



Уральский  
федеральный  
университет

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

**Институт новых материалов  
и технологий**

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Учебное пособие





Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

---

---

*Учебное пособие*

Рекомендовано методическим советом  
Уральского федерального университета  
для студентов вуза, обучающихся  
по направлениям подготовки  
29.03.04, 29.04.04 — Технология художественной  
обработки материалов

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2021

УДК 671.12(075.8)

ББК 37.277.2я73

П79

Авторы: И. А. Груздева, Е. В. Денисова, О. И. Ильвес, В. М. Карпов

Рецензенты:

кафедра художественного проектирования и теории творчества  
(завкафедрой д-р культурологии, проф. *В. Н. Кардапольцева*);

руководитель отдела разработок и дизайна ювелирной компании  
*MOISEIKIN A. B. Пешкова*

Научный редактор — канд. искусствоведения, доц., главный  
специалист-эксперт Управления Министерства культуры РФ по Ураль-  
скому федеральному округу *Т. Б. Михайлова*

*На обложке использовано изображение из архива авторов.*

**Проектирование и изготовление ювелирных изделий :**  
П79 учебное пособие / И. А. Груздева, Е. В. Денисова, О. И. Ильвес,  
В. М. Карпов ; М-во образования и науки РФ. — Екатеринбург :  
Изд-во Урал. ун-та, 2021. — 124 с.

ISBN 978-5-7996-3197-0

В учебном пособии рассмотрен весь путь создания ювелирного украшения: от задумки дизайнера до воплощения в реальное художественное произведение. Подробно рассмотрены методики проектирования ювелирных украшений, представлена последовательность компьютерного построения изделий в программах трехмерного моделирования, описана технология изготовления ювелирных украшений методом литья по выплавляемым моделям.

Учебное пособие рекомендовано к изучению студентам бакалавриата и магистратуры, обучающимся по направлению подготовки «Технология художественной обработки материалов», а также работникам ювелирных предприятий и другим заинтересованным в ювелирном деле лицам.

Библиогр.: 40 назв. Табл. 6. Рис. 93. Прил. 3.

УДК 671.12(075.8)

ББК 37.277.2я73

ISBN 978-5-7996-3197-0

© Уральский федеральный  
университет, 2021

---

---

# Введение

---

---

**Ю**велирное дело — один из самых сложных, а поэтому один из самых интересных видов декоративно-прикладного искусства. Во-первых, мастера имеют дело с дорогостоящими материалами, во-вторых, сами изделия, как правило, очень небольшого размера, в-третьих, для изготовления модели ювелирного украшения — основного технологического этапа — используется кропотливый ручной труд.

Благодаря совершенствованию технологического оборудования, автоматизации некоторых технологических этапов, а также компьютерному проектированию и появлению трехмерной печати ювелирные украшения стали доступны подавляющему большинству людей. Сегодня ювелирные украшения не только несут определенную материальную ценность, но и представляют собой произведения высокого искусства.

Ювелирное дело — это область, где дизайн тесно переплетается с персональным мастерством и умением обрабатывать различные материалы. Производство ювелирных изделий начинается с создания эскиза. Идея художника переносится на бумагу в виде набросков и черновиков. Долгий художественный труд превращает набросок в полноценный цветной эскиз будущего украшения. Следующий этап — не менее сложный и важный — создание трехмерной модели, перенос двухмерного рисунка в программы трехмерного моделирования и последующее выращивание модели или создание такой модели вручную. Имея мастер-модель, получают литые заготовки, которые собирают в единое целое, изделие декорируют драгоценными и полудрагоценными камнями, ювелирными эмальями, наносят декоративные покрытия.

В пособии подробно описан долгий путь создания ювелирного украшения: от задумки дизайнера до воплощения в реальное художественное произведение. Ведь не только благородная красота драгоценных материалов придает ювелирным изделиям изысканность и высокую художественную ценность, но и талант художника, кропотливость 3D-модельера и мастерство ювелира.

---

---

# 1. Классификация ювелирных изделий

---

---

Как известно, упорядочение проектных процессов в искусстве и дизайне невозможно без классификации объектов проектирования. До сих пор не существует единой стандартизированной системы классификации изделий из драгоценных металлов. Вопрос классификации ювелирных товаров сложен, поскольку до настоящего времени точно не определено, какие именно виды изделий входят в ювелирную группу. Так, по классификации, представленной в учебниках [1], главный признак, на основе которого изделия относятся к группе ювелирных товаров, — сырьевой. Современные ювелиры следуют уже сложившейся традиции и классифицируют ювелирные товары по назначению, материалам и технологии производства.

По назначению изделия из ювелирных сплавов можно разделить на несколько видов (рис. 1) в зависимости от их использования в повседневной жизни.



Рис. 1. Классификация ювелирных изделий из драгоценных металлов и их сплавов по назначению

Личные украшения — самая распространенная группа ювелирных изделий, которая включает как отдельные предметы для украшения головы, шеи и платья, рук, других частей тела, так и гарнитуры. К предметам украшения головы относят серьги, диадемы, заколки и шпильки для волос. К предметам украшения шеи и платья — цепочки, бусы, гривны, колье, кулоны, броши, медальоны, ожерелья, подвесы. Кулоны, медальоны и подвесы используются в сочетании с цепочкой, шнуром или лентой. К предметам украшения рук относят кольца и браслеты. Гарнитуры представляют собой группу разных по назначению личных украшений, имеющих единое художественное решение. Гарнитуры обычно состоят из трех и более предметов, изготовленных из одного ювелирного сплава, имеющих одинаковый вид декоративной отделки и вставки.

К предметам туалета относят предметы личного пользования, необходимые для приведения в порядок внешнего вида: пудреницы, зеркала в оправе, флаконы для духов, а также предметы-украшения, позволяющие завершить образ костюма: очки, карманные и наручные часы, бортовые цепочки, портсигары, мундштуки и др.

К предметам сервировки стола относят художественно оформленные приборы и посуду. Ассортимент их представлен как в виде отдельных предметов, так и в виде сервизов и наборов, имеющих единое художественное оформление. К столовым приборам относят все виды ложек и вилок, ножи, сервировочные лопатки и другие предметы. К столовой посуде относятся блюда, тарелки, 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, скульптуры малых форм, настенные декоративные блюда и пр.

Принадлежности для письма включают перьевые и шариковые ручки, чернильницы из ювелирно-поделочных камней в сочетании с драгоценными металлами, ножи для резки бумаги, подставки для ручек.

Особая тема украшений — религиозные изделия. Чаще всего такие украшения изготовляют из золотых и серебряных сплавов. Каждое религиозное изделие имеет внешние особенности в виде знаков и символов, указывающие на определенную религию. В современном ювелирном искусстве религиозные украшения представлены отдельной группой.

Согласно федеральному закону от 23 мая 2018 г. № 121-ФЗ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» ювелирными признаются изделия, изготовленные из драгоценных металлов и их сплавов. Поэтому согласно классификации по материалам изготовления различают золотые, серебряные, платиновые и палладиевые ювелирные изделия. Изделия из ювелирных сплавов классифицируют по пробам. Классификацию изделий из золотых сплавов можно провести и по оттенку цвета украшения: белое, желтое, розовое, зеленое и др. По способу производства выделяют литые, штампованные и вручную изготовленные (кованые, чеканные и филигранные) ювелирные украшения.

Нередко сувениры выделяют в отдельную группу изделий. Сувениры (от фр. *souvenir* — «воспоминание, память») — изделия, отражающие национальные или региональные особенности культуры, а также памятные даты, достижения в спорте и др. Сувениры несут колорит места, в котором они были произведены и приобретены. Это может быть эмблема города, изображение памятного места, объект культуры. Сегодня широко распространены корпоративные сувениры или бизнес-сувениры, то есть подарочные изделия, которые преподносятся сотрудникам или гостям компании от руководства в честь юбилейных событий или приурочены к каким-либо мероприятиям. Сувенирная продукция выполняется в виде медалей, значков, брелоков, барельефов, мелкой пластики и др.

Таким образом, чтобы отнести изделие из драгоценных металлов и их сплавов к какой-либо группе, необходимо выявить основные формы ювелирных украшений и их конструктивные, функциональные и иные особенности.



---

---

## 2. Особенности художественного проектирования ювелирных изделий

---

---

**П**роектирование ювелирных украшений имеет свои особенности, специфические принципы и закономерности. Проектирование ювелирных украшений требует не только знания композиционного построения объектов и навыков графического изображения трехмерных предметов на бумаге, но и понимания технологии производства ювелирных изделий и технических особенностей материала. Художнику и дизайнеру необходимо знать минимально возможную получаемую литьем или методами деформации толщину заготовки, минимально и максимально возможную глубину выемок для горячих и фотополимерных эмалей, оптимальные размеры и виды огранок для определенных видов закрепки, т. е. знать все ограничения ювелирного производства.

Проектирование — это генерирование идеи, которая должна найти отражение в образе, а этот образ, в свою очередь, должен найти воплощение в материале, то есть быть реализованным в конечном объемно-пространственном объекте. Отсюда следует, что цель проектирования в области дизайна и декоративно-прикладного искусства, в частности ювелирного искусства, заключается в материализации идеи или образа [2].

Цель проектной работы состоит в том, чтобы разработать систему мер, обеспечивающих адекватное отражение проектной идеи в условиях форм подачи проектного материала. Основными выразительными средствами создания объемно-пространственной конструкции ювелирного украшения являются стилистика, конструкция и размер

украшений, применяемые материалы, цветовое решение и фактура поверхности изделия, эргономичность изделия.

Стоит выделить три основных этапа художественного проектирования. Первый этап — это формирование идеи, концепции, художественного образа. На этом этапе формулируется проектная задача, проводится поиск и анализ материала для создания художественного образа. Кроме того, в это же время важен поиск и анализ аналогов, изучение социологических и экономических требований. Второй этап — визуализация идей, образного решения. Начинается этап с композиционного построения, т. е. с последовательного преобразования идеи в конкретное изделие, представленное на бумаге или в виде макета. Завершающий этап — поиск оптимального способа реализации образа в материале; в этот этап входят расчет параметров будущего изделия и подготовка проектной документации.

Несомненно, процессу проектирования предшествует предпроектная работа. Она предполагает формирование основной творческой задачи проектной работы, а именно поиск совокупности художественно-выразительных приемов в единстве с идейным содержанием проекта.

Предпроектная деятельность, в свою очередь, делится на стадии:

- формулировка задачи согласно требованиям учебного задания с описанием основных технических и стилистических характеристик будущего объекта-изделия;
- сбор и обобщение информации о проектной задаче, поиск аналогов;
- поиск возможных способов выполнения поставленной задачи;
- предложение собственной концепции.

В ходе предпроектной работы стоит изучить предмет проектирования под разными углами зрения — социальным, социокультурным, экономическим, технологическим, климатогеографическим и т. д. Необходимо сразу определить целевую аудиторию потребителей, а именно возраст, социальный статус, посещаемые мероприятия, и исходя из этого установить ценовой уровень изделий. Установить количество ювелирных украшений и ювелирные материалы, основную технологию изготовления.

В ходе предпроектной работы необходимо учитывать, что всю ювелирную продукцию с точки зрения типологии можно условно разделить на две основные группы: эксклюзивные украшения и серийные изделия (рис. 2).



Рис. 2. Типы ювелирных украшений

Далее более подробно рассмотрим методику проектирования и готовые работы в каждой из этих групп ювелирных украшений.

## 2.1. Эксклюзивные ювелирные украшения

Эксклюзивные ювелирные украшения прежде всего выделяются среди остальных оригинальностью, новизной и художественно-образным решением. Для них характерны поисковые дизайнерские разработки, которые либо воплощены в систему эстетических вкусов, норм, художественно-ценностных установок и ориентиров, и тогда такие работы являются коммерческими, либо воплощены в виде экспериментальных, выставочных и конкурсных работ. Эксклюзивные ювелирные украшения выполняются в одном экземпляре и в зависимости от цели могут быть исполнены в различных материалах. Техника исполнения таких изделий — ручное изготовление либо изготовление металлических деталей методом литья по выплавляемым моделям с дальнейшей ручной доработкой изделия.

Авторские работы, демонстрирующие талант независимого художника-ювелира, участвующие в дефиле или представленные в витринах музейных собраний, могут быть выполнены с использованием как традиционных драгоценных ювелирных материалов, так и нетрадиционных: алюминия или титана, картона или бумаги, стекла или бисера, фарфора или полимерной глины, синтетической смолы или пластика, различных пород дерева и т. д.

Те ювелирные украшения, которые демонстрируют профессиональный уровень мастеров ювелирных компаний и изготавливаются с целью продвижения новых коллекций ювелирных домов, выполняются, как правило, только из сплавов драгоценных металлов и уникальных драгоценных камней. Иногда, следуя тренду и ювелирной моде, используют «материалы-новинки» — каучук, ценные породы древесины, кожу рептилий или морских животных. Как правило, впервые такие драгоценности демонстрируются на презентации новой коллекции ювелирного дома или участвуют в различных профессиональных конкурсах.

Тематика эксклюзивных ювелирных украшений разнообразна: времена года, природные стихии, чувства человека, искусство, флора, фауна, древние культуры, легенды мира и др.

Основные стилевые направления эксклюзивных ювелирных украшений, как правило, классика, авангард и этнический стиль.

Классический стиль ювелирных украшений характеризуется элегантною формы объемно-пространственной конструкции, гармоничным композиционным построением, четкими линиями и, как правило, симметричностью.

Классический стиль в ювелирном деле зародился во второй половине XVIII в. Несмотря на то, что стиль просуществовал всего несколько десятилетий, он оставил значимый след в ювелирном искусстве и именно из украшений периода классицизма родились современные классические ювелирные изделия [3]. Классический стиль, а сегодня чаще говорят «современная ювелирная классика», — это элегантность, сдержанность и упорядоченность декора. Для примера на рис. 3 представлены эксклюзивные ювелирные украшения в классическом стиле.

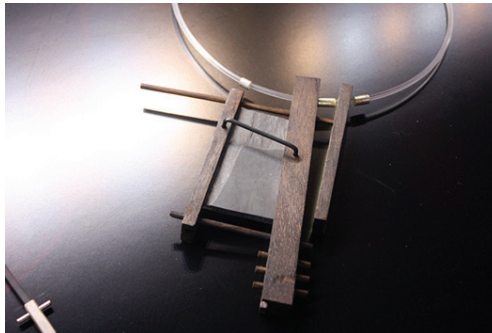
Под словосочетанием «авангардные ювелирные украшения» понимают необычные украшения, которым присуще отрицание привычных форм и традиций. Обычно это эксцентричное, яркое и броское украшение, в котором могут сочетаться необычные материалы, драгоценные камни соседствуют с самоцветами и даже акрилом, ювелирные сплавы — с кожей и силиконом. Для этого направления характерны крупные размеры изделий, геометричность, стилизация формы или же, наоборот, натурализм. Зачастую это арт-объекты, изготовленные ручным способом. На рис. 4 представлены работы в стиле авангард.



Рис. 3. Украшения в классическом стиле:

- а — кольцо «Павлин» (Ювелирный дом MOISEIKIN : [сайт]. URL: <https://moiseikin.com/ru/>);  
б — серьги Hiroyo Watanabe, победитель конкурса «Бриллиантовый Оскар» Де Бирс (Ярмарка мастеров : [сайт]. URL: <https://www.livemaster.ru/>)

а



б

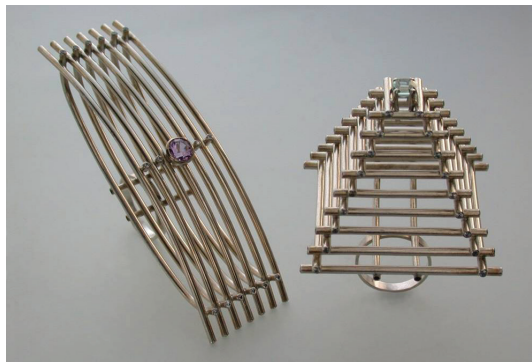


Рис. 4. Работы в авангардном стиле (фото из личного архива автора Е. В. Денисовой):

- а — арт-объект, материалы: медь, дерево, акрил; б — серия колец RINGLINE, материалы: серебро 925, александрит, аметист, фианиты



Рис. 5. Украшения в этническом стиле:

а — кольцо «Предания старины далекой», материалы: серебро 925, гранаты, сердолики (фото из личного архива автора Е. В. Денисовой); б — браслет «Сакура», материалы: серебро 925, горячие эмали (Ярмарка мастеров : [сайт]. URL: <https://www.livemaster.ru/>)

Стоит отметить, что использованный в серии колец RINGLINE (рис. 4, б) технический прием — закрепка ограненных камней в трубчатую конструкцию — впоследствии стал стилистическим приемом направления авангард.

Фольклор, или этнический стиль, определяется тематикой: мотивами и орнаментами национальных, региональных, древних или современных культур. Это могут быть, например, скифский, скандинавский стиль, кельтские украшения, характерный индийский или яркий африканский стиль. На рис. 5 представлены примеры ювелирных украшений в этническом стиле.

Подиумные ювелирные украшения представляют собой изделия, которые становятся доминантой дефиле и отражают яркую авторскую концепцию. Как правило, эти изделия имеют большой или даже огромный размер, что обусловлено необходимостью быть заметными издали (рис. 6). Подиумные украшения своим видом демонстрируют новый взгляд дизайнеров на ювелирное украшение, функцию и эстетику формы. Для них превалирует формально-образное решение, характеризующееся оригинальной композицией и новизной компоновки. На первый план выходят требования новизны, оригинальности и художественной образности. Иногда техническое исполнение подиумных украшений отходит на второй план.



Рис. 6. Подиумная коллекция ювелирных украшений модного дома Dolce & Gabbana, Неделя высокой моды в Милане 2012 г. (Жизнь в стиле Dolce & Gabbana : [сайт]. URL: <https://dolcegabbana.livejournal.com>):

а — корсет, б — ювелирный гарнитур

Таким образом, эксклюзивные ювелирные украшения могут быть выполнены в любом стиле, но все же большинство коммерческих эксклюзивных украшений выполнены в классическом стиле с использованием золотых ювелирных сплавов высокой пробы и драгоценных камней первой классификационной группы — бриллиантов, рубинов, сапфиров, изумрудов, опалов. Нередко используются крупные вставки из танзанита, турмалина и других прозрачных ювелирных камней массой 10 карат и более. Техническое исполнение и потребительская ценность таких изделий совершенны и соответствуют мировым требованиям.

## 2.2. Серийные ювелирные украшения

К серийным относят ювелирные украшения, выполненные по типовой технологии изготовления. Основная цель изготовления серийных ювелирных украшений — получение прибыли и экономический

рост предприятия. Каждый ювелирный дом выбирает свой путь в формировании ассортимента изделий, а соответственно, и ценообразования. Условно такие изделия можно разделить на украшения премиум-класса, которые выпускают малой серией, и изделия массового производства среднего качества. Ювелирные украшения премиум-класса соответствуют высокому уровню качества. Несмотря на то, что такие изделия выполнены по типовому технологическому процессу, им свойственно эстетическое и техническое совершенство. Эти изделия конкурентоспособны на мировом рынке и пользуются устойчивым спросом у взыскательного потребителя. Ювелирная продукция со средним и даже пониженным уровнем качества имеет несколько худшие потребительские свойства. Как правило, такая продукция реализуется по низким ценам.

Довольно часто для продвижения коллекций украшений на рынке ювелирные дома изготавливают украшения высокого ценового и художественного достоинства в одном экземпляре или ограниченной серией.

Тематика серийных ювелирных украшений разнообразна так же, как эксклюзивных. Это флора и фауна, древние культуры и элементы традиционных орнаментов, природа и ее явления и т. д.

Ювелиры во все времена ведут поиск новых средств выразительности ювелирных украшений. Среди множества способов придания художественной выразительности украшениям стоит выделить тренды последнего десятилетия:

- новые декоративные покрытия, например светоотверждаемая эмаль и нанокерамика (рис. 7);
- новые виды закрепки вставок (рис. 8);
- изделия-трансформеры (ювелирные украшения, которые могут видоизменяться внешне или функционально, рис. 9);
- трансляция в ювелирный дизайн некоторых видов искусства (рис. 10).

Нанокерамика — довольно новый вид декоративного покрытия в ювелирном деле. Нанокерамическое покрытие наносится методом электрофореза — методом катодного электроосаждения. Получаемые таким способом на ювелирных изделиях тонкие пленки обладают высокой твердостью и износостойкостью, могут быть как прозрачными, так и непрозрачными, бесцветными или окрашенными.

Изобретенная ювелирным домом MOISEIKIN закрепка «Вальсирующая бриллиант» (Waltzing Brilliance) дает возможность надежно



зафиксировать камень в ювелирном украшении. Основным преимуществом такой закрепки является подвижность и открытость прозрачной вставки, что позволяет усилить игру света и обеспечить сияние драгоценных камней. Сама закрепка состоит из одного кольца, которое соответствует по форме нижней части ограненного камня, и одного крапана (рис. 8, б). Камень устанавливают в кольцо и точно закрывают сверху крапаном, что обеспечивает одновременно фиксацию и подвижность драгоценного камня.



Рис. 7. Коллекция ювелирных украшений с покрытием из нанокерамики (Ювелирный салон «Ринго» : [сайт]. URL: <https://ringo.info>)

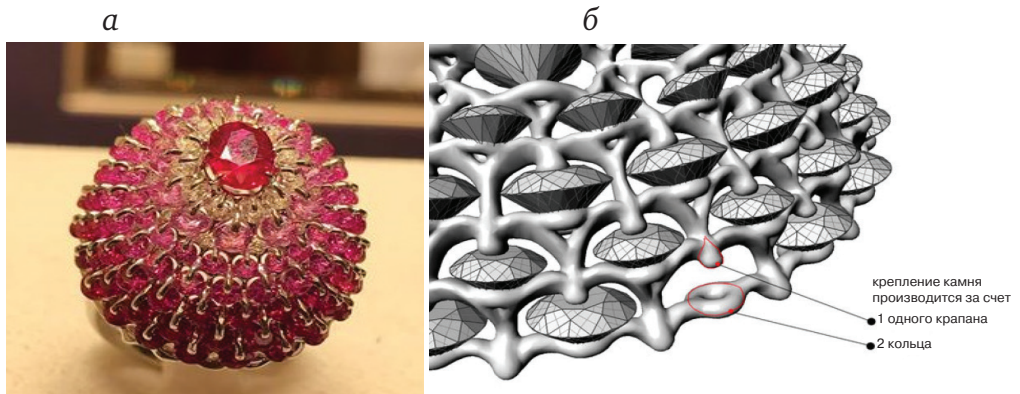


Рис. 8. Закрепка «Вальсирующий бриллиант» (Ювелирный дом MOISEIKIN : [сайт]. URL: <https://moiseikin.com/ru/>):

а — изделие; б — схема



Рис. 9. Браслет-трансформер STELLA MARIS, «Бронницкий ювелир»:  
браслет, кольцо и серьги (Бронницкий ювелир : [сайт].  
URL: <https://www.bronnitsy.com>)

Браслет-трансформер STELLA MARIS — шедевр мастеров «Бронницкого ювелира». Браслет завоевал всеобщее признание и занял I место по итогам XII Всероссийского конкурса ювелиров «Лучшие украшения в России» в рамках выставки «JUNWEX Москва» в 2016 г. Браслет-трансформер преобразуется в гарнитур, состоящий из кольца, серег, колье и браслета. Украшения-трансформеры — отнюдь не новое изобретение, они переживают очередной взлет. Первые ювелирные украшения-трансформеры появились в период позднего Возрождения. Именно период барокко отличался разнообразием сложных украшений, которые разделялись на несколько частей и их можно было носить как самостоятельные изделия. Экономика играла не последнюю роль в идее украшений-трансформеров. Такая рациональность (крупное дорогостоящее украшение становится несколькими мелкими) была популярной на протяжении нескольких веков. Сегодня для ювелирных домов создание сложных штучных украшений-трансформеров — это возможность показать ювелирное мастерство, свои инженерные находки и особо редкие драгоценные камни.

Метод трансляции известных и узнаваемых архитектурных объектов и различных видов искусства в ювелирный дизайн довольно интересен и часто используется. Так, коллекция «Петергоф» (рис. 10) состоит из двадцати предметов ювелирного искусства, создающих мозаичную выкладку панорамного вида Петродворца. Каждое изделие получило свое название в честь конкретной части или объекта дворцово-паркового ансамбля.

Метод трансляции живописи в ювелирный дизайн прекрасно представлен в коллекции VINCENT ювелирного дома MOISEIKIN. В гар-

нитуре «Подсолнухи» (рис. 11), созданном по мотивам знаменитого полотна Ван Гога, солнечный желтый цвет золотых лепестков подчеркивает ажурный ободок из цельного золотистого цитрина.



Рис. 10. Кольцо «Русский Версаль» из коллекции «Петергоф» (Ювелирный дом CHAMOVSKIKH : [сайт]. URL: <https://chamovskikh.com>)



Рис. 11. Гарнитур «Подсолнухи» (Ювелирный дом MOISEIKIN : [сайт]. URL: <https://moiseikin.com/ru/>)

### 2.3. Разработка дизайна коллекции

---

---

Разработка дизайна коллекции ювелирных украшений на выбранную тему начинается с проектного задания. Подготовительный этап включает в себя выбор темы, работу с аналогами, подбор изделий и их количества в коллекции ювелирных украшений. Каждый проект имеет свои отличительные особенности, вытекающие из своеобразия темы, объекта исследования, структуры работы, требований заказчика, наличия и полноты источников информации и т. д. Вместе с тем каждая работа по проектированию коллекции ювелирных украшений строится по общей схеме.

В ходе работы над проектом и поиска дизайнерского решения коллекции ювелирных украшений дизайнеру необходимо:

- сформулировать основные принципы дизайнерского решения изделий коллекции в соответствии с выбранной темой;
- выявить художественную выразительность формы и декоративных элементов;
- провести проверку реалистичности и технологичности предложенных вариантов ювелирных украшений.

Цель выполнения проекта заключается в разработке дизайна коллекции ювелирных украшений на основе имеющихся теоретических и практических знаний.

*Примечание.* Для студентов УрФУ, обучающихся по направлению 29.03.04 — Технология художественной обработки материалов, учебным планом предусмотрено выполнение проектных работ «Ювелирный подиум», «Историческая стилизация» и «Проектирование ювелирных украшений». На выполнение курсовой работы, проекта по модулю и выпускной квалификационной работы по проектированию ювелирных украшений отводится не менее шести недель. Работы включают в себя графическую часть и пояснительную записку.

Проект «Ювелирный подиум» посвящен разработке и обоснованию авторской концепции в создании яркого целостного художественного образа (стилевое единство костюма и ювелирного украшения).

На рис. 12–15 приведены примеры проектных работ «Ювелирный подиум». На рис. 12 представлены изображения серии ювелирных подвесов коллекции «Пятый элемент». Источником вдохновения

послужил одноименный кинофильм. Каждый подвес символизирует одну из четырех стихий: огонь, воду, воздух и землю, а также «пятую стихию» — героиню фильма Лилу. Каждый подвес имеет свое оригинальное художественное решение, они объединены общей тематикой и техникой исполнения, формой украшений и видом закрепки мелких ограночных камней, а также применяемыми материалами: серебряный сплав 925 пробы, ювелирные эмали.



Рис. 12. Серия подвесов из коллекции «Пятый элемент» (студент УрФУ М. С. Белякина, 2017 г.)

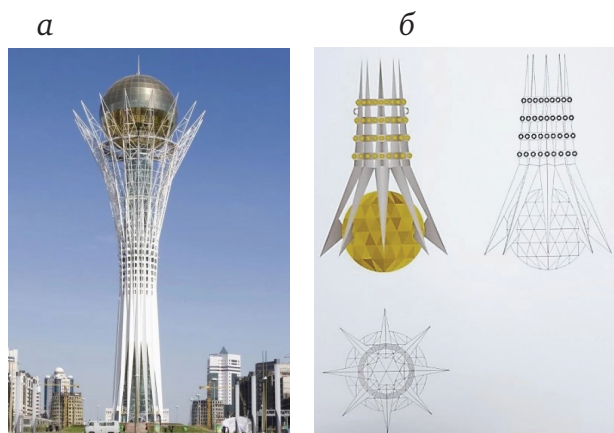


Рис. 13. Здание «Байтерек» (а) и эскиз ювелирного украшения (б) (студент УрФУ А. С. Леденева, 2017 г.)



Рис. 14. Карта Орджоникидзевского района г. Екатеринбурга (а) и эскиз ювелирного подвеса (б) (студент УрФУ Ю. А. Ларионова, 2017 г.)

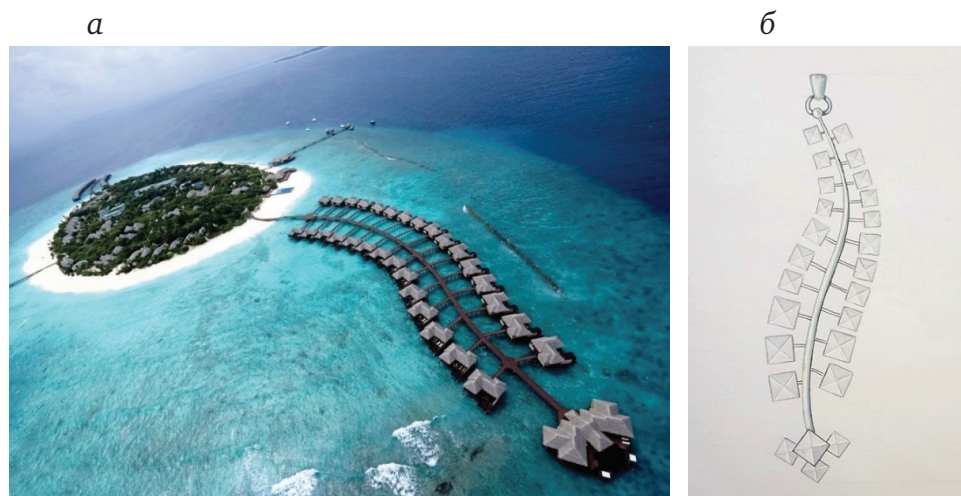


Рис. 15. Вид одного из Мальдивских островов (а) и эскиз подвеса (б) (студент УрФУ Е. М. Чемоданова, 2017 г.)

Важный момент выполнения проекта — не только проработка ювелирного украшения, но и обязательность гармоничного сочетания с образом костюма.

Проект «Историческая стилизация» посвящен разработке современных ювелирных украшений на основе полного погружения в большой художественный исторический стиль. Выполнение проекта позволяет применить на практике знание стилистических особенностей ювелирных украшений. Метод исторической стилизации

использовали многие европейские ювелирные дома в последней четверти XIX в., в том числе великий Карл Фаберже (рис. 16).



Рис. 16. Проектирование по методу исторической стилизации (Ювелирный дом «А. Ананов» : [сайт]. URL: <http://a-ananov.com>):

а — пасхальное яйцо; б — серьги

Метод исторической стилизации позволяет создать коммерчески успешное ювелирное украшение класса премиум на основе изучения стилистических особенностей аутентичных украшений. Основные художественные исторические стили: античность, готика, Древняя Русь, ренессанс, барокко, ампир, рококо, модерн, ар-деко.

Проектная работа предполагает поиск, изучение и отбор известных памятников архитектуры, живописи, декоративного искусства, выявление особенностей мужской и женской моды в области костюма и аксессуаров выбранного художественного исторического стиля. Как правило, проект содержит следующие разделы: историческая справка о выбранном стиле, архитектура, скульптура, живопись, костюмы, орнамент и ювелирные украшения. В разделе «Ювелирные украшения» описываются типичные для этого стиля ювелирные материалы и техники исполнения, виды и конструкции украшений, основную тематику украшений выбранного для изучения периода времени. На основе первоисточника проектируется авторское ювелирное украшение. Поскольку задачей является проектирование

современного ювелирного украшения, то допускается использование современных видов огранки вставок, их закрепки и технологии изготовления украшения.

Для примера на рис. 17 приведены изображения ювелирных украшений, выполненных по методике исторической стилизации под первоисточник эпохи романтизма, викторианский стиль.



Рис. 17. Викторианский стиль:

а — камень, резчик Луиджи Саулини, ювелир Джон Бродген (1880 г.) [3];  
б, в, г — стилизованные подвесы, разработанные на основе аутентичной камеи  
(студент УрФУ Е. В. Спирькова, 2019 г.)

Подвесы, разработанные на основе копии исторического первоисточника — аутентичной камеи в викторианском стиле (рис. 17, а), имеют стилистические особенности, характерные для данного стиля (рис. 17, б–г). Подвесы массивны, выразительны, эмоциональны — это совпадает со стилистикой викторианских украшений и с современными трендами в ювелирном искусстве. В дизайне подвесов присутствует растительный орнамент, используется большое количество драгоценных камней и резные камеи с изображением горгоны Медузы и других сцен из греческой мифологии.

Современный метод изготовления и доработки камей — обработка с помощью ультразвуковых станков. Ультразвуковая обработка позволяет получить на камне идеально точный рисунок, воспроизводить такие тончайшие детали, как пряди волос, складки кожи. Но, несмотря на современные технологии, все же камеи дорабатываются резчиками вручную. Профессиональный резчик камей использует



инструмент с алмазной насадкой, причем каждая насадка выполнена специально для прорезания определенной линии или углубления.

На рис. 18 приведены примеры работ по методу исторической стилизации в стиле французского классицизма. На основе аутентичного украшения — банта-склаважа (рис. 18, а) — были разработаны два варианта брошей современного дизайна (рис. 18, б, в). На рис. 19 — пример работы на тему французского модерна, первоисточником служат работы Рене Лалика.

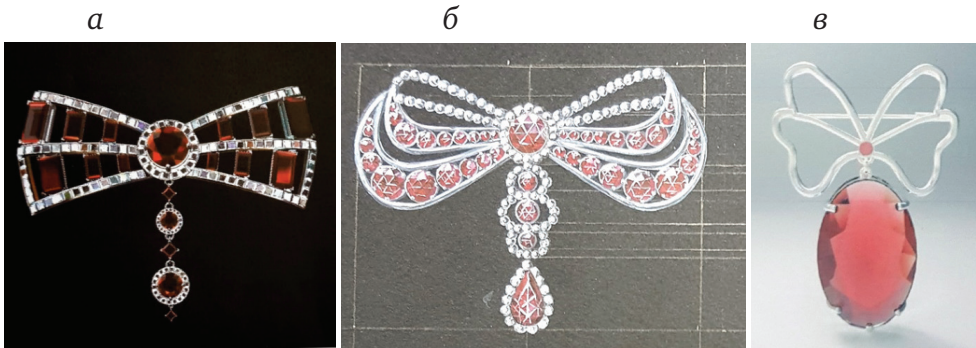


Рис. 18. Французский классицизм:

а — аутентичный бант-склаваж [3]; б, в — проекты современных стилизованных брошей (студент УрФУ Е. А. Шицелова, 2018 г.)

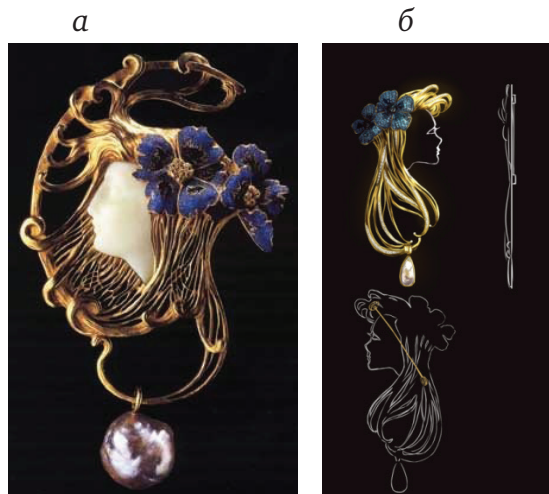


Рис. 19. Французский модерн:

а — первоисточник, подвес работы Рене Лалика [3]; б — проект стилизованного подвеса (студент УрФУ М. А. Закирьянова, 2020 г.)

Работа «Проектирование ювелирных украшений» сочетает как ручное проектирование, так и проектирование с помощью программ трехмерного моделирования. Поэтому и результаты могут быть представлены как графически, так и в виде визуализации. Все виды украшений представляются в масштабе 1 : 1. Главный вид всегда изображается в цвете. Для примера на рис. 20–27 приведены изображения украшений, разработанных студентами в ходе проектной работы, ниже даны перечни обязательных видов графического изображения различных типов украшений на бумаге.

Для серег обязательен главный вид в цвете с прорисовкой всех деталей. Вид сбоку выполняется в графике в соответствии с проекционными линиями и обозначением основных уровней рельефа (рис. 20). Асимметричные серьги и серьги с осевой и зеркальной симметрией изображаются с поворотом в разные стороны (рис. 21).



Рис. 20. Серьги (работы студентов УрФУ):

а — серьга-кафф (П. А. Уланова, 2019 г.); б — серьга с английским замком (А. В. Парахина, 2019 г.); в — симметричные серьги с итальянским замком (В. Е. Шашкин, 2019 г.)

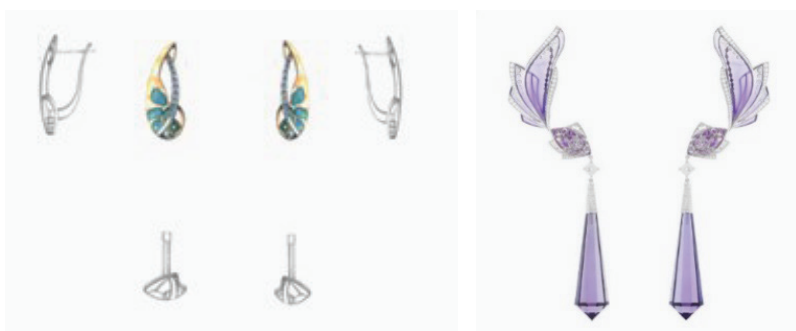
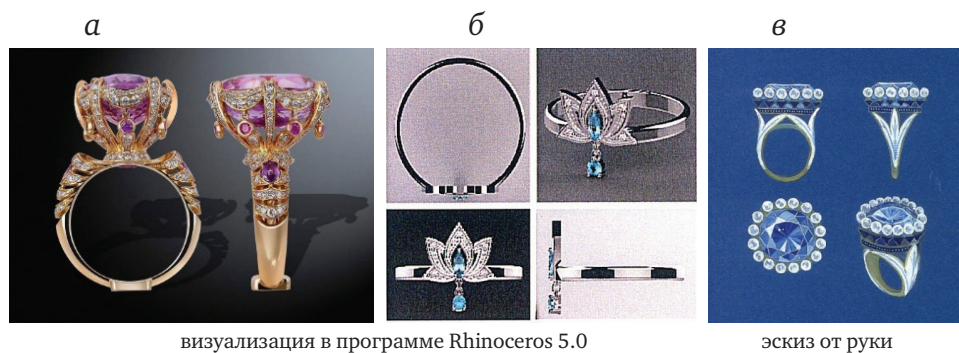


Рис. 21. Серьги с зеркальной симметрией (студент УрФУ А. В. Парахина, 2019 г.)

Для колец, так же как и для серег, обязателен главный вид и вид сбоку (рис. 22). При наличии сложного оформления верхней части кольца необходимы виды сверху и изометрия. Колье, гривна, ожерелье изображаются главным видом, а также видом сбоку, который выполняется в графике и в цвете в соответствии с проекционными линиями (рис. 23). Колье-ошейник представляется еще и в развернутом виде (рис. 24). Конструкции брошей в настоящее время очень разнообразны (рис. 25). Для любой конструкции обязателен главный фронтальный вид с прорисовкой деталей, вид сбоку в графике в соответствии с проекционными линиями и обозначением основных линий рельефа, а также вид оборотной стороны в графике с обозначением контура броши, иглы и посадочных конструкций под иглу.



визуализация в программе Rhinoceros 5.0

эскиз от руки

Рис. 22. Кольца

(а — работа с сайта «Ярмарка мастеров». URL: <https://www.livemaster.ru/>;  
б, в — работы студентов УрФУ Д. Д. Худоконова, 2019 г., и А. А. Самариной, 2017 г.)



Рис. 23. Колье (работы студентов УрФУ П. А. Улановой (а) и А. В. Парахиной (б), 2019 г.)

Среди конструкций браслетов наиболее часто используют звеньевой или монолитный браслет (рис. 26). Главным видом и звеньевого, и монолитного браслета является фронтальное изображение сверху в виде развертки, а также вид сбоку в графике под цветной конструкцией в соответствии с основной осью, проекционными линиями, обозначением всех рельефных деталей.



Рис. 24. Графическое представление колье  
(студент УрФУ В. В. Фидченко, 2020 г.):  
а — колье-ошейник; б — элементы колье

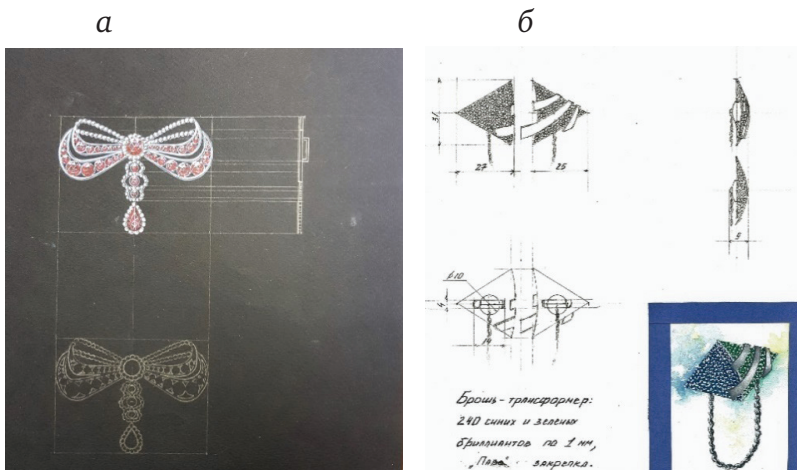


Рис. 25. Броши (работы студентов УрФУ):  
а — плоскостная конструкция (Е. А. Шицелова, 2018 г.);  
б — брошь из двух конструктивных элементов (Е. А. Беспалова, 2015 г.)

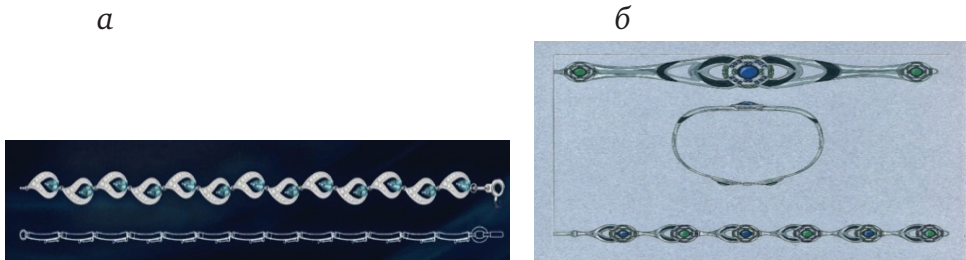


Рис. 26. Браслеты (работы студентов УрФУ):  
 а — звеньевой (А. А. Самарина, 2017 г.); б — монолитный  
 с центральной вставкой (С. А. Плотникова, 2017 г.)

Конструкция подвесов может быть плоскостной или объемной (рис. 27). Для любой конструкции подвеса главным является фронтальный вид спереди в цвете с прорисовкой всех деталей. Кроме того, представляется вид сбоку в графике с проекционными линиями и обозначением основных уровней рельефа.

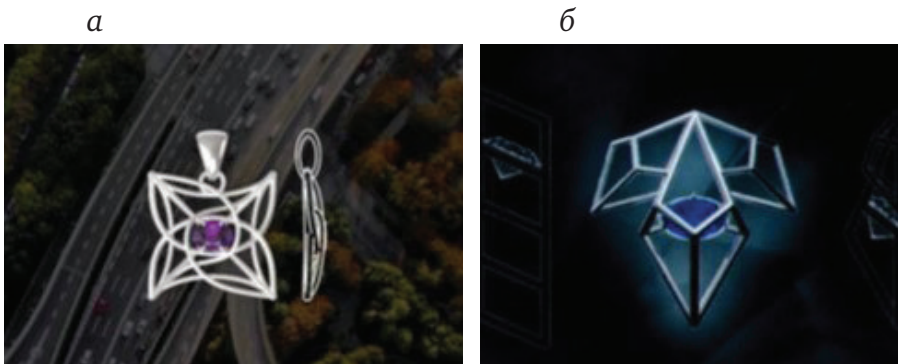


Рис. 27. Подвесы (работы студентов УрФУ):  
 а — плоскостной (А. Б. Шатохина, 2018 г.);  
 б — объемный (И. В. Пушкарева, 2018 г.)

*Примечание.* Результаты курсовых работ студентов УрФУ часто становятся началом формирования коллекции ювелирных украшений для дипломной работы. Работа над дипломным проектом начинается с выбора каждым студентом темы, которая согласовывается с научным руководителем и утверждается заведующим кафедрой. Тематика проектов разнообразна, но должна быть актуальной, соответствовать профилю специальности, современному состоянию теории и практики ювелирного дизайна.

На рис. 28–32 представлены примеры украшений, которые стали основой ювелирной коллекции. На рис. 28 представлено кольцо, источником художественного образа для которого стала вулканическая порода базальт. Кольцо послужило началом создания ювелирной коллекции «Базальт». Ювелирные украшения были выполнены из серебряного сплава 925 пробы специально для ценителей брутальных форм. По результатам поиска аналогов, где источником вдохновения дизайнера являлись бы природные базальтовые образования, можно утверждать, что эта тема впервые так удачно осуществлена в промышленном дизайне. Форма столбов базальта определяет внешний вид изделий — множество прилегающих друг к другу шестиугольных призм. В основе формообразования кольца «Базальт» — метрический повтор и модуль.

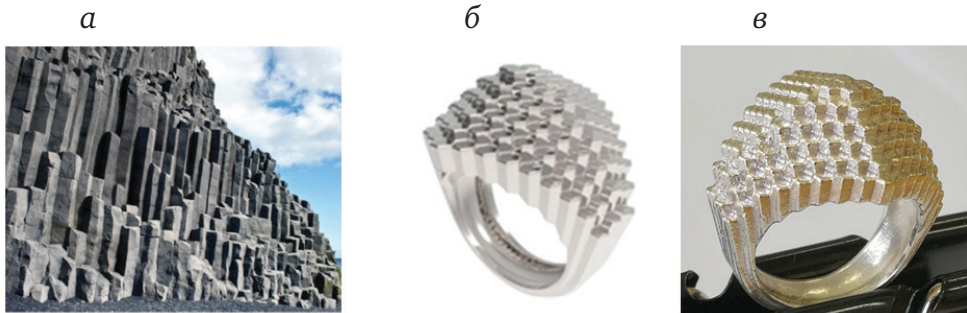


Рис. 28. Разработка дизайна кольца «Базальт» (студент УрФУ А. В. Трубин, 2017 г.):  
а — фото вулканического образования; б — визуализация модели в программе Rhinoceros 5.0; в — готовое изделие

Для технического исполнения такого кольца необходима тщательная проработка мелких повторяющихся элементов. Высокую точность проработки шестиугольного модуля можно обеспечить лишь с помощью компьютерного построения модели в программах трехмерного моделирования, где 3D-модельер по разработанному художником эскизу создает объемное изображение будущего украшения. Для подобных моделей, имеющих строгие геометрические повторяющиеся элементы, трехмерная печать незаменима.

Не только видимые человеческому глазу природные образования встречаются в ювелирных украшениях. Созданные природой наноструктурные элементы, такие как кристаллическая решетка, тоже вдохновляют дизайнеров при проектировании ювелирных украше-

ний. На рис. 29 представлено ювелирное украшение, ставшее основой коллекции «Кристаллография».

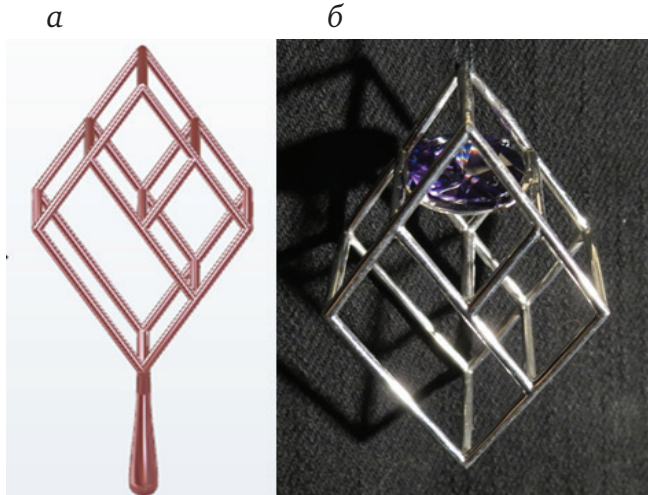


Рис. 29. Подвес из коллекции «Кристаллография» (студент УрФУ И. В. Пушкарева, 2018 г.):

*а* — модель с литником; *б* — готовое изделие

Лаконичные украшения геометрических форм — один из трендов молодежной ювелирной моды. Украшение на рис. 29 достаточно крупного размера ( $h = 7$  см), выполнено из серебряного сплава 925 пробы. В качестве вставки автором предложен фиолетовый фианит диаметром 12 мм. Стоит отметить, что разнообразие окраски крупных эффектных фианитов расширяет ассортимент и целевую аудиторию. Конструкция подвеса позволяет использовать не только цепи, но и шнуры различной толщины, что важно для стиля минимализм, где иногда используются футуристические формы и даже объекты, напоминающие детали гаджетов.

Параметризм (направление в архитектурном дизайне, основатель — Заха Хадид) нашел яркое применение в проектной работе, представленной на рис. 30, — серии колец. Конструкция изделий формируется из тонких одинаково ориентированных плоскостей — ламелей. Самоподобные и взаимозависимые плоскости не являются повторяющимися элементами, но при этом, складываясь, превращают плоскую поверхность в трехмерную. Эта эффективная техника позволяет не только изготавливать формы, но и создавать структуры со сложной геометрией.



Рис. 30. Виды колец, дизайн которых основан на построении диаграммы Вороного (студент УрФУ А. В. Лешукова, 2018 г.)

Создание таких колец начинается с формирования послойного объекта в визуальном редакторе программирования Grasshopper — это графический редактор алгоритмов, который интегрирован в инструменты моделирования Rhinoceros. Программа позволяет менять шаг, наклон плоскостей. Цифровые инструменты предоставляют возможность осуществлять тонкие и сложные геометрические модуляции, как включать, так и сглаживать различия.

Началом серии подвесов Iconic Beauty Style послужило изделие, представленное на рис. 31. Новизна дизайна серии (рис. 32) состоит в том, что портреты девушек созданы одной линией с фотоснимков, изображающих их наиболее удачный ракурс. Сложность проектной работы над украшениями, сложность их технологического исполнения заключалась в сохранении портретного сходства. Для этого было необходимо методично прорабатывать и сравнивать последовательные изменения в линейной моделировке лица и прически, дополнительно сохраняя условие целостности конструкции. Известно, что даже небольшое коробление приводит к резкому искажению портрет-



ного сходства. Кроме того, представленные изделия при относительно больших линейных размерах имеют очень тонкие стенки. Этот фактор также усложняет технологическую задачу, т.к. необходимо обеспечить высокую жидкотекучесть расплава. Решение задачи — получение готового изделия методом трехмерной печати из ювелирного сплава. Работа изготовлена из серебряного сплава 925 пробы с частичным золочением металла и вставками фианитов (глаза).



Рис. 31. Подвес из коллекции Iconic Beauty Style  
(студент УрФУ А. А. Елсукова, 2018 г.):

а — эскиз; б — компьютерная модель; в — готовое изделие



Рис. 32. Коллекция ювелирных украшений Iconic Beauty Style  
(студент УрФУ А. А. Елсукова, 2018 г.)

Коллекция украшений может быть женской, мужской или детской, выполняться из любого ювелирного сплава на основе золота, серебра, платины или палладия с использованием различных видов художественной обработки, со вставками из драгоценных, полудрагоценных, поделочных, цветных камней и других материалов природного или искусственного происхождения.

Как правило, женская коллекция состоит из колец, серег, броши, браслета, подвеса, колье, заколок для волос и других украшений. Мужская коллекция — это кольца, запонки, зажимы для галстука, пряжки для ремня, браслеты. Детская коллекция предусматривает проектирование колец, серег и подвесов, иногда браслетов. Коллекция может состоять из серии подвесов, или колец, или запонок, или других украшений.

Стилистическое единство ювелирной коллекции прежде всего определяется тематикой, единым художественным замыслом. Подчеркнуть это единство можно с помощью следующих технических приемов:

- 1) использование ведущего цветного камня или декоративного элемента — геммы на ювелирном камне;
- 2) применение декоративного покрытия (например, черное родирование, рутенирование, нанокерамика и т. д.);
- 3) применение ведущего декоративного оформления — техники ювелирных эмалей;
- 4) использование контрастных поверхностей — серебро и золото с темными покрытиями, глянцевая и матовая поверхность;
- 5) использование технологических приемов — алмазная грань, филигрань, пескоструйная обработка и т. д.;
- 6) применение определенной закрепки камней.

*Примечание.* Для студентов УрФУ тема выпускной проектной работы (ВКР, диссертации) заключается в разработке дизайна и технологии изготовления промышленной коллекции ювелирных украшений. Каждая коллекция должна содержать не менее 7 украшений. Парные украшения — серьги, запонки и др. — считаются за одну единицу.

Коллекция ювелирных украшений представляется на планшетном поле. Формат, количество планшетов, компоновка, последовательность, приоритетность, инновационные находки исполнения проектного решения на планшетах выбираются автором индивидуально и утверждаются

руководителем. На планшетах komponуются все разработанные ювелирные украшения коллекции. Поскольку планшетное поле является основным элементом демонстрации всей коллекции ювелирных украшений, то к его оформлению предъявляются следующие требования:

1. Графическая часть должна быть выполнена в едином композиционном художественно-графическом стиле.
2. Степень проработки изображения должна быть достаточной для понимания основной конструкции предмета.
3. Название коллекции или серии ювелирных украшений может быть как на русском языке, так и на любом иностранном, но с обязательным переводом на русский.
4. Название коллекции оформляется авторским шрифтом, ювелирные материалы, масштаб оформляются классическим чертежным шрифтом, размер шрифта выбирается автором и утверждается руководителем.
5. Ф. И. О. студента и руководителя, а также номер академической группы студента и должность руководителя выполняются чертежным шрифтом в левом нижнем углу.
6. На планшетном поле допускается:
  - изображать украшения в различной масштабности;
  - изображать фоном источники вдохновения;
  - изображать модель применения (стилизация в графике или реалистичное фото).

---

---

## 3. Компьютерное проектирование ювелирных изделий

---

---

**К**ак известно, в ювелирном деле выполнение каждого заказа — это очень трудоемкая работа. Процесс создания даже несложного украшения занимает достаточно много времени. Кроме того, приходится иметь дело с дорогостоящими материалами. Не всегда конечный результат — готовое изделие — в полной мере удовлетворяет заказчика. Развитие компьютерных технологий предоставило современным ювелирам очень мощный и универсальный инструмент, который существенно облегчает их деятельность. Сегодня мастер и заказчик могут заранее увидеть, как будет выглядеть украшение, и вовремя скорректировать на этапе проектирования все недостатки. Для этого специально разработаны и используются программы 3D-моделирования для ювелиров.

### 3.1. Эскиз — отправная точка 3D-дизайна

---

---

Эскиз разработанного изделия рассматривается с точки зрения выбора способа моделирования с применением компьютерных технологий или ручного изготовления мастер-модели. Выбор материалов будущего изделия и технологии изготовления осуществляется совместно с научным руководителем или преподавателем проектирования художественных изделий. Таким образом, на этапе компьютерного моделирования студент должен иметь представление о специфике материала, способах его применения и крепления между собой различных элементов.

Некоторые ювелирные предприятия имеют в штате отдельных специалистов по 3D-моделированию и художников-дизайнеров. В этом



При разработке выпускной квалификационной работы студенты выполняют роль и автора, и художника, создающего неповторимый дизайн, и 3D-модельера, который может точно воплотить идею, учитывая все параметры для производства, например толщину металла, диаметр камней и их расстановку.

Стоит отметить, что некоторые изделия, например сувениры с малыми скульптурными формами, органичные формы (рис. 35), можно выполнить в классической технике резки по ювелирному воску и лепки из пластилина для придания живости образу персонажа и неповторимой текстуры материалу.

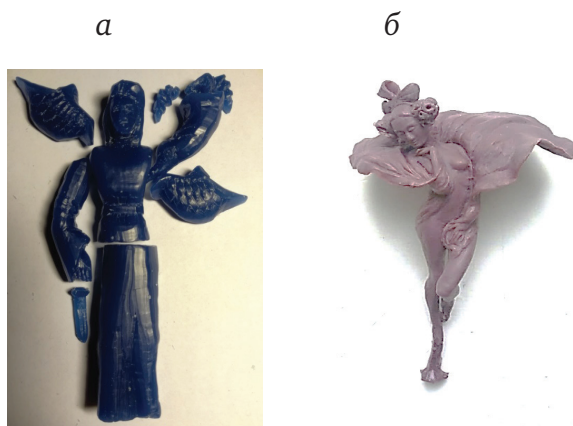


Рис. 35. Объемные скульптуры (студент УрФУ Е. Е. Волвенко, 2018 г.):

*а* — из воска; *б* — из пластилина

В этом случае, если мастерство лепки или ювелирного моделирования из воска находится на должном уровне, преимущества 3D-моделирования отойдут на второй план либо останутся для вспомогательной функции.

### **3.2. Выбор инструмента моделирования и основные программы**

---

В зависимости от цели проектирования и вида итогового изделия применяют различные инструменты компьютерного моделирования. Основные программы трехмерного моделирования — Rhinoceros, ZBrush и Matrix.

## *Rhinoceros*

Основное назначение программы трехмерного моделирования Rhinoceros 5.0 — это создание полигональных кривых, геометрически сложных поверхностей и дальнейшее преобразование их в 3D-модели [4, 5].

Программа Rhinoceros используется преимущественно в конструкторских и дизайнерских целях в самых разных сферах жизни. С помощью данного программного комплекса можно без особого труда создавать макеты интерьеров, мебели, одежды, обуви, рекламных вывесок, ювелирных изделий и многого другого [5].

Отличием Rhinoceros от комплексных продуктов (типа Autocad, SolidWorks, 3Ds MAX, Maya) является простота и наличие лаконичных обучающих материалов для максимально быстрого старта. Но есть у Rhinoceros и кое-что общее с дорогими профессиональными продуктами. В частности, поддержка популярных форматов файлов, возможность подключения большого количества плагинов с самой различной функциональностью и наличие сообщества поклонников, которые помогают друг другу решать те или иные задачи.

Соединение поверхностей позволяет создать 3D-модель, так поэтапно и создаются более или менее сложные криволинейные конструкции с правильными плавными формами. А благодаря поддержке всех распространенных форматов (3ds, ai, dwg, dxf, skp, stl, obj и др.) готовую модель можно сразу вывести на любой 3D-принтер [6].

Программа Rhinoceros, не смотря на свою кажущуюся простоту, относится к профессиональным приложениям для 3D-моделирования, при чем в ней удобно создавать и параметрические чертежи (как в Autocad), и собственно 3D-модели (как в 3Ds MAX). Моделирование в Rhinoceros происходит с помощью технологии NURBS, в которой кривые строятся с помощью точек, а затем по этим кривым воссоздается поверхность [7].

Наиболее распространенным плагином Rhinoceros для ювелирного проектирования является RhinoGold — это самый современный инструмент для создания ювелирных украшений любого уровня сложности, готовых к 3D-печати. RhinoGold имеет огромный усовершенствованный набор инструментов, а также простой и интуитивно понятный интерфейс для создания ювелирных изделий. Благодаря обширной библиотеке и возможности добавлять в нее свои

собственные элементы можно создавать уникальные модели в любом стиле — будь то винтажный стиль, современный, классический или любой другой [8].

## *ZBrush*

Программа ZBrush от компании Pixologic подходит для самостоятельного изучения, расширения навыков в процессе освоения инструментов трехмерного моделирования. Это мощный профессиональный инструмент для создания и редактирования трехмерной графики. В первую очередь она направлена на работу с так называемой цифровой глиной, из которой можно буквально вылепливать объекты при помощи разнообразных инструментов. Аналогов такому подходу практически нет в других пакетах для 3D-моделирования, хотя некоторые приложения (к примеру, Maya) предлагают специальные инструменты для скульптинга.

Такая цифровая лепка идеальна для создания объемной скульптуры и мелкой пластики. Тем не менее ZBrush может использоваться для твердотельного 3D-моделирования и оснащена для этого специальными инструментами. Огромный набор специальных кистей позволяет достичь максимальной реалистичности при создании 3D-моделей, а инструменты наложения текстур и визуализации дополняют функционал программы.

Помимо традиционной работы с трехмерной графикой в ZBrush используется так называемая псевдотрехмерность, или 2,5D. За счет этой уникальной особенности ZBrush практически не использует возможности видеокарты, что существенно влияет на скорость работы. Вместо этого основным ресурсом для приложения является оперативная память компьютера, недостаток которой может сказываться на производительности.

Интересна в программе возможность высокополигонального моделирования. Все в ней направлено на удобную и качественную работу со сложными объектами без ущерба производительности. Как бонус — удобная интеграция с другими пакетами графики 3D и 2D [9].

Поскольку в ZBrush пользователь работает с цифровой глиной, то программа оснащена множеством удобных функций и инструментов для скульптинга, большинство из которых представлены в виде



так называемых кистей (рис. 36). Именно с их помощью художник деформирует поверхность модели по своему усмотрению, формируя желаемый объект.

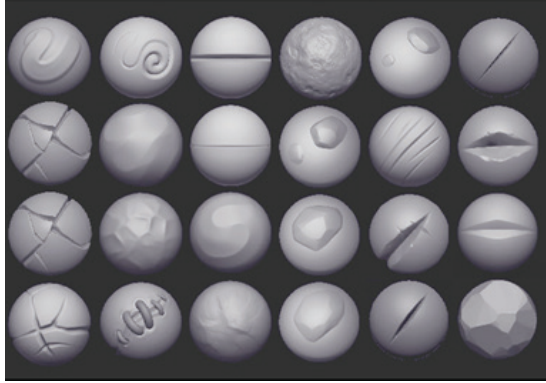


Рис. 36. Кисти программы ZBrush

Набор инструментов оптимален для объемной скульптуры и сувениров, выполненных в технике мелкой пластики, а также для плоских рельефных изделий (твердотельного моделирования) — барельефов или горельефов (рис. 37).



Рис. 37. Барельеф, созданный в программе ZBrush [6]

## *KeyShot*

KeyShot — это первая отдельная доступная интерактивная программа трассировки лучей и глобального освещения. KeyShot импортирует широкий спектр 3D-форматов и позволяет быстро и легко создавать высококачественные изображения (рис. 38).



Рис. 38. Студенческая работа, выполненная в программе KeyShot (студент УрФУ Е. А. Ханькова, 2015 г.)

KeyShot разработана исключительно компанией Luxion как решение для рендеринга для всех, кто заинтересован в создании фотографических изображений.

### **3.3. Последовательные шаги воплощения замысла**

---

В этом разделе рассмотрим основные моменты создания реалистичных трехмерных объектов в программе моделирования Rhinoceros, так как она наиболее широко применяется для разработки художественных изделий.

#### *Фоновое изображение*

Чтобы четко следовать эскизу и соблюсти контурные особенности изделия, воспользуемся особым инструментом вставки изображения в программу Background Bitmap — Place.

Для этого эскиз, нарисованный ранее, становится референсным (вспомогательным) изображением и размещается как фон в видовом

окне программы. Далее применяется функция Background Bitmap — Place. Кроме того, изображение можно скрыть, удалить и произвести другие операции (рис. 39).

### Основные виды объектов

Рассмотрим элементы, из которых состоит любое изделие. В Rhino можно создавать объекты четырех типов: кривые, поверхности, объемные тела и сетки Mesh. В рамках изучения ознакомимся с первыми тремя.

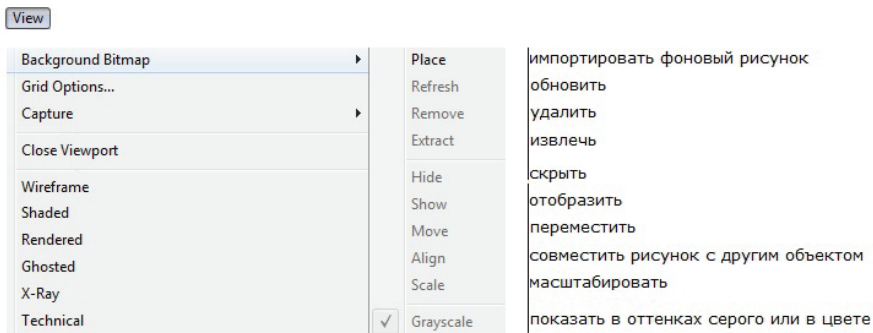


Рис. 39. Вставка изображения. Список команд Background Bitmap

**Curve (кривая).** Любая линия в Rhino будет называться кривой, независимо от того, прямая ли она, изогнутая, сомкнутая, разомкнутая или ломаная. Кривые используются для построения структур, которые позже превращаются в поверхности или объемные тела [5].

Инструменты:

- меню Point и Control Points;
- меню Lines;
- меню Curve;
- меню Circle, Ellipse, Arc, Rectangle;
- инструменты кривых, меню Curve Tools;
- команды Split и Trim;
- команды Join и Explode.

**Surfaces (поверхности).** Поверхности — любые объекты, не имеющие толщин. В программе можно создавать поверхности любой формы, прямые, плоские, изогнутые, скрученные и т. п., их можно визуализировать в Rhino, но нельзя прототипировать, поскольку у них

нет толщины. Мы можем трансформировать поверхности в объемные тела или извлечь структуру, чтобы получить кривые [5].

Инструменты:

- меню Surface;
- команда Extrude;
- команда Loft;
- команда Network;
- команды Sweep 1 Rail, Sweep 2 Rail;
- команда Revolve.

**Solids (объемные тела/полиповерхности).** Объемные тела — это объекты, имеющие толщину, поэтому их можно прототипировать. Их можно создавать из кривой или поверхности, а некоторые из них — непосредственно при помощи инструментов [5].

Инструменты:

- меню Solid;
- меню Extrude;
- меню Boolean;
- Offset Surface.

### Режимы отображения

Программа позволяет сохранять работу не только в виде визуализации, но и делать интересные эффекты для будущего проекта с помощью отображения видовых окон (рис. 40).

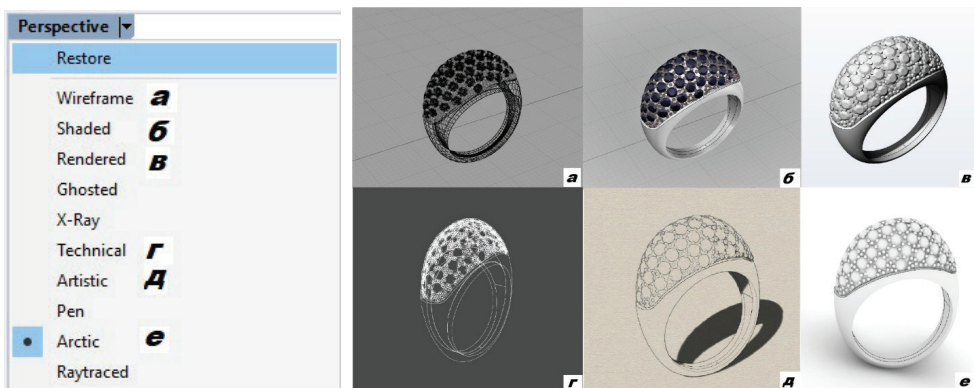


Рис. 40. Различные способы отображения:

- a* — каркас; *б* — затенение; *в* — визуализация материала; *г* — технический;  
*д* — художественный; *е* — арктический (белый фон, белый материал)

### *Точность размеров*

Для более точной и наилучшей разработки изделия важно понимать размеры всех объектов и их соотношения. В программе Rhinoceros существуют вспомогательные инструменты измерения — Dimension. В составе Dimension есть различные опции, способные измерять параллельные и диагональные размеры, диаметры, радиусы отверстий, углы. Также он содержит инструмент Text для написания текста в окнах проекций.

### *Получение нормативно-технологической документации (чертежей)*

Отдельно рассмотрим инструмент, содержащийся в меню Dimension и генерирующий чертеж — Make 2D Drawing.

Встроенное приложение позволяет выводить чертежи на печать непосредственно из Rhinoceros [5].

Чертежи можно перевести в различные графические форматы и использовать в подготовке выпускной квалификационной работы для вставки в презентацию или планшетное поле. Таким образом, у научных руководителей и сотрудников предприятия, помимо визуализации, будут в распоряжении различные виды изделия, помогающие понять технологические нюансы деталей проекта (рис. 41).

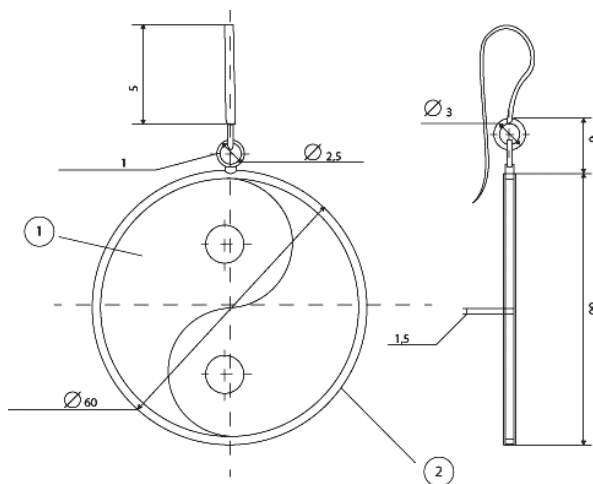


Рис. 41. Пример технического рисунка

### *Подготовка планшетных полей и применение визуализации и чертежей*

На планшетном поле и в презентации для полного представления внешнего вида изделия, его соразмерности и пропорций можно использовать визуализацию в материале и чертеж (рис. 42). Изделия, построенные в Rhinoceros, проходят визуализацию в самой программе Rhinoceros или в программе KeyShot (упомянута ранее в разделе 3.2).

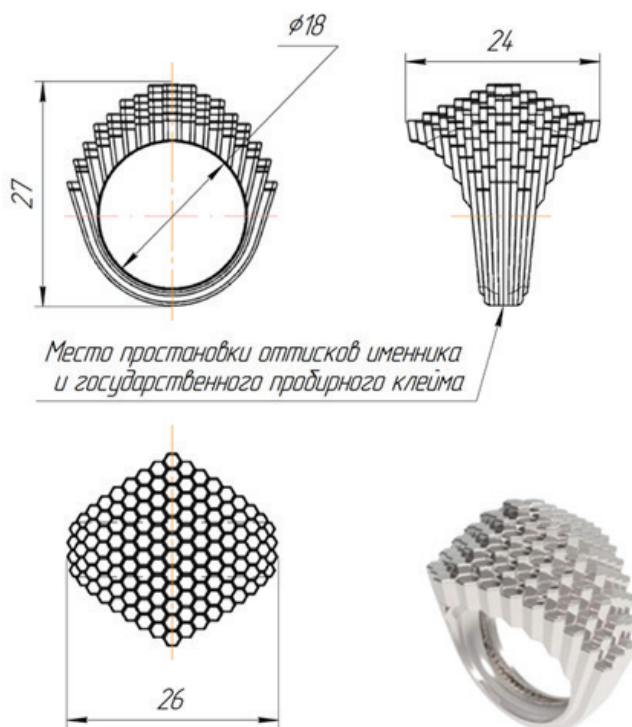


Рис. 42. Пример визуализации изделия в материале и чертеж изделия (студент УрФУ А. В. Трубин, 2017 г.)

### *Прототипирование*

Трехмерная печать позволяет воплощать в материале трехмерную модель любой сложности. Для работы без ошибок рассмотрим основные моменты при подготовке файла к 3D-печати.

1. Наиболее подходящим для экспортирования на трехмерную печать является файл с расширением \*.stl.

2. Все объекты в файле должны быть объединены в одно цельное объемное тело. Необъединенные объекты, не касающиеся друг друга или плавающие объекты прототипировать нельзя.
3. Прототипировать можно полностью замкнутые герметичные объемные тела. Инструмент Show Edges позволяет проанализировать наличие открытых поверхностей.
4. Сохранять в файл нужно только ту часть изделия, которую необходимо прототипировать. Элементы, которые устанавливаются в процессе монтажа (например, звенья, ушки, булавки, гайки, цепи, замки, подвесные элементы, вставки), как правило, изготавливаются отдельно, поэтому в итоговом изображении модели удаляются и не сохраняются для дальнейшего прототипирования.
5. Нужно помнить, что в процессе получения восковок и литых заготовок происходит усадка, при финишных операциях, таких как шлифование, полирование, происходит снятие поверхностного слоя изделия и уменьшение его объема. Поэтому перед прототипированием необходимо увеличить объем модели на 5%.

### *Советы по работе в Rhinoceros*

Ниже приведены важные советы по построению различных объектов из книги «Дизайн ювелирных изделий в Rhinoceros» Элиании Розетти [4].

1. Инструмент Layers (слои) помогает в организации работы. Рисовать элементы дизайна можно в разных слоях. Например, вспомогательные линии можно положить на отдельный слой, поскольку неизвестно, понадобятся ли они в дальнейшей работе.
2. Инструмент Pipe (труба) превращает линию в круглую трубочку желаемого диаметра. При работе инструментом Pipe имитируется круглая проволока, например изделия в технике филигрань. С точки зрения технологичности при прототипировании и последующем изготовлении восковок и литых заготовок не рекомендуется использовать проволоку диаметром менее 0,6 мм.
3. Инструмент Offset Surface (толщина поверхности) используется, чтобы превратить поверхность в объемный объект. Стоит помнить, что в процессе изготовления восковок и литых заго-

товок, а также на стадии финишной обработки размеры изделия уменьшаются. В связи с этим толщина объектов для изделий из золотых сплавов должна быть не менее 0,6 мм, а для серебряных — 0,9 мм.

4. Инструмент Patch (заплата) используется для построения поверхностей любой сложности. Одна из функций инструмента — создавать поверхности по замкнутым и даже разомкнутым кривым и формировать эти поверхности через выбранные кривые и точечные объекты. Этот инструмент позволяет увеличивать число точек на сетку, делая поверхности более гибкими. Инструмент также стоит использовать, если необходимо многократно отрезать и трансформировать объект с помощью инструмента Flow along Curve.
5. Инструмент Surfase from Network of Curves (поверхность из множества кривых) является одним из наиболее гибких в программе. Его можно использовать и в сочетании с инструментом Record History. Это облегчает трансформацию поверхностей. Поверхности, сгенерированные Surfase from Network of Curves удобны для объектов со вставками камней. Большое преимущество этого инструмента — неограниченное количество направляющих и профилей, позволяющее создавать криволинейные поверхности любых форм.

Нередко ювелирные украшения имеют вставки из драгоценных и ювелирно-поделочных камней. Как известно, любой вид закрепки подразумевает формирование посадочных мест, подготовленных для этого в изделии или в оправе различных форм — кастах. Касты в программе лучше формировать отдельно и затем объединять с основным изделием (рис. 43). Для этого:

- выберите поверхность объекта, которая будет служить основанием закрепки;
- расположите камни на поверхности в соответствии с типом закрепки;
- создайте каст, соответствующий типу закрепки и размеру выбранной вставки;
- сформируйте посадочные места и скройте вставки;
- используйте Boolean Union, чтобы объединить основу с крапанами;
- используйте Boolean Difference, чтобы вырезать посадочные места под камни.





Рис. 43. Изображение модели, построенной в программе Rhinoceros

### *Примеры моделирования ювелирных изделий*

Рассмотрим поэтапно процессы моделирования на примере построения подвесного украшения, кольца и серег.

**Построение подвеса.** Для того чтобы сделать ровный контур изделия, начертим две окружности с помощью инструмента Circle. Для каждой окружности укажем ее центр и радиус (рис. 44, а). Затем с помощью инструмента Curve обозначим точки и нарисуем правую половину подвеса, как показано на рис. 44 б, в.

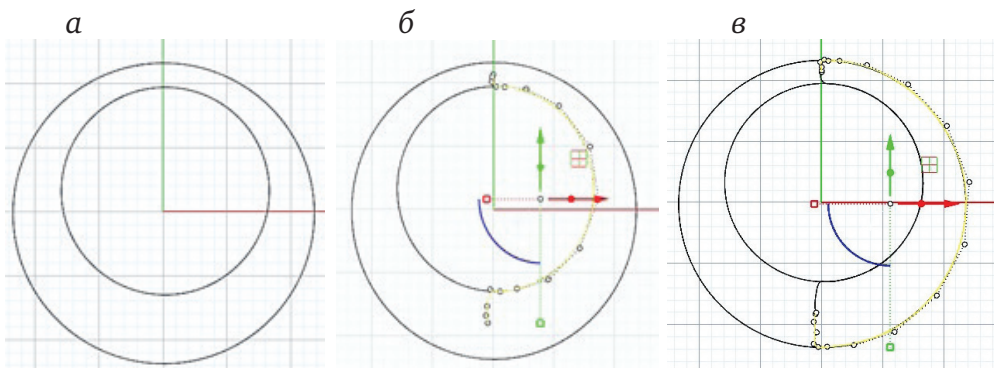


Рис. 44. Построение подвеса:

а — изображение контура всего изделия; б — внутренний контур правой части; в — внешний контур правой части подвеса

Далее для того чтобы построить объем, создаем круглые сечения для правой половины подвеса, как показано на рис. 45, а. Строим поверхность с помощью инструмента Sweep 2 Rails по двум направляющим и ряду сечений (рис. 45, б). Чтобы края были сглаженными, используем инструмент Fillet edges и скругляем концы изделия (рис. 45, в).

Построим левую часть: чертим две кривые с помощью инструмента Curve. Отмечаем точки и затем, используя инструмент Arc, рисуем две дуги, чтобы построить поверхность (рис. 46, а). Затем с помощью инструмента Sweep 2 Rails чертим поверхность этого элемента и копируем его по контуру всей левой половины, уменьшая постепенно размер этого объекта (рис. 46, б). Для того чтобы сегменты слева имели толщину, применяем инструмент Offset Curve и задаем толщину в 0,5 мм (рис. 46, в).

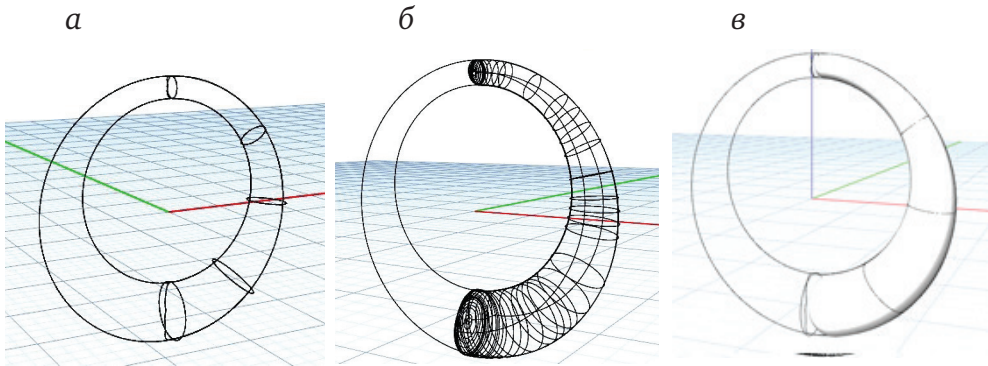


Рис. 45. Построение объема:

а — изображение сечений; б — построение поверхности;  
в — построение готовой части правой половины подвеса

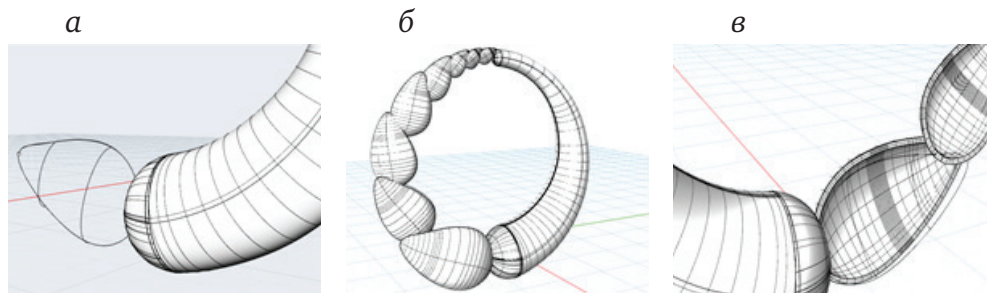


Рис. 46. Построение левой части подвеса:

а — контур первого элемента левой половины подвеса; б — обе части в готовом виде;  
в — изображение толщины сегментов подвеса

Начинаем построение верхнего элемента: так же строим две окружности одну в другой с помощью инструмента Circle, между

ними задаем круглые сечения и с помощью инструмента Sweep 2 Rails строим поверхность (рис. 47, а). Затем копируем несколько элементов из левой половины изделия в верхнюю часть подвеса (рис. 47, б).

И наконец создаем ушки для крепления цепочки к будущему подвесу по той же схеме. Для визуализации построим несколько элементов цепочки (но перед отправкой на 3D-печать нужно будет их удалить). Для этого создаем окружность, сузив ее в одном направлении, и задаем толщину с помощью инструмента Pipe: round caps (рис. 48, а). Чтобы увидеть конечный результат, визуализируем его с помощью программы Keyshot 5 (рис. 48, б).

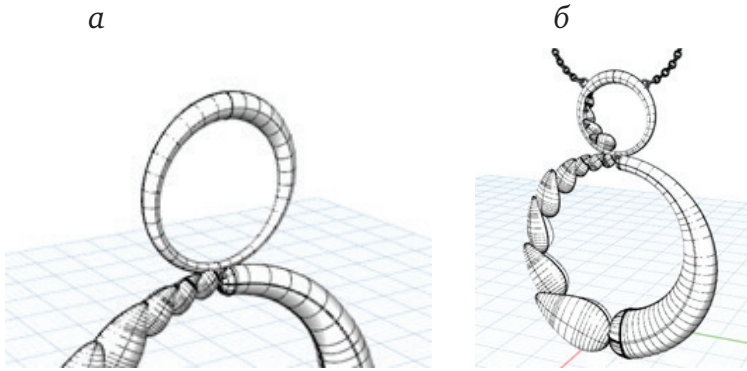


Рис. 47. Изображение верхнего элемента:  
а — поверхность; б — готовый элемент

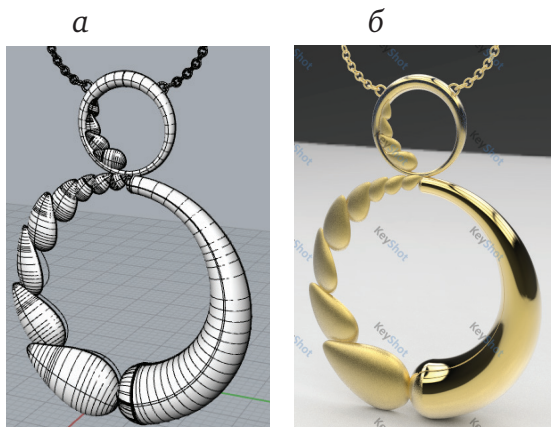


Рис. 48. Изображение подвеса с элементами цепочки:  
а — построение; б — визуализация

**Построение кольца.** Для примера создадим кольцо, основным элементом которого станет шестеренка со вставками из фианитов, закрепленных в корнеровой каст. Шестеренка будет окружена трубками, изогнутыми определенным образом. Шинка кольца сплошная и имеет ступенчатую форму.

Для создания кольца используем следующие инструменты:

- Curve: interpolate points (Кривая: разметить точки);
- Polyline (Ломаная линия);
- Circle: center, radius (Круг: центр, радиус);
- Sweep 1 Rail (Развертка по 1 направляющей);
- Extrude closed planar curve (Выдавливание замкнутой плоской кривой);
- Move (Перемещение);
- Bend (Изгиб);
- Chamfer Surface (Поверхность фаски);
- Truncated Cone (Усеченный конус);
- Cylinder (Цилиндр);
- Prong Studio;
- Boolean Difference (Логическая разность);
- Polar Array (Полюсный ряд).

Будут применены следующие материалы:

- Silver 950 Polish;
- Zircon (Red).

Кольцо состоит из двух основных частей: шинка и накладки. При помощи инструментов Curve: Interpolate points и Polyline создаем сплайн, представленный на рис. 49, а. Это верхняя часть кольца — накладка. При помощи инструмента Circle: center, radius создаем окружности, а в верхней части — ступенчатый сплайн. При помощи инструмента Sweep 1 Rail в свитке Surface создадим шинку для будущего кольца (рис. 49, б).

К сплайнам шестеренок применим инструмент Extrude closed planar curve, благодаря которому объект становится объемным (рис. 50, а). Используем инструмент Move для перемещения объектов относительно друг друга и соединим полученные элементы (рис. 50, б).

При помощи инструментов Curve: Interpolate points и Polyline создаем сплайн — изогнутые трубки; при помощи инструмента Pipe придаем объем созданному ранее сплайну (рис. 51, а). При помощи инструмента Bend изгибаем трубки, как показано на рис. 51, б.

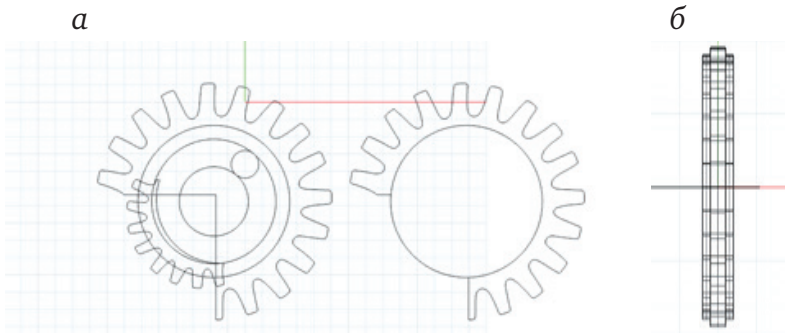


Рис. 49. Создание кольца:  
а — накладка; б — шинка

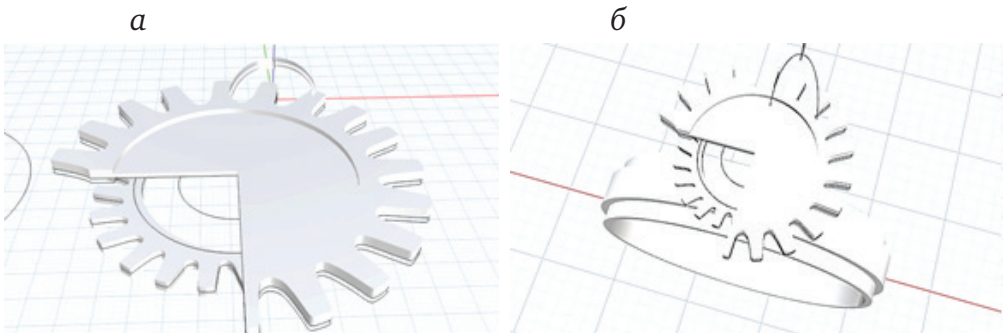


Рис. 50. Пример использования инструментов программы Rhinoceros:  
а — применение Extrude closed planar curve; б — применение Move

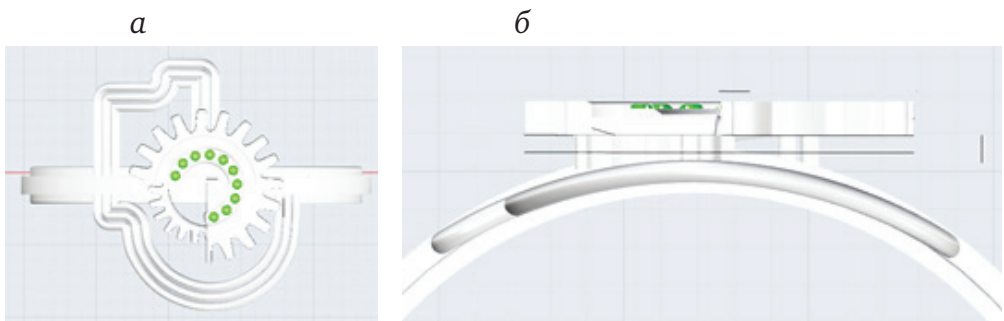


Рис. 51. Декоративный элемент из изогнутых трубок:  
а — создание; б — изгиб

При помощи инструмента Chamfer Surface создаем фаски для некоторых объемных частей, а при помощи Gem — фианит определенных

размеров. Используя Truncated Cone, Cylinder, Prong Studio в свитке Jewelry, а также команду Boolean Difference, создаем корнеровую за-крепку для вставок (рис. 52, а). При помощи инструмента Polar Array добавляем в кольцо еще несколько фианитов (рис. 52, б).

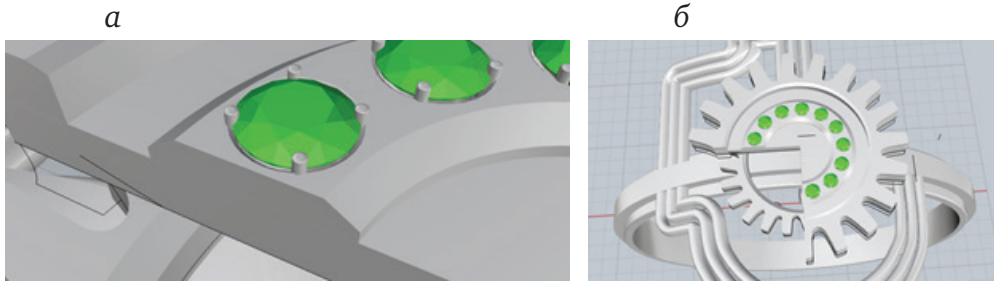


Рис. 52. Фаски, вставки и посадочные места для них:  
а — создание; б — результат, вид сверху готового кольца

Для визуализации применяем к созданному кольцу металл — Silver 950 Polish — серебряный сплав, содержащий 95 % серебра (рис. 53, а). Инструмент расположен в разделе RhinoGold. Для камней применяем материал Zircon (Red), чтобы получить фианиты красного цвета (рис. 53, б). Выполняем визуализацию сцены при помощи команды Rendered (рис. 54).

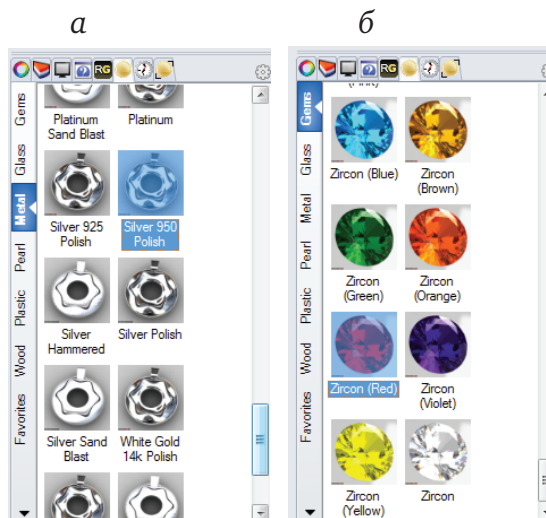


Рис. 53. Вид свитка:  
а — Metal; б — Zircon

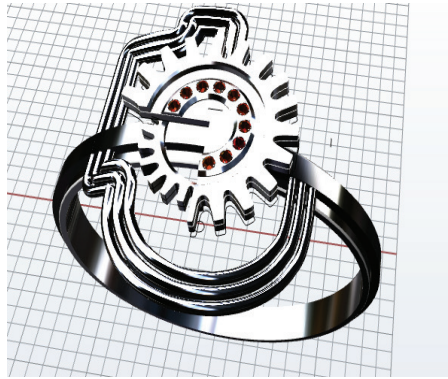


Рис. 54. Визуализация кольца

**Построение серег.** Опишем основные этапы построения модели серьги в системе Rhinoceros 5 для случая, когда есть хорошо нарисованный эскиз (рис. 55, а). Серьга состоит из трех основных частей: верхней, центральной и нижней. Построение начинаем с верхней части серьги. Для того чтобы сделать контур эскиза, добавляем его в окно Front. Для этого в окне Front нажимаем правой кнопкой мыши на его название (Front) и в появившемся меню выбираем Background Bitmap → Place (рис. 55, б). Далее с помощью инструмента Line обводим рисунок (рис. 56, а). Затем с помощью инструментов Surface from 2, 3, 4 edge curves и Patch создаем плоскости так, как показано на рис. 56, б.

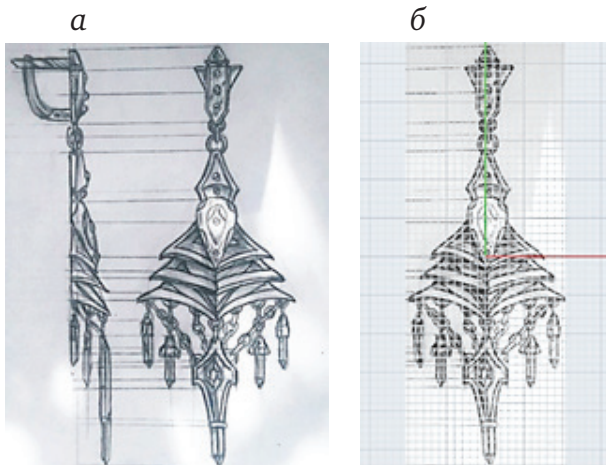


Рис. 55. Эскиз серьги:

а — на бумаге; б — расположенный в поле Front

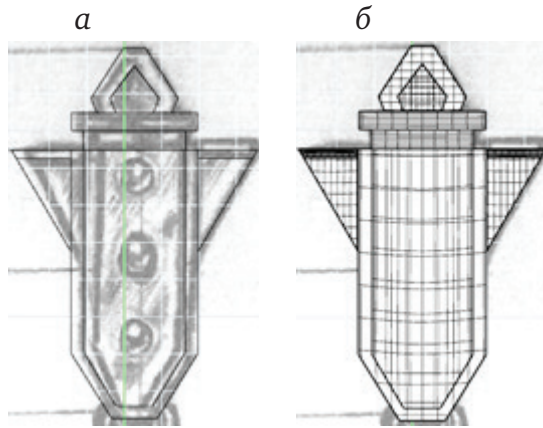


Рис. 56. Изображение верхней части серьги:

*а* — обведенное инструментом Line; *б* — с созданными плоскостями

С помощью инструмента Extrude выдавливаем плоскости, как показано на рис. 57, придавая объем верхней части.

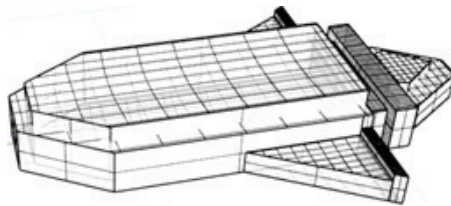


Рис. 57. Изображение верхней части серьги в объеме

Далее создаем звено для цепочки с помощью инструмента Tor, помещаем его так, как показано на рис. 58, *а*. Копируем звено и с помощью операции Boolean difference создаем выемку для звена. Затем с помощью инструмента Tor создаем еще два звена цепи и помещаем их так, как изображено на рис. 58, *б*.

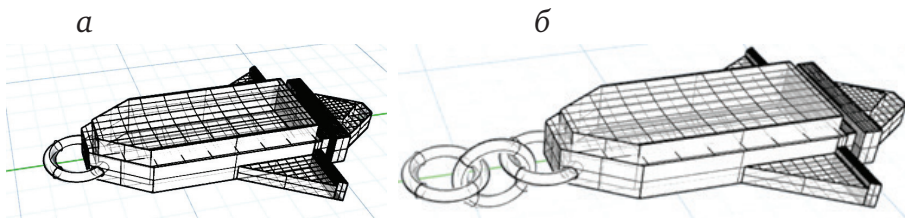


Рис. 58. Изображение верхней части серьги:

*а* — с верхним звеном; *б* — с цепочкой



По тому же принципу создаем центральную часть серьги, которая, в свою очередь, состоит из верхнего и каплевидного элементов, и размещаем ее, как показано на рис. 59.

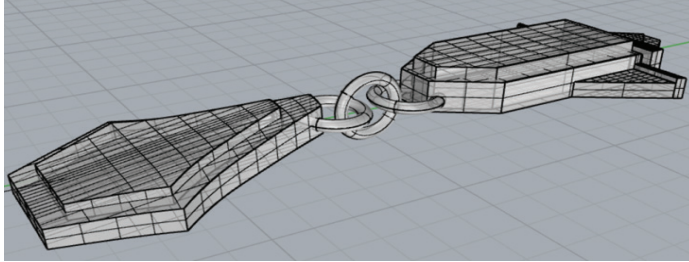


Рис. 59. Изображение верхней и центральной частей серьги

С помощью инструмента Line и Arc создаем верхний элемент центральной части так, как показано на рис. 60, а, и с помощью инструмента Surface строим плоскости. Затем создаем каплевидный элемент центральной части серьги (рис. 60, б) аналогично предыдущим элементам.

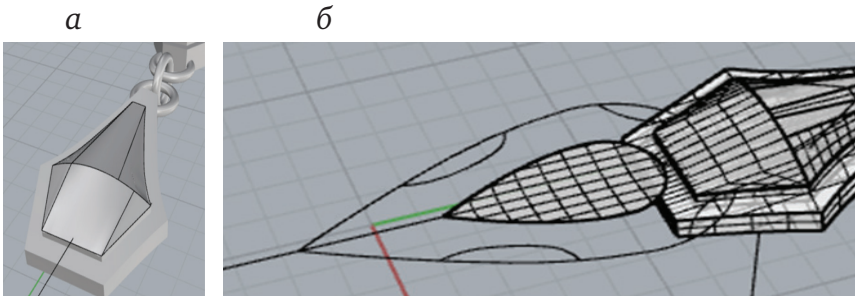


Рис. 60. Изображение элементов серьги:

а — верхний элемент; б — каплевидный элемент центральной части

Далее с помощью Surface sweep 2 rail придаем нужный объем каплевидному элементу (рис. 61, а). Выдавливает центральную плоскость с помощью инструмента Extrude, перемещаем его вверх и с помощью операции Boolean difference создаем центральную выемку на этом элементе (рис. 61, б). Аналогично создаем боковые выемки (рис. 61, в).

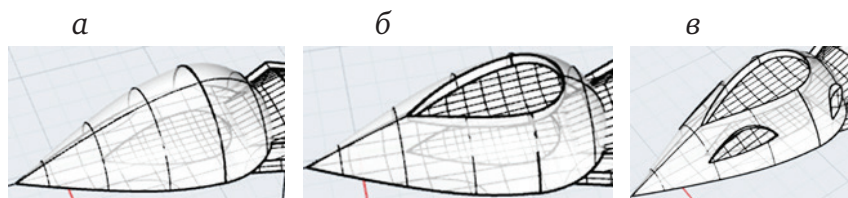


Рис. 61. Изображение каплевидного элемента:

*а* — придание объема; *б* — получение центральной выемки;  
*в* — получение боковых выемок

И в верхней, и в центральной части предусмотрена корнеровая закрепка вставок. Для того чтобы оформить посадочные места для вставок, создаем цилиндры и помещаем их так, как изображено на рис. 62, *а*, а с помощью операции Boolean на этих местах создаем выемки для камней (рис. 62, *б*).

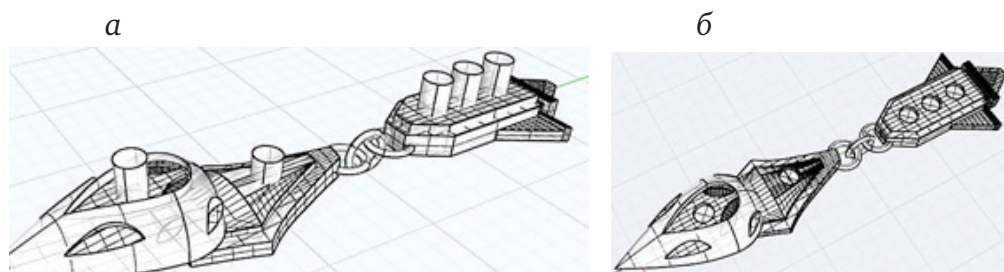


Рис. 62. Оформление посадочных мест для вставок:

*а* — расположение цилиндров; *б* — расположение выемок для вставок

Далее создаем контурный рисунок составных элементов нижней части серьги (рис. 63, *а*) с помощью инструмента Line. После выделяем их и изгибаем по радиусу с помощью инструмента Bend (рис. 63, *б*).

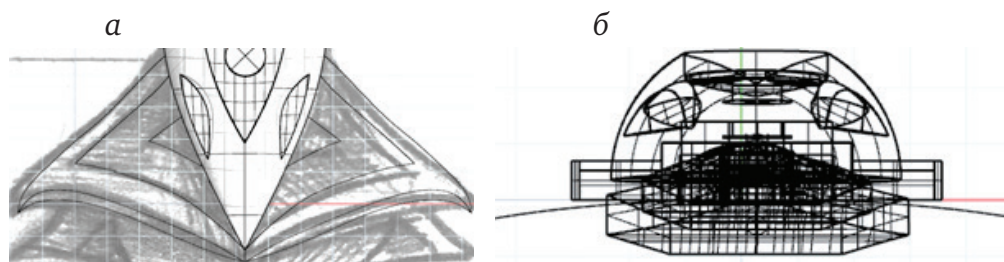


Рис. 63. Контурный рисунок:

*а* — изображение контуров элемента; *б* — изображение выгнутого контура элемента

Затем формируем нужную поверхность созданного элемента с помощью инструмента Surface (рис. 64, а). Аналогично создаем остальные внутренние элементы (рис. 64, б).

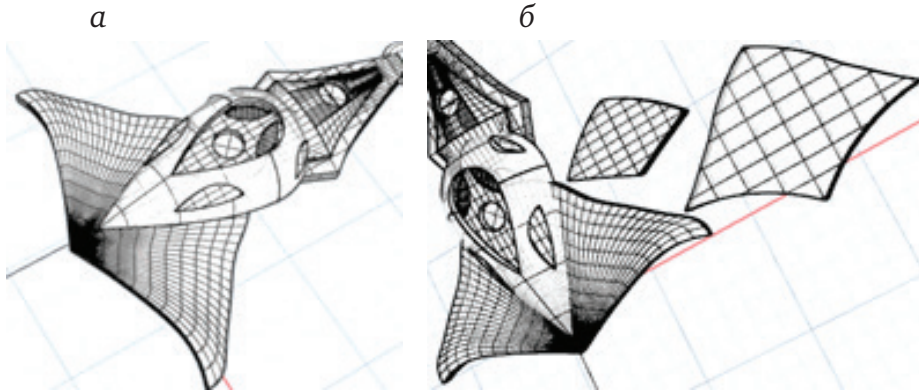


Рис. 64. Изображение созданного элемента (а) и внутренних элементов (б)

С помощью Boolean вырезаем меньший элемент из среднего и накладываем его на большой элемент, затем получившийся составной элемент дважды копируем, масштабируем и размещаем в соответствии с эскизом. Далее создаем подвесные элементы с помощью инструментов Tube и Truncated Cone и размещаем их так, как показано на рис. 65.



Рис. 65. Расположение подвесных элементов

Следующим создаем центральный подвесной элемент нижней части серьги, добавляем к нему снизу Tube, вставляем камень огранки Marquise в центр и помещаем в глухую закрепку (рис. 66, а). Затем с помощью инструмента Top аналогично первой цепочке создаем цепочки подвесных элементов (рис. 66, б).



Рис. 66. Центральная часть серьги:

а — изображение центрального подвесного элемента; б — расположение цепей

Создаем швензу и прикрепляем ее к верхней части (рис. 67). В представленном варианте использован английский замок. Другие варианты швенз серег см. в приложении Б. В приложении В представлены варианты замковых соединений цепочек и браслетов.

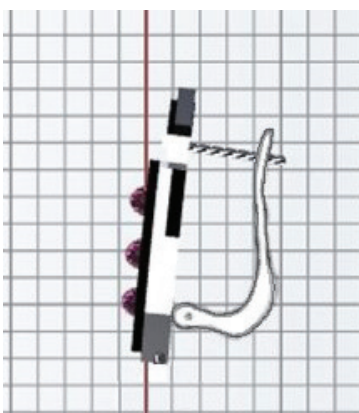


Рис. 67. Изображение швензы

После в подвесные элементы и выемки вставляем кристаллы и кабошоны и назначаем материалы Silver Polish для обычного серебра, Black Plastic для родированного серебра и Pink Brilliant для камней (рис. 68). Чтобы увидеть конечный результат, визуализируем изделие с помощью программы Keyshot 5 (рис. 69).

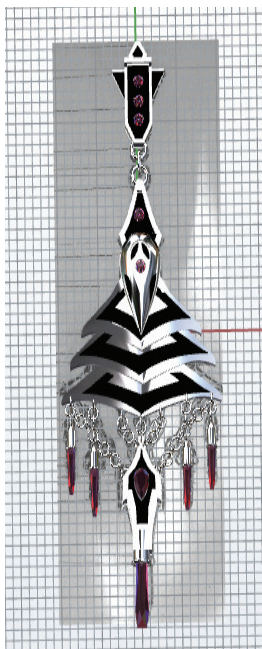


Рис. 68. Изображение законченного изделия

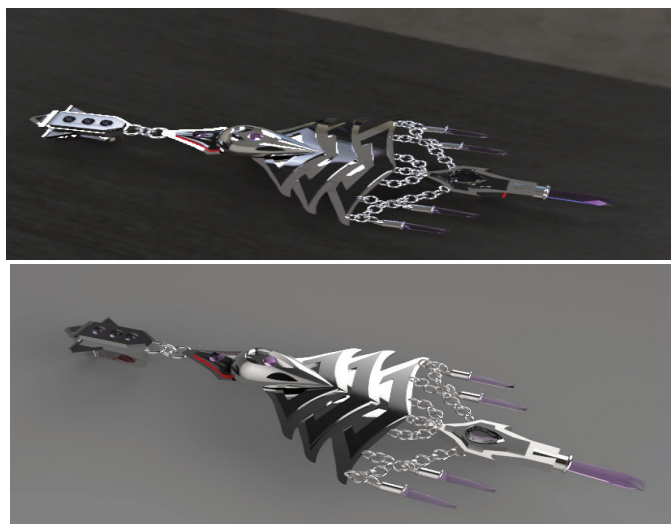


Рис. 69. Варианты визуализации в программе Keyshot 5

### 3.4. Изготовление мастер-модели

---

---

Развитие компьютерных технологий привело к появлению мощного и универсального инструмента, который существенно облегчает деятельность ювелиров. Теперь, владея навыками компьютерного проектирования, можно создать трехмерную модель любой сложности и воплотить ее в материале при помощи 3D-печати [10]. Сегодня заказчик может не только на экране компьютера увидеть, как будет выглядеть будущее изделие, но и примерить полимерную мастер-модель и вовремя скорректировать все недостатки.

Трехмерная печать — технология изготовления мастер-модели изделия, в основе которой лежит послойное выращивание объемного объекта. В настоящее время разработаны программируемые устройства, позволяющие с высокой точностью воспроизводить из воска, полимеров или металлов построенные в программах трехмерного моделирования объекты [11].

Перечень материалов, пригодных для трехмерной печати, постоянно пополняется, но в ювелирном деле в наибольшей степени себя зарекомендовали полимерные материалы. Модели ювелирных украшений можно создавать также в воске, но недостатками являются низкая прочность и твердость, низкая температура размягчения воска и меньшая скорость выращивания модели. Восковая модель может использоваться либо для получения резиновых пресс-форм холодной вулканизации, либо единожды при изготовлении литейной формы. Довольно новым направлением в ювелирном деле является трехмерная печать деталей ювелирного украшения сразу из ювелирного сплава.

Создание полимерных мастер-моделей методом прототипирования позволяет исключить ее ручное изготовление. Для этого 3D-модельер создает объемное изображение будущего украшения в программах трехмерного моделирования. Высокая точность компьютерного построения и проработка каждого элемента позволяет создавать сложные и повторяющиеся элементы [12]. В качестве примера таких моделей рассмотрим кольцо (рис. 70), в основе композиции которого лежит метрический повтор шестиугольного модуля. Для подобных моделей, имеющих строгие геометрические повторяющиеся элементы, трехмерная печать незаменима.

Материалом для изготовления мастер-моделей методом прототипирования ювелирных украшений, как правило, служат терморезистивные полимерные материалы. Они способны выдерживать температуру вулканизации сырой резины, негигроскопичны, обладают достаточной химической стойкостью, долговечны. Существуют две принципиально разные технологии изготовления таких мастер-моделей: отверждение жидкого фотополимера под воздействием ультрафиолетовых лучей или послойное спекание лазером частиц порошка друг с другом и с предыдущим слоем.



Рис. 70. Визуализация модели кольца из коллекции «Базальт» в программе Rhinoceros 5.0 (студент УрФУ А. В. Трубин, 2017 г.)

При изготовлении сложных ювелирных украшений, имеющих большое количество поднутрений и внутренних полостей, целесообразно сразу изготовить восковую модель, а иногда и модельный блок из воска. На рис. 71 приведены примеры таких изделий. В случае изготовления изделий традиционным способом литья по выплавляемым моделям пришлось бы изготавливать отдельно шинку кольца и четыре лепестка, затем припаивать лепестки к шинке (рис. 71, а) или отдельно изготавливать верхнюю часть ротонды и затем так же методами пайки соединять ее с основной частью (рис. 71, б). Кроме того, сложностью кольца (рис. 71, б) является равномерное распределение большого количества колонн на основании ротонды. Естественно, что компьютерная проработка и трехмерная печать обеспечит высокую точность распределения и одинаковость колонн.



Рис. 71. Визуализация моделей колец  
(работы студентов УрФУ):

- а — кольцо из коллекции «Жемчужная роса» (Е. С. Петрова, 2017 г.);  
б — кольцо из коллекции «Екатеринбург» (С. А. Плотникова, 2017 г.)

Как было сказано ранее, материалом для трехмерной печати может быть и металл. Некоторые ювелирные компании уже создают ювелирные украшения трехмерной печатью, исключив традиционный сложный многооперационный способ литья по выплавляемым моделям. Для изготовления изделий из металлов и их сплавов используют, как правило, метод направленного лазерного плавления (DMLM — Direct Metal Laser Melting). Метод был разработан в Германии в 1990-х. В его основе лежит последовательное нанесение слоев металлического порошка. Каждый слой спекается лазерным лучом, сплавляя частицы порошка друг с другом и с предыдущим слоем [13].

По мнению ряда ювелирных экспертов [14] именно такая стремительно развивающаяся технология трехмерной печати из сплавов благородных металлов будет способствовать развитию ювелирного дела и кардинальному изменению дизайна ювелирных украшений. Несомненным преимуществом такого способа получения ювелирных украшений является меньшая продолжительность в сравнении с традиционным способом литья по выплавляемым моделям. Кроме того, при использовании метода литья дизайнеру неизбежно приходится разбивать сложные модульные конструкции на более простые. Метод направленного лазерного плавления позволяет снять эти ограничения и создавать изделия любой сложности (рис. 72) [15].



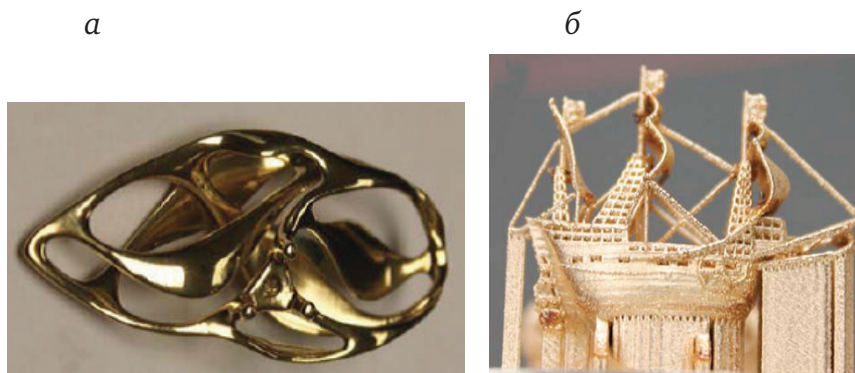


Рис. 72. Изделия, полученные методом направленного лазерного плавления [15]:  
 а — подвес; б — модель парусника, высота 10 мм

Изготовление мастер-модели — один из самых ответственных технологических этапов производства ювелирных изделий. Любая недоработка, неточность полностью отразятся уже в готовом изделии. В этой главе мы не рассматривали традиционные способы изготовления мастер-моделей, такие как ручное изготовление из металлов и сплавов, а также из мягких материалов — воска или скульптурного пластилина. Эта технология описана в работах В. П. Лугового, В. И. Марченкова, В. П. Новикова, В. С. Павлова [11, 24, 27].

Каким бы способом ни была изготовлена мастер-модель, стоит помнить, что готовый литой элемент ювелирного украшения, пройдя весь долгий путь технологического процесса литья по выплавляемым моделям, будет иметь несколько меньшие размеры, чем мастер-модель, по которой его изготавливали. Уменьшение конечных размеров заготовки связано с протеканием усадочных процессов в модельном составе и ювелирном сплаве при изготовлении восковых моделей и отливке литых элементов соответственно, а также в результате механической обработки — шлифования, галтования и полирования.

---

---

## 4. Технология изготовления ювелирных изделий

---

---

### 4.1. Изготовление эластичных пресс-форм

---

---

**Э**ластичная пресс-форма (рис. 73) предназначена для получения восковых моделей отливок. Материал для изготовления пресс-форм — резины на основе каучука, силикона или латекса. К модельным резинам предъявляют ряд требований по эластичности, упругости, прочности, твердости, коррозионной стойкости и проявлению усадочных явлений [11].

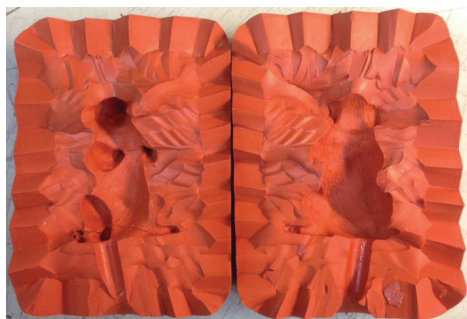


Рис. 73. Пресс-формы для получения восковых моделей (фото из архива кафедры ТХОМ УрФУ)

Модельные резины условно делятся на жесткие и мягкие. Чем мягче резина, тем легче извлечь восковую модель из пресс-формы без повреждений. Поэтому самые мягкие резины применяют при изготовлении сложных, объемных, тонкостенных и филигранных изделий, а самые твердые используют при получении плоских восковых моделей значков, медалей и крестиков. Недостатком мягких резин является повышенная податливость при запрессовке модельного состава. Это приводит к искажению геометрии восковой модели.

Предел прочности резины на растяжение — самое важное физико-механическое свойство резины, он определяется пороговой величиной механического напряжения, выше которой происходит разрушение материала. При малой прочности резиновая пресс-форма может разорваться по месту резки при небольшом количестве перегибов. Наибольшей прочностью обладают силиконовые резины горячей вулканизации. Они выдерживают несколько десятков тысяч запрессовок. Каучуковые резины также достаточно прочны, но подвержены старению и по этой причине выдерживают не более 3000 запрессовок. Самая низкая прочность на разрыв у резин, отверждаемых при комнатной температуре. Такие резины довольно быстро разупрочняются и выдерживают от 20 до 200 запрессовок [11].

Определяя для резин прочность при растяжении, фиксируют и их свойства эластичности. Эластичность и упругость резины характеризует способность пресс-формы возвращаться в изначальную форму после снятия приложенной к ней нагрузки. Для определения эластичности резину подвергают растяжению и определяют ее относительное и остаточное удлинение. Относительное удлинение жестких резин достигает 200 %, а мягких — от 300 до 850 % [11].

В процессе вулканизации происходит сшивание молекул в единую пространственную сетку (полимеризация), сопровождаемое усадкой резины в пределах 3...5 %. Величина линейной усадки зависит от коэффициента термического расширения и температуры вулканизации. В настоящее время производителями разработаны составы безусадочных модельных резин.

Материалы для изготовления пресс-форм выпускают в виде:

- листовых резин горячей вулканизации на основе натурального каучука;
- листовых пастообразных резин горячей вулканизации на силиконовой основе;
- пастообразных двухкомпонентных композиций на основе силиконовой резины холодного отверждения;
- жидких двухкомпонентных композиций холодного отверждения.

Резины на силиконовой основе позволяют получить более четкий отпечаток модели, имеют широкий диапазон рабочих температур, не теряя при этом механические свойства, обладают высокой коррозионной стойкостью. Пресс-формы, полученные горячей вулканизацией, обладают повышенной прочностью и коррозионной стойко-

стью, нежели пресс-формы из композиций холодного отверждения. Обычно композиции холодной вулканизации намного мягче, чем резины горячей вулканизации, и слишком податливы. Кроме того, недостатком таких резин является очень короткое рабочее время. Смешивание компонентов, подготовка и формование не должны превышать 4...5 мин. Тем не менее, ведутся работы по совершенствованию состава, а следовательно, и свойств низкомолекулярных композиций холодного отверждения, т. к. современная техника требует, чтобы материалы обладали не только нужным комплексом свойств, но и могли перерабатываться в изделия сравнительно простыми методами.

Выбор материалов для изготовления резиновой формы зависит:

- от свойств материала мастер-модели, его способности выдерживать температуру и давление вулканизации, химической инертности при таких температурах;
- вида изделия, его размеров, степени сложности поверхности, наличия тонкостенных и филигранных элементов;
- планируемого тиража продукции с одной резиновой пресс-формы.

В литейном производстве различают разрезные и разъемные пресс-формы. В ювелирном деле наибольшее распространение получили разрезные. Такие пресс-формы получают в алюминиевых рамках (рис. 74), имеющих по внутреннему периметру форму прямоугольника или круга. Заготовки из сырой резины нарезают согласно внутреннему размеру металлической рамки, очищают и заполняют ее пластинами сырой резины до половины ее высоты.

Припудренную тальком или другим разделительным слоем мастер-модель с литником укладывают и немного вдавливают в сырую резину. Заполняют рамку сырой резиной до необходимого уровня, обжимают алюминиевыми пластинками и устанавливают под пресс-вулканизатор (рис. 75). Вулканизатор состоит из верхней подвижной 1 и нижней неподвижной 2 нагревательных плит, двух направляющих колонок 3, винтового механизма 4, обеспечивающего подъем-опускание верхней плиты и сжатие резиновой пресс-формы 5 в алюминиевой рамке. Термоэлементы, расположенные в верхней и нижней плитах, разогревают резину до установленной температуры. Резину вулканизируют при температуре 150...155 °С в течение 30...50 мин. Время вулканизации зависит от количества пластин сырой резины, т. е. от толщины пресс-формы.



Рис. 74. Алюминиевые рамки для получения эластичных пресс-форм [40]

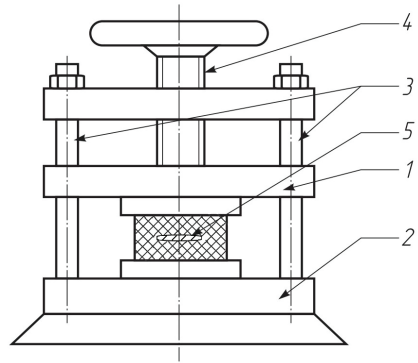


Рис. 75. Вулканизатор для изготовления эластичных пресс-форм [40]

Охлажденную резиновую пресс-форму с запечатанной в ней мастер-моделью разрезают зигзагообразно. Это позволяет двум половинкам плотно соединиться и не смещаться при получении восковых моделей. Выполняют надрезы — венты — для свободного удаления воздуха из полости пресс-формы во время запрессовки и улучшения заполнения модельным составом тонких сечений полости пресс-формы. В некоторых случаях дополнительно вырезают вкладыши, которые облегчают извлечение восковок [16].

Изготовление пресс-форм из резин холодного отверждения — менее трудоемкий процесс, не требующий специального оборудования, т. к. отпадает необходимость в проведении вулканизации. Мастер-модель крепят в металлической или пластиковой рамке и заполняют однородной по консистенции резиновой массой. Время отверждения на воздухе зависит от состава композиции и объема пресс-формы. В настоящее время созданы составы, отверждаемые в течение 15...20 мин.

## 4.2. Изготовление восковых моделей

Восковые модели (рис. 76) получают с целью тиражирования мастер-модели в серийном производстве ювелирных изделий и изготовления литейных форм. Для получения восковых моделей используют модельные составы, представляющие собой смесь трех-четырех компонентов. Основные компоненты — парафин или натуральный

пчелиный воск. Остальные вводят для улучшения технологических свойств: шеллачный воск добавляют в качестве упрочнителя, сополимер этилена — в качестве пластификатора, красители — для придания нужной окраски модельного состава.



Рис. 76. Восковая модель (фото из архива кафедры ТХОМ УрФУ)

Как правило, производители окрашивают модельные составы в яркие цвета, которые характеризуют свойства составов. В зависимости от технологических свойств модельные составы подразделяются на инъекционные, скульптурные, воски для лепки, для доработки восковых моделей и пр.

Качество литой заготовки будущего ювелирного изделия напрямую зависит от качества восковой модели, поэтому к модельным составам предъявляют следующие требования:

- 1) запрессовываемый модельный состав должен обладать высокой текучестью и точно воспроизводить конфигурацию рабочей полости пресс-формы и ее поверхности;
- 2) модельный состав не должен прилипать к резиновой пресс-форме, химическое взаимодействие с материалом пресс-формы и с формовочной смесью недопустимо;
- 3) модельный состав должен обеспечивать получение чистой и глянцевой поверхности модели;
- 4) после затвердевания в пресс-форме модельный состав должен иметь достаточные твердость и прочность, для того чтобы модели не деформировались и не повреждались на следующих технологических переделах;

- 5) усадка модельного состава должна быть минимальной и стабильной;
- 6) температура размягчения модельного состава должна быть не ниже 35...40 °С.
- 7) модельный состав должен обеспечивать хорошее сцепление при пайке элементов литниково-питающей системы, что особенно важно для сложных моделей, изготавливаемых по частям;
- 8) модельный состав должен быть безвредным, так же как и продукты его деструкции, образующиеся при прокаливании литейных форм.

Восковые модели получают в резиновой пресс-форме, используя инжектор (рис. 77). Инжектор состоит из внешнего бачка 6, в который помещена внутренняя камера 5 для модельного состава 7. Внутренняя камера представляет собой теплоизолированную алюминиевую емкость. Между внешним бачком и внутренней камерой расположен нагреватель воды 8, который снабжен терморегулирующим устройством. Избыточное давление внутри камеры создается подачей сжатого воздуха через штуцер 4 и составляет в зоне впрыскивания 0,2...0,8 МПа. Давление внутри камеры регулируется при помощи крана 2 и контролируется манометром 3. Впрыскивание расплавленного воска в резиновую форму происходит через сопло инжектора 1, которое снабжено обратным клапаном.

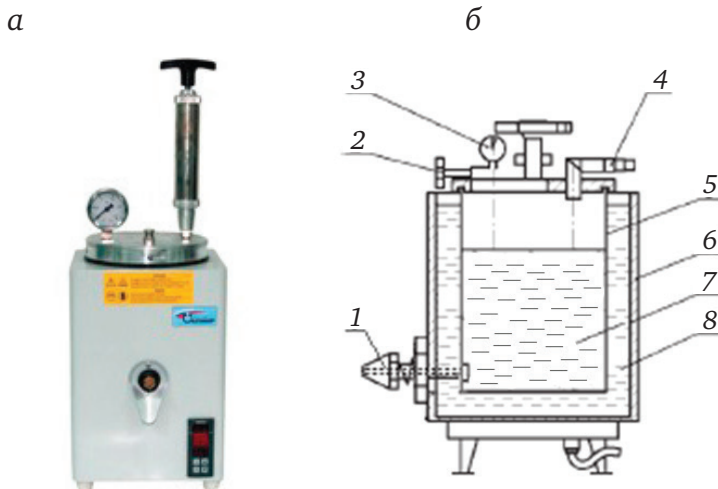


Рис. 77. Инжектор [40]:  
а — внешний вид; б — схема

Производители выпускают инжекторы различных модификаций. Они различаются емкостью рабочей камеры, способом нагнетания избыточного давления, наличием функции вакуумирования формы, максимальной температурой нагрева модельного состава. Емкость рабочей камеры в большинстве случаев составляет 1...4 л, давление в рабочей камере создается либо вручную, либо с помощью компрессора. Избыточное давление модельного состава и вакуумирование резиновой пресс-формы позволяет создавать тонкостенные, сложнопрофильные и плотные восковые модели.

Для повышения качества восковых моделей производители инжекторов автоматизируют некоторые процессы, снабжают инжекторы автоматическими устройствами. Такие устройства позволяют контролировать сжатие половинок пресс-формы, подачу и центровку пресс-формы с соплом, объем и массу заполняемого модельного состава.

Изготовление восковых моделей заключается в подаче в рабочую полость резиновой пресс-формы расплавленного воска. Для этого модельный состав загружают в рабочую камеру инжектора, крышку закрывают и фиксируют, включают обогрев, устанавливают температуру и регулируют давление сжатого воздуха. Температура и давление запрессовки модельного состава зависит от температуры плавления модельного состава, от массы, формы и сложности восковой модели. Как правило, температура запрессовки составляет 65...70 °С, давление — 0,5...0,8 МПа. Чем сложнее конфигурация моделей, тем выше должны быть температура и давление запрессовки.

Перед запрессовкой на рабочую часть пресс-формы наносят тонкий слой тальковой пудры или распыленной силиконовой жидкости во избежание прилипания восковой модели. Во время запрессовки половинки резиновых пресс-форм должны быть плотно прижаты. После запрессовки пресс-форму выдерживают в течение 1...2 мин до охлаждения и затвердевания модельного состава, после чего извлекают восковую модель [17]. Соблюдение этих правил необходимо для получения четкого отпечатка и гладкой поверхности восковой модели. Кроме того, чем тверже воск и жестче резина, тем более гладкой получается поверхность восковой модели.

При длительной работе полость резиновой пресс-формы нагревается, в результате чего увеличивается вероятность появления усачных раковин и прилипания восковой модели. Поэтому резиновые



пресс-формы следует периодически охлаждать либо на воздухе, либо в охлаждающих устройствах. Стоит отметить, что слишком длительная выдержка модельного состава в резиновой пресс-форме приводит к ломкости восковых моделей, поскольку пластичность модельного состава заметно снижается при охлаждении.

Восковые модели крупных изделий — сувениров, предметов интерьера — получают методом свободной заливки модельного состава в полость эластичной резиновой формы. Способ свободной заливки полости пресс-формы модельным составом прост, не требует специального оборудования, дает возможность получать модели с внутренними пустотами и экономно расходовать модельный состав. Однако он имеет и существенные недостатки:

- 1) малая производительность при получении сплошных моделей вследствие медленного охлаждения большого количества модельного состава;
- 2) большая объемная усадка модельного состава из-за повышенной температуры заливки, отсутствия избыточного давления и наличия, как правило, массивных частей модели;
- 3) по причине отсутствия избыточного давления при заливке модельного состава ограничена возможность получения модели с четким рельефом требуемой точности [18].

Методом свободной заливки получают как сплошные, так и полые модели. Для этого модельный состав разогревают на водяной или масляной бане. Для заливки используют алюминиевые, стальные или керамические ковши. Модельный состав заливают через воронку, предусмотренную конструкцией эластичной пресс-формы. Пустотелые модели изготавливают выливанием незатвердевшего остатка модельного состава из полости эластичной формы. При охлаждении уровень модельного состава в воронке быстро снижается и для компенсации усадки необходимо доливать модельный состав. Стоит учесть, что при изготовлении сплошных моделей продолжительность затвердевания модельного состава в форме устанавливается опытным путем.

Готовые модели проходят разбраковку. Основные дефекты восковых моделей: коробление, засоры, облой, несоответствующая шероховатость поверхности, трещины. Чаще всего коробление восковых моделей наблюдается при изготовлении сложных плоских изделий с наличием ажурных элементов. Причиной деформации может быть

преждевременное извлечение слишком горячих моделей из резиновых форм. Загрязненная полость пресс-формы, использование отработанного и неочищенного модельного состава, избыток талька могут привести к появлению засоров в восковых моделях и повышенной шероховатости поверхности. Неправильно собранная пресс-форма и повышенное давление в восковом инжекторе приводят к появлению облоя на восковых моделях. Использование перегретого модельного состава и слишком холодных резиновых пресс-форм может привести к появлению трещин в моделях [19].

Поскольку ювелирные изделия миниатюрны и поштучное их литье нецелесообразно, восковые модели группируют в единый модельный блок, который называют «елочкой» из-за внешнего подобия. «Елочка» собирается на резиновом основании (рис. 78), которое является донной заглушкой опоки, поэтому иногда называется резиновым уплотнителем или «башмаком». Резиновое основание имеет конусную часть, формирующую воронку литейной формы. Литниково-питающая система, так же как и модели, изготавливается из модельного состава. Она обеспечивает подвод расплавленного металла в полость формы и питание отливок во время затвердевания. В ювелирном деле литниково-питающая система состоит из стояка, служащего для направления движения расплава, и литников (питателей), необходимых для передачи расплава от стояка к рабочей полости формы.



Рис. 78. Резиновое основание — «башмак» [40]

Для сборки моделей в блок восковой стояк укрепляют в центральном отверстии резинового основания. Тонким лезвием электропаяльника припаивают модели к стояку. Расстояние между ближайшими точками смежных моделей должно быть не менее 1...3 мм, расстояние между моделями и стенкой опоки — не менее 5 мм. При сборке «елочки» тонкие модели следует закреплять у ее вершины, а массивные — у основания (рис. 94). Соблюдение этого условия позволяет

сохранить тепловой баланс и исключить локальные перегревы внутри литейной формы при заливке расплавом [11].



Рис. 79. Модельный блок — «елочка» — в сборе (фото из архива кафедры ТХОМ УрФУ)

Диаметр стояка не должен быть меньше 6 мм во избежание преждевременного затвердевания расплава в литейной форме. В местах припаивания моделей к стояку не должно быть острых углов, напылов и изломов для свободного выхода воска из литейной формы. Угол наклона продольной оси литника к продольной оси стояка должен быть равен  $45...80^\circ$  и соответствовать характеру течения жидкого металла при заливке.

Собранный модельный блок следует обезжирить в этиловом спирте, в 5%-м растворе сульфанола или в моющих средствах при температуре  $35...40^\circ\text{C}$ , промыть в проточной воде и высушить потоком воздуха до полного исчезновения влаги с поверхности моделей [17].

### 4.3. Изготовление литейной формы

В ювелирном деле для получения блока отливок используют разовые литейные формы. В рабочую полость литейной формы поступает расплавленный металл, заполняет требуемый объем, ох-

лаждается и затвердевает. Разовые литейные формы в ювелирном деле изготавливают из формовочной массы, которая представляет собой сложный состав огнеупорных компонентов как природного, так и искусственного происхождения. Основой формовочной массы (наполнителем), как правило, являются оксиды кремния в виде кварца и кристобалита. В качестве связующего вещества в состав входит гипс, встречающийся в природе преимущественно в виде дигидрата гипсового камня ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ), а также различные модифицирующие вещества (глюкоза, бура, борная кислота, серная кислота, мочевины, калиевая селитра), замедляющие схватывание смеси.

Кристобалит ( $\text{SiO}_2$ ) — это минерал кристаллической породы, который получают, нагревая кремнезем до температуры 1472...1670 °С. Именно кристобалит позволяет компенсировать усадку гипсовых форм при их прокаливании и предотвратить растрескивание форм при их заливке расплавом. Пропорции компонентов формовочных смесей различны — 50...80% кварца и кристобалита, 20...40% гипса и не более 3% связующих. Смесь используют в мелкоизмельченном состоянии и хранят в сухом месте. В качестве затворителя для приготовления суспензии применяют дистиллированную воду из расчета 0,32...0,42 л на 1 кг смеси [20].

Для получения суспензии в миксер с водой засыпают необходимое количество порошка формовочной смеси. Смесь перемешивают в миксере в течение 3...4 мин для получения однородного состава. Затем смесь вакуумируют для удаления воздушных пузырьков. Остаточное давление составляет  $10^4$  Па.

Модельный блок, установленный на резиновом основании, накрывают опокой. Опоки изготавливают из нержавеющей стали, т. к. в процессе эксплуатации они подвергаются воздействию влаги. Опоки выполняются как с фланцем, так и без него, как со сплошными стенками, так и с боковыми отверстиями (рис. 80). Перфорированные опоки обеспечивают лучшую газопроницаемость литейной формы и способствуют ускорению испарения влаги из формовочной массы при сушке и прокалке. Размер опоки выбирают, исходя из размеров модельного блока. Верхний ряд восковых моделей в блоке должен располагаться ниже края металлической опоки на расстоянии 10...15 мм. Расстояние от боковых стенок опоки до моделей должно быть не менее 10...15 мм.

Подготовленную формовочную смесь заливают в опоки. Заливку смеси проводят по стенкам опоки, чтобы избежать поломки моделей. Заполненные опоки устанавливают на вибростол, закрывают цилиндрическим колпаком и виброввакуумируют. Продолжительность виброввакуумирования составляет 3 ...4 мин. При использовании крупных опок, диаметр и высота которых превышают 160 и 200 мм соответственно, продолжительность вакуумирования увеличивают до 4...5 мин.

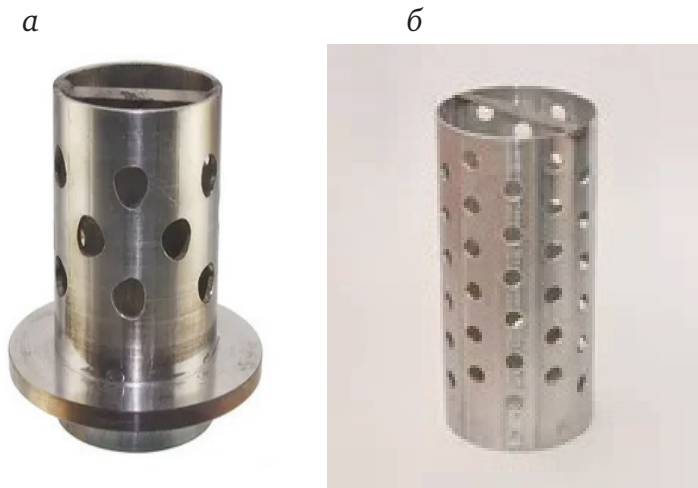


Рис. 80. Опоки для изготовления неразъемных литейных форм [40]:

*а* — с фланцем; *б* — без фланца

Необходимо отметить, что при виброввакуумировании смесь поднимается, как бы «вскипает». Поэтому целесообразно на опоку установить манжету высотой не менее 3 см. Манжеты увеличивают длину опок и предохраняют от перелива суспензии через край во время интенсивного удаления пузырьков воздуха при вакуумировании [21].

Формы должны стоять на воздухе до полного застывания смеси по окончании формовки не менее 1 ч для опок диаметром 75 мм, не менее 2 ч — для опок диаметром 110 мм и не менее 3 ч для опок больших размеров. Время от момента ввода порошка в воду до застывания смеси называют рабочим временем формовочной смеси. После выдержки на воздухе с опоки снимают резиновый уплотнитель и манжету, подрезают формовочную массу на торце литейной формы и приступают к вытапливанию воска.

В настоящее время ювелирные компании стараются совместить процесс вытапливания воска и прокалки литейных форм. Широкое применение нашли электрические прокалочные печи, которые используются и для вытапливания воска, и для последующей прокалки литейной формы. Прокалочная печь (рис. 81) представляет собой камеру, выполненную из огнеупорного материала, обеспечивает равномерный нагрев формы в диапазоне температур 100...1000 °С. Современные прокалочные печи оснащены программируемым контроллером, что позволяет задавать различные программы обжига литейных форм.



Рис. 81. Печь для прокалки опок [40]

Литейную форму устанавливают в предварительно нагретую до температуры 150 °С камеру печи литниковой воронкой вниз над поддоном печи на уровне не менее 2,5 см. Это обеспечивает свободное вытекание модельного состава из формы и приток воздуха к ее рабочей полости [11]. Нагрев ведут ступенчато с периодическими выдержками. Режим прокаливания зависит от типа формовочной смеси и размера литейной формы. Режим прокаливания форм всегда рекомендован фирмой-изготовителем формомассы. При отклонении от рекомендаций в процессе обжига могут появиться дефекты, такие как трещины, неровности и др. [21]. По окончании прокаливания литейные формы охлаждают до температуры заливки сплава [17].

---

## 4.4. Плавка и заливка расплава

---

Плавка и заливка расплава в ювелирном производстве являются необходимой частью технологического процесса. Правильное приготовление расплава — условие получения качественных литых заготовок ювелирных изделий с заданным химическим составом и уровнем свойств.

Материал, поступающий на участок плавки, называют шихтовым материалом или шихтой. Компонентами шихты: чистый металл, лигатура и оборотный металл. Оборотный металл может быть представлен в виде бракованных слитков и изделий, лома, отходов различных участков ювелирного производства. Оборотный металл в зависимости от степени и характера загрязнения подвергается различной обработке. Возвратные отходы производства (литники, высечка, обрезки) с известным содержанием основных и легирующих компонентов, имеющие чистую поверхность, поступают в плавку без предварительной подготовки. Такие отходы, как опилки, стружка, мелкие обрезки, всегда загрязнены, поэтому перед плавкой их подвергают предварительной подготовке: их прокаливают в печи для удаления всех сгорающих примесей (дерево, воск, щетина, бумажная пыль и т. д.), обрабатывают магнитами для извлечения стальных опилок и обломков стального металлорежущего инструмента. Очищенные таким образом отходы считают подготовленными и направляют на участок плавки. Шихтовые материалы, загрязненные вредными примесями, а именно элементами, не входящими в состав сплава и отрицательно влияющими на его свойства, подвергают предварительной плавке и отправляют на аффинажные заводы для переработки [22].

Подготовленная и предварительно прогретая до температуры 100 °С шихта загружается в предварительно нагретый до температуры 150 °С тигель. Тигель — это сосуд для плавки шихтовых материалов. Обычно имеет форму цилиндра или усеченного конуса с большим верхним основанием. Тигли для ювелирных сплавов изготавливают из огнеупорных материалов [23].

При приготовлении ювелирных золотых и серебряных сплавов плавку шихтовых материалов проводят в графитовых тиглях. Графитовые тигли обладают высокой огнеупорностью, теплопроводностью и термостойкостью. Следует учесть, что наряду с положительными

свойствами графит имеет существенный недостаток: применение графитовых тиглей требует защитной атмосферы, поскольку при температурах, превышающих 700 °С, графит на воздухе быстро окисляется и сгорает.

Перед началом работы новые графитовые тигли необходимо прогреть и обработать внутреннюю поверхность бурой или борной кислотой, для того чтобы избежать попадания мелких графитовых частиц в расплав, снизить впитывание расплава в поры графитового тигля [21]. Для плавки каждой марки и пробы сплава используют отдельный тигель.

Для приготовления платиновых и палладиевых ювелирных сплавов используют магнезитовые, циркониевые тигли или тигли на основе оксида кальция. Эти материалы обладают высокой огнеупорностью, имеют достаточно высокую механическую прочность при обычной и повышенной температуре и не вступают в химическое взаимодействие с расплавом.

Последовательность загрузки шихтовых материалов в тигель зависит от величины и состояния шихты, состава и температурных характеристик компонентов, входящих в сплав. Основные условия, определяющие порядок загрузки компонентов шихты в плавильный агрегат и температурно-скоростные режимы приготовления расплавов, — обеспечение минимальных потерь драгоценных металлов и получение изделий высокого качества [22].

Составляющие шихты следует плавить в порядке возрастания сродства к кислороду, температуры плавления, летучести и уменьшения их количества в сплаве. Компоненты, имеющие близкие значения сродства к кислороду, сходные температуры плавления и испарения, например золото, серебро и медь, следует загружать и расплавлять совместно, причем на дно тигля первыми укладывают компоненты с меньшей плотностью и большим сродством к кислороду [22].

Компоненты с повышенной летучестью, например цинк, вводят в сплав только после расплавления всех других составляющих шихты либо в составе лигатуры. Лигатура — промежуточный сплав, предназначенный для введения в расплав легкоплавких, тугоплавких, легкоокисляющихся или летучих при высоких температурах компонентов. Поэтому при приготовлении сплавов белого золота, содержащих никель или палладий, применяют медно-никелевую либо серебряно-палладиевую лигатуру, т. к. температуры плавления никеля



и палладия составляют 1451 и 1554 °С соответственно. Применение лигатур значительно облегчает процесс плавки, поскольку выравняется температурно-скоростной режим плавки, снижаются безвозвратные потери благородных металлов.

При плавке благородных металлов и их сплавов для предохранения расплавов от окисления, насыщения кислородом и другими газами из окружающей среды создают защитно-дегазационную среду — защитный газ. Вакуум — самая эффективная, но и наиболее дорогая защитная среда, требующая специального плавильно-литейного оборудования, что и ограничивает применение этой среды. Кроме того, недостатком вакуума является повышенная летучесть компонентов в нем, что недопустимо при приготовлении дорогостоящих ювелирных сплавов. Поэтому при приготовлении расплавов ювелирных сплавов для снижения безвозвратных потерь благородных металлов вакуум применяется редко, а рекомендуемая степень разрежения составляет 10...50 мм. рт. ст. Если требуется лишь дегазация расплава, то следует поддерживать вакуум в течение 1,5...2 мин непосредственно перед заливкой. В настоящее время большинство плавильно-заливочных установок оснащены системой подачи и циркуляции защитных газов — аргона, гелия и др. Инертные газы отличаются крайне низкой химической активностью, хорошо защищают и дегазируют все ювелирные сплавы. Защитный газ следует подавать на зеркало расплава в процессе всей плавки шихтовых материалов под давлением выше атмосферного, т. к. применение защитной газовой среды эффективно лишь в том случае, если расплав будет непрерывно находиться под ее положительным давлением. Подача инертного газа на поверхность расплава обеспечивает бескислородную атмосферу в процессе плавки и заливки металла.

Как известно, в составе шихтовых компонентов присутствуют нежелательные примеси, загрязнения, окисленные соединения. Следовательно, расплав необходимо не только защищать от окисления, но и очищать от растворенных в шихтовых материалах нежелательных компонентов. Флюсы очищают расплавы от нежелательных компонентов, загрязнений и примесей путем окисления и перевода окислов в шлаки.

Важнейший флюс, применяемый при плавке ювелирных сплавов, — бура. Бура, имея малую плотность и меньшую температуру плавления большинства находящихся в расплавке оксидов, а также

обладая хорошей смачиваемостью с этими оксидами, проходит через расплав и легко поднимается на поверхность, смачивает и поднимает тугоплавкие, нерастворимые в расплаве оксиды, подобно механическому фильтру. Оксиды металлов шлакуются тем интенсивнее, чем больше сродство к кислороду у образующего их металла. Наименьшее сродство благородных металлов к кислороду по сравнению с другими металлами дает возможность буре при плавке ошлаковывать в первую очередь наиболее вредные для ювелирных сплавов примеси.

Буру применяют при приготовлении всех ювелирных сплавов. Переплавленную, мелкоистолченную или прокаленную при температуре 450 °С буру хранят в сухой посуде с притертой пробкой. При загрузке шихтовых материалов в тигель их пересыпают бурой. Расход буры на плавку — 1 % от массы шихты.

Помимо вредных примесей в сплавах нередко присутствует растворенный кислород. Даже в небольшом количестве он значительно ухудшает механические и литейные свойства ювелирных сплавов. Для удаления из расплава растворенного кислорода применяют раскислители. Лучшим раскислителем для ювелирных сплавов является цинк. В основе процесса раскисления цинком лежит реакция его химического взаимодействия с кислородом и образование на поверхности расплава плотной непроницаемой пленки ZnO. В качестве раскислителя можно применять и фосфористую медь. Фосфор обладает еще большим сродством к кислороду. Фосфористую медь вводят в количестве 0,1 % от массы шихты, для сильно окисленных сплавов это количество увеличивают до 0,2 %, но не более. Избыток фосфористой меди может вызвать образование легкоплавкой эвтектики Ag<sub>2</sub>P в результате взаимодействия фосфора с серебром — основным легирующим элементом золотых ювелирных сплавов. Это соединение, располагаясь по границам зерен при затвердевании сплава, существенно снижает его механические свойства. Преимуществом цинка является его существенная растворимость как в меди (39 мас. %), так и в серебре (22 мас. %). Следовательно, опасность образования легкоплавких эвтектик практически отсутствует. И все же стоит помнить, что цинк снижает коррозионную стойкость сплавов и увеличивает склонность сплавов к потускнению. Поэтому количество цинка, вводимого в качестве раскислителя, не должно превышать 2 % от массы всей шихты.

Приготовление расплава должно сопровождаться его тщательным перемешиванием по всему объему. Нагрев, плавку и перегрев

расплава до температуры заливки необходимо вести с максимальной скоростью. Высокую скорость может обеспечить только индукционная плавка.

Индукционная высокочастотная плавильно-заливочная установка предназначена для плавки металлов и сплавов токами высокой частоты. Индуктор создает переменное электромагнитное поле. Металл, помещенный в переменное магнитное поле, нагревается от действия вихревых токов. Применение индукционного нагрева делает процесс приготовления расплава намного чище, безопаснее и экономичнее. Достоинство такой плавки — высокая скорость нагрева металла. Время нагрева тигля до температуры 1300 °С составляет 15 мин.

В настоящее время в ювелирном деле заливка расплава ведется на центробежных установках или установках вакуумного всасывания.

Принцип действия центробежной установки заключается в заполнении литейной формы расплавом, затвердевании отливок под действием центробежной силы, возникающей за счет быстрого вращения литейной формы вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной оси. Отливки, полученные способом центробежного литья, имеют высокую плотность, усадочная пористость и раковины отсутствуют.

Метод вакуумного всасывания основан на удалении воздуха из литейной формы во время заливки. За счет выкачивания из формы воздуха давление в полости формы понижается до 0,75...2,25 Па. Разность атмосферного давления в литейной форме создает искусственное избыточное давление жидкого металла на стенки формы, обеспечивая тем самым качественное воспроизведение расплавом рабочей полости литейной формы. Метод вакуумного всасывания обеспечивает равномерную и быструю заливку расплава. Получаемые таким методом литые заготовки не имеют газовых раковин и пор [21].

После получения отливок тем или другим способом заполненную литейную форму охлаждают на воздухе или в воде. В результате объемных изменений кристобалитогипсовых формовочных смесей литейные формы растрескиваются, что значительно облегчает процесс выбивки блока отливок. Блок отливок очищают от формовочной массы, используя водоструйную камеру. Полное удаление формовочной смеси проводят в растворе плавиковой кислоты. При этом стоит помнить, что серебро и серебряные сплавы не стойки в среде плавиковой кислоты, поэтому выдержка блока серебряных отливок в растворе не должна превышать 5 минут.

Блок отливок промывают в проточной воде и при необходимости осветляют в отбелах [17]. Литые заготовки из серебряных и палладиевых сплавов отбеливают в водном 10 %-м растворе серной кислоты, заготовки из золотых и платиновых сплавов — в 10 %-м растворе азотной кислоты, после чего промывают в воде и просушивают в сушильном шкафу при температуре 100...120 °С или в естественных условиях.

Завершающий этап — отделение литых заготовок от литниковой системы. Отделение проводится вручную кусачками, лобзиками, бокорезами или механизированным способом. Механизированный способ позволяет выполнить работу с большей производительностью. Места соединения отливок и литников необходимо зачистить напильником, надфилем или борами.

#### **4.5. Механическая обработка и монтаж заготовок**

---

---

Окончательную отделку литых заготовок проводят для достижения необходимой формы, размеров и требуемого качества поверхности изделий. Для этого применяются следующие технологические операции: опилование, шлифование, полирование и галтование.

Опиливанием называется обработка поверхности металла режущим инструментом — напильником, надфилем, рифелем или борами. Литые заготовки опиляют для выравнивания поверхности и чистовой обработки формы. Опиливание бывает ручное и механизированное.

Ручное опилование выполняется с помощью напильников, надфилей или рифелей. Напильники классифицируют по размерам, профилю и насечке. В практике ювелирного дела применяют напильники размером 200...270 мм. Существует четыре основных профиля напильников — трехгранный, полукруглый, разновыпуклый и плоский. Насечка напильников обозначается номерами — 1, 2, 3, 4, 5, 6. С увеличением номера насечки уменьшается величина зуба напильника. Напильники с крупной насечкой № 1–3 применяют для грубой обработки изделий, напильники с насечкой № 4–6 — для выравнивания и чистовой обработки заготовок. Надфили служат для более мелких работ. Они отличаются меньшей площадью сечения. Так же как и на-

пильники, надфили классифицируют по размерам, профилю и насечкам и с повышением номера насечки уменьшается величина зуба надфиля. Длина надфилей — 100...200 мм. По профилю надфили делятся на трехгранные, клиновидные, ромбические, плоские, квадратные, полукруглые, разновыпуклые, пазовые, овальные, круглые. Рифели — это разновидность надфилей. Они имеют короткую изогнутую рабочую часть, а насечка, как правило, нанесена лишь на внешнюю сторону изгиба. Рифели различаются по кривизне изгиба и профилю рабочей части. Применяются для опилования вогнутых поверхностей и заправки внутренних поверхностей полых изделий [24].

Наряду с ручным применяют и механическое опилование. Для механического опилования применяют бормашины с набором бор-фрез. При механическом опиловании увеличивается производительность труда, а разнообразие бор-фрез позволяет обработать труднодоступные места и внутренние поверхности полых изделий.

Суть процессов полирования и шлифования заключается в удалении с поверхности металла микронеровностей во время финишной обработки изделий. Механическое абразивное шлифование и полирование проводят на шлифовально-полировальных станках с помощью эластичных кругов и щеток с абразивными пастами. Такие станки оснащены вытяжными устройствами со сборниками отходов для последующего извлечения благородных металлов. Удаление микронеровностей в процессе шлифования и полирования происходит не только за счет микрорезания обрабатываемого материала абразивными зёрнами, но и за счет сглаживания микрорельефа в результате пластического течения выступающих микронеровностей.

Инструментом для механического шлифования и полирования служат эластичные круги. Материал круга должен хорошо удерживать на поверхности абразивные пасты и быть прочным в эксплуатации. Для шлифования ювелирных изделий применяют фетровые, а для полирования — матерчатые, волосяные или нитяные круги. На поверхность круга наносят полировальные (абразивные) пасты. Абразивным материалом служат алмаз, оксид хрома, оксид железа, микропорошки корунда. В качестве связующего материала используют парафин и стеарин. Зернистость пасты выбирается в зависимости от стадии обработки изделия. Для шлифования используют пасты с зернистостью от 28 до 15 мкм, для полирования — от 8 до 15 мкм, для окончательного полирования (глянцевания) — от 7 до 5 мкм [24].

В тех случаях, когда нельзя применить механическое полирование, прибегают к ручному полированию. Инструментом для ручного полирования служат стальные и гематитовые полировники. Стальные полировники представляют собой стержни с идеально отполированным рабочим концом, гематитовые — деревянные ручки с вставленным гладко отшлифованным гематитом в качестве рабочей части. Форма рабочей части полировников различна и выполнена с таким расчетом, чтобы иметь возможность отполировать любой участок изделия. Суть ручного полирования заключается в выглаживании поверхности изделия гладким участком полировника. Выглаживание поверхности происходит без применения абразивных паст [24].

Механическое и ручное полирование используются для поштучной обработки изделий. Для массового полирования изделий применяют галтовочные установки. Галтовка — способ массового полирования изделий во вращающемся барабане в среде полирующих и моющих средств. Полирующим материалом в таких установках являются наполнители: стальные шарики, полимерные наполнители или наполнители на основе керамической связки. В качестве органических наполнителей применяется ореховая скорлупа. Масса наполнителя, как правило, составляет 2 весовые части от массы изделий. В качестве моющих составов применяют водные растворы ПАВ.

Суть процесса заключается в том, что при вращении барабана изделия и наполнитель находятся в постоянном движении. В результате взаимного трения сглаживается поверхность изделий. Моющий состав сглаживает трение и ускоряет процесс полирования. Частота вращения барабана при галтовке золотых и серебряных изделий составляет 65...75 об/мин, продолжительность галтовки — 2,5...3,5 ч. По окончании процесса галтовки изделия отделяют от наполнителя и подвергают очистке в ультразвуковой ванне [24].

Ультразвуковая очистка — способ очистки поверхности твердых тел в моющих жидкостях, при котором в жидкость тем или иным способом вводятся ультразвуковые колебания [25]. Ультразвуковыми колебаниями называют колебания с частотой от 18 до  $10^6$  кГц. Ультразвуковая установка состоит из металлической емкости, в которой находится ванна из нержавеющей стали. В нижней части установки расположен генератор высокой частоты, который питает ультразвуковой преобразователь. Электрические колебания преобразуются в механическую ультразвуковую энергию, которая распределяется по всей ванне.

Энергия ультразвука приводит к эффекту кавитации — к быстрому образованию и разрушению в жидкости большого количества мельчайших пустот. При разрушении этих пустот высвобождается механическая энергия, которую приобретает моющая жидкость, что дает возможность глубокой очистки изделий от твердых загрязнений. После ультразвуковой очистки изделия промывают и сушат.

## 4.6. Технология соединения заготовок

Ювелирные изделия состоят из различных частей, которые необходимо надежно и эстетично соединить. Детали ювелирного изделия могут быть соединены подвижно и неподвижно. К подвижным относят шарнирные соединения. К неподвижным — соединения пайкой, сваркой или клеейкой.

Шарнирные соединения довольно часто используют в ювелирных изделиях: в серьгах для закрепления швензы, в браслетах для соединения звеньев, в колье и запонках для соединения элементов, в конструкциях шкатулок, портсигаров для соединения корпуса с крышкой и т. д.

Шарнир — вращательная кинематическая пара, а именно подвижное соединение двух частей, которое обеспечивает им вращательное движение. В ювелирном деле, как правило, используют цилиндрическое шарнирное соединение, т. е. вращение вокруг общей оси (рис. 82, а). Но поскольку в моду входят ювелирные украшения сложной конструкции — изделия-трансформеры, — можно наблюдать и шаровые шарнирные соединения (рис. 82, б).

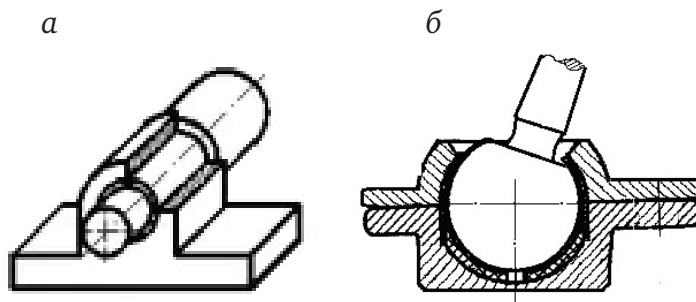


Рис. 82. Подвижные соединения:

а — цилиндрический шарнир; б — шаровой шарнир

Подвижность цилиндрического шарнирного соединения обеспечивается шарнирами со скользящей посадкой в сопряжениях. Конструктивно шарниры выполняются в виде стержня, который имеет закладную и замыкающую головку. Оба конца шарнира замыкают, чтобы исключить осевое смещение. Шарнирный стержень сопрягается с неподвижной деталью, обеспечивая плотное соединение, а с подвижной деталью образует зазор, обеспечивая подвижность.

Определенную сложность в изготовлении шарнирного соединения представляет необходимость обеспечения соосности отверстий в соединяемых деталях. В условиях поточного производства соосность достигается в процессе изготовления деталей с применением специальных приспособлений с направляющими. В условиях единичного производства соосность отверстий достигается при совместном сверлении деталей, жестко зафиксированных в требуемом положении [11].

В качестве стержня (оси) шарнира в ювелирных изделиях используется проволока, диаметр которой соответствует внутреннему диаметру просверленного отверстия и ни в коем случае не превышает его. Проволоку нарезают длиной, равной общей ширине соединяемых звеньев. Закладную головку формируют пластическим деформированием при помощи корневертки, а другой конец слегка опиливают на конус. Далее собирают все части шарнирного соединения таким образом, чтобы обеспечить как можно более плотное прилегание отдельных элементов друг к другу и в то же время дать им возможность свободно двигаться. Замыкающую головку формируют в собранном соединении пластическим деформированием корневерткой или молотком по пуансону соответствующей формы.

Пайка является основным способом неподвижного соединения металлических заготовок в ювелирном деле благодаря прочности и надежности полученного соединения, а также простоте ее осуществления. Неразъемное соединение — спай — получается в результате взаимодействия расплавленного припоя с кромками основного металла. При этом припой внедряется между зернами основного металла и образует промежуточный слой — сплав припоя и основного металла. В результате диффузии припоя с основным металлом получается прочное соединение. Это подтверждается при изучении микроструктуры шва, в котором видны границы слоев металла.



Ювелирная терминология делит припои на мягкие и твердые. Деление это весьма условно, для ювелирных сплавов важны разные температурные режимы мягких и твердых припоев. Мягкими припои называют в тех случаях, когда температура плавления припоя значительно ниже температуры плавления сплава. Припои, температура плавления которых близка к температуре плавления сплава, называют твердыми. Так, один и тот же припой, применяемый для различных сплавов, имеющих различную температуру плавления, может оказаться и мягким, и твердым. Рабочая температура большинства используемых в ювелирном деле припоев находится в диапазоне 650...1100 °С [24].

Согласно п. 11 «Правил клеймения изделий из благородных металлов» от 6 мая 2016 г. № 394 припои, применяемые при пайке ювелирных и других бытовых изделий из драгоценных металлов, должны быть изготовлены на основе тех же драгоценных металлов, что и сплавы, из которых изготавливаются изделия. Припои для изделий из золота и платины должны иметь ту же пробу, что и основной сплав. Припой для изделий из серебра должен иметь пробу не ниже 650.

Необходимая температура плавления и цвет припоя для каждой пробы достигается регулированием процентного содержания и соотношения легирующих элементов. Почти все ювелирные припои содержат цинк, который добавляют для снижения температуры плавления припоя и повышения его текучести. Белый цвет припоя достигается добавками никеля или палладия. Припои белого цвета на основе золота применяются не только для пайки деталей из ювелирных золотых сплавов белого цвета, но и для изделий из платиновых и палладиевых сплавов. В табл. 1 приведены примеры наиболее часто применяемых припоев на основе золота [24]. При пайке серебряных изделий используют стандартные припои ПСр65, ПСр70 и ПСр72, иногда добавляя в них цинк с целью улучшения свойств. Готовые припои поставляются в виде проволоки или ленты, скрученной в бунты.

В ювелирном деле применяют в основном газопламенную пайку горелками, работающими на смеси горючего газа и воздуха. В горелке происходит смешивание горючих газов с кислородом и образование пламени на выходном сопле. Для этого горелки оснащены трубками и насадками для смешивания воздуха и газа. Вентилем, установленным на трубке, регулируют соотношение воздуха и газа, а следовательно, и температуру пламени.

Таблица 1

Припой для пайки ювелирных изделий [24, 26]

Марка припоя	Содержание элемента, мас. %						Рабочая температура, °С	Цвет припоя
	Au	Ag	Cu	Pd	Ni	Zn		
ПЗл75Ср15М7Ц3	75,0	15,0	7,0	-	-	3,0	860...880	желтый
ПЗл75Ср12М8Ц5	75,0	12,0	8,0	-	-	5,0	830...850	желтый
ПЗл75Ср9М6Ц10	75,0	9,0	6,0	-	-	10,0	800...820	желтый
ПЗл75Ср8М5Пд10Ц2	75,0	8,0	5,0	10,0	-	2,0	950...980	белый
ПЗл75Ср8М5Пд5Ц8	75,0	7,0	5,0	5,0	-	8,0	850...880	белый
ПЗл75М10Н10Ц5	75,0	-	10,0	-	10,0	5,0	860...880	белый
ПЗл58,5Ср28М8,5Ц5	58,5	28,0	8,5	-	-	5,0	820...840	желтый
ПЗл58,5Ср18М17,5Ц6	58,5	18,0	17,5	-	-	6,0	830...850	красноватый
ПЗл58,5Ср7М29,5Ц5	58,5	7,0	29,5	-	-	5,0	830...850	красный
ПЗл58,5Ср26М7Пд6Ц2,5	58,5	26,0	7,0	6,0	-	2,5	850...870	белый
ПЗл58,5Ср14,5М11Н8Ц8	58,5	14,5	11,0	-	8,0	8,0	740...760	белый
ПЗл50Ср25М19Ц6	50,0	25,0	19,0	-	-	6,0	830...850	желтый
ПЗл37,5Ср14М44Ц4,5	37,5	14,0	44,0	-	-	4,5	830...850	красноватый

Перед пайкой необходимо очистить соединяемые поверхности, припасовать стыки и зафиксировать соединяемые детали. Соединяемые поверхности очищают с целью повышения прочности паяного шва. Очищают изделия либо химическим, либо механическим способом. Химический способ — это выдержка в растворах четыреххлористого углерода, трихлорэтана или тринатрийфосфата. Механическая обработка заключается в зачистке мест пайки надфилем, шабером или наждачной бумагой. Припасовку стыка выполняют таким образом, чтобы обеспечить зазор величиной 0,025...0,1 мм. Соединяемые детали фиксируют с помощью пинцетов или зажимов из стальной проволоки. Для фиксации тонкостенных элементов их предварительно скрепляют между собой электроконтактной сваркой [11].

Соединяемые детали укладывают на огнеупорную основу и припасовывают стыки. В качестве огнеупорной основы при пайке используют настольные приспособления, покрытые асбестом, — леткалы (рис. 83). Конструкция леткалов позволяет поворачивать изделие в горизонтальной плоскости на 360°. Кроме того, можно применять монтажную плиту из огнеупорного материала. Отверстия можно использовать для фиксации соединяемых деталей иголками или кусочками проволоки.



Рис. 83. Леткал — стол для пайки [40]

На соединяемые места при помощи кисточки наносят флюс. Так же как и при приготовлении расплава, основным флюсом при пайке является бура. Бура уже при 400 °С распадается на метаборат натрия

и оксид бора (III). Оба этих соединения активны по отношению к оксидам примесей. Далее стык разогревают пламенем горелки и пинцетом укладывают припой в зазор между соединяемыми деталями. Припой расплавляется, растекается, смачивает соединяемые поверхности.

Несмотря на то, что при пайке плавится только припой, между расплавленным припоем и основным металлом происходят процессы взаимного растворения и диффузии на небольшой глубине. Это происходит за счет смачивания жидким металлом твердого.

Пайка завершается отбеливанием, которое проводится с целью удаления окисленного поверхностного слоя и остатков флюса. В качестве отбелов применяют растворы кислот, химический состав которых определяется материалом и пробой сплавов. Изделия из золотых сплавов 585 пробы и выше, а также из платиновых сплавов всех проб отбеливают в 10%-м растворе соляной кислоты при температуре 60...80 °С, изделия из золотых сплавов 500 пробы и ниже, а также серебряных и палладиевых сплавов всех проб отбеливают в 10%-м растворе серной кислоты также при температуре 60...80 °С. Отбеливание проводят в стеклянных, пластиковых или фарфоровых емкостях. Несмотря на то, что отбеливание проводят в нагретом растворе, изделия в отбел опускают полностью остывшие.

## **4.7. Закрепка вставок**

---

---

Вставки, являясь декоративными элементами, придают ювелирным изделиям яркость, красочность, особую художественную выразительность и ценность. В качестве вставок используют ювелирные и ювелирно-подделочные камни. Форма вставок видоизменялась и усложнялась со временем: от простых овальных и квадратных форм до сложных вставок, имеющих более ста граней.

В зависимости от формы все вставки можно разделить на две группы: кабошоны и многогранники. Кабошоны изготавливают в основном из непрозрачных и иногда из просвечивающих камней, тогда как ограненные вставки — преимущественно из прозрачных минералов. Кабошоны имеют полусферическую форму с одной или с двух сторон, а ограненные вставки имеют большое число разновидностей форм, причем существуют определенные формы и виды огранки, ко-

торые присущи определенным камням. В зависимости от оптических свойств каждый из видов камней может иметь характерные для него форму, углы наклона граней и их количество.

Существуют различные способы закрепки камней: глухая, крапановая, корнеровая, рельсовая и др. Схематичные изображения и описания видов закрепки вставок приведены в приложении А. Выбор способа закрепки зависит от формы ограненных камней, их размера и количества в одном изделии. Вставки закрепляются в посадочные места, подготовленные для этого в изделии, или в оправы различных форм — касты.

Вставки в ювелирных изделиях должны быть надежно установлены и закреплены. Технология закрепки камней состоит из ряда последовательно выполняемых операций, причем каждый вид закрепки требует определенного набора инструментов и приспособлений: штихели, ручные деревянные тиски, корневёртки, корнейзеры, давчики и др.

Штихель — резец, которым подрезают гнездо для посадки камней, ставят корнеры. Штихель состоит из стального клинка и деревянной ручки (рис. 84). Верхнюю часть клинка называют спинкой, нижнюю — лезвием. Режущей кромкой служит ребро, образованное площадью заточки с боковыми сторонами. Штихели делятся по номерам, которые определяют угол лезвия. Форма и заточка штихелей определяет их назначение. К основным закрепочным относят спицштихель, мессерштихель, большштихель.

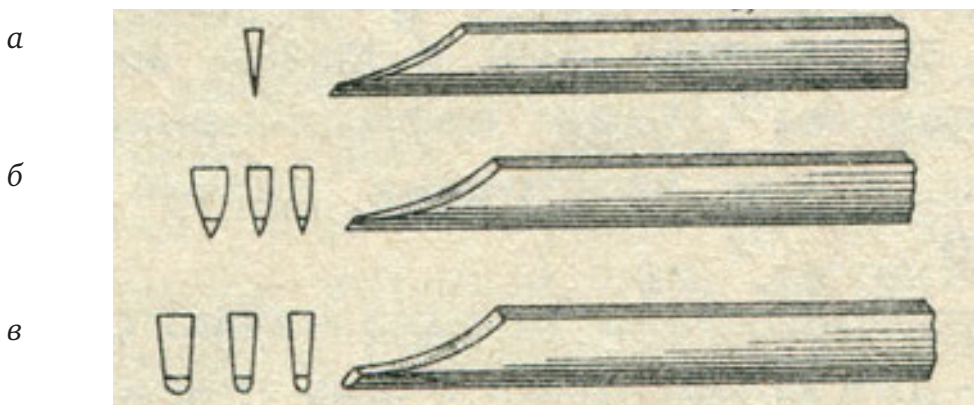


Рис. 84. Штихели [27]:

а — мессерштихель; б — спицштихель; в — большштихель

Шпицштихель — самый распространенный и часто используемый инструмент закрепщика. Шпицштихель имеет клиновидную форму с выпуклыми боковыми сторонами. Шпицштихелем выполняют юстировочные работы — внутреннюю боковую подрезку крапанового и корнерового каста, вставку вставок при корнеровой закрежке, чистовую обработку закрепочных площадок при корнеровой закрежке. Большштихель имеет закругленную форму лезвия. Применяется для прорезки и поднятия металла при формировании корнера, размер которого зависит от радиуса закругления лезвия и угла заточки штихеля. Мессерштихели имеют острое клинообразное лезвие. Их применяют для подчистки мест между корнерами и труднодоступных участков ажурных кастов.

Давчик представляет собой стержень, вставленный в грибовидную либо полукруглую деревянную ручку (рис. 85). Им обжимают глухие касты, закатывают крапана, вдавливают корнеры. Различаются давчики по форме и поверхности рабочей площадки. Давчик с колесиком предназначен для обжатия глухих кастов (рис. 85, а). Сапожковый давчик (рис. 85, б) используют для крапановой закрежки, рабочая часть имеет площадку с желобковым пропилом или без него. Желобок необходим для предотвращения возможного соскальзывания инструмента с крапана при обжатии и используется для закрежки вставки узкими крапанами. При корнеровой закрежке используют давчик с полукруглым основанием (рис. 85, в).



Рис. 85. Давчики для закрежки вставок [40]:

а — давчик с колесиком; б — сапожковый давчик;  
в — давчик с полукруглым основанием

Корневертка представляет собой стальной стержень с деревянной ручкой (рис. 86, а), она предназначена для формирования корнера (рис. 86, б), а именно для придания шарообразной формы металлу, поднятому из изделия с помощью штихеля. Рабочий конец корневертки имеет сферическое углубление с диаметром 0,2...1,5 мм.

Корнейзер внешне схож с корневерткой. На рабочей части корнейзера (рис. 87, *а*) также имеется сферическая выемка, которой легким подпиливанием формируют мелкие полусферы — гризант (рис. 87, *б*), их обычно делают при фаденовой закрепке камней, когда образуется тонкая обрамляющая кромка вокруг вставок.

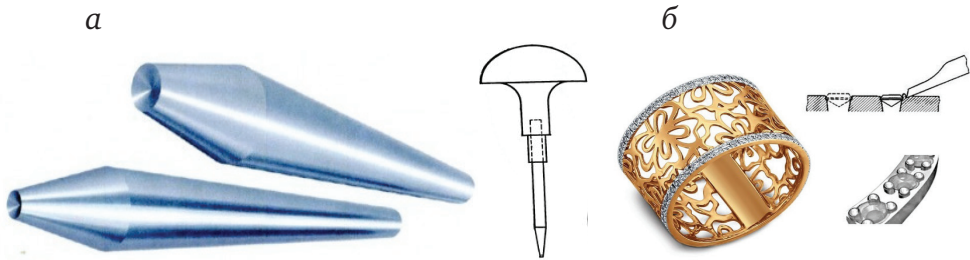


Рис. 86. Корневертка (*а*) [40] и корнеровая закрепка (*б*) [11]

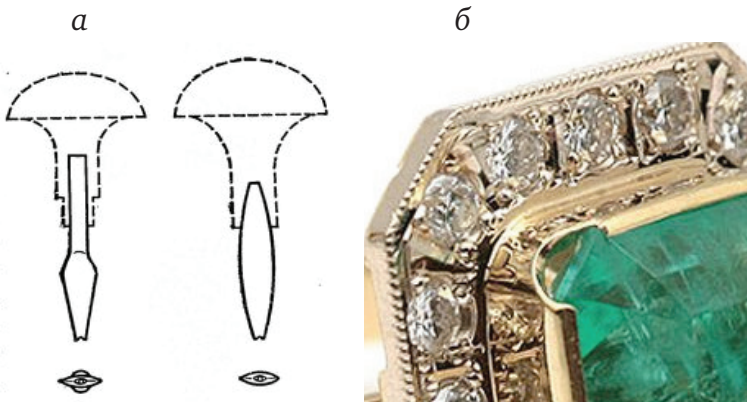


Рис. 87. Корнейзер (*а*) и гризант (*б*) по периметру оправы [11]

Деревянные ручные тисочки и киттштоки являются вспомогательным приспособлением при закрепке камней. Они обеспечивают фиксацию изделий во время закрепки. В тисках (рис. 88, *а*) изделие удерживается за счет прижима деревянных пластин. В киттштоке (рис. 88, *б*) изделие фиксируется с помощью пасты китт, которую размягчают нагреванием горелкой. Изделие укладывают в размягченную пасту в нужном положении. Остывая, китт затвердевает, достаточно прочно фиксирует изделие. Киттшток используют для фиксации тех изделий, конструктивные особенности которых не позволяют применить деревянные тисочки [27].

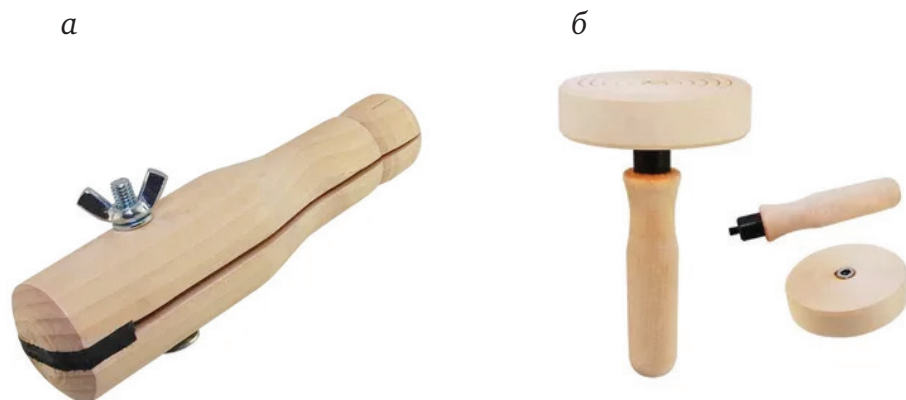


Рис. 88. Фиксирующий инструмент при закрепке [40]:  
а — деревянные тиски; б — китшток

Стоит отметить, что вставка, форма ее огранки, количество граней, а также выбор закрепки камня несомненно важны, но в неменьшей степени важно и качество выполненной работы. Именно мастерство ювелира в дальнейшем будет определять стоимость готовой работы.

## 4.8. Нанесение декоративных покрытий

---

Цель защитно-декоративных покрытий — придание изделиям декоративного внешнего вида, повышение коррозионной стойкости, твердости изделий и их износостойкости. В ювелирном деле наиболее часто применяют чернение для серебряных изделий, оксидирование, золочение и родирование — для медных, серебряных и золотых украшений. Золочение и родирование — это гальванические способы нанесения покрытий, суть которых заключается в осаждении одного металла на другой в среде электролита. Оксидирование и патинирование — это химический процесс образования на поверхности изделий из серебра тонких защитных пленок. Чернение изделий схоже с техникой выемчатой эмали и заключается в нанесении в углубления изделий смеси сульфидов серебра, меди и свинца. При отжиге изделий смесь расплавляется и полностью заполняет выемки, образуя на поверхности готового серебряного изделия цветовой контраст.



Перед нанесением защитно-декоративных покрытий проводится тщательная подготовка поверхности украшений механическим и химическим способом. Механическая подготовка — крацевание, полирование, галтовка — позволяет придать поверхности необходимую шероховатость, которая сохранится и после нанесения покрытия. Химическая подготовка предусматривает удаление с изделий жировых загрязнений, оксидов и активацию поверхности украшений.

Процесс химической подготовки поверхности изделия перед золочением состоит из трех основных этапов: обезжиривание, электрохимическое обезжиривание и декапирование. Обезжиривание проводится с целью удаления жировых загрязнений и остатков полировальных паст с поверхности украшения в органических растворителях: трихлорэтилене, тетрахлорэтилене, бензине или уайт-спирите. Бензин и уайт-спирит — пожароопасные растворители, но более доступные. Все органические растворители токсичны, использовать их можно только при наличии специального оборудования и соблюдении правил техники безопасности [28].

После обезжиривания в органических растворителях на поверхности деталей остается очень тонкая пленка жиров, которая препятствует прочному сцеплению покрытия с основным металлом. Для удаления этой пленки применяется электрохимическое обезжиривание — эффективный способ очистки поверхности. Состав водного электролита и режимы работы при электрохимическом обезжиривании, наиболее часто применяемые в ювелирном деле, приведены в табл. 2. Увеличение температуры раствора, так же как и повышение плотности тока, ускоряет процесс электрохимического обезжиривания.

Таблица 2

Состав электролита и режимы электрохимического обезжиривания

Компонент электролита и режим работы	Раствор 1 [28]	Раствор 2 [29]
NaOH, г/л	10...15	–
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , г/л	25...30	30
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , г/л	25...30	90
T <sub>р-ра</sub> , °C	40...50	60...80
i <sub>a</sub> , А/дм <sup>2</sup>	2...3	5...7
τ <sub>a</sub> , мин	1...2	1...3

Завершающей операцией подготовки поверхности изделий является декапирование — слабое протравливание верхнего слоя с целью удаления с поверхности заготовок тончайшего слоя оксидов, выявления кристаллической структуры, активации и придания незначительной шероховатости поверхности, что благоприятствует прочному сцеплению покрытия с основой. Декапирование проводится непосредственно перед нанесением покрытий [28]. Декапирование не проводится перед оксидированием и чернением изделий.

Декапирование медных изделий проводят в 3...5%-м растворе соляной кислоты, серебряных — в 3...5%-м растворе серной кислоты, золотых — в 5...10%-м растворе азотной кислоты с добавлением 0,2...0,3 мл соляной кислоты на 200 мл раствора. При всех процессах подготовки поверхности применяют ванны, изготовленные из кислотоупорных материалов — стекла, винипласта или нержавеющей стали [28].

В технологическом процессе подготовки поверхности недостаточная промывка заготовок может быть причиной плохого сцепления покрытия с основным металлом. Промывка проводится как в ваннах улавливания, так и в проточной воде. Повышение температуры воды увеличивает эффективность промывки и избавляет от принудительной сушки изделий.

### *Золочение*

Золочение — процесс покрытия изделия тонким слоем золота в электролите. Золочению, как правило, подвергают украшения из серебра, значки, медали и сувениры из медных сплавов, а также реставрированные золотые изделия. Толщина золотых покрытий варьируется от 0,5 до 4 мкм.

Золочение может быть матовым и блестящим. Блестящее золочение обеспечивается введением в состав электролита блескообразующих добавок и изменением режима электролиза. Увеличение плотности тока и температуры электролита ускоряет осаждение металла. При этом стоит помнить, что увеличение этих технологических параметров приводит к матовости покрытия. Недостатком золотых покрытий является их низкая твердость и износостойкость. Для повышения этих свойств в электролиты золочения добавляют никель [28].

В практике ювелирного дела зарекомендовали себя цианистые электролиты, несмотря на то, что они ядовиты. Преимущества цианистых растворов: высокая скорость осаждения, стабильность технологического процесса, меньшее количество составляющих электролита и удобство его приготовления. Цианистые электролиты золочения можно разделить на три основные группы: щелочные, нейтральные и кислые. Щелочные электролиты золочения применяют в основном для получения первичного подслоя золота перед осаждением более толстых золотых покрытий. Нейтральные электролиты имеют низкое содержание свободного цианида, но нестабильность электролита и необходимость частой регенерации ограничивают их применение. Кислые электролиты золочения не содержат свободных цианидов, имеют самое большое распространение, позволяют проводить процесс золочения при комнатной температуре и получать высокоблестящие золотые покрытия [30]. Составы электролитов для золочения представлен в табл. 3.

Таблица 3

Составы электролитов для золочения

Компонент электролита и режим работы	Щелочной раствор [28]	Нейтральный раствор [30]	Кислый раствор [30]
KAu (CN) <sub>2</sub> , г/л	4...10	8...12	3...6
KCN, г/л	10...20	1...2	—
K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , г/л	25...30	—	—
NiSO <sub>4</sub>	—	—	1...2
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>3</sub>	—	—	9...11
$i_{к}$ , А/дм <sup>2</sup> (при $t_{p-ра} = 25$ °С)	0,15...0,25	—	2...3
$i_{к}$ , А/дм <sup>2</sup> (при $t_{p-ра} = 50$ °С)	0,40...0,50	—	—
Анод	Сталь нерж./золото марки Зл 999,9	Платинированный титан	Платинированный титан

При пропускании постоянного тока через электролит происходит распад соединений электролита на ионы, которые обладают разными зарядами. На катоде — покрываемом изделии — осаждаются положительно заряженные ионы металла покрытия. Схема золочения показана на рис. 89.

Ванны для нанесения гальванических покрытий выполняют из коррозионно-стойкой стали с покрытием изнутри эмалью или из винилпласта, или из стекла.

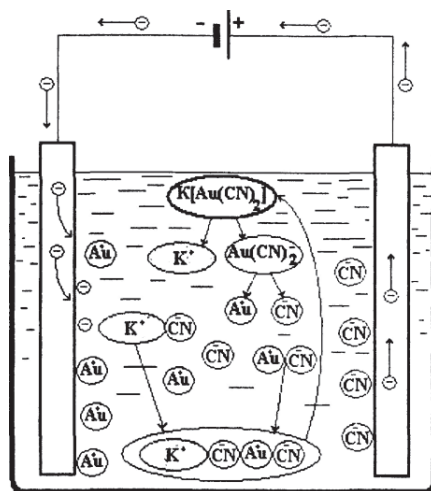


Рис. 89. Схема золочения

Объем ванн для золочения зависит от объемов производства. Нагрев электролита в ваннах осуществляется электрическим током, перемешивание электролита — вращением катодной штанги.

### *Родирование*

Электролитические покрытия родием получили широкое применение в ювелирном деле. Связано это с большой коррозионной стойкостью родиевых покрытий, высоким длительно сохраняющимся коэффициентом отражения света, значительной твердостью, износостойкостью и красивым внешним видом [31]. Родиевые покрытия применяют для защиты серебряных изделий от потускнения, для повышения их износостойкости, для повышения отражательной способности изделий из золотых сплавов белого цвета. По отражательной способности родий уступает серебру, но сохраняет постоянство коэффициента отражения света во времени при эксплуатации изделий [32].

Толщина родиевых покрытий на украшениях, как правило, составляет 0,15...0,50 мкм. При такой толщине они беспористы и блестящи. По мере увеличения толщины блеск их постепенно уменьшается. Повышение плотности тока и концентрации родия в электролите также приводит к увеличению матовости покрытия. Увеличение же температуры родирования приводит к уменьшению прочности сцепле-

ния и отслаиванию покрытия. При чрезмерно низкой плотности тока до  $0,2 \text{ А/дм}^2$  получают несплошные, очень пористые осадки. Чрезмерно высокая плотность тока вызывает шелушение и отслаивание покрытия. Стоит отметить, что микротвердость электроосажденного родия в 8 раз выше, чем полученного металлургическим путем [31].

Для родирования применяют главным образом сульфатные электролиты (табл. 4). Они в основном состоят из двух компонентов: сульфат родия и серная кислота. Их преимуществом является стабильность в работе. Электролиты родирования очень чувствительны к примесям любых посторонних элементов. Особенно неблагоприятное влияние на качество осадков оказывают следы хлора, цианиды и органические соединения [32]. Именно поэтому многие производители готовых растворов родирования настоятельно рекомендуют в процессе родирования использовать деминерализованную воду [35].

Таблица 4

Состав электролита родирования

№	Компонент электролита и режим работы	Раствор [32]
1	$\text{Rh}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , г/л	4...6
2	$\text{H}_2\text{SO}_4$ , г/л	40...60
3	$T_{\text{р-ра}}$ , °С	15...30
4	$i_{\text{а}}$ , А/дм <sup>2</sup>	0,5...2,0

Вследствие большой агрессивности электролитов родирования часто наблюдается подтравливание поверхности погружаемых изделий, особенно серебряных. В результате в электролите накапливаются ионы металлов — серебра, меди, цинка, олова, отрицательно влияющих на качество покрытий. Предельно допустимые концентрации этих металлов составляют  $0,002 \text{ г/л}$ . Медь приводит к образованию трещин, цинк и олово уменьшают адгезию, серебро изменяет цвет покрытия, оно становится темно-серым. Из всех металлов, встречающихся в ювелирных сплавах, только никель не оказывает вредного воздействия [31]. Поэтому целесообразнее готовить меньшее количество электролита и по необходимости его обновлять, добавляя сульфат родия.

Для родирования используют нерастворимые аноды из родия, платины или платинированного титана. Для гальванического покрытия

погружным способом — универсальные гальванические установки с несколькими встроенными в стол ваннами, которые могут использоваться как для гальванического покрытия, так и для подготовки поверхности изделий перед нанесением гальванических покрытий.

Для электроосаждения металла на небольшие площади поверхности изделий используют метод нанесения гальванических покрытий «карандашом» — способ стилогальваники, локального родирования. Покрытие металлов осуществляется с помощью миниатюрной гальванической установки (рис. 90), в составе которой есть «карандаш»: либо он окунается в электролит, либо имеется возможность заливать электролит внутрь него.



Рис. 90. Гальванический аппарат для локального родирования [40]

Поверхность изделия перед локальным родированием должна быть так же тщательно подготовлена, как и перед любым гальваническим покрытием. Для родирования изделия равномерными движениями проводят кистью по поверхности металла. В результате образуется тонкий металлический слой родия [33].

По окончании родирования изделия промывают в ваннах улавливания в дистиллированной горячей воде, а затем в этиловом спирте. Контроль родиевых покрытий осуществляется визуально и 100 %-м взвешиванием изделий до и после родирования [34].

### *Рутенирование*

В течение последних 10 лет электролитическое рутенирование привлекает внимание ювелиров. Рутениевые покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью и износостойкостью, характеризуются

наиболее темным оттенком среди всех платиноидов и сохранением блеска покрытия даже при окислении. Рутениевое покрытие обладает темно-серым, темно-коричневым, черно-коричневым и антрацитово-черным цветом с металлическим отблеском.

Несмотря на то, что первые работы по электроосаждению рутения были проведены еще в конце XIX в., данных по этому вопросу в учебной литературе не так много. В настоящее время наибольшее распространение получили нитрозохлоридный и сернокислый электролиты рутения (табл. 5). Преимущество сернокислого электролита — более простая и доступная методика приготовления.

Таблица 5

Состав электролита рутенирования [31]

Компонент электролита и режим работы	Нитрозохлоридный в виде $\text{RuNOCl}_3$	Сернокислый в виде $\text{Ru}_2(\text{SO}_4)_3$
Соль рутения (в пересчете на металл)	4...10	6...8
$\text{H}_2\text{SO}_4$ , г/л	15...25	150...180
$T_{\text{p-ра}}$ , °C	65...76	60...65
$i_{\text{а}}$ , А/дм <sup>2</sup>	1,0...1,5	2,0...2,5

Несмотря на то, что из этих электролитов удастся получать покрытия толщиной до 10 мкм, в ювелирном деле толщина рутениевых покрытий не превышает 0,5 мкм. Полученные рутениевые покрытия из этих электролитов легко полируются и долго сохраняют отражательную способность. Увеличение содержания серной кислоты значительно улучшает внешний вид покрытий, но при этом осветляет их. Введение тиомочевины в нитрозохлоридный электролит увеличивает блеск покрытия. Электролиты рутения еще более агрессивны в сравнении с электролитами родирования, и в них происходит подтравливание основы изделий из серебряных и особенно медных сплавов. Поэтому на такие изделия рекомендуется наносить подслой золота [31].

Стоит помнить, что электроосаждение рутения характеризуется образованием токсичного летучего оксида рутения (VIII), поэтому все работы должны вестись в вытяжном шкафу [31]. Сегодня торговые ювелирные компании [35] предлагают готовые электролиты рутенирования, в которые нет необходимости добавлять серную кислоту. Электролиты рутенирования, так же как и электролиты родирова-

ния, очень чувствительны к примесям любых посторонних элементов, поэтому для приготовления электролита рекомендуется использовать деминерализованную воду.

### *Чернение*

Чернению подвергаются преимущественно сплавы серебра (рис. 91), гораздо реже чернение проводят на изделиях из сплавов меди, и совсем редко в качестве основы используют сплавы золота. Чернью заполняют небольшие углубления — канавки, выполненные в изделии. Углубления можно предусмотреть при построении мастер-модели, и тогда канавки сформируются в процессе литья. Кроме того, канавки могут быть выполнены гравированием, чеканкой, травлением, вырубкой или тиснением штампами.



Рис. 91. Ювелирные серебряные украшения с чернью [36]:  
а — кольцо компании «Северная чернь»; б — кольцо компании «Кубачи»

При изготовлении черни сплавляют одну часть серебра, две части меди и три части свинца под слоем буры. Наполненный желтой порошкообразной серой высокий тигель предварительно прогревают. В него выливают полученный трехкомпонентный расплав, постоянно перемешивая для полного взаимодействия металлов с серой и образования сульфидов  $\text{Ag}_2\text{S}$ ,  $\text{Cu}_2\text{S}$  и  $\text{PbS}$ . Смесь охлаждают, и если вся металлическая составляющая перешла в сульфиды, то полученная смесь — чернь — становится твердой и хрупкой, как стекло.

Чернь помещают в фарфоровую ступку и растирают до получения мелкозернистого порошка. Добавляют нашатырный спирт и продол-



жают растирать, избавляясь от пылевидной составляющей. Далее процесс схож с эмалированием. Изделия очищают от следов жира, оксидных пленок. С помощью кисточки или шпателя углубления наполняют чернью, немного уплотняя. Выемки должны быть заполнены чернью с избытком, выше кромок рисунка, т. к. при сплавлении чернь уменьшается в объеме. Когда нашатырный спирт полностью испарится, изделие помещают в муфельную печь для обжига. При нагревании до 200 °С чернь расплавляется и заполняет выемки рисунка. Изделие вынимают из печи. Длительный перегрев и продолжительный отжиг приводит к выгоранию серы и покрытие получается пористым. Если расплавившаяся чернь не заполнила требуемый рисунок, то чернь добавляют и снова нагревают изделие. Выступающую над поверхностью изделия чернь удаляют надфилем. При выявлении пор вновь добавляют чернь и отжигают изделие еще раз.

Окончательная доводка изделия выполняется так же, как и обычного изделия из серебра. Его можно шлифовать, полировать, промывать в ультразвуке. Стоит помнить, что тигли, инструменты и оснастка, используемые при изготовлении черни, содержат свинец и серу, и поэтому использовать их для приготовления расплавов и других нужд ювелирного дела нельзя [37].

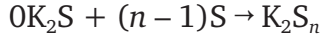
### *Патинирование*

Одним из распространенных способов отделки поверхности изделий из серебряных и медных сплавов является патинирование — нанесение на поверхность украшений химически стойкой защитной пленки для защиты от потускнения, для искусственного состаривания материалов, придания им изысканной декоративности и антикварности. В зависимости от условий патинирования на поверхности украшения можно получить покрытия черного, синего или коричневого цвета.

Патинирование (покрытие серебряных и медных изделий тонким слоем сульфидов) проводят серной печенью, которая является основой большинства составов. Для приготовления серной печени равные количества карбоната калия (поташ) и серы при непрерывном перешивании медленно нагревают на воздухе до получения вязкой коричневой массы, которую разбавляют водой.



Сульфид калия легко присоединяет серу, поэтому в результате получается полисульфид калия:



Таким образом, серная печень является смесью полисульфидов калия  $\text{K}_2\text{S}_n$  с тиосульфатом калия  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Серную печень следует хранить в закрытом сосуде, т. к. сульфиды быстро окисляются на воздухе. Традиционная серная печень дает глубокий черный тон. Получаемый цвет зависит от состава и температуры раствора и продолжительности выдержки в нем изделия. Различные добавки к растворам серной печени позволяют варьировать оттенки сульфидной пленки на серебряных изделиях. Так, использование соды (карбоната натрия) вместо поташа приведет к получению на поверхности изделий светло-серой пленки. Добавление в раствор нескольких капель аммиака способствует получению более равномерного цвета покрытия. Для получения оттенков коричнево-черного цвета добавляют йодид калия. Мягкую коричневую окраску поверхности украшений получают добавлением к раствору сульфата меди и уксусной кислоты. Добавление соляной кислоты приведет к образованию зеленовато-серого оттенка. Составы растворов приведены в табл. 6.

Таблица 6

**Состав растворов для патинирования серебряных  
и медных изделий**

Компоненты раствора	Оттенок сульфидной пленки			
	Черный	Черный	Коричнево-черный	Коричневый
Серная печень, г	20...30	20...30	15...25	15...25
Аммиак, мл	–	0,5...1,0	0,5...1,0	0,5...1,0
Йодид калия, мл	–	–	3...4	–
Сульфат меди, г	–	–	–	5...8
Уксусная кислота, мл	–	–	–	8...10
Вода	Добавляется до получения объема раствора 1 л			

При химическом патинировании обезжиренные изделия погружают на 2...10 мин в один из указанных растворов, нагретых до 60...70 °С. Для местного патинирования раствор можно наносить на нужные участки подогретого изделия.

В результате патинирования на поверхности изделий из серебра образуется стойкая защитная пленка, которая не разрушается водой и слабыми растворами кислот. Патинированные изделия после промывки в воде и сушки обрабатывают мягкими латунными крацовочными щетками, после чего изделия приобретают красивый блеск. Участки, которые должны быть высветлены, освобождают от слоя сульфида легким полированием выступающих частей рельефа, глянца и протирая их мягкой тканью с полировальными пастами [38].

---

---

## 5. Контроль изделий в ОТК и упаковка изделий

---

---

Согласно ОСТ 117–3-002–95 [39] каждое изделие подвергается приемочному контролю на предприятии-изготовителе. Изделия принимаются специалистами отдела технического контроля предприятия. Контролируемые параметры: внешний вид изделия, наличие и качество оттиска именника и государственного пробирного клейма, качество заправки вставок, качество работы замков, булавок шарнирных соединений, размер колец, браслетов и цепочек. Контроль прочности цепочек и браслетов, а также устойчивость предметов сервировки стола допускается проводить периодически, но не реже одного раза в год.

Контроль внешнего вида изделий осуществляется визуально невооруженным глазом в отраженном свете электрической лампы мощностью 30–40 Вт при расположении источника света от изделия на расстоянии 250–300 мм. Контроль внешнего вида вставок в парных изделиях производится на белой бумаге и в помещении, в которое не попадает прямой солнечный свет. Не допускается контролировать парность изделий по цвету вставки на просвет. Контроль качества оттисков клейм осуществляется визуально с использованием оптической лупы 10-кратного увеличения. Контроль качества заправки вставок производится визуально и легким покачиванием вставки закругленным пластмассовым или деревянным стержнем. Контроль работы замков булавок и шарнирных соединений осуществляется пятикратным опробованием их в действии. Контроль размеров колец производится кольцемером, браслетов и цепочек — металлической линейкой. Изделия считаются принятыми, если все контролируемые показатели соответствуют требованиям отраслевого стандарта ОСТ 117–3-002–95 [39].

Все ювелирные украшения, прошедшие приемочный контроль и подготовленные к реализации, должны иметь опломбированные

ювелирные бирки с указанными на них реквизитами, бирка должна быть прикреплена к изделию белой ниткой. В настоящее время ювелирные пломбы делают из алюминиевой проволоки диаметром 3,5 мм, которую рубят на отрезки длиной 4 мм. На пломбе ставится четкий оттиск фирмы-изготовителя. Исключением становятся такие изделия, конструкция которых не позволяет прикрепить к ним бирку. В таком случае украшения из ювелирных сплавов маркируются без опломбирования ювелирных бирок, а сами бирки помещают в индивидуальную упаковку вместе с изделием.

Для изготовления ювелирных бирок используют различные материалы. Самые дешевые — бумага или картон, но надежностью они не отличаются. Сегодня производители чаще используют бирки, сделанные из синтетических материалов, — полипропилена, пластика, полиэстера, синтетической бумаги. Такие материалы позволяют избежать отрыва бирки от изделия, а также обеспечивают защиту реквизитов от стирания и воздействия внешних факторов.

Размер ювелирных бирок регламентирован — 25 × 35 мм. Допускаемые отклонения размеров бирок составляют ±2 мм. Варианты выпускаемых бирок для ювелирных украшений приведены на рис. 92.

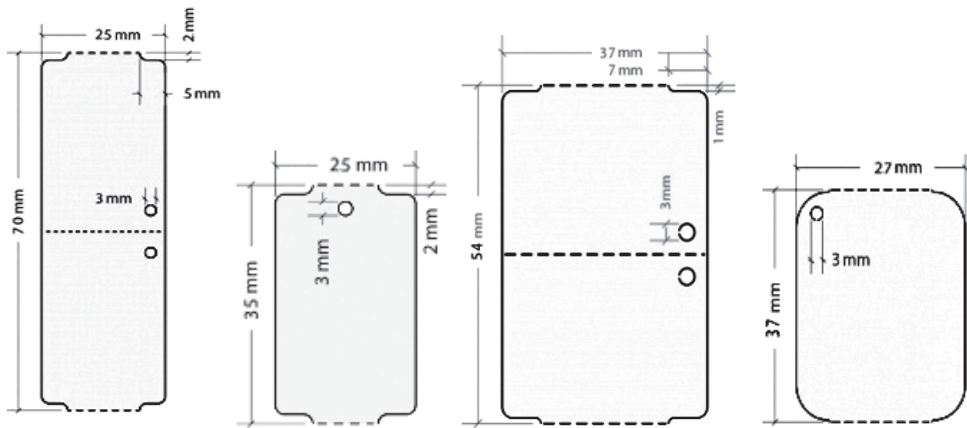


Рис. 92. Варианты выпускаемых бирок для ювелирных украшений

Ювелирные бирки — это обязательное требование, установленное законом. Бирка — это паспорт украшения, в котором имеется полная информация о производителе, материале, ювелирных вставках, их характеристиках. Согласно ОСТ 117–3–002–95 содержание

бирки зависит от ювелирного изделия, наличия вставок. Для нанесения наименования реквизитов на бирку следует применять типографский шрифт высотой не менее 1,2 мм, а заполнение реквизитов выполнять либо в печатном виде шрифтом высотой не менее 1,2 мм, либо вручную шариковой ручкой с черной или синей пастой. Заполнение бирки осуществляется торговым предприятием либо компанией-изготовителем.

Обязательные реквизиты на бирках всех изделий из сплавов драгоценных металлов:

- название и товарный знак предприятия-производителя;
- юридический адрес компании-изготовителя;
- наименование изделия;
- артикул ювелирного изделия;
- наименование основного металла, из которого изготовлено украшение, и проба сплава;
- масса изделия (измеряется в граммах);
- вставки и их характеристики;
- цена.

На бирках колец, цепочек, браслетов должен быть указан их размер. Если ювелирное изделие содержит вставки, то информация о том, из какого они материала, должна быть также указана на ювелирной бирке. Помимо этого, необходима информация о характеристиках вставок, их размере и виде огранки. Если вставка синтетическая или созданная в лабораторных условиях, в бирке также должно быть уточнение. Драгоценные вставки указываются названием природного происхождения камней (рубин, изумруд, сапфир) без дополнительных уточнений.

Штамп ОТК — обязательный пункт, наносимый на ювелирные бирки. ОТК — самостоятельное подразделение в компании-изготовителе, осуществляющее независимый контроль соответствия выпускаемой продукции установленным требованиям. Штамп ОТК ставится на обратной стороне бирки. Не обязательны для указания на ювелирных бирках такие реквизиты, как дата изготовления изделия, делается это по желанию производителя. Любая другая информация об изделии — при необходимости — наносится с обратной стороны бирки.

На рис. 93 приведены примеры заполнения бирок к кольцам из золотого сплава 585 пробы. Наибольшую трудность вызывает чтение характеристик вставок ювелирных изделий. Так, в изделии, бир-

ка которого представлена на рис. 93, а, закреплены 30 бриллиантов и 7 сапфиров. Бриллианты имеют полную бриллиантовую огранку, которая состоит из 57 граней. Общая масса бриллиантов составляет 0,306 кар. Бриллианты относятся к 3 группе цвета, т. е. имеют небольшой желтоватый, сиреневатый, серый или едва уловимый коричневый оттенок, и к 5 группе дефектности — имеют мелкие рассеянные дефекты в виде светлых и темных включений, полосок, трещин, прозрачных объемных включений. Буква А обозначает класс огранки бриллиантов — это самая качественная огранка. В соответствии с параметрами оценки огранки бриллианты относят к одной из четырех категорий от А до Г, где А — идеальная огранка, Г — огранка низкого качества. Сапфиры имеют овальную огранку, их общая масса — 0,888 кар. Сапфиры обладают нормально-синим цветом (группа цвета 2) и имеют небольшие дефекты в виде трещинок, полосок в сочетании с точечными включениями других минералов (группа дефектности 2). Таким образом, можно сказать, что указанные вставки имеют средние характеристики качества.

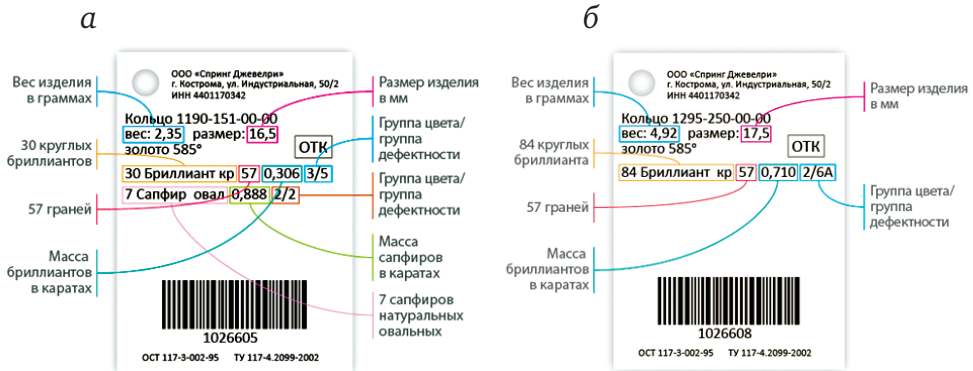


Рис. 93. Примеры бирок ювелирных изделий:

- а — бирка для кольца со вставками из бриллиантов и сапфиров;  
б — бирка для кольца со вставками из бриллиантов

В изделии, бирка которого представлена на рис. 93, б, закреплены 84 бриллианта. Они также имеют полную бриллиантовую огранку, а их общая масса составляет 710 кар. Бриллианты имеют незначительный оттенок, что соответствует 2 группе цвета, и многочисленные небольшие дефекты в виде различных включений и трещин.

---

---

# Заключение

---

---

**П**ри написании учебного пособия авторы ставили перед собой задачу создать руководство к проектированию и изготовлению ювелирных изделий. Таким образом, пособие охватывает все основные этапы изготовления ювелирного украшения: от проектирования изделия до его упаковки, ведь в этот процесс вовлечены специалисты различных направлений ювелирного производства. Очень важно, чтобы каждый участвующий в процессе изготовления изделия сотрудник чувствовал и понимал художественный замысел создаваемого произведения, знал последовательность всех технологических этапов его производства.

В пособии были рассмотрены особенности проектирования как серийных, так и эксклюзивных ювелирных изделий, приведена общепринятая серийная технология изготовления изделий методом литья по выплавляемым моделям, применяемая большинством ювелирных предприятий. Особо стоит отметить, что раздел «Компьютерное проектирование ювелирных изделий» содержит последовательное построение конкретных украшений, проиллюстрирован примерами реальных изделий.

Учебное пособие будет полезно студентам, обучающимся по образовательным программам в области ювелирного дела, а также сотрудникам ювелирных предприятий, профессиональная деятельность которых связана с разработкой дизайна ювелирных украшений и технологией их изготовления.



---

---

# Список библиографических ссылок

---

---

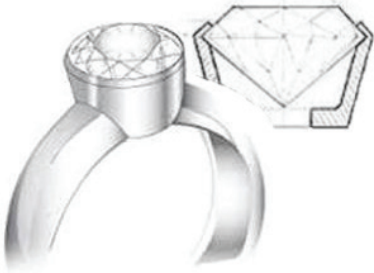

1. Селиванкин С. А., Власов И. И., Гутов Л. А. Технология ювелирного производства. Л. : Машиностроение, 1978. 320 с.
2. Тимохина А. В. Методы художественного проектирования ювелирных украшений. Становление и развитие : дисс. ... канд. искусствоведения. М., 2017. 400 с.
3. Стили ювелирных изделий // Jewellery Mag : интернет-журнал. Режим доступа: <https://jewellerymag.ru/p/jewellery-styles/> (дата обращения: 20.05.2020).
4. Розетти Э. Дизайн ювелирных изделий в Rhinoceros. Омск : Дедал-Пресс, 2014. 360 с.
5. Программа Rhinoceros. Режим доступа: <http://chem-otkrit.ru/soft/Rhino> (дата обращения: 20.05.2020).
6. Rhinoceros. Режим доступа: <http://www.mhpi.edu.ru/dopolnitelnoe-obrazovanie/graficheskij-dizajn/rhinoceros/> (дата обращения: 20.05.2020).
7. Rhinoceros 5 — интересная программа для 3D-моделирования // Железные Друзья : [сайт]. Режим доступа: <http://ironfriends.ru/rhinoceros-5-interesnaya-programma-dlya-3d-modelirovaniya/> (дата обращения: 20.05.2020).
8. RhinoGold. Режим доступа: <https://www.rhino-3d.ru/plugins/rhinogold/> (дата обращения: 20.05.2020).
9. Обзор программы ZBrush: особенности и функционал // 3DDevice : [сайт]. Режим доступа: <https://3ddevice.com.ua/blog/3d-printer-obzor/obzor-programmy-zbrush/> (дата обращения: 20.05.2020).
10. Груздева И. А. Современные технологии в ювелирном деле // Литейщик России. 2017. № 10. С. 35–37.
11. Луговой В. П. Технология ювелирного производства : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2012. 526 с.

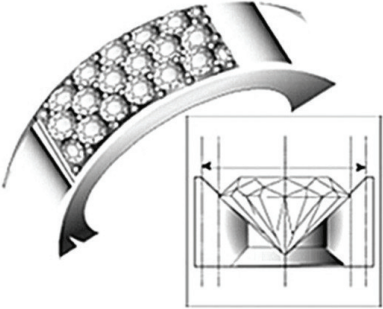
12. Тольга А. В., Воронина А. Д. Развитие информационных технологий. Трехмерная печать объектов // Перспективы развития науки и образования : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов : Бизнес-Наука-Общество, 2014. С. 150–151.
13. Meiners W., Wissenbach K., Gasser A. Shaped Body Especially Prototype or Replacement Part Production: Patent № 19649865 Germany. 1998.
14. Carey A. M. The Changing Demands on the Creative Process as a Consequence of New Technologies // The Santa Fe Symposium on Jewellery Manufacturing Technology. 2010. P. 1–24.
15. Cooper F. Sintering and additive Manufacturing: The New Paradigm for the Jewellery Manufacturer // Johnson Matthey Technology Review. 2015. № 59 (3). P. 233–242
16. Технология производства ювелирных изделий. Режим доступа: [http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/Sidelnikov/u\\_lectures](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/Sidelnikov/u_lectures) (дата обращения: 20.05.2020).
17. Основные виды брака при литье по выплавляемым моделям и его причины. Режим доступа: <http://tehnoinfos.ru/tehnolog> (дата обращения: 20.05.2020).
18. Зотов Б. Н. Художественное литье. М. : Машиностроение, 1982. 288 с.
19. Урвачев В. П., Кочетков В. В., Горина Н. Б. Ювелирное и художественное литье по выплавляемым моделям сплавов меди. Челябинск : Металлургия, 1991. 166 с.
20. Технологический процесс изготовления кольца. Режим доступа: <https://studfiles.net/preview> (дата обращения: 20.05.2020).
21. Халилов И. Х., Халилов М. И. Ювелирное литье. Махачкала, 2000. 103 с.
22. Производство ювелирных изделий из драгоценных металлов и их сплавов / Сидельников С. Б. [и др.]. Красноярск : Сиб. федерал. ун-т, 2015. 380 с.
23. Иванов В. Н. Словарь-справочник по литейному производству. М. : Машиностроение, 1990. 384 с.
24. Марченков В. И. Ювелирное дело: практ. пособие. М. : Высшая школа, 1992. 256 с.
25. Войнич Е. А. Художественное материаловедение: лабораторно-практические работы. М. : Флинта. 2015. 83 с.

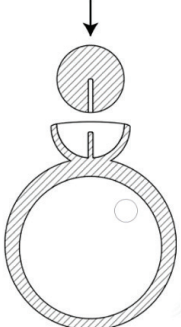
26. Благородные металлы : справочник / под ред. Е. М. Савицкого. М. : Металлургия, 1984. 592 с.
27. Новиков В. П., Павлов В. С. Ручное изготовление ювелирных украшений. СПб. : Политехника, 1991. 208 с.
28. Дасоян М. А., Пальмская И. Я., Сахарова Е. В. Технология электрохимических покрытий. Л. : Машиностроение, 1989.
29. Покрытия гальванические ювелирных изделий. Типовой технологический процесс: инструкция / ООО «Ювелирная компания «Драгоценности Урала». Екатеринбург, 2004. 16 с.
30. Золочение // IMPGold.ru : [сайт]. Режим доступа: <http://impgold.ru/articles/5691/> (дата обращения: 20.05.2020).
31. Буркат Г. К. Серебрение, золочение, палладирование, родирование Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1984. 86 с.
32. Гальванические покрытия в машиностроении : справочник : в 2 т. / под ред. М. А. Шлугера. М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. 240 с., ил.
33. Беленький М. А., Иванов А. Ф. Электроосаждение металлических покрытий : справочник. М. : Металлургия, 1985. 288 с.
34. Простаков С. В. Ювелирное дело. Ростов н/Д : Феникс, 1999. 352 с.
35. Jewelry Plating solutions // Legor : [сайт]. Режим доступа: <https://www.legor.com/en-us/plating/jewelry-plating> (дата обращения: 20.05.2020).
36. Чернение серебра // Ювелирум : [сайт]. Режим доступа: <http://juvelirum.ru/tehniki-obrabotki-yuvelirnyh-izdelij/chernenie-serebra-izyskanno-i-dolgovechno/> (дата обращения: 20.05.2020).
37. Телесов М. С., Ветров А. В. Изготовление и ремонт ювелирных изделий. М. : Легпромбытиздат, 1986. 192 с.
38. Никитин М. К., Мельникова Е. П. Химия в реставрации. Л. : Химия, 1990. 304 с.
39. ОСТ 117–3–002–95. Изделия ювелирные из драгоценных металлов. Общие технические условия. М. : НИИ Ювелирпром, 2003. 21 с.
40. Сапфир — ювелирное оборудование : [сайт]. Режим доступа: <https://www.sapphire.ru/> (дата обращения: 20.05.2020).

# Приложение А

## Виды закрепки вставок

Схематичное изображение	Описание
<b>Глухая закрепка</b>	
	<p>Вид крепления, при котором камень удерживается неподвижно в металлической оправе, окружающей его со всех сторон. Камень помещается в гнездо, после чего мастер со всех сторон закрепляет его с помощью узкого ободка из драгоценного металла. Благодаря тому, что камень удерживается оправой по всему периметру, обеспечивается надежность крепления вставки. Как правило, такой вид закрепки применим для непрозрачных камней, хотя сегодня встречаются украшения с бриллиантами, оправленными в глухой каст. Закрепка скрывает сколы рундиста при некачественной огранке камня. Недостаток: под глухим кастом невозможно проверить качество камня и наличие дефектов</p>
<b>Крапановая закрепка</b>	
	<p>Самый распространенный вид закрепки прозрачных камней. Закрепка камней при помощи крапанов («лапок») применяется исключительно для акцентирования внимания на камне. Такой вид посадки позволяет проходить лучам со всех сторон и выгодно освещать вставку. Форма, количество, высота крапанов подбираются индивидуально, в соответствии с размером минерала. Как правило, крапаны расположены на одинаковом расстоянии друг от друга и все вместе формируют каст</p>

Схематичное изображение	Описание
<b>Закрепка Паве</b>	
	<p>Название образовано от английского слова <i>pave</i> — «усеивать». Используется для размещения большого количества камней, образующих единое целое. Металл при такой заделке практически не просматривается. Посадочные гнезда представляют собой высверленные в металле маленькие ниши, в которые вставляют одинаковые по размеру камни. Паве — сложная техника, которая наиболее красиво проявляется в руках талантливого ювелира. При такой заделке камни тщательно сортируют, выбирая максимально одинаковые по размеру, чистоте и цвету, т. к. несоответствие характеристик будет очень заметно.</p>
<b>Корнеровая заделка</b>	
	<p>При такой заделке камень помещается не в каст, а непосредственно в металл и закрепляется корнерами, сформированными из металла. Корнерам часто придают форму шариков. Для заделки вставок в изделия заранее делают отверстие для вставки, таким образом свет проникает в камни, заставляя их играть и искриться. Такой вид заделки редко используется для одиночной вставки. Закрепка считается одной из самых сложных и визуально увеличивает размер камня</p>
<b>Рельсовая заделка</b>	
	<p>Эффектный вид заделки вставок, который чаще всего используется для небольших камней и распространен в дизайне обручальных колец. Для заделки в украшении формируют канал (рельсу), а потом в него аккуратно помещаются друг за другом камни одинакового размера. Они могут располагаться как по всей окружности украшения, так и в отдельной его части. Закрепка весьма надежная, исключается вероятность повреждения вставок. Рельсовая заделка позволяет скрыть дефекты огранки</p>

Схематичное изображение	Описание
<b>Клеевая закрепка</b>	
	<p>Закрепка применяется преимущественно для жемчуга, коралла, янтаря и иных просвечивающих и непрозрачных вставок сложной формы. Вставка с предварительно выполненным в ней отверстием закрепляется в подготовленное посадочное место (чашечку) с установленным в него резьбовым штифтом и для надежности фиксируется клеем. Штифт должен плотно входить в отверстие вставки</p>

---

---

# Приложение Б

---

---



---

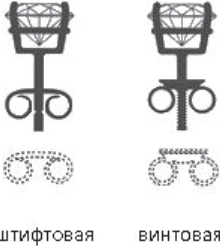



---

## Виды застежек серег


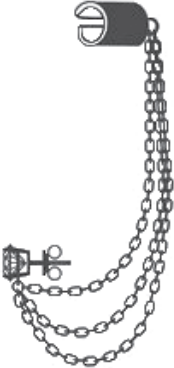

---

---

Название	Схематичное изображение	Описание
Английский замок		Состоит из штифта и швензы. На штифте имеется выемка, которая и позволяет плотно защелкиваться замку в отверстии швензы. Благодаря своей надежности очень часто встречается в украшениях. Отличается элегантным внешним видом, органично вписывается в дизайн ювелирных украшений. Из недостатков стоит отметить невозможность регулировки расстояния, отведенного для мочки уха
Французский замок		Состоит из дужки и предохранительного кольца. Легкая и удобная застежка. Часто применяется в украшениях для детей. Такой замок не ограничивает размеры мочки. Недостаток — слишком тонкая дужка, которая со временем деформируется и снижает надежность замка
Итальянский замок		Состоит из штифта и швензы в виде петли. Швенза прижимается пружиной. Прижимной механизм надежно фиксирует украшение. Благодаря такой конструкции ширину застежки можно регулировать, поэтому застежка подходит для мочки уха любой толщины. Итальянский замок сложен в изготовлении, поэтому стоимость серьги с такой застежкой достаточно высока

Название	Схематичное изображение	Описание
Замок-пусет	 <p>штифтовая      винтовая</p>	<p>Пусеты бывают двух видов: штифтовые с выемкой для крепления и винтовые с резьбой. Фиксация происходит соответственно за счет нанесенной на штифт выемки и за счет резьбы. Винтовая застежка легко подстраивается под любую толщину мочки уха и является более надежной. Недостатки: острые концы гвоздиков могут доставлять неудобство, а фиксирующий зажим штифтового замка может со временем ослабнуть</p>
Замок-петля		<p>Крепление имеет вид удлиненной петли. Такая застежка удобна в обращении. Украшения с таким замком легко снимать и надевать, они подходят для любой мочки. Недостатки: отсутствие фиксации, что увеличивает риск потери украшения, кроме того, конец петли может быть острым</p>
Замок-булавка		<p>Состоит из короткой швензы, которая продевается в маленькое колечко. Простой и удобный замок, имеющий надежный механизм крепежа. Застежка такого типа ставится преимущественно на объемные украшения. Недостаток — небольшое расстояние для мочки</p>
Замок-скоба		<p>Самый древний вид застежки. Представляет собой крючок, который закрепляется в углублении. Замок удобен в эксплуатации и не доставляет каких-либо неудобств. Такая застежка выдерживает вес достаточно крупных серег. Недостаток: тонкая дужка легко деформируется</p>



Название	Схематичное изображение	Описание
Замок-кольцо		<p>Имеет вид тонкого штифта, который вставляется в основную противоположную часть серьги. Замок не виден при ношении, он скрыт в серьге. Используется для серег типа креольских колец и конго. Застежка достаточно надежна, но не всегда удобна при надевании и ношении украшения</p>
Замок-кафф		<p>Достаточно новый и современный вид застежки. Крепится на ухо в двух местах: на мочке с помощью пусета и на ушной раковине с помощью зажима. Благодаря креплению на верхней части кафф позволяет распределять тяжесть изделия на все ухо. Из-за нестандартного крепления серьги-каффы удобны не всем</p>
Замок-зажим		<p>Не имеет замковой части, украшение лишь обхватывает мочку уха. Передняя и задняя части серег должны точно повторять форму уха и немного «утопать» в нем. С одной стороны, такая застежка довольно удобна, но с другой — такие украшения достаточно подвижны и могут переворачиваться во время носки</p>
Замок-цепочка		<p>Задняя и передняя части примерно равны по массе, благодаря чему украшения хорошо держатся, без перекосов. Не имеют жесткой формы, поэтому не деформируются. Часто используются в качестве вечернего аксессуара. Из недостатков — путаются в волосах и цепляются за одежду</p>

---

---

# Приложение В


---

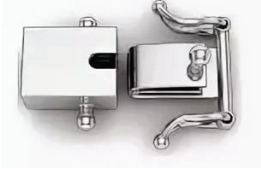
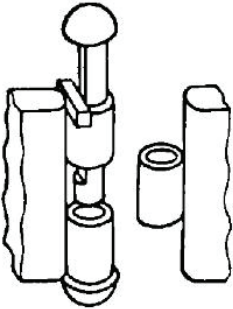
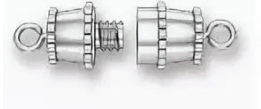
---

## Виды замков цепей и браслетов

---

---

Название	Изображение	Описание
Шпрингельный замок Spring ring	 A silver-colored spring ring, which is a circular metal ring with a small protruding tab on one side that fits into a corresponding hole on the opposite side to form a closed loop.	Один из самых распространенных видов замков. Представляет собой круглый замок с пружинной защелкой. Легкость, прочность и маленьких размер делают этот замок очень популярным. Тонкое колечко идеально для изящных украшений. Замок изготавливается на установках автоматического типа, поэтому часто применяется в украшениях крупносерийного производства. Недостаток: пружина, которая возвращает задвижку в первоначальное положение, со временем изнашивается, и в таком случае замок нужно менять полностью
Карабин Lobster claw	 A silver-colored lobster claw clasp, consisting of a curved metal hook with a spring-loaded mechanism and a small ring at the end for attachment.	Карабин — очень распространенная разновидность замка для браслета. Выглядит как петля с подпружиненной скобой. Это прочный и надежный замок. Конструкция замка не позволяет самопроизвольно выпасть соединительному колечку. Изготавливается вручную, поэтому качество зависит от профессионализма ювелира. Преимущества: надежность и возможность ремонта и замены поврежденной или изношенной пружины. Недостаток — массивность. Замок не годится для тоненьких воздушных плетений

Название	Изображение	Описание
<p>Замок-коробка Open box</p>		<p>Чаще всего такой замок используют в украшениях, где по замыслу дизайнера застежка не должна выделяться из общего рисунка. Замок способен выдержать достаточно массивное украшение. Конструкция основана на использовании двух половинок — коробочки с отверстием и защелки, представляющей собой сложенную пополам планку. Конструкцию укрепляют одной или двумя фиксирующими петлями. Они повышают надежность, но могут цепляться за одежду. Застежки-коробочки можно использовать для любых украшений, поскольку их легко застегивать и расстегивать без посторонней помощи. Недостаток — трудоемкость ручного изготовления</p>
<p>Шарнирный замок Bayonet</p>		<p>Шарнир — это подвижное соединение двух частей, которое обеспечивает им вращательное движение вокруг оси. Шарнирным замком соединяют браслеты, состоящие из звеньев (глицерные), либо цельные (жесткие). Неотъемлемый элемент шарнирного соединения замка — штифт, который вставляется внутрь шарнира и фиксирует соединение</p>
<p>Винтовой замок Barrel</p>		<p>Замок выглядит эстетично и прост в использовании. В основном его применяют для ожерелий или браслетов из бусин. По обоим концам изделия крепятся составные части застежки, которые закручиваются между собой. Недостаток — очень тонкая резьба, которая может раскручиваться. Поэтому замок не очень надежен</p>

Название	Изображение	Описание
Тоггл (Т-замок) Toggle		Популярный замок для браслетов-цепей. Состоит из крупного звена круглой формы и Т-образного штифта, который вставляется в круг и замыкается в нем за счет силы натяжения. Самопроизвольное выскальзывание штифта практически исключено, поэтому, несмотря на примитивность, замок довольно надежен. Один из самых простых в изготовлении замков. Нередко такая застежка на браслетах выполняет роль декоративного элемента. Чаще всего его ставят на украшения в этно-стиле
Замок-крючок S-Hook		Самым простым и самым первым примененным в ювелирном деле для цепей и браслетов признан крючковый замок. Состоит из крючка и петли и держится за счет силы натяжения. Недостаток заключается в ненадежности замка, т. к. крючок достаточно легко может выпасть из крепления

---

---

# Оглавление

---

---

Введение .....	3
1. Классификация ювелирных изделий.....	4
2. Особенности художественного проектирования ювелирных изделий .....	7
2.1. Эксклюзивные ювелирные украшения .....	9
2.2. Серийные ювелирные украшения .....	13
2.3. Разработка дизайна коллекции .....	18
3. Компьютерное проектирование ювелирных изделий .....	34
3.1. Эскиз — отправная точка 3D-дизайна .....	34
3.2. Выбор инструмента моделирования и основные программы .....	36
3.3. Последовательные шаги воплощения замысла.....	40
3.4. Изготовление мастер-модели .....	60
4. Технология изготовления ювелирных изделий .....	64
4.1. Изготовление эластичных пресс-форм .....	64
4.2. Изготовление восковых моделей .....	67
4.3. Изготовление литейной формы .....	73
4.4. Плавка и заливка расплава .....	77
4.5. Механическая обработка и монтаж заготовок .....	82
4.6. Технология соединения заготовок.....	85
4.7. Закрепка вставок.....	90
4.8. Нанесение декоративных покрытий .....	94
5. Контроль изделий в ОТК и упаковка изделий.....	106
Заключение .....	110
Список библиографических ссылок.....	111
Приложение А. Виды закрепки вставок .....	114
Приложение Б. Виды застежек серег.....	117
Приложение В. Виды замков цепей и браслетов .....	120

*Учебное издание*

**Груздева Ирина Александровна**  
**Денисова Елена Викторовна**  
**Ильвес Ольга Игоревна**  
**Карпов Владимир Михайлович**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Редактор *Т. Е. Мерц*  
Верстка *Е. В. Ровнушкиной*

Подписано в печать 01.04.2021. Формат 70×100 1/16.  
Бумага офсетная. Цифровая печать. Усл. печ.л. 10,0.  
Уч.-изд. л. 5,9. Тираж 30 экз. Заказ 13.

Издательство Уральского университета  
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ  
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5  
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41  
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ  
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел.: 8 (343) 350-56-64, 350-90-13  
Факс: 8 (343) 358-93-06  
E-mail: press-urfu@mail.ru



