

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДЕТАЛЕЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

© 2012 А. В. Балякин, В. Г. Смелов, Л. А. Чемпинский

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

В статье рассмотрен опыт применения технологий прототипирования для изготовления деталей камеры сгорания. Для оптимизации процессов литья и литниковой питающей системы проводится моделирование процесса формообразования заготовки в САЕ-системе литейных процессов ProCast. Приведён опыт изготовления восковых моделей с использованием силиконовых форм, изготовления керамических форм и заливки металла.

Прототип, 3D - принтер, аддитивные технологии, восковая модель, силиконовая форма, керамическая форма, литниковая питающая система, отливка.

Процесс изготовления опытной партии деталей на машиностроительных предприятиях традиционными способами требует значительных затрат времени и материальных ресурсов.

Сократить такие затраты на проектирование, освоение и изготовление изделий позволяет использование новых методов и технологических процессов как в заготовительном, так и в основном производстве.

В настоящее время всё большее распространение приобретают методы быстрого прототипирования и производства RPM (Rapid Prototyping and Manufacturing). Технологии быстрого прототипирования получили широкое распространение в таких отраслях, как автомобильная и аэрокосмическая промышленность, медицина и ювелирное дело и ряде других. Исследование и развитие технологий быстрого прототипирования позволили перейти на новую ступень создания, оптимизации и внедрения новых процессов и технологий в различные области промышленности.

В статье рассмотрен опыт использования метода быстрого прототипирования и создания силиконовых форм для получения восковых моделей для изготовления деталей камеры сгорания (КС) авиационного двигателя методом литья по выплавляемым моделям (ЛВМ). Метод ЛВМ занимает много времени ввиду технологических сложностей, связанных с изготовлением пресс-форм для заливки восковых моделей и получением точных восковых моделей, обеспечивающих получение сложных профилей с высокой

геометрической точностью. В то же время метод ЛВМ является одним из самых экономичных при создании деталей сложной формы из металла, а в некоторых случаях единственно возможным методом литья, например, когда детали имеют поднутрения, тонкие стенки или сложную конфигурацию. Ускорение процесса получения восковых моделей должно повысить производительность процесса изготовления деталей, однако при этом нельзя допустить снижения геометрической точности получаемого изделия.

Лаборатория аддитивных технологий входит в состав центра коллективного пользования «межкафедральный учебный научно-производственный центр САМ - технологий» (ЦКП «САМ-технологий»).

Оборудование лаборатории позволяет получать прототипы изделий, мастер - модели, высокоточные изделия по имеющимся 3D - моделям в минимальные сроки с высокой точностью и качеством поверхности. 3D - принтер Objet 350 фирмы EDEN имеет границы для выращивания изделий 350 мм на 350 мм и глубиной 200 мм, точность печати до 16 мкм. Принтер может выращивать модель из 10 различных материалов, отличающихся физическими свойствами.

Главное отличие технологий быстрого прототипирования от традиционных подходов заключается в следующем:

- стоимость и время подготовки намного ниже, чем при стандартном подходе (порядка 5 раз);
- количество циклов использования технологической оснастки значительно ниже.

Такой метод особенно удобен, когда необходимо в сжатые сроки изготовить изделия из пластмассы или получить восковые модели для литья по выплавляемым моделям.

Укрупнённо процесс изготовления заготовок деталей состоит из следующих стадий:

- построение 3D - модели в CAD - системе;
- моделирование технологического процесса отливки заготовки в CAE-системе;
- выращивание мастер-модели изделия из фотополимерной пластмассы на 3D-принтере;
- изготовление по мастер-модели силиконовой литейной формы;
- заливка воска в силиконовую форму и получение восковых моделей;
- сборка восковых моделей и литниковой питающей системы;
- покрытие литникового дерева керамической оболочкой и удаление воска;
- заливка металла в керамическую форму;
- удаление керамической оболочки и обрезка литниковой питающей системы;
- контроль полученной заготовки детали.

Для получения мастер-моделей или прототипов изделия необходимо построить в САД- системе её объёмную модель. Для построения 3D- моделей деталей камеры сгорания применяли систему автоматизированного проектирования, производства и инженерного анализа (CAD/CAM/CAE) NX фирмы Siemens PLM Software.

После построения 3D- модели детали строили 3D- модель заготовки (рис. 1) путём удаления некоторых отверстий, добавления припуска на механическую обработку, добавления при необходимости технологических прибылей и напусков.

На этом этапе заготовку будущей детали увеличивают с учётом коэффициента усадки материала. Необходимый коэффициент усадки был определён согласно следующим формулам:

$$L_{\text{в}} = L_{\text{м}} - L_{\text{м}} \cdot \beta = L_{\text{м}} (1 - \beta),$$

$$L_{\text{л}} = L_{\text{в}} - L_{\text{в}} \cdot \alpha = L_{\text{в}} (1 - \alpha) = L_{\text{м}} (1 - \alpha)(1 - \beta),$$

$$L_{\text{л}} = L_{\text{м}} - L_{\text{м}} (\alpha + \beta) - L_{\text{м}} \cdot \alpha \beta,$$

где α – коэффициент усадки металла, β – коэффициент усадки воска, $L_{\text{в}}$ – габаритный размер восковки, $L_{\text{л}}$ – габаритный размер отлитой детали, $L_{\text{м}}$ – габаритный размер

фотополимерной модели. Учитывая малые значения коэффициентов α и β , слагаемое $L_{\text{м}} \cdot \alpha + \beta$ можно считать пренебрежимо малым.

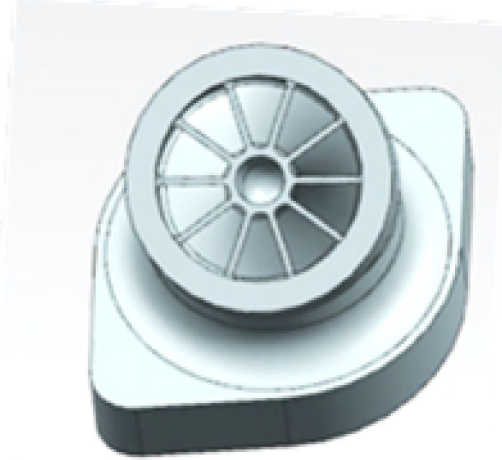


Рис. 1. 3D - модель заготовки, выполненная в CAD/CAM/CAE системе NX

Таким образом, поправочный коэффициент фотополимерной мастер-модели представляет собой сумму коэффициентов усадки воска и металла. В случае использования жаростойкого сплава и модельного воска $\alpha = 1,5\%$, $\beta = 1\%$. Полученная формула не учитывает усадку керамической формы, которая составляет примерно 1%. Таким образом, общий коэффициент усадки будет равен 3,5%.

Перед выращиванием мастер-модели, изготовлением силиконовой формы и заливкой воска проводили виртуальное моделирование процесса формообразования заготовки в CAE-системе моделирования литейных процессов ProCast.

ProCast - система моделирования литейных процессов, обеспечивающая совместное решение температурной, гидродинамической и деформационной задач, обладающая уникальными возможностями изучения всех возможных процессов литья из литейных сплавов. Дополнительное преимущество ProCast состоит в том, что можно провести расчёт напряжений, микроструктуры и моделировать более экзотические процессы литья.

Некоторые критические условия, такие как холодная форма, маленькая скорость заполнения или низкая температура заливки, могут привести к проблемам с заполнением формы. ProCast прогнозирует, когда и где

могут возникнуть непролив или холодный спай, пористость, усадочные раковины, воздушные пузыри. Все необходимые конструктивные изменения могут быть проверены с минимальными затратами, непосредственно на компьютере.

Моделирование в САЕ- системе позволяет оптимизировать литниковую питающую систему (ЛПС), провести виртуальную заливку литникового дерева (рис. 2) и, как следствие, минимизировать появление брака при отливке заготовок, отказаться от пробных заливок и получать годные детали за минимальное время.

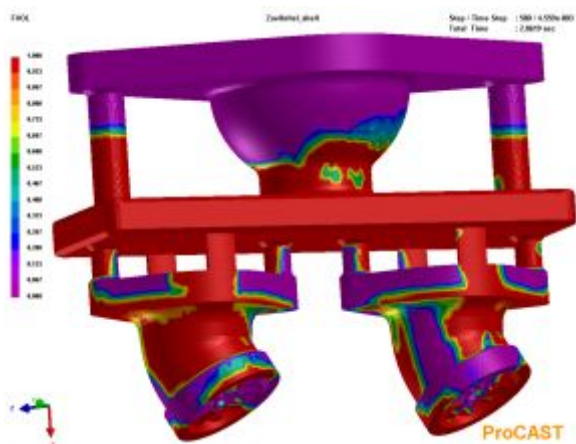


Рис. 2. Моделирование процесса заполнения оболочковой формы в САЕ- системе ProCAST

Изготовленные на 3D- принтере мастер-модели (рис. 3) используются для получения эластичных форм из силиконового компаунда. Перед использованием мастер-модели проверяются на отсутствие брака (царапин и сколов), геометрию каждой мастер-модели проверили на контрольно-измерительной машине.

Применение силикона позволяет получать модели любой сложности: с поднутрениями, со сложной поверхностью разъёма, с различными вставками. Возможно воспроизведение сложных форм и мельчайших деталей. Принцип изготовления восковых моделей по технологии литья в эластичные формы заключается в абсолютно точном копировании мастер-модели. Форма изготавливается простой заливкой полимеризующегося силикона вокруг модели. Силиконовая форма изготовлена заливкой подготовленного прототипа изделия, выращенного на 3D-принтере (рис.4).



Рис. 3. Мастер-модели, полученные на 3D- принтере Objet 350



Рис. 4. Подготовленные для изготовления силиконовых форм мастер-модели изделия, выращенные на 3D-принтере

Разработана методика проектирования технологических процессов изготовления силиконовых форм (рис. 5) с использованием различных методов формирования поверхностей разъёма.



Рис. 5. Силиконовая форма

Дегазация силикона после смешивания компонентов и перед заливкой в форму позволяет исключить поверхностные дефекты и пористость структуры.

Силиконовая форма может быть использована для изготовления литейной модели на небольшое количество деталей (около 100 штук).

Литьё в вакууме в эластичные формы позволяет получить опытные образцы, небольшие партии пластмассовых деталей и выплавляемые восковые модели без изготовления традиционного технологического оснащения.

Благодаря использованию широкой гаммы материалов, отливаемые копии могут быть эластичными, жёсткими, термостойкими, ультрафиолетостойкими, прозрачными и/или различных цветов, а также восковыми. Для такого литья применяем специальные двухкомпонентные полимеры, отливаемые в эластичные формы в вакууме. После отверждения физико-механические свойства упомянутых полимеров идентичны традиционным термопластичным пластмассам (АБС, ПС, ПП и т.п.). Доступны также двухкомпонентные композиции, имитирующие свойства различных эластомеров. Для получения восковых моделей применяются специальные модельные воски.

После получения восковых моделей формируем литниковое дерево. К восковым моделям приклеиваются элементы литниковой питающей системы (рис. 6).



Рис. 6. Восковые модели с ЛПС

Применение связующего на водной основе и песков на основе циркония позволяет создавать керамические формы высокого ка-

чества и добиваться минимального припуска и высокого качества поверхности.

Чтобы керамическая оболочка при последующем процессе нагрева-охлаждения-обжига не треснула, был проведён ряд экспериментов для получения оптимального результата.

Первый слой "керамики" наносят и затем высушивают 3-4 часа на воздухе, затем наносят второй слой. Керамическую оболочку наносят до тех пор, пока не получат 12-16 слоёв (рис.7).

При температуре 100-120°C из керамических оболочек выплавляется восковая литниковая система и сама модель. Керамическая оболочка должна быть разогрета до температуры выплавления воска как можно быстрее, для этого используют предварительно нагретую печь.



Рис. 7. Керамическая форма

После этого оболочку остужают и удаляют шлак, некоторое количество которого может присутствовать в оболочке. Затем оболочку опять прокалывают при температуре 1000°C, выдерживают 8-10 часов и заливают в неё металл (рис.8).



Рис. 8. Заливка керамической формы

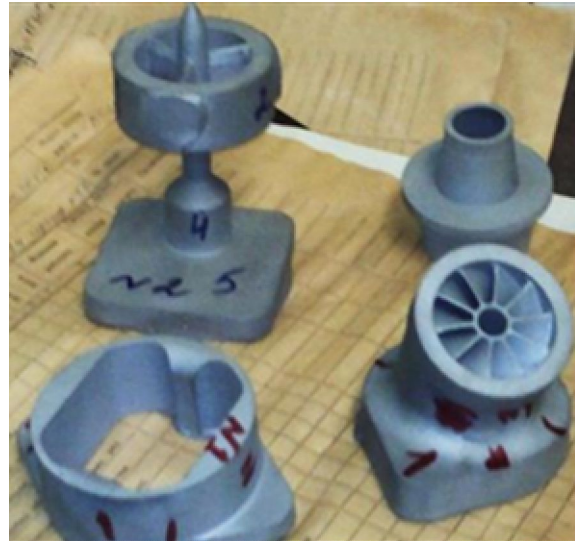


Рис. 9. Готовое изделие

Расплавление и заливка металла производится в индукционной вакуумной печи или среде защитного газа, что сохраняет металл от нежелательных примесей.

После остывания и разрушения керамической оболочки и очистки от остатков керамики получили отлитое изделие (рис. 9).

В настоящее время проведено моделирование процессов литья в оболочковые формы пяти деталей, предоставленных ОАО «Кузнецов». Проведена проверка адекватности полученных результатов расчёта процессов литья методом сопоставления с реально изготовленными деталями [1].

Основа достоверности виртуального моделирования - реалистичный расчёт САЕ-системой физических свойств материалов и технологического процесса, который их определяет.

Проведённые исследования дали возможность проанализировать вышеуказанные методы с точки зрения увеличения скорости получения изделий и точности получаемых отливок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010 г.

Библиографический список

1. Вдовин, Р.А. 3D -виртуальное моделирование и экспериментальная апробация технологического процесса литья деталей ГТД [Текст] / Р.А. Вдовин, В.Г. Смелов // Самолётостроение России. Проблемы и перспективы: сб. тр. к симпозиуму с международным участием. – Самара, 2012. – С. 111-113.

ADDITIVE TECHNOLOGY APPLICATION DETAILS OF COMBUSTION

© 2012 A. V. Balaykin, V. G. Smelov, L. A. Chempinskiy

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

Today more widely used methods of rapid prototyping. The main difference between rapid prototyping technologies to the conventional approach is to reduce the time for production tooling. The paper describes the experience of prototyping technologies to produce parts of the combustion chamber. To optimize the process of casting and gating the supply system is carried out modeling of forming of the workpiece in the CAE system of casting processes ProCast. The experience of making wax models using silicone molds, production of ceramic molds and pouring the metal.

Prototype, 3D printer, additive technology, a wax model, silicone mold, ceramic form, feeding gating system, casting.

Информация об авторах

Балякин Андрей Владимирович, инженер, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: a_balik@mail.ru. Область научных интересов: использование CAD/CAM/CAPP систем, подготовка специалистов.

Смелов Виталий Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры производства двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: pdla_smelov@mail.ru. Область научных интересов: использование CAD/CAM/CAPP систем при подготовке специалистов.

Чемпинский Леонид Андреевич, кандидат технических наук, профессор кафедры производства двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: chempinskiy@mail.ru. Область научных интересов: использование CAD/CAM/CAPP систем при подготовке специалистов для инновационного машиностроения.

Balyakin Andrey Vladimirovich, engineer of Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: a_balik@mail.ru. Area of research: The use of CAD / CAM / CAE / CAPP systems in pre-production and additive technologies used in the manufacture of parts.

Smelov Vitaly Gennadievich, candidate of technical science, professor of production of aircraft engines, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: pdla_smelov@mail.ru. Area of research: the use of ad-additive technology in the manufacture of parts.

Chempinsky Leonid Andreevich, candidate of technical science, professor of Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University), department Engines production of the aircraft machines. E-mail: chempinskiy@mail.ru. Area of research: use CAD/CAM/CAPP of systems by preparation of experts for innovative mechanical engineering.