

### ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

*Д.А. Архипова, студентка группы 10А31,  
научный руководитель: Сапрыкина Н.А.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Как показывает опыт преодоления мирового экономического кризиса ведущими производителями наукоемких изделий машиностроения для обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции в условиях жесткой конкуренции с западными производителями отечественным предприятиям кроме обеспечения заявленных характеристик необходимо обеспечить и минимальные сроки освоения изделий.

Технологии прототипирования и технологии прямого безинструментального производства на передовых западных предприятиях уже несколько десятилетий являются обязательным этапом в процессе разработки и подготовки производства любого нового изделия практически во всех отраслях машиностроения: авиационной промышленности, автомобилестроения, приборостроения, электротехнической промышленности. Они позволяют не только оценить внешний вид разрабатываемого изделия, но и проверить элементы конструкции, ее эргономику, собираемость, провести необходимые испытания, изготовить мастер-модель для последующего литья и многое другое. При использовании этих технологий практически исключается длительный и трудоемкий этап изготовления опытных образцов вручную или на станках с ЧПУ. Мировая практика использования этих технологий доказывает, что прототипирование изделий на стадии проектирования позволяет в 2 – 4 раза сократить сроки разработки и технической подготовки производства новой продукции. К сожалению, эти технологии практически не представлены на Российских предприятиях, их не знают и тем более не готовят специалистов.

Additive Fabrication (AF) или Additive Manufacturing (AM) – принятые в англоязычной технической лексике термины, обозначающие аддитивный, т. е. «добавлением», метод получения изделия (в противоположность традиционным методам механообработки путем «вычитания» (subtractive), материала из массива заготовки). Они употребляются наряду со словосочетанием Rapid Prototyping (или RP-технологии) – Быстрое Прототипирование, но имеют более общее значение, точнее отражающее современное положение. Можно сказать, что Rapid Prototyping в современном понимании является частью AF-технологий, «отвечающей» за собственно прототипирование методами послойного синтеза. AF- или AM-технологии охватывают все области синтеза изделий, будь то прототип, опытный образец или серийное изделие. Суть AF-технологий, как и RP-технологий, состоит в послойном построении, послойном синтезе изделий – моделей, форм, мастер-моделей и т. д. путем фиксации слоев модельного материала и их последовательного соединения между собой различными способами: спеканием, сплавлением, склеиванием, полимеризацией - в зависимости от нюансов конкретной технологии. Идеология аддитивных технологий базируется на цифровых технологиях, в основе которых лежит цифровое описание изделия, его компьютерная модель или т. н. CAD-модель. При использовании AF-технологий все стадии реализации проекта от идеи до материализации (в любом виде – в промежуточном или в виде готовой продукции) находятся в «дружественной» технологической среде, в единой технологической цепи, где каждая технологическая операция также выполняется в цифровой CAD\CAM\CAE-системе. Практически это означает реальный переход к «безбумажным» технологиям, когда для изготовления детали традиционной бумажной чертежной документации в принципе не требуется [1].

В настоящее время на рынке существуют различные AF-системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако общим для них является послойный принцип построения модели.

Проведя анализ и обзор публикаций по данной тематике [2-4], можно сделать вывод, что на сегодняшний день в мире наибольшее распространение получили две технологии быстрого прототипирования - лазерная и струйная, которые, в свою очередь, подразделяются на такие основные разновидности (приводятся как оригинальные англоязычные названия технологий и их соответствующие аббревиатуры, принятые и понимаемые во всем мире, так и их авторский перевод на русский язык – прим.):

- лазерные технологии:
  - стереолитография (stereolithography apparatus или SLA-технология);

- селективное лазерное спекание (selective laser sintering или SLS- технология);
- ламинирование или послойное формирование моделей из листового материала (laminated object manufacturing или LOM-технология);

- струйные технологии:

- моделирование методом наплавления (fused deposition modeling или FDM-технология).

Необходимо отметить, что перечислены далеко не все технологии быстрого прототипирования, а только наиболее распространенные и применяемые в мировой промышленности.[5]

Исторически первой технологией 3D-печати была разработана т.н. стереолитография (SLA-технология). Ее принцип был изобретен ровно 30 лет назад в 1983 г. американским ученым Чарльзом Халлом (Charles "Chuck" Hull) и запатентован им же в 1986 г. Название данной технологии происходит от слова "литография", что в переводе с древнегреческих слов означает: "λίθος" – "камень" и "γράφω" – "пишу".[6]

Логическим продолжением проведенной исследовательской и патентной работы было основание Ч. Халлом собственной компании 3D Systems [6], которая, собственно, и занялась практическим внедрением в жизнь теоретических разработок. Компания 3D Systems существует и по сегодняшний день и попрежнему продолжает занимать одно из лидирующих положений по выпуску оборудования для 3D-печати, несмотря на присутствие на данном сегменте рынка большого количества конкурирующих компаний.

Laser engineered net shaping (LENS)- метод позволяющий изготавливать функциональные изделия. В качестве строительного материала используются любые металлы и сплавы, которые могут быть расплавлены лазерным лучом без испарения. За счет сверхбыстрой кристаллизации создаваемые детали имеют ультрамелкозернистую структуру. Механические свойства деталей в ряде случаев значительно превосходят изделия, получаемые из аналогичных сплавов с помощью традиционных технологий [7].

Процесс AeroMet's Laser Additive Manufacturing (LAM) в результате послойного лазерного сплавления порошков позволяет получить однородное соединение двух деталей без трещин, пор и раковин [8]. Суть метода заключается в использовании сканирующего лазерного луча для расплавления порошковых материалов и послойного выплавления детали заданной формы. Для этого применяются два способа подачи порошка в зону плавления: вместе с инертным газом и механически из специальной камеры. В первом случае головка волоконно-оптического лазера перемещается системой управления, во втором луч лазера сканирует в зоне специальной платформы для перемещения готового изделия.

Технологии, аналогичные методу LAM используются в США при изготовлении крупногабаритных деталей и заготовок из титана. Проект финансируется Агентством передовых исследований и разработок (DARPA). В результате реализации данного проекта планируется снизить себестоимость изготовления титанового проката в четыре – пять раз (приблизив стоимость титана к стоимости алюминиевых сплавов). Наряду с американскими компаниями в проекте участвуют Кембриджский университет, MER Corporation (Великобритания). В данной технологии сначала спекают титановый порошок методом LAM, затем проводят дополнительную обработку методами пластической деформации, для придания заготовке механических свойств, аналогичных стандартному титановому прокату авиационного качества [8].

В России пока еще мало кто использует метод послойного лазерного спекания. Одной из исследовательских лабораторий, оснащенных установкой для получения образцов материалов с использованием метода LAM, является Научно-образовательный центр «Нанотехнологии» Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Под руководством профессора В.Н. Чувильдеева уже освоено получение образцов путем спекания порошков нержавеющей стали 03X17H14M3. Результаты проведенного в НИФТИ ННГУ сравнения механических свойств стали 03X17H14M3, полученной разными методами, показывают на то, что материалы, получаемые методом LAM, имеют высокие прочностные характеристики [8].

Процесс ProMetal требует дополнительных тепловых циклов, как и SLS, для уплотнения и пропитки прототипа каким-либо материалом. Требуется пост-обработка. Компания Arcam AB (Швеция) разработала технологию Electron Beam Melting (EBM), в которой для плавления материала используется электронный луч. В результате улучшается плотность модели. В настоящее время используются два типа стали. Как и в других процессах, требуется некоторая пост-обработка [5].

Следует отметить, несмотря на хорошую точность размеров деталей, обеспечиваемых SLS-технологией, ее применение ограничено некоторым снижением механических и триботехнических свойств [9], ограничивающим применение деталей.

Дальнейшее развитие технологии идет по пути внедрения новых материалов, улучшению физико-механических свойств изделий, повышения качества и точности формируемых изделий.

Литература.

1. Багров, В. В. Программно-аппаратный комплекс по селективному лазерному спеканию / В. В. Багров, Н. А. Климов, С. В. Нефедов, А. Л. Петров, В. И. Щербаков, И. В. Шишковский // Известия Самарского научного центра РАН. – 2003. – Т.5. – № 1. – С. 55-64.
2. Бирбраер, Р. Быстрое прототипирование из ABS в современном литейном производстве точных изделий / Р. Бирбраер, А. Колмаков, В. Столповски // САПР и графика, №3, 2004. – <http://sapr.ru>.
3. Болдырев, В. В. Механохимия и механическая активация твердых веществ / В. В. Болдырев // Успехи химии. – 2006. – Т.75. – №3. – С.203-216.
4. Болдырев, В.В. Экспериментальные методы в механохимии твердых неорганических веществ / В. В. Болдырев. – Новосибирск: Наука, 1983. – 65 с.
5. Витязь, П. А. Лазерная термообработка порошковых железуграфитовых композиций / П. А. Витязь, В. С. Ивашко // Порошковая металлургия. – 1994. – № 8. – С. 54– 60.
6. Григорянц, А.Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
7. Гуреев, Д. М. Селективное лазерное спекание биметаллических порошковых композиций / Д. М. Гуреев, А. Л. Петров, И. В. Шишковский // Физика и химия обработки материалов. – 1997. – № 6. – С. 92-97.
8. Гутман, Э. М. Механохимия металлов и защита от коррозии / Э. М. Гутман. – М.: Металлургия, 1981. – 271 с.
9. Ермаков, С. М. Математическая теория оптимального эксперимента: учебное пособие / С. М. Ермаков, А. А. Жиглявский. – М.: Наука, 1987. – 320 с.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

*Е.А. Иванько, студентка группы 10390,  
научный руководитель: Зайцев К.В.*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Технический контроль является важнейшей частью системы управления качеством продукции на машиностроительном предприятии. Система технического контроля (объекты технического контроля, контрольные операции и их последовательность, техническое оснащение, режимы, методы, средства механизации и автоматизации контрольных операций) является неотъемлемой частью производственного процесса. Отдельные элементы системы разрабатываются одновременно с разработкой технологии производства и в обязательном порядке фиксируются в технологической документации [1].

В системе технологической подготовки производства технический контроль является неотъемлемой составной частью технологического процесса изготовления и ремонта изделия и разрабатывается в виде процесса технического контроля или операции технического контроля. Затраты на контроль в некоторых отраслях превышают 50% от себестоимости продукции. В металлообрабатывающей промышленности они составляют 8-15% затрат производства, причем 90-95 % этих затрат относятся к контролю линейных и угловых размеров. Затраты времени на разработку технологии контроля одной детали составляют в зависимости от ее сложности от 5-6 часов до нескольких недель. Затраты времени на контроль этой детали составляют от 40 мин до нескольких часов. Например, при изготовлении поршневого авиационного двигателя выполняют 130 тысяч операций, из них 50 тысяч операций контрольно-измерительные. Трудоемкость контроля деталей двигателя составляет до 35 % трудоемкости их механической обработки. На каждую тысячу наименований деталей и сборочных единиц приходится в среднем не менее 3-х тысяч операций контроля [1].

Технический контроль должен охватывать весь технологический процесс для предупреждения с заданной вероятностью пропуска дефектов заготовок, деталей и сборочных единиц при последую-