

УДК 67.02

Л.Т. ЖУКОВА, А.К. ГУДЕЛАЙТИС

Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ И ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ ПРИ РЕПРОДУЦИРОВАНИИ ФИЛИГРАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

В статье проведен сравнительный анализ способов, технологической оснастки и материалов при изготовлении филигранных изделий. Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований, позволяющие повысить качество филигранных изделий при репродуцировании с использованием аддитивных технологий и трехмерного сканирования.

Ключевые слова: филигрань, аддитивные технологии, САД модель.

В настоящее время при изготовлении объектов дизайна большое внимание уделяется внедрению высокотехнологичных процессов. Применение информационных и аддитивных технологий позволяет осуществить автоматизацию процесса создания художественных изделий, обеспечивая при этом постоянное обновление ассортимента продукции и повышение её конкурентоспособности на основе использования новых дизайнерских и технологических решений. Несмотря на значительный прогресс в области автоматизированного изготовления ювелирных изделий, в некоторых случаях, при применении сложных технологических решений ручная работа остается незаменимой.

Примером ручной работы может служить технология филиграния. Этот способ художественной обработки металла известен с глубокой древности, но до сих пор ювелиры предпочитают изготавливать филигранные украшения по следующей методике:

- формирование проволочной заготовки волочением;
- придание проволочной заготовке заданного вида плетения;
- гибка элементов узора;
- пасовка элементов в единый орнамент;
- соединение элементов при помощи пайки.

Сущность процесса изготовления филигранных изделий заключается в образовании ажурного узора из гладкой или кручёной проволочной заготовки. Узор набирается из отдельных элементов [1] в соответствии с эскизом, сочетание которых позволяет создавать разнообразные орнаменты.

Изготовление декоративных элементов для филигранных орнаментов с высокими эстетическими свойствами осуществляется вручную методом гибки проволочной заготовки. После набора всех частей узора происходит их пасовка в единый орнамент. Каждый элемент позиционируется на место, соответствующее его расположению на эскизе. Отдельные элементы филиграния соединяют при помощи пайки [2].

Недостатком данного способа изготовления филиграния является то, что элементы, согнутые вручную, по форме могут не соответствовать эскизу, а также элементы одинаковой формы, могут отличаться друг от друга. Изготовление филигранного орнамента, как правило, требует больших временных затрат и специальных, профессиональных навыков для получения хорошего качества результатов гибочных операций и точности при формировании орнамента. Это приводит к удорожанию работы по изготовлению филигранных изделий.

Однако, несмотря на низкую производительность труда по сравнению с другими методами репродуцирования, данный способ широко применяется в производстве ювелирных изделий благодаря высоким эстетическим свойствам получаемого филигранного плетения.

Помимо вышеуказанного способа, филигранные изделия также могут быть репродуцированы методом литья, гальванопластики или при помощи штампов, быть обработаны методом чеканки, просечения, выпиливания и гравировки. Перечисленные способы позволяют понизить трудоемкость процесса изготовления филигранных изделий и повысить производительность труда, по сравнению с вышеуказанным способом. Однако, наряду с достоинствами, эти способы имеют и недостатки. Такие изделия обладают низкими эстетическими свойствами филигранного плетения.

Актуальные тенденции для развития технологии филигрании заключаются в дальнейшей «инструментализации» процесса, разработке новых и улучшении существующих методик изготовления филигранных изделий в целях повышения точности, надёжности и сокращения временных затрат при изготовлении филигранных орнаментов.

На сегодняшний день аддитивные технологии широко применяются в высокотехнологичных отраслях – авиационной и аэрокосмической области, атомной индустрии, медицине и приборостроении. По сравнению с упомянутыми способами, процесс изготовления филигрании при помощи аддитивных технологий позволит [3]:

- изготавливать объект за один прием вместо многочисленных технологических операций;
- изготавливать изделия со сложными поверхностями (трехмерные пространственные объекты);
- применять широкий спектр материалов;
- уменьшать расход модельных материалов.

Таким образом, исключение ручного труда за счет применения высокотехнологичного оборудования при производстве филигранных изделий будет способствовать повышению производительности труда, снижению себестоимости продукции, расширению номенклатуры изделий, повышению качества продукции и увеличению потребительского спроса.

Существует большое разнообразие аддитивных технологий, которые основаны на различных физических процессах и модельных материалах. Эти процессы позволяют значительно упростить получение функциональной модели изделия и обладают широкими возможностями для применения сложных технологических решений при изготовлении оригинальных промышленных изделий.

Суть процессов заключается в послойной фиксации композитного материала и последовательном соединении слоев в изделие различными способами. Модельный состав может послойно спекаться, сплавляться, склеиваться или полимеризоваться. Выбор способа соединения слоев композитного материала осуществляется в зависимости от технологических особенностей изготавливаемых изделий, физических процессов и материалов.

Отличительной особенностью аддитивных технологий является создание физического объекта методом синтеза, наращивания композитного материала на основе виртуальной трехмерной модели – CAD. Процесс создания цифровой модели изделия может быть осуществлен двумя способами:

- методом трехмерного сканирования физических объектов, с использованием эталонных моделей;

– методом трехмерного компьютерного моделирования при помощи программного обеспечения.

Использование этих способов обеспечивает высочайшую точность и контроль параметров при создании моделей в результате ее визуализации на экране компьютера, а также позволяет корректировать размеры и форму изделия на любой стадии моделирования, повышая, тем самым, эффективность художественного и технологического механизмов в процессе детальной обработки изделий.

Процесс трехмерного сканирования заключается в бесконтактном считывании информации с реального объекта и ее преобразовании в файл данных. 3D сканнер анализирует облако точек на поверхности сканируемого объекта и генерирует его в CAD модель, с точными данными о физической форме эталона. При работе с трехмерными моделями сложной формы выполняется несколько сканирований различных фрагментов детали, а затем, происходит объединение фрагментов в единую модель. Как правило, после завершения процесса сканирования CAD модель нуждается в постобработке для удаления дефектов с поверхности цифровой модели, таких как, сглаживание, зашивание дыр, упрощение и т.д. Анализ литературных источников [4] позволил выбрать программный пакет Geomagic Studio для обработки моделей после сканирования. Для того, чтобы сделать процесс дизайна ювелирных изделий менее трудоемким, для компьютерного моделирования и создания CAD моделей ювелирных изделий разработано специализированное программное обеспечение, такое как: Jewel CAD [5], Rhino 3D [6], Art CAM Jewel Smith / Delcam Designer [7], Matrix 3D jewelry Design Software [8] и 3Design CAD [9]. Эти программы обеспечивают возможность использования различных инструментов, а также предлагают встроенные библиотеки с шаблонами шинков, накладок, драгоценных камней и т.д. После получения цифровых моделей, осуществляется передача сгенерированных данных по компьютерным сетям на оборудование с ЧПУ.

Преимущества 3D моделирования:

- получение точных симметричных линий;
- быстрая доработка или переделка модели;
- возможность построения модельного ряда на основе модели одного изделия ;
- точное проектирование по размерам изделия;
- расчет веса будущего изделия.
- экономия времени, по сравнению с созданием изделия вручную.

Благодаря существующим на сегодняшний день технологиям компьютерного моделирования возможно выполнение работ любой степени сложности. Например, для построения филигранных изделий, где эстетический результат достигается за счет скручивания, гибки и объединения элементов, разработан специальный программный пакет ReJCAD [10]. Данная программа предоставляет возможность проектирования сложных филигранных конструкций высокой степени точности и надежности, на основе созданных параметрических моделей филигранны, которые могут быть использованы для индивидуального дизайна изделий. Система предлагает определить основные параметры внешнего вида изделия, размера и содержание конечного продукта, после чего, создание указанной модели осуществляется программой в автоматическом режиме.

Для экспериментальной проверки эффективности и универсальности технологии селективного лазерного плавления и цветной трехмерной печати при репродуцировании филигранных элементов, а

также для установления минимального размера спиралевидного плетения, который может быть получен при помощи данных технологий, были построены CAD модели пяти спиралевидных плетений - аналогов, используемых в филигранных изделиях. Для плетений был выбран диаметр проволоки: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 и 1 мм. (рис. 1).

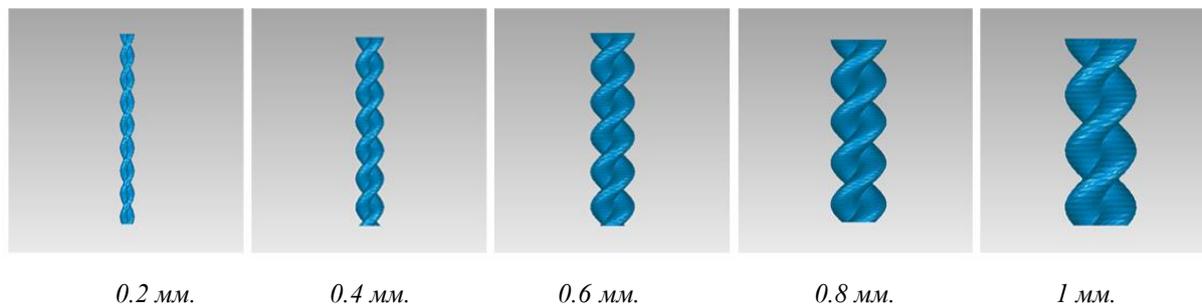


Рис. 1. CAD модели пяти спиралевидных плетений, классифицированных по диаметру проволоки

Метод селективного лазерного плавления позволяет изготавливать полноценные металлические изделия. В качестве модельного материала используются порошки металлов широкого спектра: инструментальные стали, алюминии, титан-алюминиевые композиции, кобальт-хром, и т.д. Процесс плавления заключается в послойном спекании модельного материала, в соответствии с поперечным сечением CAD модели. В начале процесса порошок наносится специальным роликом на рабочую платформу SLM машины, формируя, таким образом, слой для спекания. Под воздействием CO₂-лазера происходит плавление порошка металла в требуемый контур (на основе данных CAD модели). Затем платформа опускается на 0,1–0,2 мм и новый слой порошка накатывается поверх отверждённого, формируя новый слой, который также спекается с предыдущим [11]. Изготовление спиралевидных плетений происходило в герметичной камере установки селективного лазерного плавления «PhenixPM-100» с атмосферой инертного газа (азот). Установка снабжена волоконным лазером на основе иттербия ($\lambda = 1070\text{--}1080$ нм), максимальная выходная мощность 50 Вт. Ширина единичного вектора сканирования 110–120 $\mu\text{м}$. Характерные значения толщины слоя порошка 20–100 $\mu\text{м}$. В качестве модельного материала для изготовления образцов был использован порошок нержавеющей стали Inox 316L, размер частиц 25 мк. После спекания была проведена оценка качества экспериментальных образцов по эстетическому фактору. Анализ полученных результатов позволил установить минимальный размер спиралевидного плетения, который может быть получен при помощи вышеуказанного процесса. Качественное формирование спиралевидного плетения было получено при диаметре проволоки 0,4 мм. и более. При использовании проволоки диаметром менее 0,4 мм. было получено нечеткое плетение с высокой шероховатостью поверхности образца $Rz = 260$ (рис. 2).



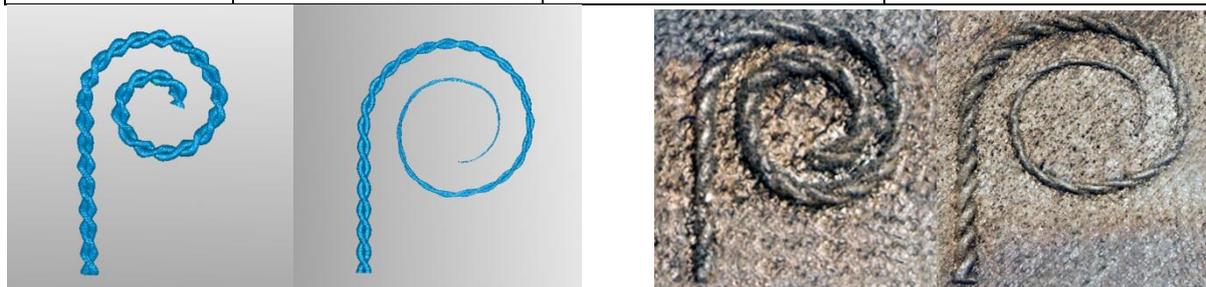
Рис. 2. Образцы плетений после селективного лазерного плавления

После определения минимального размера, обеспечивающего качественное изготовление спиралевидного плетения, было проведено компьютерное моделирование элементов, используемых в

филигранных изделиях (рис. 3, а). Для их репродуцирования по технологии селективного лазерного плавления потребовалось определение параметров, необходимых для осуществления процесса спекания. Параметры процесса плавления представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры процесса селективного лазерного плавления для филигранных элементов

№ модели	Диаметр проволоки	Технология спекания	Скорость сканирования
1	0.4 мм	однократная	110–120 мм/с
2	от 1 мм. до 0.4 мм.	двукратная	110–120 мм/с; 125–135 мм/с



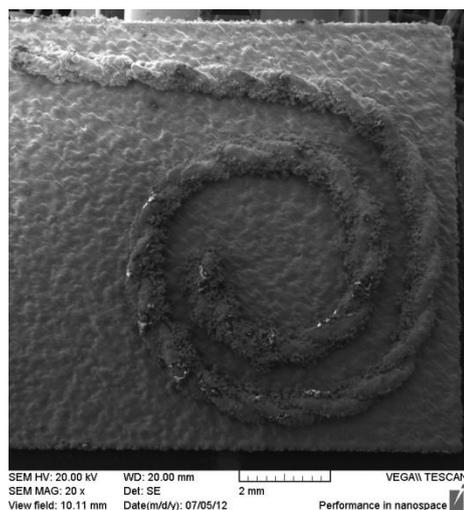
а

б

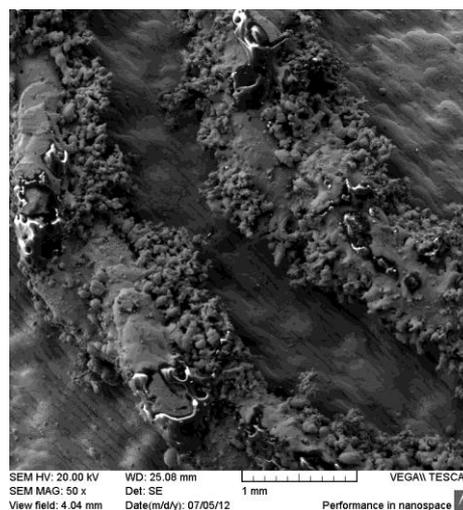
Рис. 3. Образцы элементов, модель №1, №2:

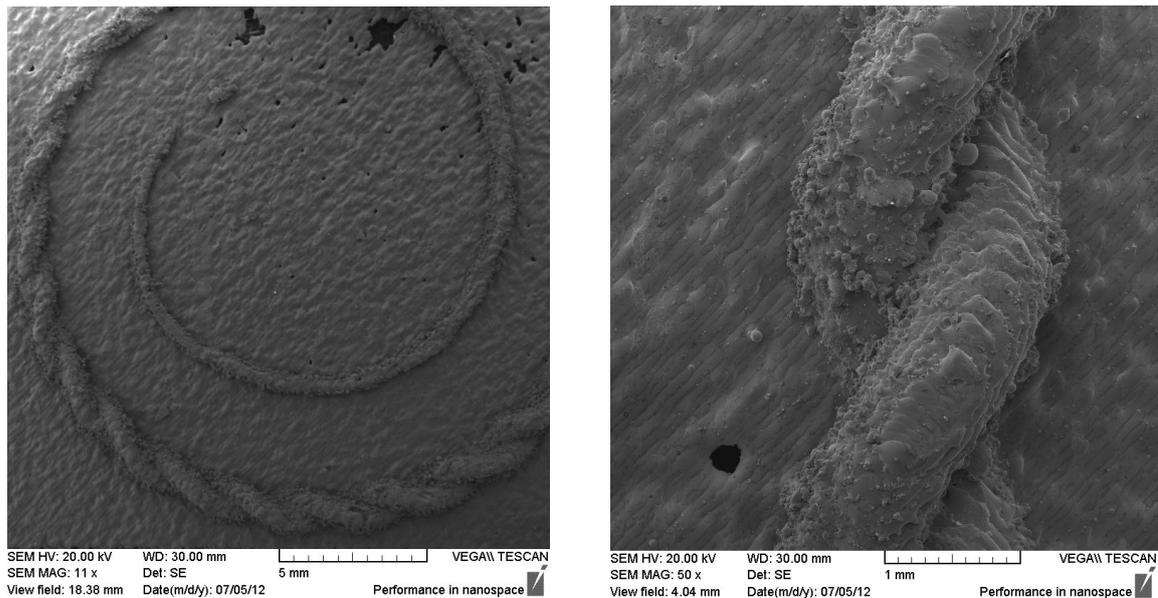
а – до селективного лазерного плавления; **б** – после селективного лазерного плавления

Качество процесса спекания оценивали на оптическом электронном микроскопе «TescanVEGA-3». Анализ исследований полученных образцов (рис. 3,б) показал, что между спиралевидными плетениями на модели №1 при режиме однократного лазерного плавления слоев образовались локальные скопления частиц металлического порошка, что привело к резкому снижению эстетических свойств элемента (рис. 4, а). При режиме двукратного плавления каждого слоя, использованного на модели №2, изготовление спиралевидного плетения из аналогичного композиционного материала проведено без дефектов (пористость менее 0,5 %), с высокой точностью воспроизводства модели (отклонение не более 100 μm) (рис. 4, б).



а





б

Рис. 4. Образцы плетений элемента филигранны при исследовании на
оптическом электронном микроскопе «Tescan VEGA-3»:

a – модель № 1; *б* – модель № 2

Однако, эстетические свойства полученных образцов, по отношению к изготовлению филигранны традиционным способом, имеют следующие недостатки:

- репродуцирование филигранны, при помощи лазерного плавления возможно лишь с использованием основы (листовой металл), на которую наплавляется ажурный орнамент, т.е. данный способ может быть актуален только при репродуцировании фоновой (напайной) филигранны;

- репродуцированные образцы характеризуется высокой шероховатостью поверхности, в виде прилипших к зонам термического воздействия гранул металлического порошка, поэтому возникает необходимость введения отделочного метода обработки поверхностей.

Для полирования поверхности образцов использовался метод электрохимического травления, позволивший осуществить травление металлических объектов после процесса селективного лазерного плавления до получения гладкой блестящей поверхности изделий, с шероховатостью поверхности $Ra - 0,8$. Применялся состав электролита: 4 мл хлорной кислоты, 95 мл этилового спирта, 1 мл. воды. Плотность тока 10–30 А/дм²; напряжение: 30–45 В; температура: 30 С (рис. 5).



Рис. 5. Полирование поверхности образцов методом электрохимического травления

После селективного лазерного плавления элементов была проведена работа по репродуцированию филигранных образцов методом цветной трехмерной печати. В основе технологии 3D-печати, так же как и в SLM процессе лежит метод послойного образования физического объекта на основе виртуальной 3D-модели. Принципиальным отличием данной технологии от SLM является использование клеящего вещества, а не теплового источника при соединении композитного материала, как при пайке. 3D-принтеры, в которых установлены печатающие головки с чернилами, способны воспроизводить не только форму модели, но и работать с цветом прототипа. Полученные модели пропитывают специальным составом на эпоксидной основе для повышения их прочностных характеристик [12].

На рис. 6 представлены варианты декоративной обработки поверхности элементов, с использованием широкой цветовой палитры.

Результаты цветного прототипирования образцов показали возможность создания полноценных функциональных моделей при условии увеличения их прочностных характеристик. Для этих целей, на поверхность изделия был нанесен слой эпоксидного отвердителя, после которого твердость образца значительно увеличилась.



Рис. 6. Варианты цветовой обработки поверхности CAD моделей элементов

Однако, при извлечении образцов из неиспользованного композитного материала, а также, при нанесении эпоксидного отвердителя для увеличения прочностных характеристик изделия, возникает высокая вероятность повреждения тонкого ажурного элемента. Поэтому, в декоративном орнаменте следует использовать довольно крупный диаметр плетения (рис. 7).



Рис. 7. Пример поврежденного и готового образца после изготовления на трехмерном принтере

Результаты исследовательской работы позволили разработать рекомендации по модернизации технологии филигранный, которые позволяют повысить качество изделий и улучшить их дизайн, разнообразить ассортимент филигранных изделий, снизить затраты времени на изготовление и способствовать увеличению востребованности на современном ювелирном рынке.

Список использованной литературы

1. Марченков В.И. Ювелирное дело [Текст] / В.И. Марченков.–М.: Высшая школа, 1992. – 197 с.
2. Флёрв А. В. Художественная обработка металлов [Текст] / А.В. Флёрв. – М., Высшая школа, 1976. – 122 с.
3. Афонькин, М.Г. Применение современных технологий при декорировании художественных изделий из металла [Текст] / М.Г. Афонькин, Е.В. Ларионова // Журнал «Дизайн. Материалы. Технология», / СПб: СПбГУТД, 2009 – Вып. 3 (10) – 100 с. – С.3–8.
4. Geomagic company: <http://www.geomagic.com>.
5. Jewellery CAD/CAM Limited. JewelCAD: <http://www.jcadcam.com>.
6. Robert McNeel & Associates. Rhinoceros. NURBS modeling for Windows: <http://www.rhino3d.com/jewelry.htm>.
7. Delcam. ArtCAM JewelSmith: <http://www.artcamjewelsmith.com/>.
8. Gemvision. Matrix 3D jewelry design software: <http://www.gemvision.com/html/products/matrix/matrix.html>.
9. 3Design. 3Design CAD. Available from: <http://www.3design.com/>
10. V. Stamati et al. / Computer-Aided Design 43 (2011) p. 1814–1828
11. Burton. M, J. (2005). PhD Thesis, Design for Rapid Manufacture: Developing an Appropriate Knowledge Transfer Tool for Industrial Designers. Department of Design and Technology. Loughborough, Loughborough University: 239
12. Z Corporation company: <http://www.zcorp.com/ru/Products/3DScanners/>.

Стаття надійшла до редакції 19.12.2012

Оцінка можливості застосування технології селективного лазерного плавлення і тривимірного друку при репродукуванні філігранних виробів

Жукова Л.Т., Гуделайтіс А.К.

Санкт-Петербурзький державний університет технологій та дизайну

У статті проведений порівняльний аналіз способів, технологічного оснащення та матеріалів при виготовленні філігранних виробів. Представлено результати експериментальних і теоретичних досліджень, що дозволяють підвищити якість філігранних виробів при репродукуванні з використанням адитивних технологій і тривимірного сканування.

Ключові слова: філігрань, адитивні технології, CAD модель.

Estimation of the possibility of applying the technology of selective laser melting and three-dimensional press during the reproduction of the filigree articles

L. Zhukova, A. Gudelaitis

Technology and design St. Petersburg State University

In the article, a comparative analysis of the methods, tooling and materials used in filigree products. The results of experimental and theoretical research for best quality of products at the filigree reproduction by additive technology and three-dimensional scanning.

Keywords: filigree, additive technologies, CAD the model.