

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2018 А. П. Преображенский, Н. М. Токарева

Воронежский институт высоких технологий  
ООО «3D-комплекс», г. Воронеж

*В статье рассматриваются основные принципы, на основе которых работают аддитивные технологии. Указаны особенности стереолитографии, лазерного спекания, применения термoplastов, ламинирования, 3D-принтеров.*

*Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-моделирование, 3D-печать.*

Развитие аддитивных технологий (АТ) стало происходить интенсивным образом, когда появились возможности получать первые трехмерные изображения объектов при помощи компьютерных дисплеев. В первую очередь возникла стереолитография, потом стали появляться подходы, которые назвали технологиями быстрого прототипирования (Rapid Prototyping) и, затем, стали использовать название «Аддитивные технологии».

Для большого числа отраслей, например, в авиационных и космических сферах, на данный момент без аддитивных технологий невозможно представить их развитие.

Проведение разработок новых видов объектов – является длительным и трудоемким процессом, который требует, чтобы были проведены несколько этапов при проектировании и была сделана необходимая оценка до того, как будет планироваться массовый выпуск.

Осуществить резкое ускорение проведения таких этапов можно на базе используемых по всему миру методов 3-х мерного компьютерного моделирования. Помимо этого, на основе современных систем компьютерного проектирования (CAD) можно значительным образом уменьшить временные затраты, а также средства по разработке и конструированию новых объектов.

Но остаются проблемы, связанные с формированием первых физических образов для объектов, характеризующимися сложными формами, так как проведение разработок технологии создания объектов и соот-

ветствующих оснасток в ряде случаев определяют затраты, которые сопоставимы со стоимостью разработки самих объектов.

За счет того, что мы имеем реальные физические модели будущих объектов, есть возможности для выявления и устранения различных ошибок, коррекции способов продолжения процессов проектирования. Прототипы объектов можно применять как концептуальные модели при процессах визуализации и анализе конструкций.

В этой связи, в конце 1980-х стали активно применять технологии, связанные с формированием трехмерных объектов, базирующиеся не на том, что удаляется материал (процессы точения, фрезерования, электроэрозивной обработки) или изменяется форма заготовок (процессыковки, штамповки, прессовки), а на том, что постепенно наращивается (добавляется) материал или изменяется фазовое состояние вещества в определенных областях пространства.

В существующих условиях можно увидеть использование различных аддитивных систем, которые производят модели на базе разных технологий и из разных материалов. Но, все они функционируют на основе схожего, послойного принципа формирования физических моделей, он состоит в следующем:

- считается трехмерная геометрия из 3D CAD-системы;
- трехмерная модель разбивается по горизонтальным сечениям (слоям) при помощи специальной программы, которая поставляется с оборудованием или применяется как приложение;
- сечения деталей строятся послойно снизу-вверх, таким, пока не будет создан физический прототип моделей. Расположение слоев происходит снизу-вверх, они идут

---

Преображенский Андрей Петрович – Воронежского института высоких технологий, д. т. н., профессор, e-mail: app@vivt.ru.  
Токарева Наталия Михайловна – ООО «3D-комплекс», г. Воронеж, генеральный директор, e-mail: tokkarrewwa\_561@mail.ru.

один над другим, физическим образом связываются между собой. Процесс построения прототипов продолжается до тех пор, пока будут поступать данные по сечениям CAD-модели.

Достаточно распространены такие аддитивные технологии:

1. Стереолитография (SL – Stereolithography). Эту технологию представила компания 3D Systems в 1987 году, и сейчас большое число соответствующих стереолитографических систем (Stereo Lithography Apparatus – SLA) созданы и применяются организациями по всему миру. В качестве основы стереолитографии используется то, что локальным образом изменяется фазовое состояние однородной среды (процесс перехода «жидкость – твердое тело») как результат фотовоздействия по заданному объему полимеризации.

2. Проведение лазерного спекания порошковых материалов (SLS – Selective Laser Sintering). Создание 3D объекта происходит при помощи порошкообразных материалов. Осуществляется расплав частиц порошка за счет воздействия лазерного излучения, имеющих диаметр порядка 50-100 мкм, расположенных в емкости. Лазерный луч, когда попадает на тонкий слой порошка, вызывает спекание порошковых частиц, они затвердевают при охлаждении, и при этом формируется твердый слой.

3. Применение термопластов (FDM – Fused Deposition Modeling). Используется процесс, связанный с послойным наложением расплавленных полимерных нитей. FDM-системы дают возможности для превращения концепции объектов в реальные экземпляры, осуществить проверки их на соответствие формам и размерам и даже провести моделирование работоспособности объектов, не допуская излишних временных и материальных затрат. На базе FDM-технологий есть возможности для создания трехмерных объектов, применяя твердотельные или поверхностные электронные модели, которые получены в CAD-системах. Идет подача термопластичного моделирующего материала в виде тонкой нити, имеющей диаметр 0,07 дюйма (1,78 мм), к экструзионной (выдавливающей) головке, имеющей систему регулировки температуры, там идет его разогрев до полужидкого состояния. Происходит нанесение выдавливающей головкой материала довольно тонкими слоями по неподвижному основанию, формируется в течение одного прохода законченный слой

объекта. Нанесенные последующие слои на предыдущие, отвердевают, происходит их соединение друг с другом.

4. Формирование объектов на базе ламинирования (LOM – Laminated Object Manufacturing). Это технология, в которой создаются трехмерные объекты за счет того, что идет послойное склеивание элементов, которые вырезаются из листовых материалов. Созданные при помощи LOM-технологии объекты идеальным образом годятся для того, чтобы решать задачи, в которых требуется оценивать форму и эстетические свойства объектов. Характеристики прочности LOM-объектов во многих случаях дают возможности для их применения в проверках функциональности проектируемых объектов. При изготовлении объектов используют бумагу или листовую пластик, на который нанесено сухое связующее вещество. Состав сформированных LOM-изделий имеет сходство с древесиной и их достаточно легко обрабатывать.

При помощи специального программного обеспечения происходит расчет необходимого количества поперечных сечений в объекте. Затем идет трансляция CAD-данных, которые содержат информацию об изготовляемом объекте, в системы управления процессом LOM-машин. Идет подача материал из рулона к рабочей поверхности и луч лазера вырезает контур поперечного сечения. Идет разрез областей лишнего материала по мелким элементам, и они в дальнейшем удаляются. К рабочей поверхности идет подача материала, чтобы формировался новый слой, он склеивается с предыдущим, вследствие того, что прокатывается термолик. Затем идет создание и вырез нового поперечного сечения. После того, как завершено изготовление всех слоев, идет удаление лишнего материала. Если необходимо, происходит чистовая обработка объекта (процесс шлифовки, покрытия краской или лаком).

5. Применение 3D-принтеров. Во многих случаях системы, связанные с аддитивными технологиями – громоздкие и дорогостоящие. Небольшие организации не всегда имеют возможности для их приобретения. В этой связи им приходится заказывать объекты в компаниях, которые специализируются на соответствующих технологиях или услугах, связанных с АТ. Есть большие компании, которыми покупаются одна или две аддитивных установки, их затем используют разные службы, это ведет к

тому, что задерживается изготовление объектов. Для большого числа специалистов, связанных с концептуальным проектированием и для которых требуется лишь оценить конструкцию и потом продолжать разработки, весьма важно быстрое, недорогое и простое получение прототипов проектируемых объектов.

В той сфере АТ, где необходимы прототипы, позволяющие осуществлять визуальную оценку, стали производить "принтеры твердотельных объектов" (Three Dimensional Printer – 3D Printer) – в этих системах происходит построение физических объектов за счет движения материалов из одной или нескольких струйных головок, это похоже на то, как процесс идет в обычном принтере.

Подобно традиционным аддитивным машинам, 3D принтеры формируют физические модели, которые основаны на САД-модели, применяя, большей частью, технологии, базирующиеся на струйном моделировании и формировании изделия порошком, которые затвердевают при помощи связывающего вещества, имеющего водную основу.

Таким образом, мы рассмотрели основные принципы формирования 3D-моделей, основные используемые аддитивные технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Au K. M. Visibility-based conformal cooling channel generation for rapid tooling / K. M. Au, K. M. Yu, W. K. Chiu // *Computer-Aided Design*. – 2011. – 43 (4). – P. 356-373.
2. Baechler C. Distributed recycling of waste polymer into RepRap feedstock / C. Baechler, M. De Vuono, J. M. Pearce // *Rapid Prototyping*. – 2013. – 19 (2). – P. 118-25.
3. Белов В. Д. Новые материалы и ускоренная подготовка производства – гарантия успеха на рынке литейной продукции / В. Д. Белов, Н. А. Белов, В. В. Дрокина // *Литейное производство*. – 2009. – № 5. – С. 13-16.
4. Blanthier J. E. Manufacture of contour relief maps / J. E. Blanthier // *US Patent 473901*. – 24.04.1890
5. Gilman P. P. Mechanical alloying / P. P. Gilman, J. S. Benjamin // *Ann. Rev. Materials Sci.* – 1933. – V. 13. – P. 279-330.
6. Housholder R. F. Molding Process / R. F. Housholder // *US Patent 4. 247,508*, 1981
7. Huang S. H. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review / S. H. Huang, P. Liu, A. Mokasdar, L. Hou // *International Journal of Additive Manufacturing Technology*. – 2013. – 67. – P. 1191-1203.
8. Koch C. C. Materials Synthesis by Mechanical Alloying / C. C. Koch // *Annual Reviews of Materials Science*. – 1988. – V. 19. – P. 18.
9. Abbé François Moigno Photo-sculpture, art nouveau imaginé par M. François Willème / Abbé François Moigno // *Revue photographique*. – tome 6. – 1861. – P. 136.
10. Роман О. В. Актуальные проблемы порошковой металлургии / О. В. Роман, В. С. Аруначалама // М.: Металлургия. – 1990. – 232 с.
11. Слюсар В. Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования / В. Слюсар // *Электроника: наука, технологии, бизнес*. – 2003. – № 5. – С. 54-60.

## THE MAIN CHARACTERISTICS OF ADDITIVE TECHNOLOGIES

© 2018 A. P. Preobrazhenskiy, N. M. Tokareva

*Voronezh Institute of high technologies (Voronezh, Russia)  
LLC «3D complex», Voronezh (Voronezh, Russia)*

*The paper discusses the basic principles on the basis of which additive technologies work. Features of stereolithography, laser sintering, application of thermoplastics, lamination, 3D-printers are specified.*

*Key words: additive technologies, 3D modeling, 3D printing.*