

УДК 621.74

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЛИТЬЯ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2014 А.В. Агаповичев, А.В. Балякин, В.Г. Смелов

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

Применение технологий быстрого прототипирования для создания новой промышленной продукции, где особое значение имеет стоимость и скорость производства, представляет собой уникальную возможность применения экономически эффективных методов для производства деталей по выплавляемым моделям. На этапе опытного производства, для которого характерно частое изменение конструкции, проблема быстрого изготовления литейных деталей становится ключевой. Это в основном связано со сложностью и трудоёмкостью изготовления литейной оснастки. В свою очередь разработки и исследования технологий быстрого прототипирования позволили перейти на новый уровень оптимизации и внедрения новых технологий в литье по выплавляемым моделям. Цель данной работы заключается в определении возможностей и оценки точности получаемых размеров отливки при литье по выплавляемым моделям с использованием технологии быстрого прототипирования. Работа велась с использованием сквозного проектирования в САМ/CAD/CAE системах. Исследование размерно-точных параметров отливки велось на координатно-измерительной машине. В ходе работы была проверена адекватность виртуального моделирования процесса формообразования отливки в системе моделирования литейных процессов ProCAST и сравнение с полученными отливками. Исследование показало что применение технологий быстрого прототипирования при литье по выплавляемым моделям позволяет существенно сократить сроки изготовления отливок, снизить затраты на производство и повысить точность размеров отливки.

Аддитивные технологии, быстрое прототипирование, силиконовая форма, восковая модель, гипсовая форма.

Традиционно процессы механической обработки деталей на большинстве машиностроительных предприятий отрасли занимают порядка 70-80% от общего времени их изготовления.

Для экономии материальных и временных ресурсов на проектирование, освоение и изготовление изделий перспективным является использование новых технологических процессов, как в заготовительном, так и в основном производстве.

Технологии быстрого прототипирования широко распространены в отдельных отраслях промышленности. Их применение позволяет получать качественные и сравнительно недорогие модели, затрачивая на их изготовление часы, а не дни или недели, как при использовании традиционных методов [1].

Малые размеры, наличие тонкостенных протяжённых элементов затрудняют получение деталей традиционными мето-

дами производства. Применение технологий быстрого прототипирования позволило перейти на новый уровень проектирования и изготовления деталей в различных отраслях промышленности.

В статье рассмотрено изготовление картера двигателя внутреннего сгорания (ДВС) методом литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) с использованием метода быстрого прототипирования.

Метод ЛВМ, благодаря преимуществам по сравнению с другими способами изготовления отливок, получил широкое распространение. Применение этого метода обеспечивает получение из любых литейных сплавов сложных по форме отливок, массой от нескольких граммов до десятков килограммов со стенками толщиной меньше 1 мм.

Указанные возможности метода позволяют максимально приблизить отливки готовой детали, а в ряде случаев получить литую деталь, дополнительная

обработка которой перед сборкой не требуется. Это значительно снижает трудоёмкость и стоимость изготовления деталей, уменьшает расход металла, экономя энергетические ресурсы и т.д.

Технология литья по выплавляемым моделям даёт возможность изготавливать сложные тонкостенные конструкции, объединять различные детали в узлы, уменьшая массу и габариты изделий, создавать детали (например, охлаждаемые лопатки со сложными лабиринтными полостями газового тракта), невыполнимые другими методами обработки [2].

Но метод ЛВМ занимает много времени в виду технологических сложностей, связанных с получением точных мастер-моделей и заливкой восковых моделей, обеспечивающих получение сложных профилей с высокой геометрической точностью.

Ускорение процесса литья по выплавляемым моделям должно повысить производительность процесса изготовления деталей, однако, при этом нельзя допустить снижения геометрической точности получаемого изделия.

Лаборатория аддитивных технологий является подразделением центра коллективного пользования «межкафедраальный учебный научно-производственный центр САМ– технологий» (ЦКП «САМ-технологий»).

Установленное в лаборатории оборудование позволяет получать прототипы изделий, мастер - модели, высокоточные изделия по имеющимся 3D моделям в минимальные сроки с высокими качественными характеристиками. 3D принтер Objet 350 израильской фирмы EDEN имеет поле для печати изделий с максимальными размерами до 350 × 350 × 200 мм, точность печати до 16 мкм. Принтер может выращивать модель из 10 различных материалов, отличающихся физическими свойствами.

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

- стоимость и время подготовки намного ниже, чем при стандартном подходе (в 5 раз);

- количество циклов использования технологической оснастки значительно ниже, чем при стандартном подходе.

Целью статьи является изложение опыта практического использования аддитивных технологий, а именно способа быстрого прототипирования при изготовлении отливки картера ДВС.

Такой подход особенно удобен в тех случаях, когда необходимо в сжатые сроки изготовить восковые модели или пластмассовые изделия сложной формы и высокого качества.

Процесс производства заготовок деталей состоит из следующих стадий:

- оцифровка детали или моделирование поверхностей, включающая построение 3D модели в САD системе;
- моделирование технологического процесса отливки заготовки в САЕ-системе;
- выращивание мастер-модели изделия и внутренних знаков изделия из фотополлимерной пластмассы на 3D принтере;
- изготовление по мастер-моделям литейных форм из силикона;
- заливка гипсового знака в силиконовую форму и его термическая обработка;
- заливка воска в силиконовую форму;
- покрытие моделей гипсовой оболочкой и удаление воска;
- заливка металла в гипсовую оболочку;
- удаление гипсовой оболочки и внутреннего знака, обрезка и зачистка литниковой питающей системы;
- термическая обработка отливки;
- контроль полученной заготовки детали.

Для получения мастер-моделей или прототипов изделия необходимо построить в САD системе её объёмную модель (рис. 1). Для построения 3D моделей деталей применяли систему автоматизированного проектирования, производства и инженерного анализа (САD/САM/САЕ) NX фирмы Siemens PLM Software.



Рис. 1. 3D модель картера двигателя внутреннего сгорания

После построения 3D модели детали строили 3D модель заготовки (рис. 2) путём добавления припусков на последующую механическую обработку, прибавления необходимых технологических прибылей, баз и формирования литниково - питающей системы.



Рис. 2. 3D-модель заготовки с литниковой системой

На этом этапе заготовку будущей детали увеличивают с учётом коэффициента усадки материала. Поправочный коэффициент фотополимерной мастер-модели представляет собой сумму коэффициентов усадки воска и металла.

Перед выращиванием мастер – модели, изготовлением силиконовой формы и заливкой воска и гипса проводили виртуальное моделирование процесса формообразования заготовки в САЕ - 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 [3].

Критические условия, такие как холодная форма, маленькая скорость заполнения или низкая температура заливки, могут привести к образованию дефектов в процессе заливки. ProCAST способен прогнозировать, когда и где могут возникнуть различные проблемы, такие как непролив, холодный спай, пористость, усадочные раковины, воздушные пузыри и т.д. Все необходимые конструктивные изменения могут быть проверены на компьютере с минимальными затратами.

Моделирование в САЕ системе позволяет оптимизировать литниковую питающую систему (ЛПС), провести виртуальную заливку (рис. 3) и, как следствие, минимизировать появление брака при отливке заготовок, отказаться от пробных заливок и получать годные детали за минимальное время.

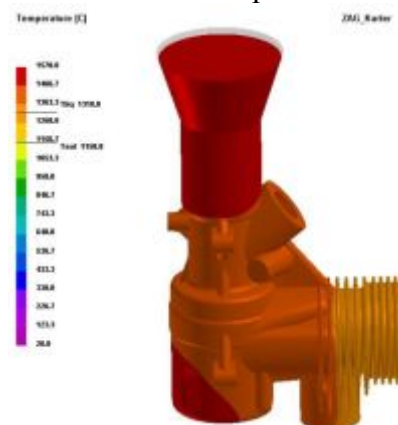


Рис. 3. Моделирование процесса заполнения оболочковой формы и распределения температуры расплава в САЕ системе ProCast

Изготовленные на 3D принтере мастер - модели использовали для получения эластичных форм их силиконового компаунда. Изделия проверяются на отсутствие брака (царапин и сколов). Перед использованием геометрию каждой мастер - модели проверяли на контрольно-измерительной машине.

Применение силикона позволяет получать модели из воска и гипса 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 полимериизующегося силикона вокруг модели. Силиконовая форма изготовлена заливкой подготовленного прототипа изделия, выращенного на 3D - принтере.

В ЦКП «САМ-технологий» разработана методика проектирования и изготовления силиконовых форм с использованием различных методов формирования поверхностей разъёма, формирования внутренних полостей и центровки различных знаков.

Дегазация силикона перед заливкой формы, проводимая при помощи 5/04 Vacuumcastingsystem, позволяет исключить поверхностные дефекты и пористость структуры.

Литьё моделей из воска в вакууме в эластичные формы позволяет получать опытные образцы и небольшие партии деталей из воска любой сложности 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 литья применяются 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.

Восковая модель картера представлена на рис. 4. Внутренняя полость модели создавалась путём вставки и центровки в эластичной форме гипсового знака, полностью имитирующего внутреннюю полость картера. Внутренний знак получен путём заливки гипса в эластичную форму и последующей его термической обработки.



Рис. 4. Восковая модель картера

Для литья алюминиевых сплавов применяются формы, изготовленные из гипса. Состав смеси представлен в табл. 1. Применение современных материалов, а также связующего на водной основе, песков позволяет создавать формы высокого качества и добиваться минимального припуска и высокого качества поверхности изделия.

Таблица 1 – Состав гипсовой смеси

Состав суспензии			
Связующее	Массовая доля связующего, %	Огнеупорный материал	Массовая доля огнеупорного материала, %
Вода (99,7%), замедлитель схватывания (0,3%)	40	Гипс (40%), кварцевый песок (50%), асбест (10%)	60

При температуре $150 \pm 5^\circ\text{C}$ из гипсовых оболочек выплавляется восковая литниковая система и сама модель. Гипсовая оболочка должна быть разогрета до температуры выплавления воска как можно быстрее. Чтобы ускорить разогрев, используют предварительно нагретую печь.

Гипсовую оболочку оставляют на два часа при 950°C , затем приоткрывают дверь печи на 20-30 мин, чтобы добавить достаточное количество воздуха. Затем выдерживают ещё два часа для полного выплавления модели.

После этого оболочку остужают и удаляют шлак, некоторое количество которого может присутствовать в оболочке. Затем оболочку опять прокалывают и заливают в неё металл.

Расплавление металла производили в индукционной печи. Заливка металла осуществлялась по разработанной технологии.

После заливки гипсовая модель удаляется путём промывки её в воде. После разрушения оболочки и очистки от остатков гипса получили изделие (рис. 5).



Рис. 5. Отливка картера

Анализ микроструктуры и твёрдости детали показал соответствие их техническим требованиям.

Применение технологии быстрого прототипирования совместно с методом литья по выплавляемым моделям позволило получить кондиционные отливки сложных тонкостенных деталей в короткие сроки с минимальной технологической подготовкой.

Работы проводились на оборудовании ЦКП САМ-технологий в рамках проекта № RFMEFI59314X0003.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании постановления №218 от 09.04.2010 (шифр темы 2013-218-04-4777).

Библиографический список

1. Зыбанов С.В., Смелов В.Г., Проничев Н.Д., Сурков О.С. Повышение эффективности технологической подготовки производства на основе сквозного использования информационных технологий // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2009. № 3(19), ч. 3. С. 127-131.

2. Балякин А.В., Смелов В.Г., Чемпинский Л.А. Применение аддитивных технологий для создания деталей камеры сгорания // Вестник Самарского государственного

аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2012. № 3(34), ч. 2. С. 47-52.

3. Вдовин Р.А. 3D виртуальное моделирование и оптимизация технологического процесса литья детали «завихритель II контура» ГТД с использованием компьютерных технологий // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2012. № 3(34), ч. 3. С. 115-120.

Сведения об авторах

Агаповичев Антон Васильевич, инженер, аспирант кафедры производства двигателей летательных аппаратов,

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

кий университет). E-mail: agapovichev5@mail.ru. Область научных интересов: использование CAD / CAM / CAE / CAPP систем, опытных и аддитивных технологий в производстве деталей.

Балякин Андрей Владимирович, инженер, аспирант кафедры производства двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: a_balik@mail.ru. Область научных интересов: высокоско-

ростная обработка, использование CAD/CAM/CAPP систем.

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 аддитивных технологий в изготовлении деталей.

DEVELOPMENT TECHNIQUES OF CASTING COMPLEX PARTS OF AEROSPACE PROFILES USING ADDITIVE TECHNOLOGIES

©2014 A.V. Agapovichev, A.V. Balaykin, V.G. Smelov

Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation

The use of rapid prototyping technologies to create new industrial products, with particular importance is the cost and speed of production, is a unique opportunity to use cost-effective methods for the production of parts by investment casting. At the stage of pilot production, which is characterized by frequent changes in design, the problem of the rapid production of cast components becomes crucial. This is mainly due to the complexity and the complexity of manufacturing foundry equipment. In turn, the research and development of rapid prototyping technologies have allowed a new level of optimization and the introduction of new technologies in the investment casting. The aim of this work is to identify opportunities and evaluate accuracy of the size of the casting during investment casting using rapid prototyping technology. The work was conducted with the use of cross-cutting design in CAM / CAD / CAE systems. The study size and precision parameters of the casting was conducted in co-ordinate measuring machine. The work has been verified the adequacy of the virtual simulation of the process of forming a casting in the casting simulation ProCAST, in comparison with those obtained castings. The study showed that the use of rapid prototyping technologies with investment casting can significantly reduce the time for making castings, reduce production costs and improve the accuracy of the size of the casting.

Additive technology, rapid prototyping, silicone mold, wax model, plaster form.

References

1. Zybanov S.V., Smelov V.G., Pronichev N.D., Surkov O.S. Increase of efficiency of technological preparation of manufacture on the basis of through use of the information technology // Vestnik of the Samara State Aerospace University. 2009. No. 3(19), part 3. P. 127-131. (In Russ.)
2. Balyakin A.V., Smelov V.G., Chempinsky L.A. Additive technology application details of combustion // Vestnik of the Samara State Aerospace University. 2012. No. 3(34), part 2. P. 47-52. (In Russ.)
3. Vdovin R.A. 3D virtual simulation and casting process optimization of part GTE "swirler of II duct" with using computer technologies // Vestnik of the Samara State Aerospace University. 2012. No. 3(34), part 3 P. 115-120. (In Russ.)

About the authors

Agapovichev Anton Vasilevich, engineer, post-graduate student of the aircraft engine production department. Samara State Aerospace University. E-mail: agapovichev5@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.

Balaykin Andrey Vladimirovich, engineer, post-graduate student of the aircraft engine production department. Samara State

Aerospace University. E-mail: a_balik@mail.ru. Area of Research: High-speed processing, the use of CAD / CAM / CAPP systems training.

Smelov Vitaly Gennadievich, Candidate of Science (Engineering), associate professor of production of aircraft engines. Samara State Aerospace University. E-mail: pdla.smelov@mail.ru. Area of Research: the use of ad-additive technology in the manufacture of parts.