

Заняться технологиями вплотную автора статьи, бывшего конструктора, а потом – научного работника, заставила нужда. В своем письме в редакцию он характеризует ситуацию так: “Имея по долгу службы постоянное общение с конструкторами и технологами предприятий автомобильной промышленности, я не могу не отметить с чувством глубокого сожаления общую технологическую отсталость, обусловленную не только пресловутым отсутствием финансирования, но и низким уровнем профессиональной подготовки, косностью и недалечностью специалистов, ответственных за технологическое развитие. Даже освоение современных CAD-систем на производстве наталкивается на глухое непонимание руководства, зачастую связанное с незнанием последующего – технологического, шага. “А зачем нам нужна твердотельная модель? Что мы с ней будем делать? В отчет картинки вставлять?” – типичная позиция многих руководителей. Когда им объясняешь, что именно по этой модели вы сможете быстро сделать опытный образец, и современные CAM-технологии просто немислимы без этой “картинки”, они снисходительно улыбаются: “Ничего, мы на кульмане быстрее нарисуем. Ну а CAD/CAM, – так это же станки новые нужно покупать, людей учить, вы представляете, какие это затраты!”. Вот и получается у нас такая ситуация: продвинутый конструктор–самоучка навалял модель в 3D-пакете (происхождение которого не вызывает никаких сомнений), полубоулся на нее, а потом распечатал для технолога обычные 2D-чертежи, чтобы делать деталь “как положено”, без всяких “выкрутасов”.

Одним из результатов стремления как-то улучшить ситуацию и стала данная статья.

Технологии быстрого прототипирования – послойный синтез физической копии на основе 3D-CAD-модели

Михаил Зленко, к.т.н. (Центр быстрого прототипирования НАМИ, Москва) zlenko@aha.ru



Преамбула

Технологии быстрого прототипирования (*Rapid Prototyping – RP*) стремительно вошли в современную промышленность, медицину, дизайн, архитектуру, образование – практически во все сферы деятельности человека, вооруженного компьютером, и стали неотъемлемой частью процесса материального производства – будь то серийная продукция или уникальные (единичные) изделия. Современный конструктор не мыслит себе создание новой продукции вне цепочки CAD/CAM/CAE, внутри которой важнейшее место занимает RP-технология. Причина здесь одна: сокращение сроков создания нового продукта в несколько раз, часто – в десятки раз.

Российский производитель и, особенно, потребитель, не избалованный разнообразием моделей отечественных товаров, возможно, до сих пор в основной своей массе

не очень понимает, зачем нужно **так быстро** делать новые телефоны или автомобили. Но западный производитель определенно знает, что чем раньше он выпустит на рынок новую продукцию, тем большую прибыль он получит. Более того, если он опоздает на рынок на несколько месяцев, то он может вообще ничего не получить, – всё займут конкуренты. Поэтому для западного производителя лозунг “время – деньги!” давно уже не эффектная речевка, а основной принцип выживания.

Не секрет, что основным сдерживающим фактором для выпуска новой, особенно высокотехнологичной, сложной продукции, как, например, автомобиль, является НИОКР (точнее – продолжительность НИОКР). Нужно не только спроектировать продукт, но и провести весь комплекс исследовательских, опытно-конструкторских, экспериментальных работ, технологическую подготовку производства, наконец, сертификацию, маркетинг, создать сервисную структуру и т.д. RP-технология решает задачу сокращения сроков НИОКР, и особенно ОКР, настолько значительно (зачастую в десятки раз!), что несмотря на высокие затраты, связанные с приобретением специального оборудования, все крупные западные фирмы имеют у себя на вооружении не только отдельные машины по быстрому прототипированию, но и целые комплексы – RP-центры. Они оснащаются различными машинами разных фирм, специализирующихся на отдельных направлениях данных технологий.

В настоящее время RP-технология – это очень емкое понятие, включающее в себя всё многообразие средств получения прототипа изделия по 3D-CAD-модели. Здесь мы будем говорить о RP-технологиях в первоначальном смысле этого понятия, когда термин *Rapid Prototyping* вошел в обиход с появлением лазерных

стереолитографических машин, “выращивающих” модели (прототипы) из фотополимерной смолы. За 15 лет, прошедших после выпуска на рынок первых прототипирующих машин, это направление получило значительное развитие. Появились машины, работающие с другими материалами и на другом принципе, но общим для всех современных машин остается “послойность”, т.е. послойное построение физической модели по 3D-модели. Поэтому данное направление *RP*-технологий объединяют общим понятием **послойный синтез** имея в виду не только лазерную стереолитографию, но и лазерное спекание порошковых материалов, и так называемые “трехмерные принтеры”, и послойное создание моделей из ламинированной бумаги (*LOM*-технология) и др. В одной статье невозможно рассказать обо всех нюансах *RP*-технологий и всех типах машин. Но любопытствующий читатель всегда сможет найти специальную информацию о конкретной машине и особенностях того или иного процесса, набрав в любой поисковой системе ключевые слова “Быстрое прототипирование” или *Rapid Prototyping*, а также названия основных фирм-производителей *RP*-оборудования: *3D Systems, EOS, Stratasys, Z-Corporation, Helisys* и др.

Технология быстрого прототипирования

Технология быстрого прототипирования подразумевает **быстрое** получение прототипа, не ввязываясь в изготовление традиционной технологической оснастки (это главный тормоз!), **быстро** – в течение нескольких дней или недель (а не месяцев и лет!) – получение опытного образца и возможность его испытаний и доводки, не дожидаясь, когда модельщик “срубит” модель, технолог создаст пресс-форму, а литейщик сделает отливку (часто с непредсказуемым результатом). Ключевое слово здесь – “быстро”. Быстро сделать опытный образец, быстро обнаружить неизбежные ошибки, быстро внести изменения (или бросить неудачную конструкцию), быстро принять решение – правильно сделано или нет, затем быстро отдать доведенное изделие в производство, и дальше, с помощью тех же *RP*-технологий, быстро создать технологическую оснастку на уже отработанное, проверенное и испытанное изделие.

Те, кто знаком с опытным производством, прекрасно знают, что традиционная технологическая оснастка (например, модельная для литья), созданная для изготовления первого опытного образца, практически никогда не используется вторично. Изменения, вносимые конструкторами и технологами в процессе испытаний и доводки этого образца настолько значительны, что дешевле изготовить новую оснастку, чем править старую. Таким образом, оснастка для первого образца практически всегда **теряемая**. Тогда зачем её делать? (Раньше были вынуждены, а теперь, действительно, никто и не делает).

В процессе работы над новым проектом, особенно на стадии комплексного проектирования, трудно выявить различные ошибки и недостатки, используя только экран дисплея и оперируя даже с твердотельными 3D-

моделями. Имея реальную физическую модель будущего изделия, разработчик может обнаружить и устранить конструкторские ошибки, выполнить контрольную сборку с моделями деталей и скорректировать пути продолжения процесса проектирования. Любой технолог, работающий в опытном производстве, мог бы рассказать об обидных случаях, когда специальная и весьма дорогостоящая технологическая оснастка (пресс-формы, штампы и др.) оказывалась негодной из-за вовремя не выявленной конструкторской ошибки. Получение моделей деталей методами *RP*-технологий минимизируют риск ошибочных конструкторских и технологических решений.

В настоящее время на рынке существуют различные *RP*-системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако, все современные системы быстрого прототипирования работают по схожему послойному принципу построения физической модели, который в упрощенном виде заключается в следующем:

- средствами *CAD* создается графическая 3D-модель детали;
- готовая модель записывается в *STL*-файл (все современные *CAD*-системы твердотельного моделирования могут экспортировать файлы в таком формате);
- *STL*-файл передается в установку быстрого прототипирования;
- трехмерная модель разбивается на горизонтальные сечения (слои) с помощью специальной программы, поставляемой с оборудованием;
- производится последовательное построение сечений детали слой за слоем снизу вверх, до тех пор, пока не будет получен физический прототип модели. Каждый последующий слой “приваривается” или “приклеивается” к предыдущему, – и так до полного построения модели.

Сами технологии создания прототипов бывают различными. Что касается литейного производства, то в западной промышленности широкое распространение получили технологии быстрого прототипирования на основе лазерной стереолитографии (фотополимеризации), лазерного спекания и др. Применение этих технологий позволяет непосредственно получать модели (макеты, копии) требуемой детали, минуя стадию традиционного изготовления деревянной оснастки. Модели выращиваются из синтетических материалов и затем используются для получения литейных форм (так называемые “уничтожаемые” или “теряемые” модели – например, для литья по выплавляемым или выжигаемым моделям), либо в качестве литейной оснастки для формовки – например, песчаных форм. С помощью лазерной технологии могут быть получены также и песчаные стержни любой сложности (машины фирм *3D Systems, EOS, Generis*). Выращивание моделей открывает неограниченные возможности в технологии литья металлов, позволяет реализовать конструкции, ранее недоступные вследствие технологических ограничений.

Таким образом последовательность действий при использовании *RP*-технологий для изготовления

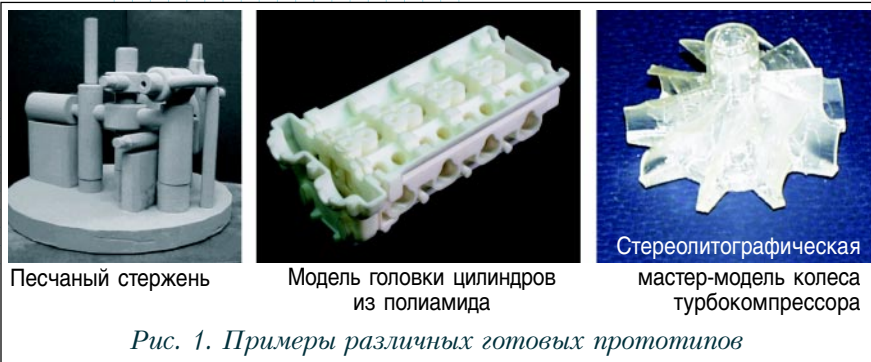


Рис. 1. Примеры различных готовых прототипов

Теперь рассмотрим немного подробнее пять технологий (процессов) быстрого прототипирования и некоторые наиболее популярные установки компании **3D Systems**.

Технологии и установки для послойного синтеза

1 Установка *ThermoJet (Multi-Jet Modelig)* или *MJM-процесс*

Построение модели производится с помощью специальной струйной

литейных деталей может быть следующая (рис. 2). Данная модель была изготовлена за 10 часов, а отливка, учитывая время формовки и сушки песчаной формы, – за 30 часов. Другой пример – блок цилиндров двигателя (рис. 3). Это наиболее типичные примеры использования *RP*-технологий в машиностроении, там, где трудоемкость изготовления опытных образцов особенно велика и эффективность *RP*-технологий с точки зрения экономии времени особенно заметна.

головки, подающей расплавленный материал (технический воск на основе парафина со специальными ингредиентами) на рабочую платформу, где выращивается модель (рис. 5). На этой установке могут быть получены модели размером 190×210×250 (высота) мм. Однако сложные и более габаритные модели могут быть получены из нескольких частей путем склейки. Шаг построения – 0.1 мм. Точность построения модели зависит от квалификации оператора, но в среднем

можно сказать, что отклонение размеров от номинала лежит в пределах 1÷2%. Скорость построения зависит от плотности загрузки рабочей платформы (можно одновременно выращивать несколько моделей), но ориентировочно составляет 0.5÷1.0 см/час (по высоте).

Установка (рис. 6) относится к классу недорогих моделлеров и стоит порядка **35 тыс. долл.**, однако расходный материал



Рис. 2. Процесс быстрого прототипирования

В последнее время все большую популярность и у отечественных разработчиков приобретает макетирование и моделирование изделий бытовой техники, электронных устройств и т.д., то есть будущих пластмассовых изделий. В этом случае разработчик может получить не только собственно модель или макет, но и вполне функциональный прототип (рис. 4), который он может собрать с реальными деталями, включить в розетку и проверить не только его собираемость, технологичность, дизайн, но и провести предварительные натурные испытания.

относительно дорог – около 240 долл. за кг. Машина очень эффективна для быстрого изготовления металлических единичных или уникальных изделий по выплавляемым моделям, а также для изготовления технологической оснастки.

2 Установки *Viper si 2, SLA 3500/5000/7000 (Stereo Lithography Apparatus, SLA-процесс)*

Основой в данном процессе является ультрафиолетовый лазер (твердотельный в *Viper si 2* и CO_2 – в других машинах), который последовательно переводит поперечные сечения модели на поверхность емкости со светочувствительной смолой.

Жидкий пластик затвердевает только в том месте, где прошел лазерный луч. Затем новый жидкий слой наносится на затвердевший слой, и новый контур “обрабатывается” лазером. Процесс повторяется до завершения построения модели, т.е. пластиковой копии детали.

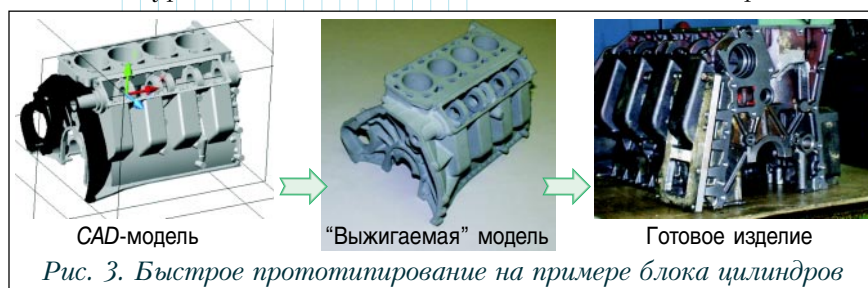


Рис. 3. Быстрое прототипирование на примере блока цилиндров

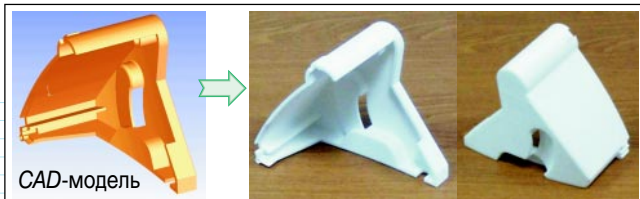


Рис. 4.
Растет популярность функциональных прототипов

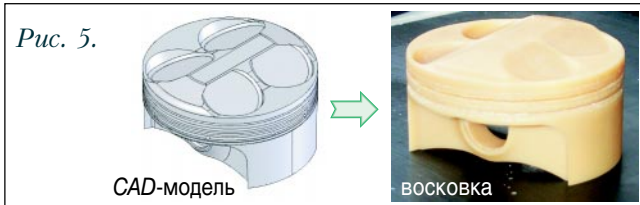


Рис. 5.



Рис. 6. Установка ThermoJet

На сегодня стереолитография – наиболее распространенная технология. Она охватывает практически все отрасли материального производства от медицины до тяжелого машиностроения. *SLA*-технология позволяет очень быстро и очень точно построить модель изделия практически любых разумных размеров (рис. 7). Качество поверхностей весьма высокое и при необходимости может быть дополнительно улучшено, поскольку “зафиксированный” фотополимер хорошо обрабатывается, и поверхность модели может быть доведена до зеркальной.

Стоимость такого оборудования высока. В зависимости от типа машины цена колеблется: от 200 до 700 тыс. долл. Стоимость расходных материалов относительно невысокая: 150 ÷ 190 долл./кг. Время построения модели зависит от загрузки рабочей платформы, а также от шага построения. Установка *Viper si 2* (размеры рабочей зоны машины 250×250×250 мм) имеет наименьший шаг



Рис. 7. Стереолитография

построения – 0.05 мм. С её помощью можно получать высокоточные мастер-модели для последующего изготовления *восковок*, модели и макеты для медицинских целей, для электронной или ювелирной промышленности, для точного стального литья и т. д. К примеру, построение модели колеса турбокомпрессора (рис. 1) с шагом 0.05 мм заняло 4 часа 35 мин., а отклонение размера от номинала (ø55 мм) составило 0.06 мм.

3 Установка послойного лазерного спекания порошковых материалов *Vanguard (Selective Laser Sintering, SLS-процесс)*

Согласно этому процессу модели создаются из порошковых материалов за счет эффекта спекания при помощи энергии лазерного луча. В данном случае, в отличие от *SLA*-процесса, лазерный луч является не источником света, а источником тепла. Попадая на тонкий слой порошка, лазерный луч спекает его частицы и формирует твердую массу, в соответствие с геометрией детали. В качестве материалов используются полиамид, полистирол, песок и некоторые металлы.

Рис. 8.
SLS-установка Vanguard



Изображенная на рис. 8 установка *Vanguard* является универсальной с точки зрения применяемых материалов. В отличие от аналогов (например, машины фирмы *EOS*) она работает со всеми известными порошковыми материалами. Огромным преимуществом *SLS*-процесса является отсутствие так называемых *поддержек* при построении модели. В *SLA*- и *MJM*- процессах при построении нависающих элементов детали используются специальные поддержки, предохраняющие свежепостроенные тонкие слои модели от обрушения. При использовании *SLS*-процесса в таких поддержках нет необходимости, поскольку построение ведется в однородной массе. После построения модели достаточно лишь высыпать остаточный порошок из внутренних полостей, – и модель готова к дальнейшей работе.

Модели из полистирола предназначены для получения отливок методом выжигаемых (газифицируемых) моделей. После построения модель весьма хрупка

и требует бережного обращения (рис. 9). Для придания большей прочности её пропитывают расплавленным парафином (*инфильтрация*), после чего модель готова для заливки формочной смесью и последующих технологических операций.

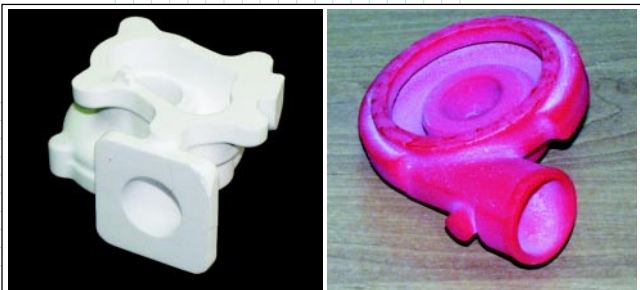


Рис. 9. Модели корпуса турбины после построения и корпуса компрессора после инфильтрации, полистирол

Другим рабочим материалом для построения моделей является полиамид. Он применяется для создания функциональных моделей, т.е. моделей способных выполнять свои функции в качестве деталей машины или устройства (например, детали облицовки салона автомобиля или декоративные элементы кузова. В некоторых случаях этот материал пригоден для исследовательских работ по определению конфигурации какой-нибудь ненагруженной детали, например, впускного трубопровода автомобильного двигателя (рис. 10). Этот материал удобен для изготовления моделей с целью проверки собираемости сложного узла или для проведения предварительных испытаний.

Большие технологические возможности открывает использование песка в качестве рабочего материала. Песчаные стержни весьма сложной конфигурации могут быть изготовлены непосредственно в машине без применения традиционной стержневой оснастки. Размеры рабочей зоны машины 320×360×440 (высота) мм.

Очень перспективным направлением в технологии лазерного спекания является работа с металлическим (стальным) порошком. Здесь мы получаем возможность сразу вырастить нужную деталь из металла, минуя стадии построения модели, литья и даже мехобработки. Это направление пользуется популярностью у изготовителей пресс-форм для пластмассовых изделий. По CAD-модели выращивается металлопорошковая модель, которая представляет собой некую решетку или каркас. Такая модель очень хрупка и требует бережного обращения. Затем к ней подставляют так называемые *питатели*, на которых располагают кусочки бронзы. Все это помещают в специальную печь, где при температуре 1100°C происходит процесс инфильтрации (“про-

питка” модели бронзой, заполнение “решетки” металлом за счет сил молекулярного взаимодействия. Можно сказать, что “решетка” пропитывается бронзой, как ватный тампон спиртом.) В итоге получается некий стале-бронзовый композит (материал, которому еще не придумали точного названия) по механическим свойствам близкий к обычной конструкционной стали (рис. 11). Конечно, это не полноценная сталь, которую можно подвергать термообработке и управлять её свойствами. Однако, во многих случаях полученные таким образом изделия могут быть вполне функциональны – например, как детали пресс-форм.



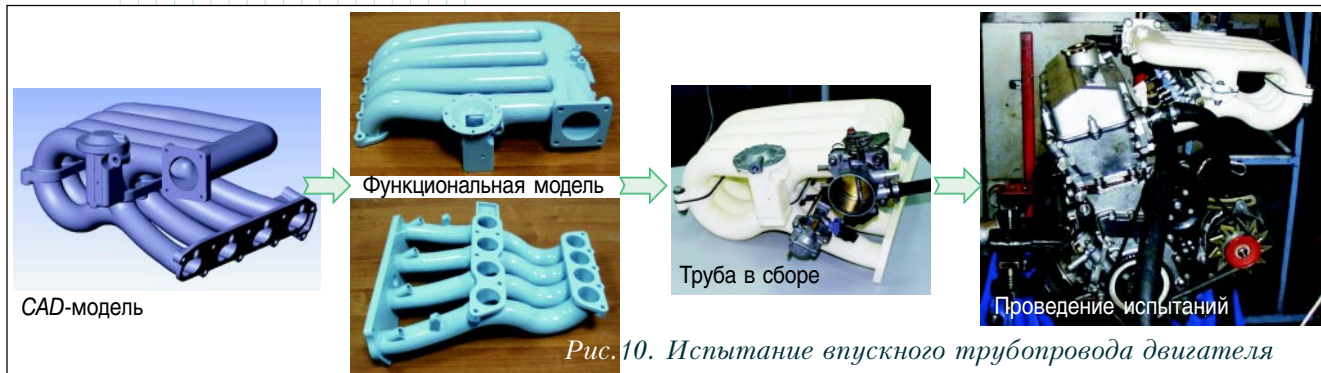
Металлическая модель, выращенная из стального порошка

Модель с питателями для инфильтрации бронзы

Рис. 11. Почти стальные прототипы

Развитие *RP*-технологий стимулировало значительный прогресс в литейном деле. Хотя сами по себе технологии литья по выплавляемым или выжигаемым моделям по сути остались такими же, как и сотни лет назад, современное оборудование для литья приобрело черты офисного оборудования. Фактически это оборудование уже настолько “приблизилось” к разработчику, что теперь не редкость видеть конструктора, работающего с литейной машиной как с плоттером, на котором он распечатывает чертежи. Зачастую эти установки (так же, как и *RP*-оборудование) даже устанавливаются рядом с помещением, где работают конструкторы. Безусловно, речь идет об оборудовании, предназначенном исключительно для изготовления опытных образцов или малых серий.

Большой популярностью пользуются литейные машины для вакуумного литья. Они органично вписываются в *RP*-технологии, часто являясь конечным звеном в технологической цепи от чертежа (файла) до опытного изделия. Стоимость полного комплекта оборудования (собственно литье, пред- и пост-обработка, силиконовые формы) лежит в пределах **230×500 тыс.долл.**



CAD-модель

Функциональная модель

Труба в сборе

Проведение испытаний

Рис. 10. Испытание впускного трубопровода двигателя

4 Технология точного вакуумного литья по выплавляемым (выжигаемым) моделям.

В качестве модели для получения отливки используется либо модель непосредственно выращенная на установке лазерного синтеза (материалы – фотополимеры или полистирол, т.е. не “выплавляемые”, а “выжигаемые”), либо модель-восковка, полученная на трехмерном принтере (*ThermoJet*) или с помощью оснастки, изготовленной методом послойного синтеза или традиционным методом.

Модель помещается в специальную опоку с перфорированными стенками и заливается формовочной смесью (“жидкой керамикой”, гипсокерамикой и т.п.), приготовленной в смесителе непосредственно перед заливкой модели. Собственно процесс заливки осуществляется в вакуумной камере, совмещенной со смесителем. Вакуумирование при заливке модели является важным звеном в технологической цепи, – это способствует удалению пузырьков воздуха из смеси, обеспечивает прочность формы и высокое качество поверхностей

отливки. Затем опоку извлекают из вакуумной камеры и после некоторой экспозиции помещают в печь для удаления (выплавления или выжигания) модели, а после этого – в печь для термофиксации формы (рис. 12). В качестве материала для получения отливок обычно применяется “первичный” металл в виде кусков по 200 ÷ 300 грамм. Хотя противопоказаний для применения металла “вторичной” переработки нет, однако фирмы, использующие данные технологии, считают, что риск получения некачественной отливки из-за низкого качества собственно металла в данном случае не оправдан ввиду относительно высокой стоимости как самой модели, так и всего технологического процесса.

Следующим этапом является заливка металла в форму и получение отливки в литейной вакуумной машине (рис. 13). Опока устанавливается в специальный контейнер, подводится к тигельной камере, расположенной в верхней части машины, и фиксируется с помощью замков. Тигель выполнен из графита или керамики. Нагрев тигля осуществляется индукционным методом. Размеры тигля варьируются в зависимости от назначения машины от 0.2 литра (ювелирная промышленность) до 30 литров (машиностроение). По специальному заказу изготавливаются машины и большего объема тигля и вакуумной камеры.

В вакуумной камере литейной машины создается разрежение около 700 мм рт. ст. и открывается клапан подачи металла. При этом в тигельной камере в зависимости от конфигурации отливки и вида металла может сохраняться атмосферное давление или поддерживаться избыточное давление до 2 бар. Дозирующее устройство обеспечивает подачу металла для заливке в точном соответствии с объемом отливаемой детали и литниковой системы.

Затем опоку извлекают из машины и охлаждают на воздухе (рис. 14). После этого её помещают в очистительную машину, представляющую собой герметизированную камеру, в которой с помощью струи воды под давлением разрушают форму и вымывают формовочную смесь из внутренних полостей отливки.

Таким образом, отличительной чертой современной технологии быстрого литья **Rapid Casting** является не собственно



литье металла как таковое (вакуумное литье и литье под давлением широко использовалось и ранее), а способ получения модели и литейной формы. Именно поэтому все фирмы, выпускающие литейные машины, предлагают в качестве дополнительной опции и специальное оборудование для производства моделей, форм и модельной оснастки.

Технология *Rapid Casting* позволяет произвести **единичный экземпляр** прототипа, создать **уникальную** продукцию в рекордно сжатые сроки (в течение дней, а не месяцев – как по традиционной технологии). Это чрезвычайно важно при разработке опытных изделий, особенно сложной конфигурации. Но, как уже говорилось, зачастую при создании новой продукции конечное изделие сильно отличается от прототипа или первой версии. Литейная оснастка, изготовленная для производства первого прототипа практически не используется для получения последующих версий изделия. В этом случае технология *Rapid Prototyping* оказывается не только выгодной с точки зрения сокращения сроков изготовления детали, но и рентабельной. Если же стоит задача производства опытной серии деталей, приведенная выше технология оказывается неприемлемо дорогостоящей.

5 Силиконовые формы

В тех случаях, когда стоит задача тиражирования детали (малая серия), широко используется получение **восковок** с помощью силиконовых форм (рис. 15). Этот метод также предполагает “участие” стереолитографии или послойного синтеза в любом другом виде. Суть данного метода состоит в том, что стереолитографическая модель используется для получения оснастки из силикона, с помощью которой в дальнейшем идет изготовление восковок.

Стереолитографическую модель (по сути – копию детали) заливают жидким силиконом. После затвердения силикона полученную форму разнимают и извлекают стереолитографическую модель (в данном случае она оказывается “не теряемой”), а форму после финишной обработки используют для тиражирования восковок.

В зависимости от сложности детали силиконовая технология позволяет получать от нескольких сот до нескольких тысяч изделий с гарантированным качеством. Эта технология получила широкое распространение и в отраслях, не связанных с металлообработкой непосредственно, – например, при изготовлении мелких партий изделий из пластмассы, которая заливается непосредственно в силиконовую форму.

Процесс изготовления силиконовой формы в основных чертах следующий. Силикон представляет собой двухкомпонентную смесь полимеров. Смесь из жидких компонентов приготавливается непосредственно перед получением силиконовой формы в специальном смесителе и затем подается в *опоку* (обычно – прямоугольной формы), в которой находится стереолитографическая (или иная) модель детали.

В камере, где находится опока, создается вакуум, что обеспечивает удаление пузырьков воздуха из смеси.

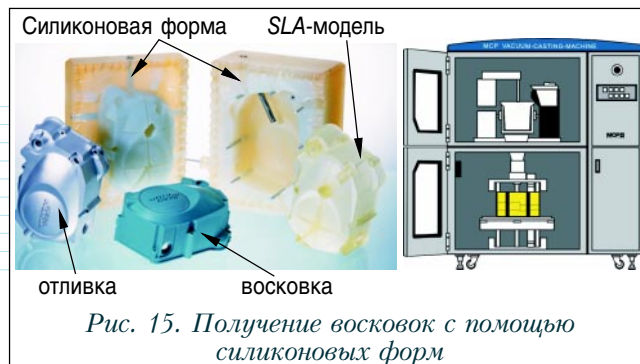


Рис. 15. Получение восковок с помощью силиконовых форм

С помощью специального программного обеспечения и технологических приемов при заливке силикона формируется разъем формы. Затем форма полимеризуется и извлекается из вакуумной камеры. После очистки она готова к применению (рис. 16). В силиконовых формах могут быть получены восковки для последующего изготовления отливок по выплавляемым моделям, либо прототипы изделий из пластмассы (например, нейлона).

Оборудование для такой технологии – не дешевое. Комплекс, подобный тому, что описан здесь, стоит **более 500 000 долл.** Поэтому такое оборудование имеют либо крупные предприятия (в основном для собственных нужд), либо фирмы, специализирующиеся на *RP*-услугах.

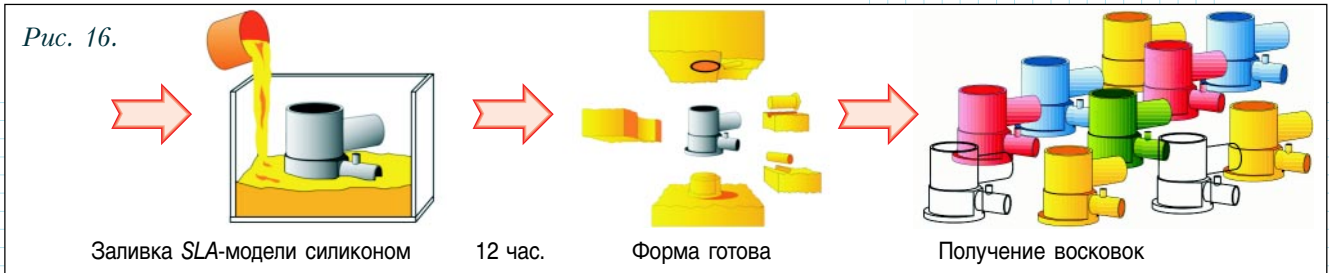
Цена вопроса

В заключение есть смысл затронуть закономерный вопрос: сколько это стоит? О ценах на *RP*-машины уже было сказано выше (конечно, это ориентировочные цены и многое зависит от комплектности и ряда других обстоятельств). Для большинства потребителей *RP*-продукции приобретение такого оборудования не под силу, – да это и нерационально. Мелкие и средние фирмы часто покупают относительно простые и недорогие машины-моделлеры. Высокоточное и высокопроизводительное оборудование покупают либо крупные фирмы (в основном для покрытия своих внутренних нужд), либо, как сказано выше, *RP*-центры (*service bureau*), специализирующиеся на оказании услуг такого рода. В таких центрах становится возможным максимально загрузить оборудование и достаточно быстро окупить довольно значительные затраты, связанные с приобретением *RP*-машин.

Цена на *RP*-продукт определяется различными способами.

1 От объема модели (российский способ) – например, 2 евро за кубический сантиметр модели. Следовательно, модель детали как на рис. 4, обошлась бы заказчику в 160EUR. Если бы заказчику нужно было изготовить пять таких же или аналогичных изделий, то это стоило бы ему 800, а 10 моделей – 1600EUR.

2 От времени работы машины (европейский способ). *RP*-машина в среднем (подчеркиваю – в среднем!) строит примерно 10мм модели в час по высоте. Один машино-час в зависимости от типа машины и точности построения модели стоит порядка 50÷100EUR. Возьмем наиболее типичную (для нашего Центра) ситуацию:



1 машино-час – 50 евро. Упомянутая выше модель (высота около 80 мм) стоила бы примерно 400 евро, две модели – 410, три модели – 420, пять моделей – 500, десять – 700 евро. Таким образом, одна модель в последнем случае стоила бы 70 EUR (против 400EUR при построении одиночной модели).

3 От стоимости изготовления традиционными методами. Логика здесь одна – известна стоимость изготовления, например, мастер-модели ювелирного изделия. Она почти всегда достаточно высока и явно (без всякого анализа) в несколько раз выше себестоимости изготовления по RP-технологии. Остается предложить заказчику цену на 10÷20% ниже обычной – и вопрос решен. Однако, для машиностроения этот способ неактуален, поэтому мы не будем его комментировать. Впрочем, иногда, особенно для литья небольших по объему, но сложных по конфигурации изделий, этот способ вполне применим.

Как видим, при втором способе цена работы напрямую зависит от степени загрузки машины. Стоимость модели меняется в несколько раз. **При первом способе исполнитель говорит дотошному заказчику: “тебя не должно волновать, как я буду делать модели”. На самом деле, конечно же, он не будет выращивать эти модели по отдельности. Естественно, что одновременно будет строиться несколько моделей (или даже другие заказы). Ну а при втором способе заказчик как бы говорит исполнителю: “я знаю, что ты будешь делать всё одновременно, как и все нормальные люди, так что, пожалуйста, не морочь мне голову “кубиками”.**

Европейские потребители RP-продукции достаточно хорошо владеют нюансами RP-технологии (них это рутинное дело) и вполне могут самостоятельно сделать предварительный расчет стоимости своего заказа. Обычно они так и делают, формируя заказ из однотипных изделий, стараясь максимально заполнить рабочую платформу машины. Или договариваются с исполнителем о том, чтобы “подстыковать” заказ к другому заказу (что, кстати, и мы советуем заказчику, если особой срочности в изготовлении модели нет). Но при этом они знают, что машино-час в этом сервис-бюро стоит столько-то.

Время “кубиков” в Европе прошло очень быстро из-за возросшей конкуренции на рынке RP-технологий. Заказчик должен прогнозировать затраты по понятной схеме. И европейский исполнитель зарабатывает деньги не только на собственно моделировании, но и на оказании полного пакета услуг – от разработки CAD-модели до изготовления опытного образца из пластмасс или металлов.

Надо сказать, что получить достоверные сведения о ценообразовании при создании RP-моделей даже в евро-

пейских центрах нелегко. Это относится к категории коммерческих тайн, хотя клиенты каждого PR-центра в общих чертах имеют понятие о цене машино-часа. Но вот сколько в этой цене себестоимости, а сколько прибыли – определить очень сложно. Однако, можно сказать, что, например, в Германии, за одну вышеуказанную модель вам пришлось бы заплатить 500÷800 евро. Себестоимость (подчеркиваю, себестоимость) машино-часа лежит в пределах 30÷80 евро (в зависимости от типа машины).

В России сейчас нет какой-либо внятной системы ценообразования. Из-за высокой стоимости оборудования владельцы RP-машин вынуждены устанавливать высокие цены с довольно туманным обоснованием, которые, зачастую, оказываются неподъемными для заказчика. С другой стороны слабое развитие CAD/CAM-технологий с целом в России не вызывает и большого спроса на PR-продукцию, – а именно спрос (и, следовательно, загрузка машин и оборот), позволил бы снизить цены. Поэтому наиболее динамично RP-технологии продвигаются в тех областях, где доля стоимости модели в общих затратах незначительна, – например, в коммерческой стоматологии. Так, RP-модель верхней челюсти, по которой врач-стоматолог моделирует ориентацию имплантатов, стоит 50 евро, в то время как один лишь имплантат, титановый винт M5 длиной 20мм обойдется в 60÷100 евро, а стоимость рутинной операции по установке одного имплантата составляет 800÷1200 евро.

Вообще, по мнению автора, динамика роста RP-услуг в той или иной отрасли характеризует общее состояние в этой отрасли. Например, отечественная автомобильная промышленность – такая, какая есть, поэтому и нет заказов на RP-услуги (а может быть она такая именно потому, что практически не использует RP-технологии?). С другой стороны, ощущается явное оживление RP-технологий в электронной и особенно в электротехнической промышленности и энергетике. Может быть не так страшен Чубайс, как его малюют?

Как свидетельствует опыт, рентабельность предприятий, предлагающих услуги быстрого прототипирования, можно обеспечить либо в случае максимальной загрузки оборудования (обычно более 50% рабочего времени), либо в случае предоставления полного пакета услуг – от обработки CAD-данных до отливки. Именно поэтому производство по технологии *Rapid Prototyping & Rapid Casting* выделилось в отдельный бизнес, которым занимаются относительно малочисленные (персонал – 10÷20 человек), но чрезвычайно специализированные мелкие фирмы. Загрузка машин в европейских RP-центрах составляет 15÷20 часов в сутки. ☺