

# Современный подход к традиционной технологии литья

## Опыт внедрения методов DDM в технологию литья по выплавляемым моделям

Евгений Кочкин, Артем Сапожников (ОАО «КБХА»), Евгений Чаплинский (компания «СОЛВЕР»)

Еще 10 лет назад технологии прямого цифрового изготовления деталей (*Direct Digital Manufacturing – DDM*) или быстрого прототипирования рассматривались лишь в связи с научными разработками, считались экзотическими и применимыми лишь для концептуального моделирования. Сегодняшний уровень развития этих технологий уже позволяет использовать оборудование DDM наравне со станками с ЧПУ. В статье рассказывается об опыте применения этой современной технологии в литейном производстве ОАО «Конструкторское бюро химавтоматики» («КБХА»).

Разработка и производство сложных и наукоемких изделий, каковыми являются жидкостные реактивные двигатели (ЖРД), невозможно без применения качественно спроектированных и изготовленных литых заготовок, без новейших технологий и высокотехнологического оборудования. В свою очередь, быстрый запуск в производство качественных литых деталей может быть обеспечен высоким уровнем конструкторско-технологической подготовки производства и продуманными мерами по сокращению сроков подготовки производства новых изделий. Однако производственная база на большинстве промышленных предприятий СНГ устарела, длительные циклы и высокие затраты на подготовку производства изделий не обеспечивают оперативного изготовления новых образцов ЖРД.

Самой сложной и трудоемкой частью процесса получения отливок методом литья по выплавляемым (выжигаемым) моделям (ЛВМ) является проектирование и изготовление пресс-форм для изготовления моделей отливок. Эти работы требуют привлечения высококвалифицированных конструкторов оснастки, применения дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного ручного труда, и, как правило, больших временных затрат. Однако есть другая возможность получать модели отливок быстро, качественно и недорого – методом их прямого цифрового изготовления на установках быстрого прототипирования.

В современном мире получил распространение целый ряд различных технологий быстрого прототипирования. Каждая из них обладает своими особенностями, достоинствами и недостатками, которые в итоге определяют области её применения. В «КБХА» для изготовления моделей отливок сегодня применяется технология и оборудование компании *Stratasys*, так как модели, полученные с их помощью, отлично вписываются

в уже используемую традиционную технологию ЛВМ и позволяют реально сократить сроки производства.

Компания *Stratasys* вышла на мировой рынок со своей технологией моделирования послойным наплавлением (*Fused Deposition Modeling – FDM*) в 1988 году. Принцип создания моделей по этой технологии заключается в укладке разогретой полимерной нити в соответствии с математической 3D-моделью детали. Головка установки, которая управляется программой, выдавливая полимерную нить через разогретую фильеру, послойно выстраивает геометрию модели. Вторая фильера головки выстраивает поддержку для нависающих и тонкостенных элементов модели.

Применение моделей, полученных методом DDM из ABS-пластика, в серийной технологии литья по выплавляемым моделям было отработано специалистами «КБХА» еще в 2006 году. При технической поддержке компании «СОЛВЕР» этот метод был успешно опробован на деталях «Корпус насоса» и «Корпус турбины».

Для получения отливки «Корпус насоса» из стали ВНЛ-1 была использована её модель из ABS-пластика (рис. 1), которую изготовили специалисты «СОЛВЕР» на установке *Dimension 1200 SST* на основе предоставленных предприятием САD-данных. На изготовление пластмассовой модели потребовалось 38 часов.

При визуальном контроле на поверхностях новой модели наблюдались небольшие (высотой до 0.127 мм) «ступеньки», образующиеся вследствие особенностей технологии – послойного изготовления. Обмеры доступных мест модели показали, что их размеры с учетом заданной усадки



Рис. 1. Модель «Корпус насоса» из ABS-пластика

полностью соответствуют конструкторской документации (КД).

Перед сборкой модели в блок с литниково-питающей системой (ЛПС) “ступеньки” сглаживались разогретой модельной массой Г1-М2. Модельный блок собирался с использованием стандартных элементов ЛПС, изготовленных из модельной массы (рис. 2). ABS-пластик и модельная масса образуют надежное соединение, обеспечивающее все требования к прочности модельного блока. Покраска модельного блока и изготовление огнеупорной оболочки выполнялись по стандартной технологии.

Удаление модельной массы и пластика из формы осуществлялось в два этапа. Сначала модельная масса



Рис. 2. Модельный блок

выплавлялась при температуре 150÷165 градусов в ванне с расплавленной модельной массой. При этом пластик размягчался до потери формы. По данным фирмы *Stratasys*, температура 165 градусов является точкой размягчения ABS-пластика. На втором этапе пластик и остатки модельной массы выжигались в печи при температуре 650÷750 градусов. После выжигания модели зола во внутренних полостях формы практически отсутствовала.

Полученная огнеупорная оболочка формовалась в опоку без наполнителя и заливалась расплавом стали ВНЛ-1 при температуре 1590 градусов. После очистки блока от керамики, и последующей пескоструйной обработки металлическим песком, отливка отрезалась от литниковой системы на анодно-механическом станке.

Далее с полученной отливкой выполнялись все операции стандартного технологического процесса, в том числе высокотемпературная газостатическая обработка, термические и гальванические операции, после чего она подвергалась контролю на геометрическую точность и соответствие требованиям к качеству поверхности. Отклонения размеров от требований КД обнаружены не были. По шероховатости поверхности отливки, полученной по модели из ABS-пластика, не отличалась от поверхности отливок, изготовленных по моделям из модельной массы Г1-М2, и соответствовала требованиям КД. Внешний вид отливки после механической обработки “Корпуса насоса” представлен на рис. 3.

Таким образом, можно сделать следующие заключения:

- применение модели, полученной методом DDM из ABS-пластика, успешно вписалось в



Рис. 3. Литая деталь “Корпус насоса”

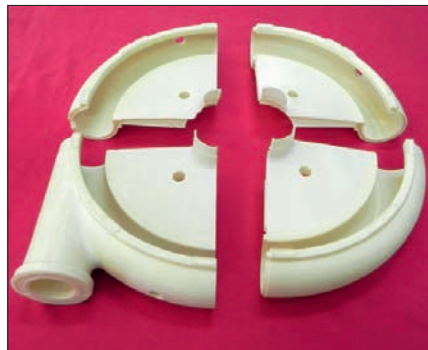


Рис. 4. Модель улиточного корпуса, изготовленная из четырех частей



Рис. 5. Модель корпуса, изготовленная из пяти частей

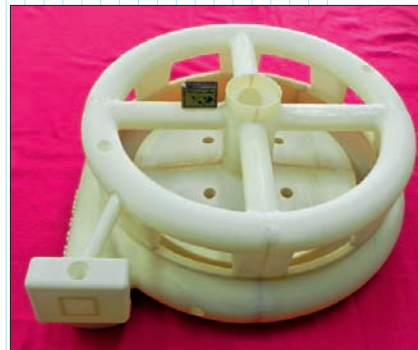


Рис. 6. Модель корпуса с элементами ЛПС, изготовленная из 12-ти частей





Рис. 7. Модель модельного блока, изготовленная из 24-х частей

ранее используемый технологический процесс изготовления отливки методом ЛВМ;

- срок освоения новой отливки сократился в три раза за счет исключения из цикла подготовки производства таких этапов, как проектирование и изготовление пресс-форм для запрессовки модельной массы;
- качество отливок повысилось, что выражается в 100-процентной повторяемости геометрических размеров за счет высокой прочности модели из ABS-пластика по сравнению с модельной массой;
- влияние человеческого фактора на качество отливок сократилось за счет существенного снижения доли ручного труда при изготовлении модельного блока.

Расчет экономической эффективности применения новой технологии взамен традиционного метода получения моделей отливок в пресс-формах показал, что для небольшой партии деталей (до 10 штук) экономия составляет более 1.3 млн. рублей.

На основании результатов полученного опыта в «КБХА» было принято решение о приобретении DDM-установки компании *Stratasys* для

изготовления моделей из ABS-пластика с целью их применения при изготовлении отливок методом ЛВМ.

Установка прямого цифрового изготовления деталей *Dimension-1200es* была приобретена и введена в эксплуатацию в июле 2011 года. С тех пор эта установка наработала в производстве 5100 станко-часов; под нее было спроектировано и внедрено в стандартную технологию 23 наименования моделей для литья методом ЛВМ, изготовлено более 400 моделей с последующим получением годных отливок.

Кроме того, за это время были отработаны и внедрены дополнительные технологические решения по применению установки в производстве:

- сборка крупногабаритных моделей из отдельных изготовленных частей (рис. 4, 5);
- изготовление моделей совместно с литниковой системой (рис. 6, 7);
- изготовление моделей с целью визуальной проверки корректности и оптимальности компоновки узлов и агрегатов (всего того, что могло ускользнуть при компьютерном моделировании);
- изготовление различных масштабных макетов.



Рис. 8. Примеры моделей отливок новых изделий

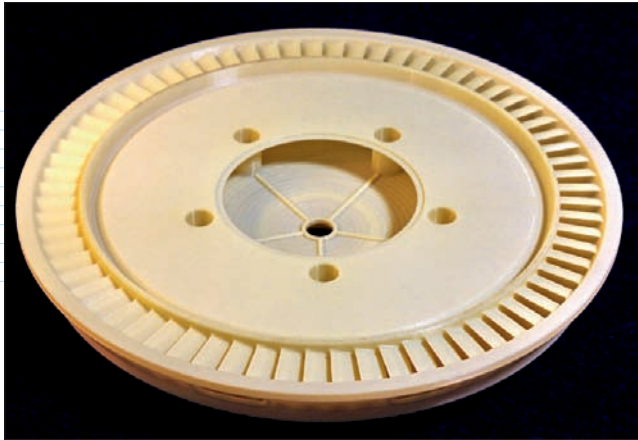


Рис. 9. Модель “Рабочее колесо” была изготовлена для “КБХА” компанией “СОЛВЕР” на установке Fortus 900ms

С момента ввода в эксплуатацию установки Dimension-1200es в состав практически всех новых изделий “КБХА” входят отливки, при изготовлении которых применяются модели, полученные из ABS-пластика методом DDM (рис. 8).

В тех случаях, когда требования к геометрической точности отливок не позволяют использовать сборные модели, модели изготавливаются по кооперации с партнерами “КБХА”, которые располагают установками с большими габаритными размерами рабочей зоны. Так, например, сотрудничество “КБХА” с компанией “СОЛВЕР” позволило изготовить модели отливки “Колеса рабочего” диаметром 420 мм (рис. 9).

## Выводы

При отработке и запуске в производство новых агрегатов ЖРД, технология изготовления литых деталей с использованием моделей отливок, полученных методом DDM, позволяет:

1 Исключить из процесса трудоемкие и дорогостоящие этапы проектирования и изготовления пресс-форм. При этом значительно сокращается срок подготовки производства при изготовлении отливок методом ЛВМ и отпадает необходимость задействовать высокоточное и специальное оборудование, в том числе с ЧПУ.

2 Снизить потребность в высококвалифицированных кадрах для разработки и изготовления пресс-форм (конструкторы пресс-форм, технологи, операторы станков с ЧПУ, слесари-сборщики, рабочие-лекальщики и т.д.), перенаправить их на выполнение других работ основного производства.

3 Значительно облегчить возможность изменения конструкции деталей при доводке параметров агрегатов, исключив из процесса этап доработки пресс-форм и изготовления новых.

4 Снизить затраты на изготовление литых за счет уменьшения количества литых деталей, необходимых для отработки технологии и контроля геометрии.

# Построение УМНОГО ПРОИЗВОДСТВА на машиностроительных предприятиях

## СОЛВЕР

ИНЖЕНЕРНЫЙ КОНСАЛТИНГ

- ✓ СТРАТЕГИЯ
- ✓ ТЕХНОЛОГИЯ
- ✓ МЕТОДОЛОГИЯ
- ✓ ДЕЙСТВИЯ
- ✓ РЕЗУЛЬТАТ

**СТРАТЕГИЯ И МАРКЕТИНГ**

Внедрение процессов эффективного производства

**УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

Комплексная автоматизация управления производством и жизненным циклом изделий

**ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА**

Комплексная автоматизация решений конструкторских и технологических задач

**ПРОИЗВОДСТВО**

Комплексная автоматизация производственных процессов

[www.solver.ru](http://www.solver.ru)

<p><b>Внедрение процессов эффективного производства</b></p>	<p>Успешно реализованные проекты</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Экспериментальные проекты</li> <li>• Проекты внедрения</li> <li>• Индустриальные проекты</li> </ul>
<p><b>Комплексная автоматизация управления производством и жизненным циклом изделий</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BuroTeam – информационная поддержка управления производством по методологии TOC</li> <li>• ProChain – управление проектами по методу критической цепи</li> <li>• ARS – моделирование бизнес-процессов, построение системы сбалансированных показателей</li> <li>• Windchill – автоматизация управления процессами жизненного цикла изделий</li> </ul>
<p><b>Комплексная автоматизация решений конструкторских и технологических задач</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creo – комплексная разработка изделий</li> <li>• FiberSim – проектирование и подготовка производства деталей из композитных материалов</li> <li>• Mathcad – автоматизация математических расчетов</li> <li>• Arbotext – автоматизация разработки технической документации</li> <li>• Techcard – проектирование маршрутно-операционных технологий</li> <li>• Esprit, PartMaker, NCGCAM, CAMPlate Solution, Vericut – автоматизированная подготовка, визуализация и проверка УП</li> <li>• Windchill – управление процессами конструкторско-технологической подготовки производства</li> <li>• Stratasys – быстрое изготовление прототипов из пластика</li> </ul>
<p><b>Комплексная автоматизация производственных процессов</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nakamura-Tome, matic, Amada Machine Tools – токарно-фрезерные и фрезерно-токарные центры</li> <li>• Kumagai, Hardinge, Kuralt, Gleason, You Ji – вертикальные и горизонтальные фрезерные центры</li> <li>• Nakamura-Tome, Citizen, Hardinge, Romi, Amada Machine Tools – токарные станки и центры</li> <li>• Hama, Pfaffner, Romi – токарные станки</li> <li>• MAG, Century Design – оборудование для производства и обработки деталей из композитов</li> <li>• Amada Machine Tools – шлифовальное оборудование</li> <li>• Chin Feng, Chi Ring, Favor Laser, ProArc, Yeh Chian, Wefor – изготовительно-штамповочное оборудование</li> <li>• LMS, Semeys, Algra, Nilkan, VB, Seco, Guhring, Iemka, Elbo Control, Schlenker, Utile, MT, Savellofo, Halmes, AMF – автоматизированные устройства, станочная оснастка, режущий и вспомогательный инструмент</li> </ul>

**ПРОЕКТИВНЫЙ ЦЕНТР**  
Воронеж, ул. Станкевича, 43  
тел.: (473) 277 7222  
(473) 239 3241 (-43, -44)  
факс: (473) 277 3994  
e-mail: solver@solver.ru

**ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР**  
Москва, шоссе Фрезер, 10  
тел.: (499) 170 1777, 171 3758  
(495) 739 0876  
факс: (499) 171 8424  
e-mail: solver-m@solver.ru

**ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА**  
Владимир  
Нижегород  
Казань  
Пермь  
Астана (Казахстан)