

УДК 671.12

А.В. Вовк<sup>1</sup>, В.С. Кузнецова<sup>2</sup><sup>1-2</sup>ХНУРЕ, г. Харьков, Украина, rugouni\_v@mail.ru

## 3D ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Исследованы современные технологии производства ювелирных изделий от эскиза до готового изделия. Проведён анализ существующих программных продуктов, позволяющих проводить моделирование ювелирных изделий с дальнейшим выводом на ювелирный 3D принтер. Предложен алгоритм моделирования, оптимизирующий построение 3D модели. Определена наиболее оптимальная технология 3D печати.

МОДЕЛЬ, 3D-ПЕЧАТЬ, 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ, МАСТЕР-МОДЕЛЬ

### Введение

Изначально ювелирные украшения создавались вручную из воска, а потом уже отливались в металле. С развитием компьютерных технологий и 3D печати, становится целесообразным их использование в ювелирном производстве. Благодаря использованию возможностей 3D моделирования, и последующей печати модели на специализированных ювелирных 3D принтерах, достигается большая точность в создании мастер-моделей ювелирных изделий [1]. Это позволяет избежать брака, а также уменьшить время, затраченное на производство.

Цель работы – исследование современных технологий 3D моделирования и печати, применяемых в технологических процессах для создания мастер-модели ювелирного изделия.

Задачи работы:

- изучить преимущества 3D моделирования;
- обосновать выбор программных средств;
- создать 3D модель ювелирного изделия (кольца);
- подготовить объект к печати;
- изучить технологии 3D печати.

Процесс изготовления ювелирного изделия можно условно разделить на следующие этапы:

– эскизирование – внедрение компьютерных технологий – создание эскизов в электронном виде, с применением интерактивных планшетов. Ювелирный эскиз – это техническое задание, которое должно быть представлено максимально четко и понятно. Работа в электронном виде позволяет точнее выполнять необходимые операции, такие как прорисовка четких линий, выдерживание их толщины, отображение бликов, тени, вставок. Это позволяет более подробно и точно проанализировать эскиз для дальнейшего 3D моделирования, чтобы избежать неточности и разночтения. Так же в готовый электронный эскиз намного проще вносить изменения;

– создание 3D модели. На этом этапе учитываются основные параметры ювелирных технологий (высота элементов крепления, глубина посадочных мест, усадка по металлу, т.д.). Matrix, Rhinoceros 3D;

– рендеринг – фотореалистичная визуализация модели (изобразить украшение в различных ракурсах,

оценить как оно будет выглядеть в различных материалах и текстурах. KeyShot, V-Ray;

– подготовка к печати, включающая в себя проверку на солидность. Модель должна представлять собой один замкнутый объект. Устраняются различные дефекты, не видимые в программе моделирования (наличие перевернутых полигонов, несостыкованных швов между полигонами, дырок, мусора). Magics PR;

– прогнозирование точного веса в зависимости от размеров и выбранного металла. Magics PR;

– прототипирование фотополимерной модели на современном ювелирном 3D принтере;

– создание гипсовой литейной формы по фотополимерной модели, с последующей заливкой расплавленного драгметалла;

– механическая обработка деталей, если изделие не монолитно. Программа Magics PR дает возможность аккуратно и точно разделить модель на детали, что уменьшит неточности на данном этапе, следовательно, и время обработки;

– огранка, закрепка камней (если присутствуют). Важно учитывать особенность крепления камней при создании кастиков и крапанов [2];

– полировка изделия.

Современные технологии компьютерного 3D моделирования, визуализации и 3D печати предоставляют возможность уменьшить сложность и трудоемкость процесса изготовления моделей и повысить качество ювелирных украшений за счет точности проектирования, а так же уменьшить вероятность брака.

### 1. 3D моделирование

Процессу создания 3D модели отведен достаточно большой промежуток времени, этот этап является одним из основных при создании ювелирного изделия.

3D моделирование позволяет уже на этапе проектирования учитывать все последующие технологические особенности производства.

Для ювелирного дела необходимо учитывать такие параметры как точность моделирования, расчет высоты элементов крепления, глубины посадочных мест, специфики крепления камней, усадку по металлу, деформацию восковок и т.д. [3].

Большим преимуществом является возможность модификации 3D модели: создание размерных и модельных рядов, а также изменение размеров вставок и комбинирование с новыми элементами дизайна. 3D моделирование позволяет снизить трудоёмкость процесса создания новых моделей, и повысить качество выпускаемой продукции.

Самыми распространёнными программами для работы с 3D являются 3ds Max, Maya, AutoCAD, но ни одна из них не подходит для профессиональной работы с ювелирными изделиями. 3ds Max больше подходит для визуализации и моделирования геометрии, не требующей особой точности, например для наполнения интерьера. Maya – для NURBS-моделирования живых персонажей и анимации. AutoCAD-для инженерной графики (машиностроение, строительство и архитектура).

Сегодня на рынке существуют следующие программы: Rhinoceros 3D, Magics PR. Они позволяют профессионально работать с 3D моделями ювелирных изделий, учитывая все необходимые параметры технологического процесса.

Программа Rhinoceros 3D предназначена для точного прототипирования твердых тел, обладает такими преимуществами: позволяет с легкостью создавать и редактировать криволинейные поверхности. Достоинством являются хорошо работающие булевы операции, которые необходимы для объединения, пересечения и исключения твердых тел. Отдельно стоит отметить возможность гибкой настройки и возможность установки плагинов, а также легкость взаимодействия с другими программами. Параметрический подход к созданию модели делает возможным один из плагинов – Grasshopper, представляющий собой графический редактор алгоритмов, тесно интегрированный с инструментами программы Rhinoceros [4]. Он позволяет создавать: сложнейшие формы, алгоритмы для построения ювелирных изделий различной формы, сложности, размерные и модельные ряды.

## 2. Технология моделирования

При 3D моделировании мастер-моделей ювелирных изделий необходимо учитывать основные параметры ювелирных технологий (высота элементов крепления, глубина посадочных мест, усадка по металлу, т.д.), а также возможности 3D печати, что накладывает определенные ограничения:

- герметичность – модель представляет собой один замкнутый объект;

- нормали не должны быть вывернуты наизнанку. Если поверхность имеет вывернутую нормаль, принтер не сможет корректно определить внутреннюю и наружную стороны модели;

- объекты должны быть многообразны. Сетка будет не многообразной, если она имеет ребра, которые являются общими между более чем двумя сторонами;

- толщина объектов должна быть соблюдена. Для 3D печати и для ювелирного производства минимальная толщина не должна быть меньше 0,2 мм.

## 3. Алгоритм создания 3D модели

При создании 3D модели ювелирного изделия рекомендуем следовать следующему алгоритму, который позволяет учитывать технические параметры готового изделия и создавать модельные и размерные ряды.

1. Создаем «основу» для кольца – окружность, изменяем ее месторасположение так, чтобы радиус окружности был параллелен оси Z. (Curve -> Circle -> Set One Plane -> WorldZX).

2. Задаем радиус окружности 18 мм (Circle -> Set Number->18).

3. Для кольца удобнее задавать не радиус, а диаметр, который и будет его размером. Существует возможность динамически задавать размеры кольца и таким образом легко строить размерный ряд для отдельной модели. Добавляем «слайдер» размеров диаметра, от 15 до 25 мм (Params -> Number Slider -> Edit -> Min=15.000,Max=25.000, Slider соединяется с Circle по параметру R, добавляем деление на два, для задания диаметра, а не радиуса, Maths->Division, Slider соединяется с Division по параметру A, B-> Set Data Item->2).

4. Необходимо добавить заранее нарисованный в Rhinoceros 3D профиль в коллекции Grasshopper, (Params->Curve->Set one Curve).

5. Перемещаем профиль из нулевой точки вниз, задав отрицательный вектор перемещения на расстояние, равное диаметру (Transform->Move, Vector->Unit Z, Move соединяется с Vector по параметру T, с Curve по параметру G, Vector с Division по параметру F).

6. Окружность, задающую диаметр, теперь необходимо удалить, т.к. она уже выполнила свою функцию – задание траектории вращения профиля кольца.

7. Профиль необходимо переместить вниз, добавив отрицательное направление вектору, т.к. по умолчанию направление перемещения положительное (Maths->Negative, соединяем Negative с Vector по параметру x, с Move по параметру T).

8. Вращение профиля вдоль оси x задается линией (Params->Line->Set one Line, началом линии будет 0,а концом точка на оси y).

9. Операция вращения Surface->Revolution соединяется с Move по параметру P,с Line по параметру A), данная операция создает основу кольца.

10. Для создания выреза на кольце заранее нарисованный узор добавляется в коллекции (Params->Curve->Set one Curve).

11. Операция экструдирования узора (Surface->Extrude соединяется по параметру B с Curve,Vector->Unit Z по параметру F,F Set Number=8).

12. Вырез на кольце с помощью булевой операции Исключение (Intersect->Solid Difference соединяется с Revolution по параметру A, с Extrude по параметру B).

13. Для возможности экспорта модели из Grasshopper в Rhino для последующей работы с ним выбираем пункт Bake для того участка алгоритма, который задает данный объект и выбираем его слой.

Такая последовательность шагов позволяет изменять модель, практически не перестраивая алгоритм (рис. 1).

Также легко создавать размерные ряды, без искажения размеров отдельных структурных частей. При замене кривой профиля кольца, а так же узора выреза можно быстро получить ряд отличающихся моделей (рис. 2, 3).

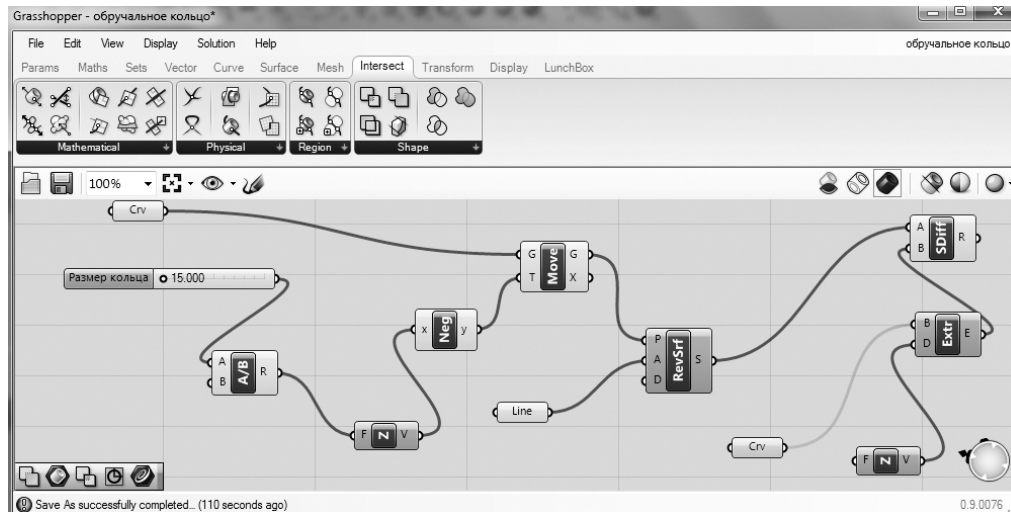


Рис. 1. Алгоритм 3D модели

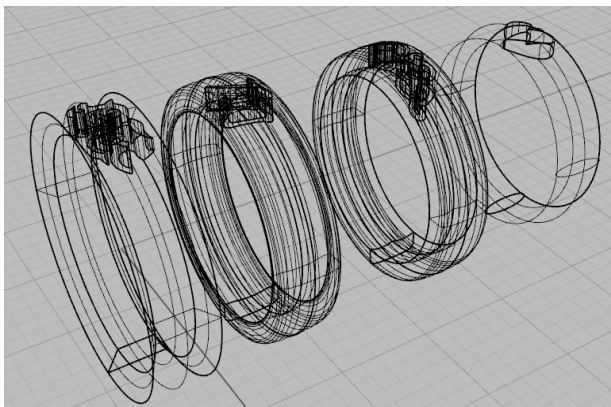


Рис. 2. Геометрия моделей

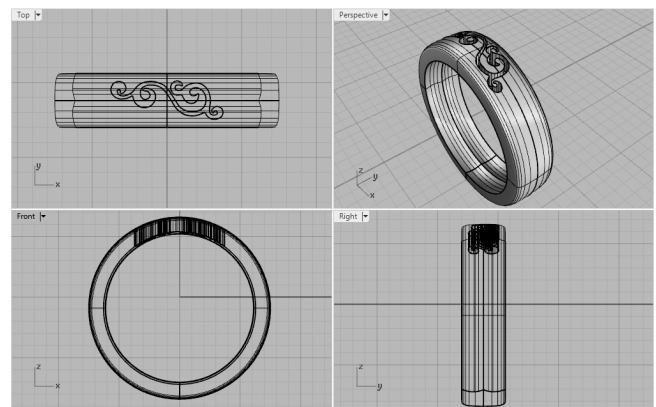


Рис. 3. Вид модели в 4-х созданных проекциях

Моделирование закончено, необходимы следующие действия перед экспортом модели в программы визуализации и подготовки к печати:

- проверка модели инструментом Show edge, который отображает красным те места модели, где не соединены ребра или есть какой-то разрыв;

- измерение технологических толщин скриптом Find Clearance & Thickness и сопоставление их с минимальными возможными.

После моделирования и исправления недостатков нужно конвертировать модель в формат STL, предназначенный для печати. Перед этим шагом необходимо проверить, чтобы масштаб был установлен в миллиметрах. У STL-файлов нет единиц измерения, потому что корректная установка масштаба перед экспортом – единственная возможность получить верные размеры модели при печати.

#### 4. Визуализация модели

Закончив моделирование модели, переходим к следующему этапу – рендерингу (фотореалистичной визуализации модели). Существуют различные программы для рендеринга. Для ювелирных изделий чаще всего используют две программы: KeyShot, V-Ray. Но V-Ray больше специализирована для работ с моделями 3ds Max, т.е. визуализации интерьеров и т.п. KeyShot считается оптимальной для профессионального моделирования ювелирных изделий. Ее достоинства – это интуитивный интерфейс, простота освоения и возможность быстро работать с высокополигональными моделями, что особо важно в ювелирном деле.

Изображение, полученное в итоге работы, имеет фотографическое качество, потому как в программе применяется тотальное освещение и материалы.

Есть возможность (рис. 4) увидеть результат моделирования в готовом виде (в металле, с различными вставками или эмалью и т.д.), а также продемонстрировать результат заказчику. Рендеринг позволяет делать видео презентации моделей, а также разместить 3D модели ювелирных изделий в каталог на сайт, которые можно будет вращать, и осматривать со всех ракурсов. Присутствует возможность увидеть модель в различном окружении (на солнце, при искусственном освещении и т.п.). Можно «надеть» украшение на человека, оценив вид модели в среде.



Рис. 4.– Кольца после рендеринга

### 5. Подготовка к печати

Модель перед печатью необходимо проверить и устранить возможные ошибки конвертации и моделирования, зачастую не видимые в программах создания, иначе при 3D печати могут возникнуть различные дефекты (даже из-за мельчайшей ошибки), вплоть до невозможности печати.

Rhinoceros 3D хорошо взаимодействует с программой для подготовки модели к печати Magics RP, которая позволяет проводить анализ веса и затрат материала на готовое изделие. Magics RP имеет наглядные инструменты для определения проблем в STL-файлах. Позволяет разделить модель на детали более точно, исходя из целостности конструкции, сохранить сборку, сделать выборку нужной толщины в любой детали. Сетка 3D модели должна быть однородной, а модель представлять собой замкнутый объект. Красный цвет всей модели или ее сегментов сигнализирует о наличии ошибок.

Типичные ошибки, которые могут возникнуть:

- отверстия в сетке, возникающие тогда, когда не создана грань или не заполнена отдельная часть геометрии;

- совпадающие ребра, возникающие в случае наличия двух отдельных, необъединенных ребер, расположенных в одном и том же месте. Смежные ребра должны соединяться посредством одного единственного ребра;

- внутренние грани (грани внутри модели). Модель может быть герметичной, но присутствие внутри сетки

внутренних граней вызовет ошибку. Необходимо удалить все внутренние грани;

- налагающиеся грани (возникают при создании дополнительной поверхности поверх существующей). Их трудно обнаружить из-за опоры на одни и те же вершины. Привязка граней проверяется передвижением ребер в разные стороны;

- общие ребра (ребра связывающие более двух граней). Каждое из ребер должно связывать только две смежных грани;

- геометрия нулевой толщины, т.е. без заданной глубины. Необходимо проверить наличие параметра «толщина» у каждой поверхности или грани, учитывая минимальную возможную толщину при печати.

Проверка и исправление ошибок выполняется с помощью функции fix wizard. Зачастую хватает автоматического исправления ошибок с ее помощью, но есть также возможность полуавтоматического исправления, при более серьезных ошибках. Перед печатью необходимо убедиться, что исправленная модель выглядит точно так же, как в исходном файле. В некоторых случаях программа может закрыть те отверстия, которые изначально планировались в модели. Готовую и проверенную модель можно отправлять на печать.

### 6. 3D печать

Рассмотрим и проведем анализ существующих видов 3D печати. Они отличаются используемым материалом и способом его нанесения.

1. Стереолитография (StereoLithography Apparatus). Исходный материал – жидкий фотополимер. Система сканирования направляет луч лазера на фотополимер, в результате чего происходит процесс затвердевания материала. В емкость с жидким фотополимером помещается сетчатая платформа, на ней будет происходить выращивание прототипа. Изначально платформа находится на такой глубине, чтобы ее покрывал тончайший слой полимера толщиной от 50мкм до 150мкм – это и есть приблизительная толщина слоя в SLA. Далее включается лазер, который воздействует на те участки полимера, которые соответствуют стенкам целевого объекта, вызывая их затвердевание. После этого вся платформа погружается чуть глубже, на величину, равную толщине слоя. По завершению построения объект погружают в ванну со специальными составами для удаления излишков и очистки. В конце происходит финальное облучение для отвердевания.

Достоинства: достаточно высокая точность (минимальная толщина слоя 50мкм); возможность изготавливать сложные модели с мелкими деталями и тонкими стенками; высокое качество полученной поверхности (гладкость, отсутствие дефектов).

Недостатки: низкая скорость печати; массивность оборудования и высокая стоимость таких 3D-принтеров; необходимость механически отделять

стержневидную поддержку от созданных прототипов, что может привести к повреждениям мастер-модели; необходимость в процессе окончательной UV-засветки.

2. Цифровая светодиодная проекция (Digital Light Processing). Исходный материал – жидкий фотополимер. DLP-устройства основаны на применении зеркал. Микроэлектромеханическая система создает изображение, управляя зеркалами, которые расположены на полупроводниковом чипе. Зеркала быстро позиционируются, что позволяет управлять интенсивностью света и добавлять в изображение оттенки. В соответствии с программой, заданной трехмерной моделью, свет направляется на участки печатного материала. Под воздействием света субстанция отвердевает. Один за другим формируются слои изделия [5].

Достоинства: высокая точность. С уменьшением скорости печати точность возрастает – минимальная толщина слоя достигает 10 мкм; высокая скорость печати; простота постобработки модели (в случае необходимости); наиболее бюджетная стоимость из рассматриваемых технологий.

Недостатком является трудоемкий процесс, требующий высокой квалификации и работы с агрессивными химическими компонентами.

### 3. Многоструйное моделирование (Multi-jet Modeling).

Исходный материал: фотополимер, пластик, воск.

Основной и вспомогательный материалы подаются на горизонтальную поверхность сквозь мельчайшие сопла печатающей головки принтера. Основной материал – фотополимер или воск, наносится слой за слоем, закрепляемые с помощью ультрафиолетовой лампы, по заданному алгоритму. Вспомогательный материал заполняет образующиеся пустоты, что сохраняет целостность готового объекта [6].

Достоинства: универсальность, поскольку для создания изделий используются различные расходные материалы; высокая точность построения (16 мкм); большой выбор материалов (в том числе, восковых); разнообразие сфер применения.

Недостатки: низкая скорость печати; большая стоимость принтеров; для моделей с нависающими или горизонтально выступающими элементами требуются поддержки, которые приходится тем или иным способом удалять; требуется оборудование для обработки изделия после печати (печь, фрезерование).

Проанализировав рассмотренные технологии, можно сделать вывод, что для использования в процессе производства ювелирных изделий оптимальной технологией является DLP. Она сочетает в себе высокую точность и скорость печати. Существенной является возможность увеличить точность при уменьшении скорости построения. Так же нет необходимости в процессе окончательной засветки или фрезеровки, что уменьшает время производства модели, а также исключает дефекты, которые могут

появиться на этапах постобработки мастер-моделей, например, фрезеровочных работ.

### Выводы

Были изучены преимущества 3D моделирования, выполнен подбор программных средств. Составлен алгоритм создания модели обручального кольца, позволяющий легко создавать модельный и размерный ряды. Использование такого алгоритма создания украшений экономит время, уменьшает вероятность возникновения брака за счет возросшей точности моделирования. Выполнена подготовка объекта к печати, позволяющая избежать дефектов, возникающих при моделировании. Определена оптимальная технология 3D печати мастер-моделей ювелирных изделий, позволяющая получить модель высокой точности.

**Список литературы:** 1. 3D-принтеры для ювелиров. – Режим доступа: [www.3d.globatek.ru/3d-printers/3dprint-jewels/](http://www.3d.globatek.ru/3d-printers/3dprint-jewels/) 2. Ювелирное ателье GoldBars. – <http://www.goldbars.ru/GoldBars-tehnologii.htm>. 3. Чеблакова, Е.А. Исследование и моделирование технологического процесса изготовления ювелирных изделий с целью прогнозирования точности и стабильности / Е.А. Чеблакова. – Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua/konfer33/294.pdf>. 4. J-Design – школа современного ювелирного дизайна. – Режим доступа: <http://j-design.pro/>. 5. Цифровая светодиодная проекция (DLP) в 3D-печати – 3dprofy. – Режим доступа: <http://www.3dprofy.ru/cifrovaya-svetodiodka-proekciya-dlp-v-3d-pe/> 6. Ювелирные технологии. – Режим доступа: <http://jtech.com.ua/article/view/id/443>.

*Поступила в редколлегию 3.05.2016*

УДК 671.12

**3D технології у виробництві ювелірних виробів /** О.В. Вовк, В.С. Кузнецова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2016. – № 1(86). – С. 116-120.

У статті розглядаються особливості сучасного ювелірного виробництва, що базуються на технологіях комп'ютерного 3D моделювання і 3D друку. Проведено аналіз існуючого програмного забезпечення, що дозволяє створювати 3D моделі ювелірних виробів із заданими технологічними характеристиками. Розроблено алгоритм створення моделей ювелірних виробів.

Літ. 4. Бібліогр.: 6 назв.

UDK 671.12

**3D technology in the production of jewelry. /** A.V. Vovk, V.S. Kuznetsova // Bionica Intellecta: Sci. Mag. – 2016. – № 1(86). – P. 116-120.

In article discusses the features of the modern jewelry production, based on the technologies of computer 3D modeling and 3D printing. Analysed software, which created 3D models of jewelry with technological characteristics. The algorithm for creating models of jewellery is developed.

Fig. 4. Ref.: 6 items.