайна;

- изменения в компоновке двигателя оси Y, что позволило более точно распределить усилия двигателя и снизить требования к точности его установки;

- направляющие головки закреплены посредством специальных прокладок, жестко фиксирующих их в деревянном корпусе;

- все направляющие и механизмы прямые жесткие, выполнены из стали;

- термостолик поставляется со стеклом и жестко зафиксированными направляющими уголками, что позволяет легко устанавливать и фиксировать стекло на нагреватель с высокой точностью;

- модернизирован механизм заправки нити и прижимной механизм двигателя экструдера и фиксатор кабель-каналов в нити (рис. 5.22).

Поэтому в своем классе вышеуказанный принтер (рис. 5.21) по качеству печати не уступает лучшим аналогам. Однако, входящие в комплект MakerBot Replicator Sd-карты предназначены только для изготовления пяти относительно простых объектов из пластика (рис. 5.23).

Поэтому кафедры инженерной графики и технического дизайна и информационных технологий и кибербезопасности (ФИТ и КБ) Одесской национальной академии пищевых технологий совместно проводят исследования по разработке дополнительных файлов с целью возможности печати на указанном принтере мастер-моделей из пластмассы для последующего изготовления по ним силиконовых

разрезных или разъемных (составных) форм с целью прессования восковых моделей по известной технологии [3; 6; 7]. После затвердения воска модель извлекается и её припаивают к литниковой системе и её формуют в опоках из гипса.

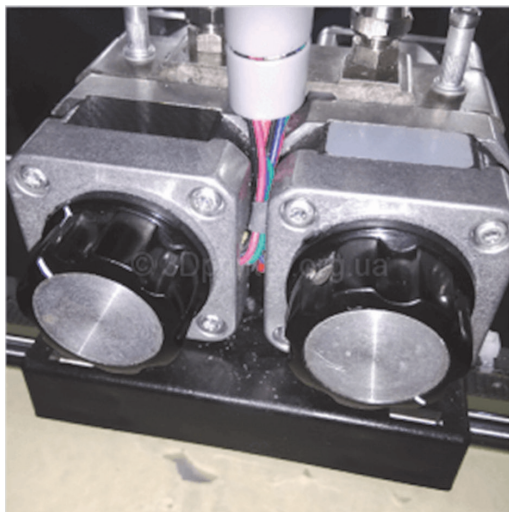


Рис. 5.22. Механизм заправки нити и прижимной механизм принтера «Malyan desktop 3d-printer»

Например, на рис. 5.24 представлена модель из воскоподобного материала, разъемная гипсовая литейная форма и готовое ювелирное изделие в виде кольца с ювелирным камнем, выполненные компанией Invent Promoturinc [128].

Для разработки компьютерной программы и выполнения дополнительных файлов (рис. 5.23) к принтеру «Malyan desktop 3d-printer» (рис. 5.21) с целью изготовления мастер-моделей из пластика и реализации процесса ювелирного литья по заданной схеме 3D-проектирование (3D-печать мастер-модели из пластика→ изготовление силиконовой разъемной формы→ изготовление выплавляемой модели из воскодержающего материала в разъемной форме→ сборка модели с литниковой системой→ изготовление по модели разъемной гипсовой формы→ заливка и затвердевание ювелирного сплава→ извлечение и доработка ювелирной отливки) используется следующее программное обеспечение:

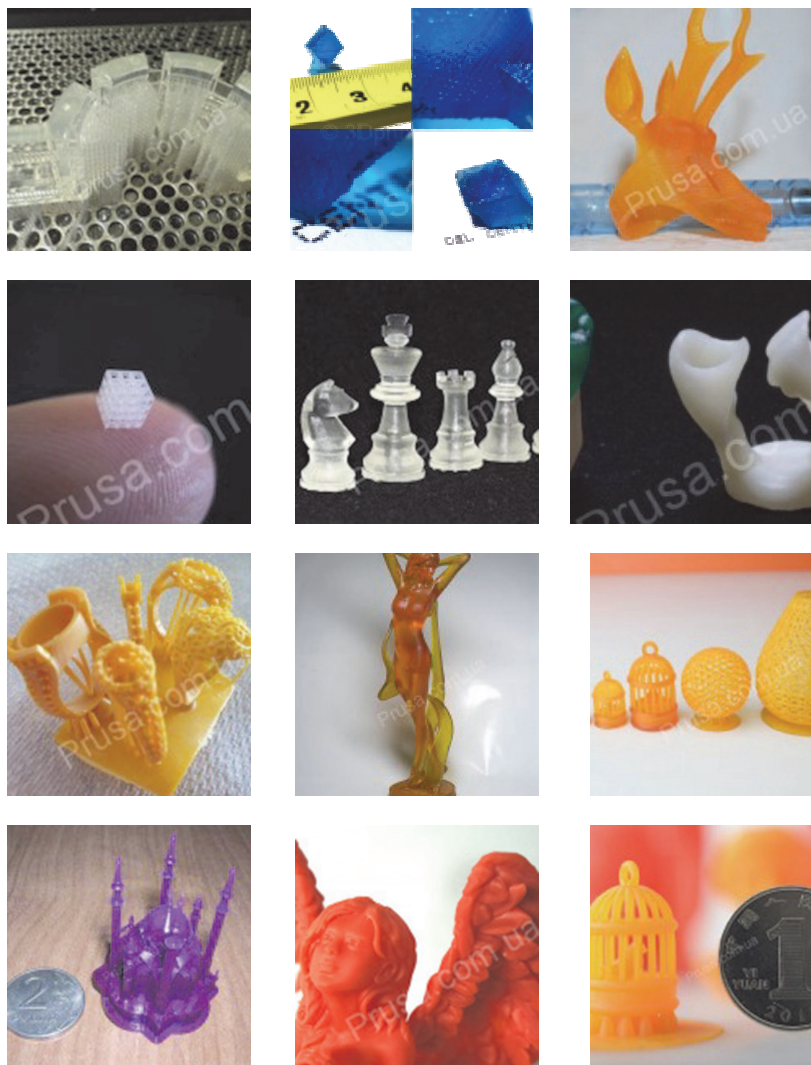


Рис. 5.23. Пробные объекты для печати с 3D-карты принтера «Malyan desktop 3d-printer»

- AutuCAD — известная инженерная программа;
- Компас 3D — программа для создания чертежной документации и 3D-моделирования;

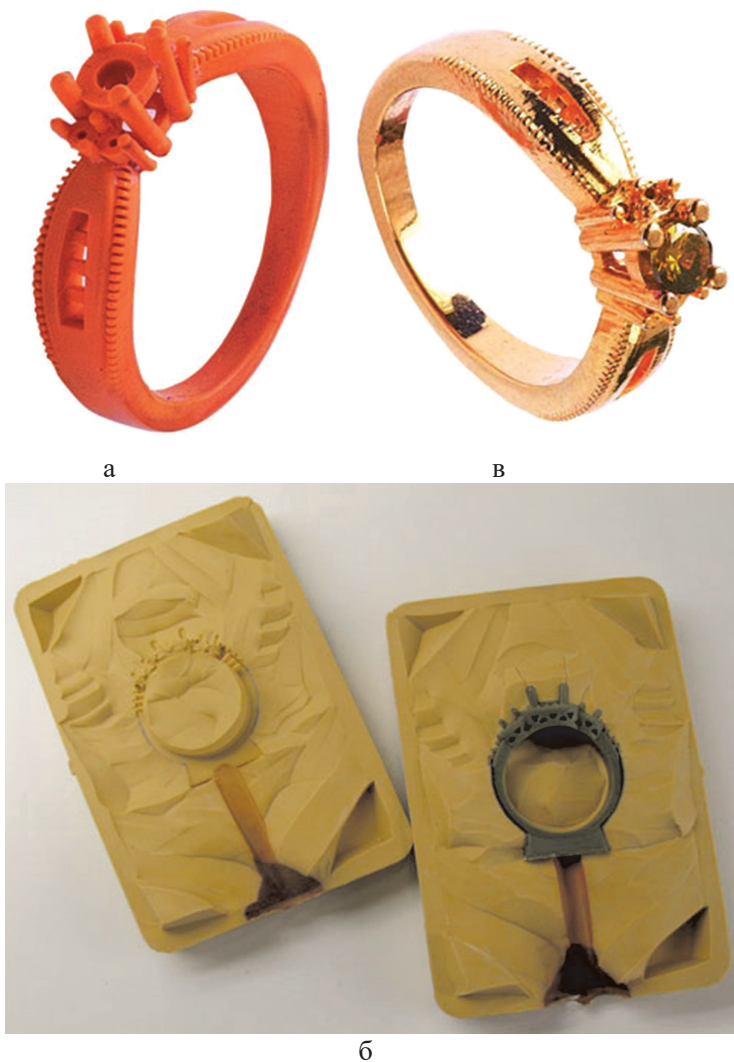


Рис. 5.24. Восковая модель (а), разъемная гипсовая форма (б) и ювелирное литое украшение с камнем (в) [128]

- Blender — свободно распространяемый 3D-редактор;
- Sketch Up — бесплатная программа от компании Google, развивается в рамках проекта по оцифровке городов мира;

● **Maker Bot Maker Ware** — программное обеспечение, которое подготавливает 3D-модели для печати и преобразует их в инструкции для прибора **Maker Bot Replicator 2**.

В приложении 1 представлен дизайн ювелирных изделий из различных сплавов технологией литья в гипсовые формы на основе микроталька, выполненных при участии авторов на предприятии в г. Одессе. Составы формовочных смесей, сплавов и способы литья проходят стадию патентования в Украине.

За рубежом при серийном производстве ювелирных изделий используют 3D-проектирование и 3D-печать для изготовления выплавляемых моделей из различных воскоподобных материалов.

ВЫВОДЫ

1. Дизайн-проектирование ювелирных изделий проводят после изучения конъюнктуры рынка и патентной информации о возможности повышения художественной выразительности изделий посредством изменения конструкции, формы, материала, цвета и способа обработки поверхности изделия.
2. Новые концептуальные идеи в дизайне литых ювелирных изделий базируются на использовании различных природных форм, имитации цветового дизайна драгоценных металлов, выполненных из цветных сплавов, использовании искусственных ювелирных камней, имитирующих драгоценные камни, семиотического подхода в проектировании формы изделий.
3. Применение 3D-моделирования расширяет возможности и сокращает время проектирования ювелирных изделий с новой формой, сочетаниями материалов для литья и изготовления вставок (камней), а также изготовления выплавляемых моделей или мастер-моделей с использованием технологий печати на 3D-принтерах.
4. Приведена характеристика современных технологий печати и характеристики 3D-принтеров для изготовления выплавляемых моделей из воска и мастер-моделей из пластика.
5. Представлен авторский дизайн ювелирных изделий, выполненных технологией литья в гипсовые формы по выплавляемым моделям с использованием новых сплавов и формовочной смеси для гипсовых форм на основе микроталька.

Литература

1. Рунге В. Ф. История дизайна, науки и техники. Книга 1. [Текст] / В. Ф. Рунге. М.: Архитектура-С, 2006. 368 с.
2. Егоров Б. В. Технический дизайн [Текст] / Б. В. Егоров, Л. А. Иванова, С. В. Котлик. Львов: Магнолія-2006, 2013. 336 с.
3. Новиков В. П. Ручное изготовление ювелирных украшений [Текст] / В. П. Новиков, Павлов В. С. Санкт-Петербург: Политехника, 1991. 208.
4. Зотов Б. Н. Художественное литье [Текст] / Б. Н. Зотов. М.: Машиностроение, 1982. 288 с.
5. Магницкий О. Н. Художественное литье [Текст] / О. Н. Магницкий, Ю. В. Пирайнен. Санкт-Петербург: Политехника, 1996. 231 с.
6. Лившиц В. Б. Ювелирное изделие своими руками: Справочник [Текст] / В. Б. Лившиц. М.: ОНИКС, 2008. 224 с.
7. Халилов И. Х. Ювелирное литье [Текст] / И. Х. Халилов, М. И. Халилов. Саратов, 2001. 130 с.
8. Брюс Дж. Кнут. Справочник ювелира [Текст] / Брюс Дж. Кнут. Омск: ИД «Дедал-Пресс», 2008. 148 с.
9. ДСТУ 3963–2000. Дизайн і ергономіка. Класифікація і номенклатура дизайнових та ергономічних показників якості побутових машин та приладів. Київ: Держстандарт України, 2000.
10. Иванова Л. А. Промышленное проектирование в дизайне. Монография. [Текст] / Л. А. Иванова, С. В. Котлик. Одесса: Астропринт, 2015. 317 с.
11. Гаммер А. А. Особенности классификации художественного литья [Текст] / А. А. Гаммер, А. А. Гутина // сб. Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции ПНИПУ, Ижевск, 2012. 180 с.
12. Иванов В. Н. Художественное литье [Текст] / В. Н. Иванов, В. М. Карпенко. М.: Высшая школа, 1999. 206 с.
13. Классификация и ассортимент ювелирных (драгоценных) изделий и товаров [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://znaytovar.ru/>
14. Классификация ювелирных украшений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.garazd.com.ua/>

15. Ювелирные украшения — классификация и виды ювелирных украшений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.guide.allyouluv.ru/>
16. Анализ ассортимента ювелирных изделий, реализуемых в торговой сети ЗАО «Красная Пресня» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://knowledge.allbest.ru/marketing/>
17. Серьги, сережки, ювелирные изделия: восковые модели, мастер модели и резиновые пресс-формы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ua.all.biz>
18. Ювелирная дизайн студия «Золотая роскошь» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kazan.nevesta.info>
19. Толковый словарь (бусы) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ozhegov.info/slovar>
20. Ювелирные изделия для шеи и декольте [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://moikompas.ru>
21. Цепочки компании «Золотой век» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.zolotoyvek.ua>
22. Большой медальон-оправа для кабошона. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.dombusin.ru/
23. Брошь, подвеска, ажурное литье [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.avito.ru/>
24. Серебряные кольца [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.aliexpress.com>.
25. Моя прелесть: красивейшие кольца лета 2009 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.adensya.ru/>
26. Гарнитур «Необычный изумруд» с бриллиантом и изумрудом [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.goldium.ru>.
27. Иванова Л. А. Справочник по художественному литью из цветных и благородных металлов [Текст] / Л. А. Иванова, В. П. Малых. Одесса: Совмин, 2001. 56 с.
28. Качество поверхности. Понятие о качестве поверхности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://delta-grup.ru>
29. Иванова Л. А. Процессы формирования отливок с тонкорельфной поверхностью повышенного качества [Текст]: дис. ... д. т. н. / ЛПИ. Ленинград, 1984. 451 с.
30. Куманин В. И. Материалы для ювелирных изделий [Текст] / В. И. Куманин, В. Б. Лившиц. М.: Кладезь, 2012. 240 с.
31. Способы изготовления искусственных драгоценных камней [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://patlah.ru>.

32. Цвет и оттенки золота и другая занятная информация [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.mj.com.ua
33. Гаврилова В. В. Основы формообразования заготовок изделий [Текст] / В. В. Гаврилова, М. В. Ищенко, В. А. Струк, Е. В. Овчинников. Гродно: ГГАУ, 2009. 224 с.
34. Зборщик А. М. Специальные методы литья [Текст]. Донецк: ГВУЗ «Дон НТУ», 2007. 158 с.
35. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям [Текст] / С. И. Репях. Днепропетровск: Лира, 2006. 1056 с.
36. Бех Н. И. Мир художественного литья [Текст] / Н. И. Бех, В. А. Васильев, Э. Ч. Гини, А. М. Петриченко М.: УРСС, 1997. 261 с.
37. Малыгин П. Ю. Совершенствование технологии изготовления керамических форм для литья по выплавляемым моделям [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. ИГТУ. Ижевск, 2000.
38. Варламов А. С. Технологические процессы ускоренного формообразования в литье по выплавляемым моделям [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / ЮУГУ. Челябинск, 2011.
39. Мартынов К. В. Керамические формы на кремнезольном связующем для литья по выплавляемым моделям [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / СПИМ. Санкт-Петербург, 2005.
40. Свиридов А. В. Исследование электрофоретических особенностей получения оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / КГТУ. Комсомольск на Амуре, 2008.
41. Лысиков Д. К. Разработка ресурсосберегающей технологии получения литья по выплавляемым моделям на основе металлофосфатных связующих. [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / ЛГТУ. Липецк, 2000.
42. Денисов М. И. Разработка составов керамических суспензий и исследование свойств оболочковых форм для литья по выплавляемым моделям на основе металлофосфатных связующих композиций [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. Чебоксары. ЧГПУ, 2000.
43. Суспензия для изготовления керамических оболочковых форм для литья по выплавляемым моделям. Патент RU 2358827, кл. В22С 1.
44. Способ изготовления бескремнезёмных керамических форм для точного литья по выплавляемым моделям. Патент RU 2411104, кл. В22С 9/04.
45. Репях С. И. Классификация выплавляемых модельных составов для точного литья [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://lityo.com.ua>.

46. Связующее для изготовления оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям. Патент RU 2446910, кл. В22С 1/18.
47. Способ изготовления многослойной оболочковой формы по выплавляемым моделям. Патент RU 2465093, кл. В22С 9.
48. Способ изготовления керамических оболочковых форм для точного литья металлов по выплавляемым моделям. Патент RU 2296645, кл. В22С 1/20.
49. Способ изготовления многослойных оболочковых литейных форм по выплавляемым моделям. Патент RU 2433013, кл. В22С 9/04.
50. Петров В. В. Теоретические и технологические основы управления свойствами моделей и форм в литье по удаляемым моделям для получения качественных отливок [Текст]: автореф. дис. д-ра т. н. / КГТУ. Комсомольск-на-Амуре, 2002.
51. Гутов Л. А. Художественное литье из драгоценных металлов [Текст]/ Л. А. Гутов, Е. Л. Бабяк, А. П. Изойтко. Л.: Машиностроение, 1988. 224 с.
52. Будников П. П. Технология керамики и огнеупоров [Текст]/ П. П. Будников, А. С. Бережной, И. А. Булавин. М.: Стройиздат, 1962. 708 с.
53. Мамина Л. И. Формовочные материалы [Текст]/ Л. И. Мамина, Б. А. Кулаков. Красноярск: СФУ, 2011. 344 с.
54. Смесь наливная формовочная с повышенной газопроницаемостью для получения отливок из цветных сплавов. Патент RU 2383410 кл. В22С 1/18.
55. Шероховатость поверхности (чистота обработки) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dpva.ru>
56. Смесь для изготовления гипсовых форм и стержней при производстве отливок из цветных и драгоценных сплавов и способ ее приготовления. Патент RU 2155114, кл. В22С 1/18
57. Способ приготовления смеси для изготовления гипсовых форм и стержней при производстве отливок из цветных сплавов. Патент RU 2162762, кл. В22С 1/18.
58. Гипсовая смесь для изготовления форм точного литья. Патент RU 248 4916. кл. В22С 1/00.
59. Формовочная смесь для изготовления литейных форм. Патент RU 220 7932, кл. В22С 1/18
60. Смесь формовочная для изготовления отливок ювелирных изделий. Патент RU 2165817, кл. В22С 1/18.

61. Формовочная смесь KERR Satin Cast 20 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ua.all.biz>
62. Смесь наливная самотвердеющая для изготовления форм и стержней при производстве отливок по выплавляемым моделям. Патент RU 2252103, кл.В22С 1/00.
63. Смесь для изготовления литейных форм по выплавляемым моделям. Патент RU 2105630, кл.В22С 1/16
64. Хрущёва И. Г. Дизайн и технология изготовления ювелирных изделий на основе природных растительных материалов [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / ИГТУ. Иркутск, 2013.
65. Горельцев А. А. Дизайн поверхности литых изделий малой пластики [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / МГАПИ. Москва, 2003.
66. Кобзев Д. С. Влияние технологий формообразования на дизайн изделий сложной формы [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / МГУ-ПиИ. Москва, 2015.
67. Соколов В. И. Рентгенографические исследования термического разложения талька. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://igkrc.ru>
68. Миронюк А. В. Реологическое поведение водных суспензий талька [Текст]/ А. В. Миронюк, А. А. Сикорский, Т. А. Караваев, В. А. Свидацкий // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2012. № 6. С. 23–26.
69. Чыонг С. Н. Изучение физико-химических закономерностей адсорбции в суспензиях талька Онотского месторождения [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / ИГТУ. Иркутск, 2012.
70. Краткий справочник химика [Текст] / под ред. Куриленко О. П. К.: Наукова думка, 1974. 967 с.
71. Ершова О. В. Изучение влияние состава неорганического наполнения на физико-химические свойства полимерного композиционного материала [Текст]: О. В. Ершова, Э. Р. Муллина, Л. В. Чупрова, О. А. Мишурина, Л. А. Бодьян. Фундаментальные исследования. М., 2014. № 12 (часть 3). С. 487–491.
72. Физико-химические параметры талька ТПК «Шабры-Украина» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sites.google.com>
73. Сидельников С. Б. Технология производства ювелирных изделий [Текст]: С. Б. Сидельников, С. В. Беляев, И. В. Усков. Красноярск: СФУ, 2008. 110с.
74. Цвет и оттенки золота и другая занятная информация [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mj.com.ua>

75. Производство драгоценных камней [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://salesbiznes.wordpress.com>
76. Сырьевая смесь для получения искусственного изумруда. Патент RU 2366623 кл. C03C 6/02.
77. Сырьевая смесь для получения искусственного изумруда. Патент RU 2412122 кл. C03C 6/00
78. Сырьевая смесь для получения искусственного камня. Патент RU 2480541, кл. C03C 6/02, C03C 1/10
79. Сырьевая смесь для получения искусственного камня. Патент RU 2448058, кл. C30C 6/02
80. Матричные мастер-сплавы (лигатура для ювелирного производства) Ювелирное обозрение № 6. 2011 [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.youblisher.com
81. Савченко В. А. Серебро становится технологичнее [Текст]: В. А. Савченко. М.: Ювелирное обозрение. 2011, № 2.
82. Оловянные бронзы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.libmetal.ru>
83. Справочник по цветным металлам (латуни) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.libmetal.ru>
84. Урвачёв В. П. Ювелирное художественное литье по выплавляемым моделям сплавов меди [Текст]: В. П. Урвачёв, В. В. Кочетов, Н. Б. Горина. Челябинск: Металлургия, 1991. 168 с.
85. Мельников П. С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении [Текст] / П. С. Мельников. Москва: Машиностроение, 1979. 296 с.
86. Потоотделение, биохимия пота [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.etiaxil.com.ua>
87. Состав пота у человека [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gypergidroz.ru>
88. Шрейбер Г. К. Конструкционные материалы в нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности [Текст] / Г. К. Шрейбер, С. М. Прелин, Б. Ф. Шибреев. Москва: Машиностроение, 1969. 396 с.
89. Лисицын П. Г. Решение проблемы дизайна цвета и качества поверхности литой бронзы [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / МГАПИ. Москва, 2004.
90. Шашлов А. Б. Основы светотехники [Текст]: А. Б. Шашлов. М.: Логос, 2011. — 256 с.
91. Коррозионная устойчивость золотых сплавов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://newhom.ru>

92. Сплав на основе меди Патент RU 2562560, кл.С22С 9/04
93. Сплав на основе меди Патент RU 2525876, кл.С22С 9/06,
94. Сплав на основе меди Патент RU 2384635, кл.С22С 9/00
95. Сплав на основе меди Патент RU 2546941, кл.С22С 9/04
96. Сплав на основе меди Патент RU 2457269, кл.С22С 9/02
97. Сплав на основе меди цвета золота Патент RU 2356973, кл.С22С 9/04
98. Сплав на основе меди цвета золота Патент RU 2356974, кл.С22С 9/04
99. Белкин А. П. Цветовые характеристики золотых гальванических покрытий [Текст] / А. П. Белкин, В. А. Лифшиц В. А., И. Б. Обухова и др. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://jewelpreciousmetal.ru>
100. Выбор литейных сплавов [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.uzsm.ru
101. Драгоценные камни: классификация, характеристика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.livemaster.ru>
102. Характеристики ювелирных камней, определяющих их ценность [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://juvelirum.ru>
103. Изумруд. Свойства камня [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://finesell.ru>
104. Изумруд [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.jewellery.org.ua>
105. Бериллы (изумруд) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.livemaster.ru>
106. Параметры фантазийных форм огранки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.diamanters.ru>
107. Сырьевая смесь для получения искусственного изумруда. Патент. RU 2412122, кл.С03С 6
108. Сырьевая смесь для получения искусственного изумруда. Патент. RU 2410339 кл. С03С6/02
109. Сырьевая смесь для получения искусственного изумруда. Патент. RU 2366623, кл.С03С 6/02
110. Heat resistant synthetic jewelry material WO204185813A1, опубл. 20.06.2014
111. Варка стекломассы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://investobserver.info>
112. Способы формования стекломассы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.stroitelstvo-new.ru>

113. Борисенко С. И. Показатель преломления света и методы его экспериментального определения [Текст] / С. И. Борисенко, О. Г. Ровинская, Н. С. Кравченко, А. В. Чернов. Томск: НИТПУ, 2014. 142 с.
114. Гладушко О. А. Заметки об анализе цвета стекольной продукции [Электронный ресурс] [Текст] / О. А. Гладушко, А. Г. Чесноков. — Режим доступа: www.glassinfo.ru
115. Иванова Л. О. Основы промыслового дизайну [Текст]: навчальний посібник: Л. О. Иванова, О. Є. Сергеева, С. В. Котлик. Одесса: Астропринт, 2017. 252 с.
116. Хрущева И. Г., Эксперименты по технологии отливок для дизайна ювелирных изделий на базе природных цветов и листьев. [Текст]/ И. Г. Хрущева, Р. М. Лобацкая // Дизайн. Теория и практика. Москва: МГУПИ, 2012. № 9. С. 77–87.
117. Гладченков Е. В. Разработка дизайна и проектирование новых ювелирных изделий из кристаллов алмаза природной формы [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / МГГУ. Москва, 2012.
118. Войнич Е. А. Дизайн ювелирных и декоративных изделий из нейзильбера [Текст]: автореф. дис. ... к. т. н. / МГАПИ. Москва, 2006.
119. Паспорт рынка ювелирных изделий Украины 2015 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://b2b-connect.ru>
120. Морфология или внешний вид минералов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mirmineralov.ru>
121. Ювелирное изделие. Патент RU 2383292, кл. А44С9, А44С27, А44С13
122. Способ получения защитного покрытия на поверхности изделий из сплава на основе меди. Патент RU 2231580, кл.С25D11/34
123. Бердичевский Е. Г. Семиотические подходы и стратегии в ВЕБ-дизайне [Текст]/ Е. Г. Бердичевский, Е. А. Бурчикова. Дизайн. Теория и практика. Москва: МГУПИ, 2016. № 25. С. 7–14.
124. Решение по 3D моделированию ювелирных изделий [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.sapphire.ru
125. Аддитивные технологии в ювелирной промышленности // Ювелирное обозрение. 2011. № 6. С. 21.
126. Базисные принципы работы 3D принтера [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dprinter.ua/>
127. Литье по мастер-моделям: успех в ювелирном деле сегодня во многом обеспечивается технологиями 3D печати [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.invent3d.ru>

128. Андронов А. В. Изготовление литых деталей с привлечением метода 3D печати. САД/САМ/САЕ Observer. М., 2014. № 7 (91).
129. Революция в производстве ювелирных изделий или ещё одна грань 3D печати [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.invent3d.ru>

Приложение

АВТОРСКИЙ ДИЗАЙН ЛИТЫХ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЕЙ ЛИТЬЯ В ГИПСОВЫЕ ФОРМЫ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ НА ПРЕДПРИЯТИИ «ОДЕССКИЙ ТОРГОВЫЙ ДОМ ФАБЕРЖЕ» (г. ОДЕССА)







У монографії відображено результати аналізу сучасних досліджень у галузі технології лиття і дизайн-проектування ювелірних виробів. Обґрунтовано перспективність застосування технології підвищення рідкотекучості сплавів міді, що імітує кольоровий дизайн сплавів золота, та використання 3D-принтерів для друку майстер-моделей з пластику при ювелірному литті.

Монографія призначена для спеціалістів у галузі дизайну, ювелірних виробів і друку моделей на принтерах. Може бути також корисною для аспірантів і студентів, що вивчають дизайн, маркетинг та 3D-графіку.

Навчальне видання

**ІВАНОВА Ліна Олександрівна,
КОТЛИК Сергій Валентинович,
ПОМАЗЕНКО Максим Олексійович
та ін.**

**ЗАСТОСУВАННЯ
ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
І 3D-ДРУКУ В ДИЗАЙНІ
ЮВЕЛІРНИХ ВИРОБІВ**

Монографія

Російською мовою

Завідувачка редакції *Т. М. Забанова*
Редактор *Н. Я. Рихтік*
Технічний редактор *М. М. Бушин*
Дизайнер обкладинки *О. А. Кунтарас*
Коректор *І. В. Шепельська*

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 15,11.
Тираж 300 прим. Зам. № 5 (11).

Видавництво і друкарня «Астропринт»
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21
Тел.: (0482) 37-07-95, 37-14-25, 33-07-17, (048) 7-855-855
e-mail: astro_print@ukr.net; www.astroprint.ua; www.stranichka.in.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003 р.