

Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант

В.И.Слюсарь, г. Киев

Прогресс в развитии компьютерных методов трехмерного конструирования (3D-CAD) в последнее десятилетие способствовал становлению новых подходов к физической реализации виртуальных моделей трехмерных объектов. Все их многообразие, именуемое в совокупности как технологии быстрого макетирования, трехмерной печати либо фаббер-технологии, базируется на автоматическом преобразовании электронных CAD-проектов в твердотельные физические формы с помощью специальных цифровых фабрикантов - фабберов.

История появления этих устройств насчитывает несколько столетий. Впервые идея автоматизированного изготовления трехмерного твердого тела была реализована еще в XVIII в. для копирования медальонов. Позднее Джеймс Ватт изготовил несколько машин, способных к вырезанию полноразмерного человеческого бюста. В прошлом столетии, более 45 лет тому назад, в роторную технику обработки на токарных станках и шлифовальных устройствах было внедрено управление посредством ЭВМ - появились знаменитые станки с "числовым программным управлением (ЧПУ)", позволившие на основе программ машинного проектирования напрямую материализовывать проекты, синтезированные в компьютерах. Эти технологии по современной классификации получили название "отнимающих", субтрактивных, поскольку фабберы такого рода представляли собой машины для высечения предметов из отдельных блоков или чушек путем дробления, выпиливания, резьбы либо иного удаления материала заготовок.

Более совершенный подход, являющийся полной альтернативой субтрактивному, представляет собой "аддитивное" изготовление, в основе которого лежит фиксация формообразующей жидкости, листового либо мелкодисперсного порошкового материала в последовательных локальных областях и уровнях синтезируемого объекта.

Нынешний уровень развития фабберов характеризуется большим многообразием принципов, положенных в основу их функционирования. Существует более 30 различных процессов аддитивного прототипирования [1], уже реализованных в фабберах, среди которых наиболее успешно проработаны пять методов:

- 1) сплавляющее экструдерное осаждение (Fused Deposition Modelling, FDM);
- 2) баллистическое осаждение частиц (Ballistic Particle Manufacturing, BFM);
- 3) стереолитография (Stereolithography, SL);
- 4) многослойное изготовление объектов

(Laminated Object Manufacturing, LOM);

5) селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering, SLS).

В основе **процесса экструдерного осаждения** лежит использование нитевидного материала диаметром менее 0,18 мм, который локально разогревается в экструдере и осаждается в полужидком состоянии для построчного формирования трехмерного объекта (рис.1). Пластмассовую (из стирол-бутадиен-акрилонитрила или поликарбоната), воскообразную либо эластомерную нить предварительно наматывают на бобину и затем обжимными роликами протягивают через экструдерную головку, которая перемещается в трехкоординатной системе отсчета по командам процессора, подобно трехосному станку с ЧПУ. Управляемое компьютером сопло подает формирующий материал в расплавленном за счет нагрева виде. По истечении из сопла компоновочное вещество осаждается на изготавливаемом объекте, затвердевая под действием температуры окружающей среды.

Существенной особенностью FDM-системы является прецизионная сбалансированность температуры разжиженного материала, лишь незначительно превышающей температуру его затвердевания. Во многих устройствах FDM предусмотрено использование нескольких бобин с различным по цвету либо составу материалом, смену которых можно проводить под управлением компьютера за время, меньшее 1 мин. Система FDM работает безотходно, не требуя фильтрации токсичных газообразных продуктов.

Крупнейшим представителем фирм, продвигающих FDM-технологии на мировой рынок, является американская компания StrataSys Inc. Недавно она усовершенствовала принцип работы своих устройств за счет использования двойного экструдера. При этом одно сопло служит для подачи компоновочного материала, а другое - воска поддержки, который можно легко удалить впоследствии, что позволяет сформировать более сложные составные объекты. Примером может служить изготовленный на FDM-3000 образец ключа из пластмассы, показанный на рис.2. Его экземпляр можно бесплатно получить, заполнив электронную форму на Интернет-сайте компании StrataSys: <http://www.stratasys.com/selectapart.html>.

Баллистическое осаждение частиц (BFM) - это технология, суть которой аналогична процессу печати обычного струйного принтера. Механической основой BFM является подвижная пьезоэлектрическая головка, которая выбрасывает одинаковые крошечные капли расплавленного термопласта, закрепляющиеся на поверхности синтезируемой модели (рис.3). Для сглаживания осажденных капель и формирования гладкой поверхности используется вторая, нагревательная, головка. При необходимости создания нависающих структур в синтезируемом объекте применяют специальный связующий материал, который поддерживает их на промежуточных стадиях формирования. Впоследствии его можно легко удалить растворителем. Термопласт нетоксичен и может быть разного цве-

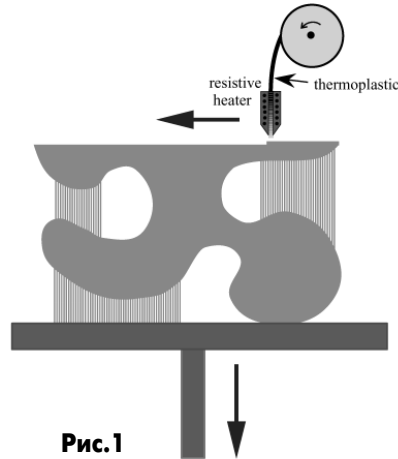


Рис.1



Рис.2

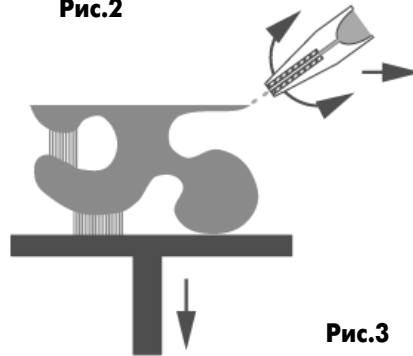


Рис.3

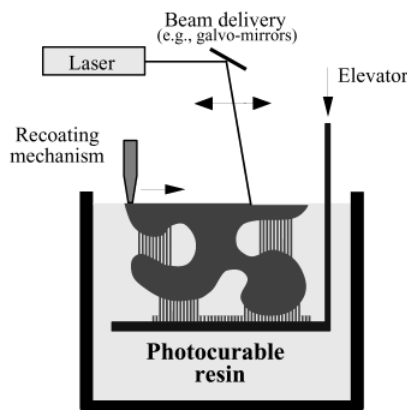


Рис.4

E-mail: ro@sea.com.ua

<http://www.ro-publish.com.ua>

та. Преимуществами BPM-технологии являются ее дешевизна, возможность реализации в настольных системах, не требующих больших расходов электроэнергии, и системах вентиляции. В целом BPM-технология является достаточно новой, поэтому в числе недостатков реализующих ее систем отмечается пока лишь низкая производительность.

Стереолитография (SL) на сегодня считается самой известной технологией трехмерной печати. На мировом рынке фабберов стереолитографический подход широко представлен семействами устройств американской компании 3D Systems [1,2], японских фирм CNET, D-MEC, Mitsui, Teijin Seiki, германских EOS, Fockele & Schwarze. В Российской Федерации была разработана экспериментальная установка [3] и выпускается стереолитографическая система ЛС-250 [4]. Поскольку 3D Systems (США) является общепризнанным лидером в данной области, рассмотрим основные особенности реализации SL-процесса на примере линейки платформ этой компании.

Типичный фаббер от 3D Systems состоит из четырех основных подсистем: компьютера построения сечений, управляющей ЭВМ, камеры синтеза и лазерного блока. Компьютер построения сечений преобразует модель в виде STL-файла в совокупность послойных сечений с заданным шагом, описание которых помещается в SLI-файл. Управляющая ЭВМ по информации, содержащейся в SLI-файле, управляет перемещением механических узлов фаббера (элеватора, зеркальной системы, тральщика и т. д.) в течение всего времени синтеза. Камера синтеза содержит емкость, предварительно заполняемую жидким фотоотверждаемым полимером (рис.4).

Внутри этой емкости по командам управляющей ЭВМ может перемещаться в вертикальном направлении опорная платформа из перфорированной толстолистовой стали (элеватор). В исходном состоянии рабочая платформа элеватора удалена от поверхности жидкого полимера на расстояние, равное толщине первого слоя синтезируемого объекта. С началом синтеза лазерный луч сканирует поверхность полимера в соответствии с текущим сечением будущей модели. Фотополимерная жидкость под действием лазерного луча переходит в твердую фазу с малым поглощением его энергии. Когда лазерный луч полностью отсканирует первый слой, элеватор перемещается на один уровень ниже, и после успокоения жидкости процесс лазерного сканирования повторяется вновь. По завершении синтеза заготовку модели удаляют из резервуара и подвергают окончательной обработке до достижения заданной прочности в специальной камере с мощным ультрафиолетовым облучателем. Поскольку объект синтезируется в жидкой среде, то для поддержания прочности нависающих фрагментов во время формирования последующих уровней необходимо использовать опорные элементы, создаваемые точечной лазерной засветкой фотополимера (рис.4). После завершения синтеза объекта опорные элементы удаляют.

В основе **ТЕХНОЛОГИИ МНОГОСЛОЙНОГО**

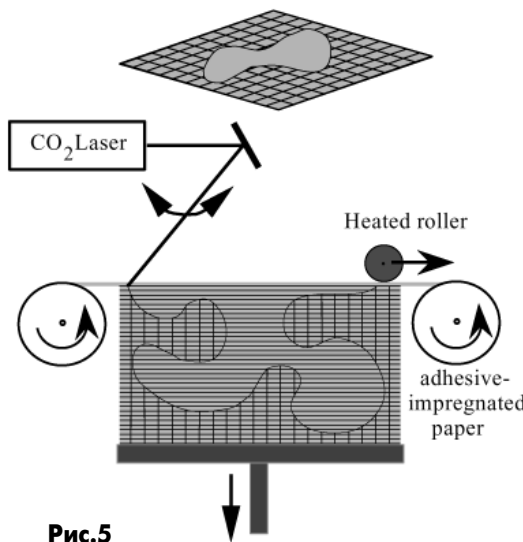


Рис.5

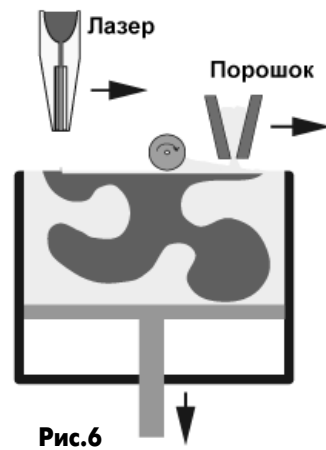


Рис.6

изготовления объектов (LOM) лежит использование сверхтонких листовых материалов, из которых с помощью лазера (рис.5) либо прецизионной фрезы вырезают постоянные сечения трехмерной модели, склеиваемые друг с другом по заданной программе. Точность и разрешающая способность LOM-процесса уже сейчас можно легко довести до 0,05 мм, а в дальнейшем, по мере совершенствования прецизионных механизмов позиционирования и создания более тонких пленочных материалов, до 0,01 мм. Такое разрешение во всех других семействах прототипирующих технологий пока недостижимо из-за сложности компенсации ширины лазерного луча, жидкостной или порошковой струи, минимально устанавливаемой толщины жидкого или порошкового слоя.

LOM-метод позволяет очень быстро изготовить твердотельные крупногабаритные объекты с размерами, недостижимыми пока никакими другими технологиями прототипирования. При этом механические компоненты таких фабберов в большинстве случаев уже отработаны на устройствах другого назначения. В процессе LOM-синтеза можно широко использовать разнообразные нетоксичные материалы (металлы, пластмассы, керамику) более чем 60 цветов. Когда вертикальным разрешением можно пожертвовать в угоду скорости синтеза, допускается использовать более толстые листовые заготовки.

Селективное лазерное спекание (SLS) представляет собой процесс трехмерной печати, основанный на использовании лазерного луча, управляемого компьютером, для выборочного спекания металлического или неметаллического порошка в копию трехмерного объекта. Современный SLS-процесс основан на принципе послойного изготовления (рис.6) [1,5,6]. Мелкодисперсный порошок хранят в специальном контейнере. При этом широко используют такие материалы, как поликарбонатные пластмассы, поливинил хлорид, нейлон, металл, керамику, воск и другие, уменьшающие свою вязкость при высокой температуре. CO₂-лазер обеспечивает послойную агломерацию частиц порошка путем их нагрева. Неспекшийся порошок использу-

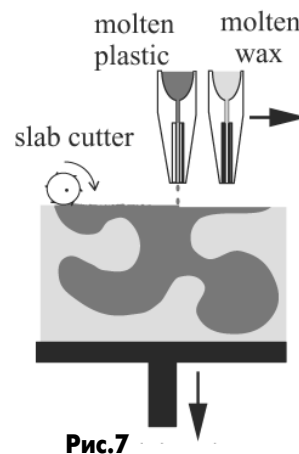


Рис.7

ют повторно для формирования последующих уровней изделия. Все известные SLS-системы содержат в качестве обязательного компонента фильтрующее оборудование, поглощающее сопутствующие процессу агломерации токсичные газообразные продукты.

Для получения порошкообразного сырья в последнее время все чаще применяют технологию сверхмощного электромагнитного импульса длительностью 10⁻⁷-10⁻⁶ с и энергией, равной двум-трем энергиям связи атомов разрушаемого вещества. При прохождении столь сокрушительного воздействия по нитевидной заготовке из требуемого материала та переходит в мелкодисперсную фазу со средней величиной частиц от 10 мкм до 20 нм [7].

Фиксацию порошковых материалов на поверхности синтезируемого объекта можно осуществлять не только с помощью лазера, как это предусмотрено в SLS-концепции, но и путем воздействия на порошок специальных связующих веществ. Именно такой принцип заложен в основу фабберов от Z Corporation (США), оперирующих нетоксичными порошковыми материалами на основе крахмала или гипса и водным связующим веществом [8].

В отличие от многих установок быстрого

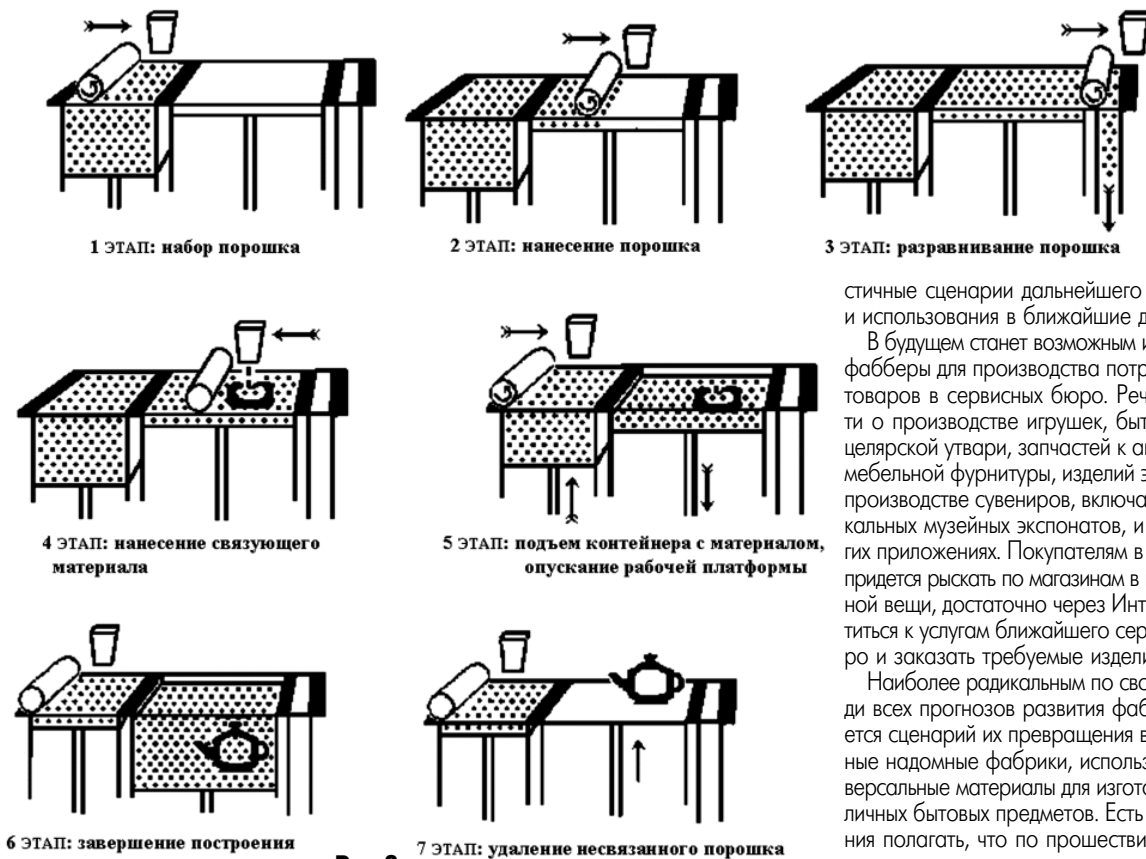


Рис.8

прототипирования, используемый Z Corporation подход позволяет создавать сложные геометрические формы без поддерживающих структур, поскольку все нависающие элементы поддерживаются несвязанным порошком (рис.7). В результате удается формировать детали любой сложности без каких-либо ограничений. Несмотря на относительно небольшой размер фаббера можно синтезировать модели практически любого размера путем разбивки исходного CAD-файла на несколько частей, печатаемых по очереди на принтере, а затем склеиваемых в единый моноблок.

Процесс трехмерной печати в фабберах данного типа крайне прост и, в сущности, не отличается от печати на обычном струйном принтере. Оператор импортирует STL-файл описания модели в управляющую программу фаббера, работающую под Windows, где он "разрезается" на слои толщиной от 0,076 до 0,254 мм. Задавая толщину слоя, оператор делает выбор между разрешением (ступенчатостью) и скоростью печати. Принтер печатает эти слои друг за другом, снизу вверх.

Узел печати разравнивает слой порошка (рис.8), толщина которого соответствует толщине печатаемого слоя. Четыре печатающие 300-струйные головки (всего 1200 форсунок) наносят связующее вещество, склеивая частицы порошка друг с другом в соответствии с формой слоя. Затем распределяется новый слой порошка, и процесс повторяется, пока деталь не будет напечатана полностью. По окончании построения несвязанный порошок удаляют, а деталь очищают от его остатков в специальной установке

ZD4(i) с габаритами 56x61x150 см. Уникальный набор насадок позволяет обрабатывать практически любые труднодоступные участки, в том числе, глубокие полости.

Для повышения прочности и улучшения внешнего вида модель можно пропитывать различными материалами. Стандартный метод пропитки - быстрое погружение в нетоксичный парафин. Напечатанные модели можно пропитывать также эпоксидными смолами, полиуретанами, различными клеявыми составами, шлифовать, красить и сверлить. Недавно Z Corporation выпустила новый материал, позволяющий делать концептуальные модели эластичными, как резина, что сразу же вызвало большой интерес со стороны предприятий, занимающихся выпуском обуви, гибких труб и другой эластичной продукции.

Детали, пропитанные воском или специальной смолой ZR10 (цианоакрилат), могут играть роль мастер-моделей для изготовления литевых форм. Получены положительные результаты при использовании напечатанных деталей в таких процессах, как литье в землю, литье в гипсовые формы, термоформование. Существенно, что как на гипсовые, так и на крахмальные детали можно наносить гальванопокрытие, благодаря чему, к примеру, можно сравнительно просто отработать дизайн сотовых телефонов с внутрикорпусными антеннами.

Таков далеко неполный перечень современных подходов, положенных в основу создания устройств быстрого прототипирования. Свообразный бум в разработке фабберов, наметившийся в последние годы, позволяет многим аналитикам строить достаточно оптими-

стичные сценарии дальнейшего их развития и использования в ближайшие десятилетия.

В будущем станет возможным использовать фабберы для производства потребительских товаров в сервисных бюро. Речь может идти о производстве игрушек, бытовой и канцелярской утвари, запчастей к автомобилям, мебельной фурнитуры, изделий электроники, производстве сувениров, включая копии уникальных музейных экспонатов, и многих других приложениях. Покупателям в будущем не придется рыскать по магазинам в поисках нужной вещи, достаточно через Интернет обратиться к услугам ближайшего сервисного бюро и заказать требуемые изделия.

Наиболее радикальным по своей сути среди всех прогнозов развития фабберов является сценарий их превращения в персональные надомные фабрики, использующие универсальные материалы для изготовления различных бытовых предметов. Есть все основания полагать, что по прошествии трех-четырех десятков лет человечеству все же удастся воплотить в жизнь немислимое, реализовать в условиях дома непосредственное производство необходимых предметов по моделям физических объектов, загруженных из глобальной сети.

Литература

1. http://www.biba.uni-bremen.de/groups/rp/rp_intro.html.
2. Pat. 5779967. Int. Cl. B29C 035/08. Method and apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography.
3. Евсеев А.В., Камаев С. В., Коцюба Е. В. и др. Изготовление физических моделей методом стереолитографии// Автоматизация проектирования. - 1999. - № 2. - <http://www.osp.ru/ap/1999/02/005.htm>.
4. Технологии быстрого прототипирования.- Институт проблем лазерных и информационных технологий Российской Академии наук.- <http://www.laser.ru/rapid/index.htm>.
5. Что такое быстрое прототипирование.- http://www.fian.samara.ru/rp/rp_intro-r.htm.
6. Публикации последних лет по технологии селективного лазерного спекания.- http://www.fian.samara.ru/rp/rp_papers-r.htm.
7. Ivanov V., Kotov Yu., Samatov O. и др. Synthesis and Dynamic Compaction of Ceramic Nanopowders by Techniques Based on Electric Pulsed Power// Nanostructured Materials.- 1995.- Vol. 6, № 4 - 6.- P.287 - 290.
8. Колка И.А. Самый быстрый и недорогой способ построения трехмерных моделей// САПР и графика. - 2001.- № 6.

E-mail: ro@sea.com.ua

<http://www.ro-publish.com.ua>