

## Прямое цифровое производство растворимых сердечников для изготовления изделий из композитов

Журнал «Умное производство», № 2 (28), декабря 2014, Дмитрий Трубашевский, ООО «Современное оборудование»

На страницах журнала мы не раз рассказывали об оборудовании для быстрого прототипирования, выпускаемом компанией Stratasys Inc. Технология FDM, лежащая в основе принципа его работы, позволяет за считанные часы «выращивать» модели-прототипы, благодаря чему уже на стадии проектирования будущее изделие можно «покрутить в руках» и проверить его функциональность. Сегодня на первый план выходит новое направление применения технологии FDM — прямое цифровое производство конечных изделий и технологической оснастки. Об этом пойдет речь в новом цикле статей.

Одним из определяющих факторов, влияющих на выбор той или иной технологии быстрого прототипирования (Rapid Prototyping — RP), является материал, из которого изготавливается прототип. Как показывает практика, для большинства разработчиков новых изделий — конструкторов и технологов, а также испытателей важно, чтобы материал прототипа по своим физическим свойствам был максимально близок к материалу конечного изделия. В ряде случаев для прототипирования требуются материалы с высокими эксплуатационными свойствами, такими как устойчивость к температурным нагрузкам, механическая прочность, сопротивляемость агрессивным средам и др.

Несмотря на то, что сегодня на рынке существует более двадцати различных и наиболее востребованных технологий прототипирования, выбор той, которая бы полностью или максимально соответствовала запросам производства, — непростая задача. Всегда на разных чашах весов находятся как раз те ключевые характеристики, которые, будь они реализованы в рамках одной технологии, полностью определили бы ее предпочтение большинством пользователей. На данный момент пока не разработано ни одной RP-установки, способной работать со всеми материалами, используемыми при производстве изделий, — с пластиками, металлами, резиной, стеклом, углеволокном и др. Тем не менее, благодаря тому, что рынок быстрого прототипирования сегодня довольно четко сегментирован, каждая из RP-технологий находит своего потребителя.

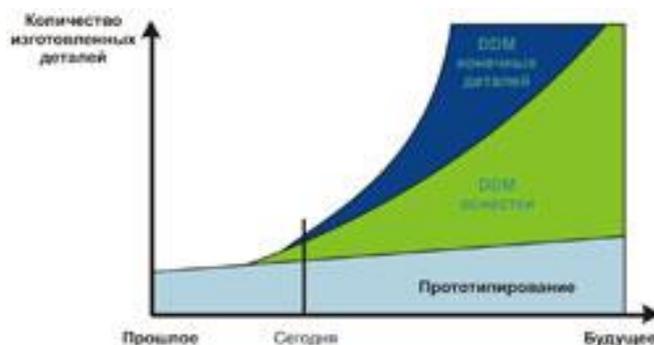
Представительства:

394006, г. Воронеж,  
ул. Станкевича, д. 43  
Т: (473) 277-72-22  
Ф: (473) 277-39-94  
e-mail: info@ddmlab.ru

603057, г. Нижний Новгород,  
ул. Бекетова, д. 3Б, оф. 461  
Т/Ф: (831) 465-73-36  
Т/Ф: (831) 412-05-52  
e-mail: solver-nn@solver.ru

По технологии FDM (Fused Deposition Modeling), на основе которой работают все установки быстрого прототипирования Stratasys, детали строятся (выращиваются) путем послойного синтеза из термопластиков, широко используемых в конечном производстве: ABS, PC, PPSF, ULTEM 9085 и др.

Хотя эта технология позволяет изготавливать качественные, точные, прочные, и что особенно важно, функциональные модели, компания Stratasys Inc. уже давно перестала акцентировать внимание потребителей на том первичном продукте, ради которого предприятия и компании приобретали и приобретают производимое ею оборудование — на изготовлении прототипов. Активно и успешно развиваемая компанией методология DDM (Direct Digital Manufacturing — прямое цифровое производство) наглядно демонстрирует направление усилий лидера отрасли прототипирования в сторону промышленного использования «быстро изготовленных» изделий, — различной технологической оснастки, в том числе для выкладки или намотки композиционных материалов, мастер-моделей для литья, трубной или листовой формовки, а также конечных изделий. Опираясь на исследования спроса на рынке RP-технологий, компания выявила следующие тенденции, отраженные графиком на рисунке 1.



На графике видно, что в перспективе ожидается лишь незначительное увеличение спроса на изготовление моделей-прототипов. Да, потребность в них будет продолжать расти пропорционально увеличению объемов промышленного

производства продукции, но акценты резко сместятся в сторону прямого цифрового производства конечных изделий и технологической оснастки. Сегодня все известные производители RP-оборудования вполне успешно продают свое оборудование, предназначенное для изготовления просто деталей-прототипов. Однако, когда речь заходит о дальнейшем применении этих деталей в качестве оснастки или конечных изделий, немногие из них могут похвастаться реальными достижениями. Можно без преувеличения утверждать — будущее за теми RP-технологиями, которые предлагают для прикладного использования нечто гораздо большее, особенно когда речь идет о промышленном производстве.

Представительства:

394006, г. Воронеж,  
ул. Станкевича, д. 43  
Т: (473) 277-72-22  
Ф: (473) 277-39-94  
e-mail: info@ddmlab.ru

603057, г. Нижний Новгород,  
ул. Бекетова, д. 3Б, оф. 461  
Т/Ф: (831) 465-73-36  
Т/Ф: (831) 412-05-52  
e-mail: solver-nn@solver.ru

Одной из перспективных технологий, отвечающих этому требованию времени, несомненно, является технология FDM. Этому способствует как богатый опыт компании Stratasys в области прототипирования, так и традиционно глубокий и ответственный подход в адаптации ее RP-технологии в направлении DDM. Прежде чем вывести на рынок каждое новое предложение по использованию FDM-деталей в сфере промышленного применения, будь то, например, авиа-, судо- или автомобилестроение, Stratasys проводит скрупулезные научные исследования и тестирования оснастки. И лишь после этого предлагает заказчикам применять технологию, сопроводив ее глубоко проработанными рекомендациями по выбору оптимальной толщины, нагрузки, материала, внутреннего наполнения изготавливаемых деталей и т.п. Партнерами компании Stratasys в научных изысканиях по промышленному использованию FDM-технологий в качестве прямого цифрового производства являются такие предприятия, университеты и ассоциации, как Pryer Technology, Ohio State University, Wichita State University, NIAR, Direct Manufacturing Research Center, National Center of Manufacturing Sciences и многие другие.

Основными факторами и причинами, по которым наиболее целесообразно применять DDM, могут быть:

1. более широкие возможности объединения деталей и сборок в сложные изделия;
2. высокие требования к уменьшению веса изделия;
3. необходимость гибкой перестройки производства деталей под часто изменяющиеся требования технического задания. Работа в составе линий и участков мелкосерийного производства;
4. производство изделий с высоким уровнем сложности, требующим в случае использования стандартных технологий изготовления дорогой оснастки и сложных производственных процессов.

Кроме того, компания Stratasys не могла обойти стороной факт растущей популярности использования кевларов, карбона и других материалов на основе углепластика в производстве деталей для авиационных и космических аппаратов, железнодорожного транспорта, судов и автомобилей, товаров народного потребления. Благодаря сотрудничеству с такими фирмами, как McClean Anderson, KaZaK Composites, Advanced Composite Structures, компания Stratasys Inc. наработала большой положительный опыт, который нашел отражение в ее рекомендациях по использованию технологии FDM в рамках DDM. Одним из наиболее интересных примеров такого использования может служить изготовление из растворяемого Представительства:

394006, г. Воронеж,  
ул. Станкевича, д. 43  
Т: (473) 277-72-22  
Ф: (473) 277-39-94  
e-mail: info@ddmlab.ru

603057, г. Нижний Новгород,  
ул. Бекетова, д. 3Б, оф. 461  
Т/Ф: (831) 465-73-36  
Т/Ф: (831) 412-05-52  
e-mail: solver-nn@solver.ru

материала поддержки сложных удаляемых сердечников каркаса для выкладки препрегов или намотки армирующих материалов с пропиткой связующим веществом непосредственно в процессе.

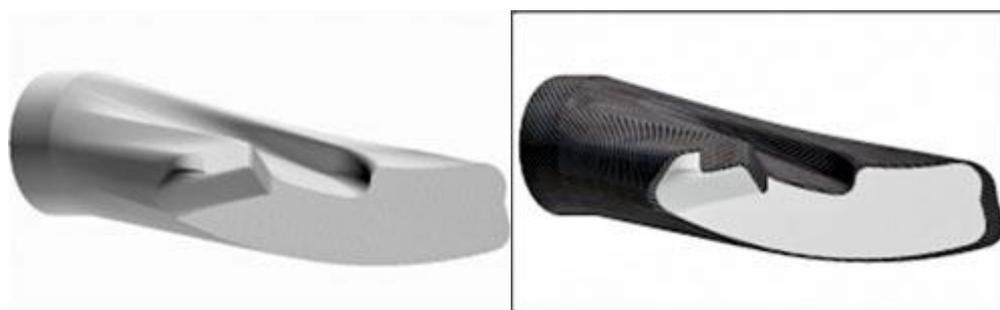
Известно несколько промышленных способов получения изделий из композитов. Наиболее распространенные из них — намотка и формование препрегов с использованием металлических штампов, литьевых термопластов, формование в автоклавах. Каждый из методов имеет свои особенности и применяется в зависимости от формы, размеров и свойств получаемых изделий. Новый альтернативный способ формования препрегов в автоклавах и намотки, предложенный компанией Stratasys, будет интересен тем, кто оценит его высокую скорость, низкую стоимость, простоту и удобство использования. Как и в аналогичных традиционных технологиях, его наибольшая экономическая эффективность достигается при мелкосерийном производстве — с партиями не более 100 единиц продукции.

В отличие от обычного способа, где требуется создание шаблона и формы для выкладки, Stratasys предлагает ограничиться изготовлением сердечника (мастер-модели) из пластика — достаточно прочного и с возможностью растворения.

Продемонстрируем это на примере изготовления воздуховода для тормозной системы.

#### Этап 1

##### *Создание 3D-модели сердечника*



Создание матмодели воздуховода (рис. 2).

#### Представительства:

394006, г. Воронеж,  
ул. Станкевича, д. 43  
Т: (473) 277-72-22  
Ф: (473) 277-39-94  
e-mail: info@ddmlab.ru

603057, г. Нижний Новгород,  
ул. Бекетова, д. 3Б, оф. 461  
Т/Ф: (831) 465-73-36  
Т/Ф: (831) 412-05-52  
e-mail: solver-nn@solver.ru

- Создание матмодели сердечника с закрытой внутренней полостью, внешняя форма которого повторяет формообразующие воздуховода (рис. 3).
- Экспорт матмоделей в формат STL.

### Этап 2 Подготовка файла в специализированном ПО



- Импорт STL-файла в ПО Insight.
- Ориентация модели в камере установки. Располагать модель целесообразно вертикально для лучшей проработки мелких участков (рис. 4). Это несколько увеличит время построения, но заметно улучшит качество готового изделия.
- Генерация слоев (рис. 5) и внутренней структуры сердечника (рис. 6). Так называемая пространственная решетка может быть использована в целях сокращения времени построения (за счет уменьшения расхода моделирующего материала) и времени растворения (при использовании удаляемого материала поддержек). Кроме того, решетка позволит компенсировать влияние температурных расширений при нагреве в автоклаве и в то же время обеспечит необходимую прочность изделия. (Кстати, шаг решетки можно регулировать в достаточно широких пределах).

5

### Этап 3

#### Построение модели сердечника



Изготовление сердечника на установке Fortus компании Stratasys осуществляется по предварительно сгенерированной программе. В зависимости от расположения в камере построения, заданной точности, шага внутренней решетки

394006, г. Воронеж,  
ул. Станкевича, д. 43  
Т: (473) 277-72-22  
Ф: (473) 277-39-94  
e-mail: info@ddmlab.ru

603057, г. Нижний Новгород,  
ул. Бекетова, д. 3Б, оф. 461  
Т/Ф: (831) 465-73-36  
Т/Ф: (831) 412-05-52  
e-mail: solver-nn@solver.ru

процесс «выращивания» сердечника может занять несколько часов, а при больших размерах детали – несколько суток. Готовый сердечник представлен на рисунке 7.

#### Этап 4

##### *Постобработка*



В принципе, изделия, получаемые на установках Fortus, можно сразу использовать по прямому назначению. Однако, в силу особенностей технологического процесса, от оператора может потребоваться удалить поддерживающие элементы конструкции модели и, при необходимости, выполнить шлифовку поверхности, например, наждачной бумагой (рис. 8). Если модель составная,

то помимо всего прочего ее нужно будет склеить воедино цианакрилатным клеем, точно соединив по стыкам всего на несколько секунд.

#### Этап 5

##### *Изготовление конечной детали из композитного материала*



- Покрытие сердечника анти адгезивным составом на водной основе.
- Выкладка (обволакивание) формообразующих поверхностей модели композитным материалом (рис. 9).
- Удаление (обрезка) выступающих частей композитного покрытия.
- Отверждение термостатированием при температуре 93°C и/или давлении 345 кПа (рис. 10).

#### Этап 6

##### Представительства:

394006, г. Воронеж,  
ул. Станкевича, д. 43  
Т: (473) 277-72-22  
Ф: (473) 277-39-94  
e-mail: info@ddmlab.ru

603057, г. Нижний Новгород,  
ул. Бекетова, д. 3Б, оф. 461  
Т/Ф: (831) 465-73-36  
Т/Ф: (831) 412-05-52  
e-mail: solver-nn@solver.ru

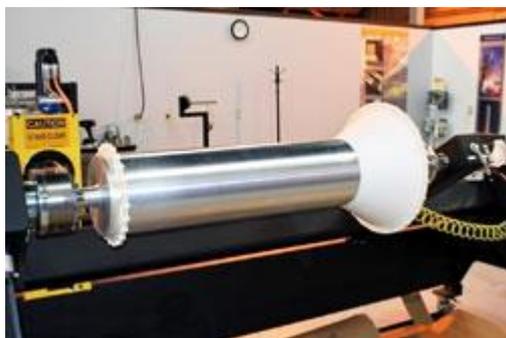
### Удаление сердечника



Для удаления сердечника из растворимого материала (рис. 12) потребуется специальная ванна (рис. 11), производимая компанией Stratasys. Обычно в этом случае процедура растворения не превышает 24-х часов. Полученное изделие изображено на рисунке 13.

В качестве второго примера можно привести применение растворимых сердечников при использовании автоматизированного намоточного оборудования. Наибольшую сложность в этом процессе всегда имели изделия, представляющие собой детали не просто трубчатой формы, а имеющие несимметричные изгибы. Если составные части сердечника являются простыми телами вращения и их можно изготовить на токарном станке, то со сложными формообразующими все гораздо сложнее. Методология DDM компании Stratasys Inc., опираясь на более чем 8-летний опыт, позволяет успешно преодолевать эти сложности, используя модели из промышленных термопластиков.

7



Для начала, разумеется, необходимо спроектировать модель формообразующей основы оснастки. В целом процесс подготовки данных для импорта

Представительства:

394006, г. Воронеж,  
ул. Станкевича, д. 43  
Т: (473) 277-72-22  
Ф: (473) 277-39-94  
e-mail: info@ddmlab.ru

603057, г. Нижний Новгород,  
ул. Бекетова, д. 3Б, оф. 461  
Т/Ф: (831) 465-73-36  
Т/Ф: (831) 412-05-52  
e-mail: solver-nn@solver.ru

и обработки данных в ПО Insight, затем построение модели из растворимого материала – такой же, как и в первом примере. Далее полученная мастер-модель устанавливается в поворотное устройство Kazak, на котором и осуществляется автоматизированный процесс намотки композитного материала (рис. 14). Стоит отметить, что модель в этом примере, изготовленная по технологии FDM, имеет длину 300 и диаметр 600 мм, а в совокупности с алюминиевым валом общая длина оснастки составляет около 2-х метров (рис.15). Затем изделие помещают в автоклав и при температуре, не превышающей 93°C, осуществляют отверждение композитной формы. После извлечения алюминиевого стержня остается только все поместить в ванну со специальным раствором и удалить пластиковый растворимый стержень. В результате получается готовое изделие.

Конечно же, осведомленный читатель скажет, что метод использования растворимых сердечников не нов. Для этих целей уже используются, например, эвтектические (легкоплавкие) соли, растворимая керамика или гибкие уретаны. Но, например, сердечники из эвтектических солей удаляются струей горячей воды под высоким давлением, а это может повлечь за собой достаточно большой процент брака, ввиду агрессивного влияния среды на композит. В отличие от солей, растворимая керамика удаляется в более щадящих условиях – в холодной воде. Однако стоит отметить ощутимую хрупкость моделей из этого материала. Поэтому данный метод не рекомендуется применять при намотке или воздействии высокого давления на сердечник. Третий метод позволяет использовать гибкие разборные сердечники из уретанов. Его преимуществом является повторное использование моделей. Но геометрия получаемого композитного изделия должна быть достаточно простой для беспрепятственного извлечения сердечника из полости модели.

Использование удаляемых сердечников, получаемых по технологии FDM компании Stratasys, раскрывает новые возможности для быстрого и менее затратного получения мелких партий качественных изделий из композитных материалов. И все это возможно без применения дополнительной оснастки, в мягких, неагрессивных условиях, а также без привлечения высококвалифицированного персонала.

Представительства:

394006, г. Воронеж,  
ул. Станкевича, д. 43  
Т: (473) 277-72-22  
Ф: (473) 277-39-94  
e-mail: info@ddmlab.ru

603057, г. Нижний Новгород,  
ул. Бекетова, д. 3Б, оф. 461  
Т/Ф: (831) 465-73-36  
Т/Ф: (831) 412-05-52  
e-mail: solver-nn@solver.ru