

4. Тумковский С.Р. Сервер Spice – первое знакомство: Учебное пособие – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2001. – 42 с.
5. Володин В.Я. Создаем современные сварочные аппараты – М.: ДМК Пресс, 2011 – 352 с.
6. Богатырев, Н.И. Параметры и характеристики электрических машин переменного тока: моногр. // Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, П.П. Екименко: - Краснодар– 2011 - 256 с.: ил.].
7. Богатырев Н.И., Креймер А.С., Баракин Н.С. Асинхронные генераторы для питания сварочной дуги // Научный журнал КубГАУ - №73(09) – 2011 -с. 1-28
8. A.G. Krampit, A.F.Knyaz'kov, N.Yu.Krampit. Controlling the droplet transfer process in CO<sub>2</sub> welding with a long arc // Welding International –2008 - №22 - p.534-536
9. A.G. Krampit. Welding with double modulation of the main welding parameters // Welding International. – 2012. – №26. – 867-869.
10. A.G. Krampit, A.F.Knyaz'kov, N.Yu.Krampit, S.A.Knyaz'kov. Improving the process of narrow-gap pulsed –arc CO<sub>2</sub>// Welding International – 2004 - №18 – p.486-488
11. A.G. Krampit, N. Yu. Krampit. Mechanical properties of welded joints in welding with continuous and pulsed arcs // Welding International - Volume 25, Issue 8 - August 2011 – p.626-628
12. Крампит А.Г., Крампит Н.Ю. Стабилизация процесса сварки в щелевую разделку с импульсным питанием дуги. // Сварка и диагностика, 2012, №5, с.23-26.
13. Крампит А. Г. , Крампит Н. Ю. Влияние параметров импульсов сварочного тока на формирование сварного шва // Сварка и диагностика. - 2013 - №. 2. - С. 11-13.
14. Крампит А. Г. , Зернин Е. А. , Крампит М. А. Разработка устройства и исследование процесса импульсно-дуговой сварки с нагревом электрода в паузе [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2014 - №. 3. - С. 1. - Режим доступа: <http://www.science-education.ru/117-13398>
15. A.G. Krampit, M.A. Krampit. Determination of a Wire Heat Temperature under a Pulse-Arc Welding Condition by means of a Calculation and Graphic Method // Applied Mechanics and Materials – 2014 - 682 - p.392 – 396
16. Крампит Н. Ю. , Крампит М. А. Импульсно-дуговая сварка с подогревом вылета электрода в паузе // Сварочное производство. - 2014 - №. 3. - С. 8-10

### 3D ПРИНТЕРЫ В МЕТАЛЛУРГИИ

*Е.В. Бабакова, аспирант, Е.А. Ибрагимов, ст. преподаватель,*

*А.А. Сапрыкин, к.т.н., И.В. Дрелих, студент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

*Томского политехнического университета*

*Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

*E-mail: egor83@list.ru*

3D-принтер - устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели. 3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта. Технологии, применяемые для создания слоев:

- Лазерная:
  1. *Лазерная стереолитография* — ультрафиолетовый лазер постепенно, пиксель за пикселем, засвечивает жидкий фотополимер, либо фотополимер засвечивается ультрафиолетовой лампой через фотошаблон, меняющийся с новым слоем. При этом жидкий полимер затвердевает и превращается в достаточно прочный пластик.
  2. *Лазерное сплавление* — при этом лазер сплавляет порошок из металла или пластика, слой за слоем, в контур будущей детали.
  3. *Ламинирование* — деталь создаётся из большого количества слоёв рабочего материала, которые постепенно накладываются друг на друга и склеиваются, при этом лазер вырезает в каждом контуре сечения будущей детали.
- Струйная:
  1. *Склеивание или спекание порошкообразного материала* — похоже на лазерное спекание, только порошковая основа (подчас на основе измельченной бумаги или целлюлозы)

склеивается жидким (иногда клеящим) веществом, поступающим из струйной головки. При этом можно воспроизвести окраску детали, используя вещества различных цветов. Существуют образцы 3D-принтеров, использующих головки струйных принтеров.

2. *Биопринтеры* — печать 3D-структуры будущего объекта (органа для пересадки) производится стволовыми клетками. Далее деление, рост и модификации клеток обеспечивают окончательное формирование объекта.

*На кафедре "Металлургия Черных Металлов" используют два типа 3D принтеров - это Dimension SST 1200ES и 3D Picaso Builder.*

*3D принтер Picaso Builder- первый российский доступный 3D принтер для работы в офисе, дома, в школе и творческих мастерских. Это полностью российская разработка - и поэтому главное преимущество: наличие полноценного сервиса и поддержки.*

Принцип работы Picaso 3D Builder очень прост. Из любого графического редактора нужно импортировать трехмерную модель подходящих размеров в формат STL. Затем файл отправляется и обрабатывается с помощью специального ПО, которая формирует управляющая программа для принтера. После запуска печати принтер нагревает полимерную нить, которая подается на платформу при помощи экструдера. После того, как печать завершена, модель сразу можно снимать с платформы и использовать.

Устройство 3D принтер Picaso Builder: - сопло и система активного охлаждения; - печатающая головка и устройство подачи пластика; - блок электроники; - подвижная платформа.

Принтер использует технологию термопластической экструзии. К основным преимуществам Picaso 3D Builder относится отсутствие ручной калибровки, уникальная конструкция подвижной платформы и механизма подачи. Для работы принтера используется специальная программа Polygon, в которую загружаются модели в формате файлов STL. Программа сделана с учетом всех особенностей эксплуатации, при этом она проста, естественно на русском языке и для её усвоения не требуется много времени.

Все подвижные элементы экструдера закрыты корпусом печатающей головки. Это несомненный плюс, поскольку пыль не попадает на шестеренчатые пары.

3D-принтер Пикасо работает с двумя марками пластика – ABS и PLA. Во время печати материал подается через сопло в 300 или 150 микрон. Создатели этого устройства учли недостатки других принтеров и исправили их. Например, платформа, на которой производится печать, прогревается равномерно. Это не позволяет модели разрушаться при создании. Принтер сконструирован таким образом, что не требует специальной калибровки. Механизм подачи имеет специальную защиту от забивания. Платформа чисто физически не может деформироваться, так как изготовлена из термостойкого материала имеет жесткую конструкцию.

**Dimension SST 1200es** - американский крупнейший 3D-принтер в семействе Dimension. Благодаря большому объему рабочей камеры он способен создать множество вариаций функциональных моделей.

Принцип работы данного устройства схож с Picaso 3D Builder.

Основным отличием Dimension SST 1200es от Picaso Builder в том, что он работает с использованием двух технологий. FDM (Fused Deposition Modeling) это создание объекта из термопластика, которая расплавляется и послойно наносится по данным трехмерной модели. SST (SolubleSupportTechnology) это использование растворимого пластика для формирования временных элементов поддержки. Такое сочетание технологий позволяет создавать из прочного термопластика прототипы очень сложной формы.

Технологичность и простота конструкции рабочей камеры принтера позволяет наблюдать за процессом 3д-печати. Готовый прототип без особого труда извлекается вместе с модельным столиком.

Модели, прототипы и конечные изделия создаются из материала ABSPlus. Это синтетический термопластичный полимер, обладающий повышенной прочностью и стабильностью физических свойств. Термопластик ABSPlus имеет 9 цветов: белый, слоновая кость, черный, красный, оливковый, зеленый, нектарин, флуоресцентный желтый, синий и серый. Пластик устойчив к воздействию ультрафиолета, поэтому цвета остаются яркими долгое время.

Для производства прототипов со сложной геометрией в процессе трехмерной печати формируются дополнительные элементы, которые поддерживают части желаемого прототипа. Такие элементы называются поддержкой и выполняются из материала, который удаляется после завершения печати. В системе Dimension SST 1200es применяется пластик SR-30, удаление которого осуществляется методом растворения в очищающем растворе.

Отличное качество мелких деталей обеспечено толщиной печатного слоя, которая составляет 254 мкм. Для увеличения скорости получения прототипов с простой поверхностью 3д-принтер обла-

дает возможность печатать с толщиной слоя в 330 мкм. В обоих случаях точность воспроизводства реального прототипа и виртуальной модели стабильно высока.

Этот трехмерный принтер очень прост в управлении. Трехмерный STL-файл с виртуальной моделью загружается в программное обеспечение Catalyst EX с помощью которого управляется Dimension. Программа предложит оптимальное размещение прототипа в рабочей камере, сформирует задание для принтера, рассчитает объем материалов для печати и время производства прототипа

На кафедре "Металлургия Черных Металлов" была поставлена задача спроектировать лабораторную печь сопротивления «Таммана».

Принцип работы этих печей основан на том, что при прохождении тока по проводнику в нем выделяется тепло. Печь состоит из: - 2 зажим токовода; - верхний водоохлаждаемый фланец печи; - графитовый нагреватель; - многослойная теплоизоляция; - нижний фланец; - камера для подвода рабочего газа; - опорная стойка.

Часть элементов проектируемой печи было предложено изготовить с помощью новой технологии литья.

В программе SolidWorks были изготовлены 3D модели данных изделий в соответствии с чертежами литейных моделей разработанных инженерами кафедры МЧМ.

Основными требованиями при создании моделей на 3D принтере являлось следующее. Толщина стенки изделия должна быть не более  $[S] \leq 1$  мм; процент заполнения объема детали  $\leq 5\%$ .

Данные модели изготавливались на принтере Dimension, так как он способен обеспечить данные требования к изделиям. Время печати изделий составило 4 часа.

Далее полученные изделия отправили на этап изготовления литейной модели.

#### **Метод литья по выплавляемым моделям.**

Чтобы создать выплавляемую модель, нужна форма. Она изготавливается из алюминия. Изготовление формы очень затратно. Затем в форму по специальным каналам закачивается модельный состав. Это может быть парафин, воск, либо стеарин. Модели дают застыть. Затем форму разбирают и вынимают модель, её ещё называют восковой. Затем к ней припаивают литник тоже из модельного состава. Модель окунают в специальную эмульсию для того чтобы нанести песчаную корочку. Затем модель окунают в «кипящий песок» и сушат. Эту операцию повторяют до получения нужной толщины корочки. Далее модель с нанесённой корочкой помещают в ванну с модельным составом, разогретым до 160 градусов Цельсия. Там модель расплавляется и вытекает из корочки в ванну. Этот этап называют вытопкой. После удаления модельного состава из корочки её помещают в печь для прокалики. После этого её помещают в песчаную опоку для того чтобы при заливке металла её не раздавило. Заливают металл. После остывания деталь вынимают из песчаной опоки и раскалывают корочку. Деталь готова.

#### **Метод литья по выжигаемым моделям.**

Чтобы создать выжигаемую модель, нужна тоже форма. Её также изготавливают из алюминия. В неё засыпают мелкие шарики пенополистирола. Затем форму с шариками помещают в автоклав, где шарики при высоком давлении, влажности и температуре вспениваются и образуют единую модель. Затем приклеивается литник из пенопласта. После этого модель покрывают огнеупорной краской в несколько слоёв и сушат. Затем модель помещают в контейнер, где засыпают её сухим песком, и начинают откачку воздуха через песок для удаления газов, которые образуются при заливке металла, и заливают металл. При заливке полистирол испаряется («теряется пена»), и модель замещается металлом. При этом металл затвердевает в виде отливки в неподвижном песке, который, облекая модель при засыпке песка (формовке), принял форму зеркального отображения этой отливки. Потом деталь вынимают из песка, дают ей остыть, обрубая литники, и деталь готова.

Но все эти методы очень дорогие из-за формы и сам процесс очень долг. Особенно он не подходит для изготовления штучных и мелкосерийных деталей.

Тогда можно применить способ 3D-печати из пластика. И потом просто выжечь модель. Но на кафедре чёрной металлургии в ЮТИ НИТПУ пошли ещё дальше. Они предложили метод печати модели из пластика на 3D принтере и метод выплавляемой модели объединить. Этот метод решили испытать при изготовлении деталей для печи Таммана. Сначала на 3D принтере напечатали сами модели, без литников и питательной системы. Дальше эти модели окунали в парафин для того чтобы на них образовался тонкий амортизирующий слой. Он нужен для того чтобы при вытопке и выжигании модели компенсировать расширение пластика, и для более лучшего соединения питателей и литника с пластиком. А потом из парафина изготовили литник и питательную систему. К моделям припаяли питательную систему. Далее к литнику припаяли все модели с питательной системой (Рис.1).

После того как все модели припаяны наносят огнеупорную корку. Формирование корки – отлаженная технологическая процедура. Смешанные с эмульсией специальные порошки различной зернистости наносятся на модель в несколько слоёв, каждый слой просушивается (Рис. 2).

Далее вся модель помещается в ванну с нагретым до 160 градусов Цельсия модельным составом и литниковая и питательная система вытапливаются.

Далее вся конструкция на довольно длительное время отправляется в печь, где происходит выгорание материала выжигаемой модели.

Завершающий этап, продувка корки сжатым воздухом — процедура весьма ответственная: оставшиеся в форме обуглившиеся остатки модели могут свести на нет все труды. Конечно, все будет проще, если условия позволяют без риска разрушения или растрескивания корки охладить форму до комнатной температуры с последующим вымыванием остатков материала.



Рис. 1. Литниково-питательная система



Рис. 2. Формирование огнеупорной корки

Далее идёт заливка металла в корку находящуюся в песчаной опоке (Рис. 3). После заливки форма остывает в течение суток, а затем корку раскалывают и на свет извлекается отливка в точности повторяющая очертания выжигаемой модели (Рис.4).



Рис. 3. Корочка перед заливкой



Рис. 4. Готовое изделие

Потом обрубается литниковые и питательные системы. Деталь обрабатывается, шлифуется. Литье по выжигаемо-выплавленным моделям иногда называют литьём с возможностью копирования отпечатков пальцев модельщика. И правда, отливка воспроизвела все мельчайшие детали.

С помощью этого метода легко создавать мелкосерийные и штучные изделия. Поскольку снижаются затраты на изготовление модели. Ускоряется весь процесс. От создания модели до заливки металла. Зольность пластика очень низкая, модель получается более качественная. Также этот метод можно использовать для экспериментальных отливок.

Технология 3D печати является очень перспективной технологией на сегодняшний день. Она позволяет в разы сокращать время и денежные затраты на производство объемных моделей, производство которых вручную не всегда возможно. 3D принтеры имеют огромную область применения: - архитектурные разработки; - инженерные технологические разработки; - медицинские технологии; - области малого бизнеса и обычного использования.