

УДК 621.74

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОБЪЕМНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И БЕСКОНТАКТНОЕ ОПТИЧЕСКОЕ СКАНИРОВАНИЕ В СКВОЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ

©Шмаков Андрей Константинович, канд. техн. наук; Унагаев Евгений Иванович;
Колмогорцев Илья Владимирович; Осипов Сергей Александрович

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет». Россия, г. Иркутск.

Котов Вячеслав Валерьевич, канд. техн. наук, e-mail: viacheslav.kotov@esi-group.com

Представительство компании ESI Group в Российской Федерации, исполнительный директор Представительства;
Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, доцент.

Статья поступила

Многофакторность и сложность процессов литья при традиционных методах подготовки производства (экспертные оценки или проб и ошибок) вызывают значительные затраты времени и ресурсов для отладки литейных технологий.

Трудоемкой составляющей литейных технологий является изготовление мастер-моделей. Существует несколько вариантов этого процесса: фрезерование деталей из пластмасс, мягких металлов или дерева на станках с ЧПУ, изготовление вручную мастерами-модельщиками. Но все эти методы требуют высококвалифицированного ручного труда и, как правило, больших затрат времени.

Дополнительные трудности и затраты времени возникают при оценке соответствия реальных геометрических характеристик отливок требуемым техническими регламентами. Эти проблемы обусловлены сложностью форм отливок, поэтому в целях сокращения затрат контролируются размеры только по сопрягаемым поверхностям.

Применение современных цифровых технологий может существенно снизить затраты на технологическую подготовку производства при повышении качества отливок.

Сквозная цифровая технология включает в себя следующие этапы:

- геометрическое моделирование отливок в графических редакторах;
- технологический анализ в специализированных программных системах моделирования процессов, происходящих при получении отливки;
- виртуальная отработка конструкции отливки и технологических режимов литья;

- формирование мастер-модели отливки на 3D-принтере;
- контроль геометрических характеристик выращенной модели с помощью бесконтактного оптического сканирования;
- изготовление отливки;
- контроль геометрических характеристик реальной отливки с помощью бесконтактного оптического сканера.

Ниже приведено описание сквозной технологии для подготовки производства реальной отливки «крышка прибора» из алюминиевого сплава АК7ч.

Создание электронного геометрического макета мастер-модели отливки. Конструкция отливки и литниковой системы были разработаны с учетом существующих конструктивно-технологических рекомендаций. Трехмерная твердотельная геометрическая модель была построена средствами системы автоматизированного проектирования Siemens NX (рис. 1).

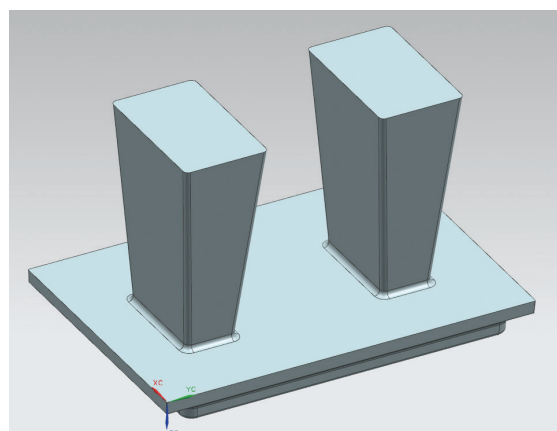


Рис. 1. Геометрическая модель отливки с литниковой системой

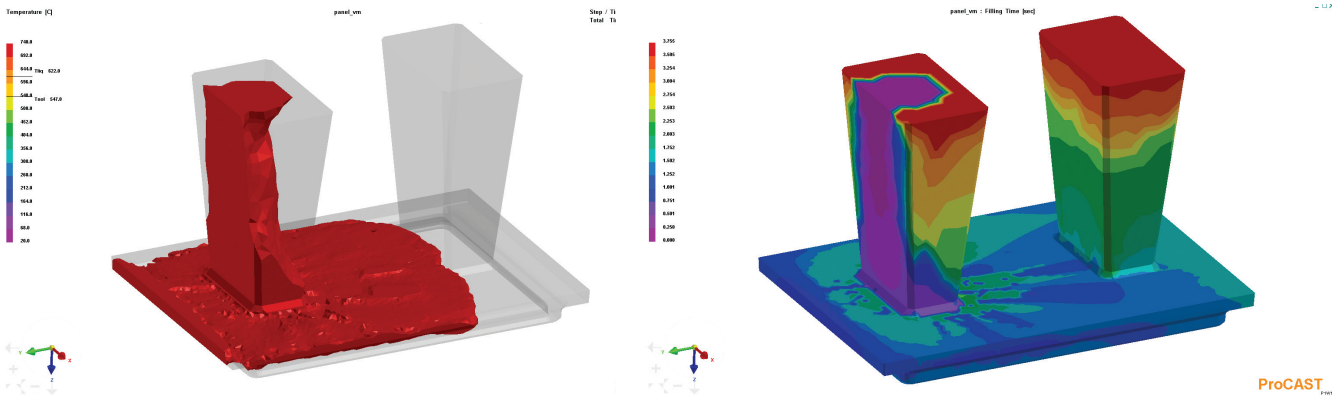


Рис. 2. Характер заполнения формы во времени

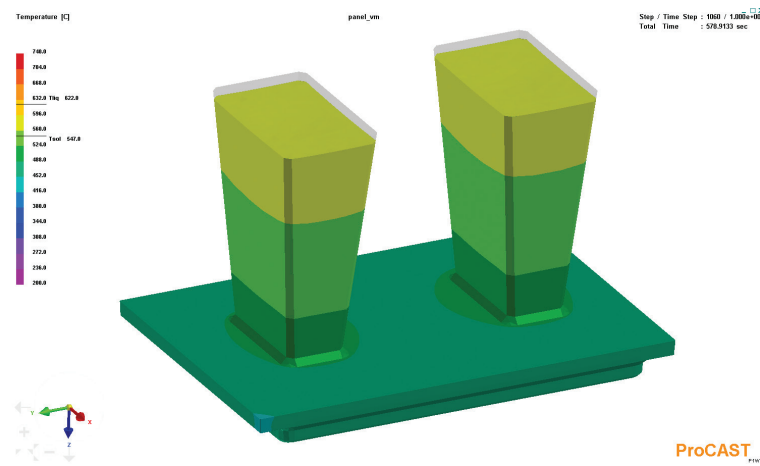


Рис. 3. Распределение температуры в процессе остывания отливки

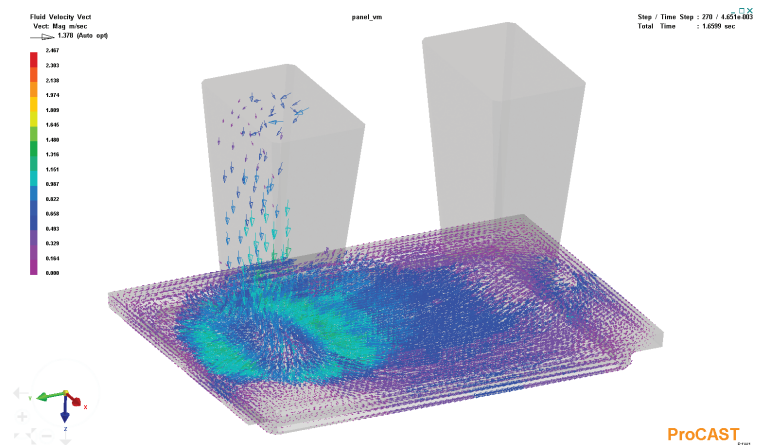


Рис. 4. Векторы скоростей при заливке металлом формы

Моделирование технологического процесса литья. С целью прогнозирования возможного появления дефектов и определения оптимальных технологических параметров с помощью программного комплекса компании ESI ProCAST было выполнено моделирование процесса литья.

При моделировании были заданы: время заливки около 3,5 с, температура расплава 740 °С,

время выдержки отливки в форме 60 мин. Программный комплекс позволяет получить большое количество данных: характер заполнения формы во времени, поля температур в процессе заливки до полного остывания отливки; векторы скоростей потока расплава с оценкой возможного размывания литейной формы, характер кристаллизации расплава во времени, распределение пористости в отливке.

Визуализация характера заполнения формы в процессе заливки (рис. 2) позволяет увидеть поведение жидкого металла при заполнении формы и сделать вывод об особенностях заполнения формы.

Изменение полей температур в процессе заливки до полного остывания отливки (рис. 3) позволяет оценить степень неравномерности остывания изделия и спрогнозировать места возможного образования брака.

Процесс заполнения формы и остывание расплава носят равномерный характер, что косвенно говорит о низкой вероятности возникновения дефектов в отливке. Поле векторов скоростей потока расплава дает возможность оценить возможность размывания литейной формы. Скорость потока металла, как показывает поле векторов скоростей (рис. 4), наибольшее значение (1,4 м/с) имеет в месте выхода расплава из питателя в отливку. Основное ее снижение происходит при прохождении потока металла в область тонких стенок отливки. Следовательно, вероятность размывания формы невысока.

Завихрения при течении расплава в целом несущественны, что незначительно влияет на ве-

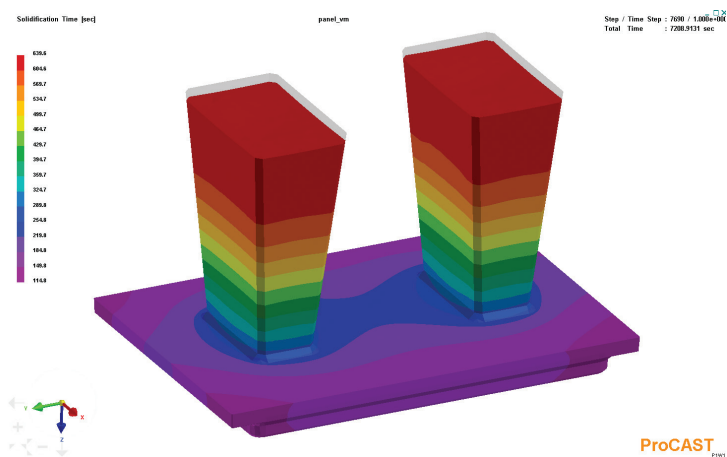


Рис. 5. Характер кристаллизации расплава во времени

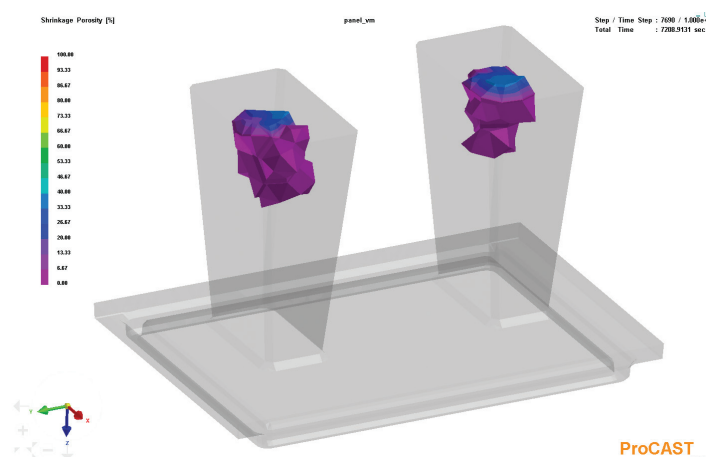


Рис. 6. Зоны пористости в отливке (допустимая величина пористости 5%)

роятность образования газовых пор и оксидных включений в отливке.

Результаты технологического моделирования процесса также показали, что кристаллизация равномерна и имеет направленный характер: снизу вверх – от отливки к прибыли (рис. 5). Наибольший интерес представляют те из них, которые влияют на возникновение одного из основных дефектов отливки – пористости. В самой отливке зон пористости не наблюдаются (рис. 6). Усадочные раковины и пористость появились в прибылях.

Таким образом, результаты виртуального технологического анализа процесса показывают, что принятая конструкция отливки и литниковой системы, а также назначенные режимы литья могут обеспечить требуемое качество отливки.

Создание трехмерного твердотельного геометрического макета мастер-модели. Применение объемного прототипирования при подготовке изготовления отливки может потребовать

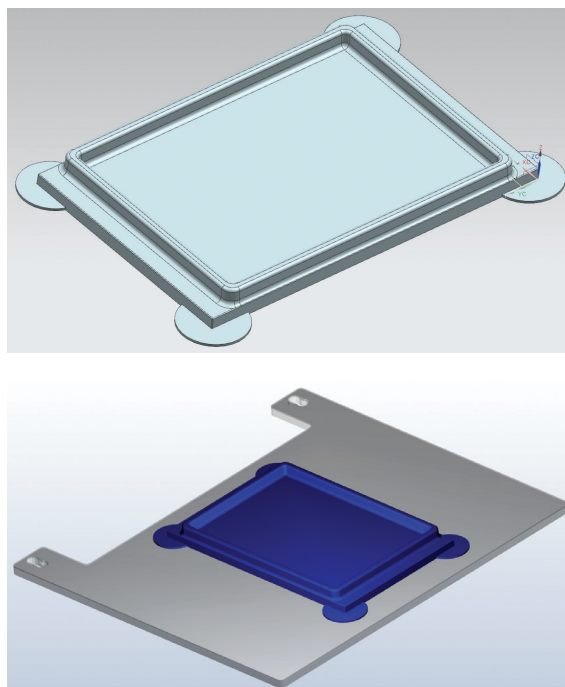


Рис. 7. Электронная модель мастер-модели с элементами для 3D печати; подготовка управляющей программы для печати

корректировки ее исходной геометрической формы. В частности для рассматриваемой отливки необходимо было добавить дополнительные приливы по ее углам и припуск на усадку термопласта (0,3–0,7%) при остывании, а также ввести в геометрическую модель отливки модель опорной плиты. На основе сформированной геометрической модели разработана управляющая программа для печати объекта с заданием ряда параметров, таких как скорость подачи материала, принудительное охлаждение объекта и др., обеспечивающих качественную печать (рис. 7).

3D печать мастер-модели. Мастер-модель для создания литейной формы была «напечатана» на принтере типа 3D Touch™ 3D компании Bits From Bytes, который реализует технологию FDM (Fused Deposition Modeling – послойное добавление материала, рис 8).

В примененном для изготовления мастер-модели устройстве термопластик нагревается, пропускается через печатающую головку-экструдер в виде тонкой пластиковой нити, которая наносится по горизонтальным и вертикальным координатам, слой за слоем, создавая трехмерный объект. Для печати применен пластик марки ABS, который обеспечивает повышенную точность получаемых изделий, упрощает подготовительные и вспомогательные операции; при этом сокраща-



Рис. 8. Принтер 3D Touch™ 3D

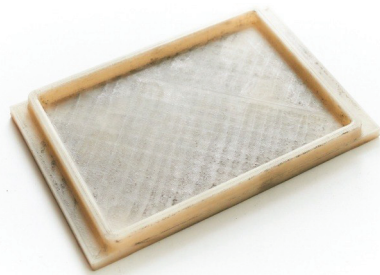


Рис. 9. Мастер-модель, экструдированная из пластика ABS

ются сроки изготовления и затраты на дополнительную оснастку.

Недостатком технологии FDM является выраженная текстура поверхности, характерная для послойной укладки пластика. Для литья в песчаные формы эти дефекты при конструкции данной отливки не являлись определяющими. Применение этой технологии для точных методов литья может потребовать более высокого качества поверхности мастер-модели, для чего необходима дополнительная обработка наружного ее слоя, например, шпатлеванием или шлифованием. В последнем случае придется предусматривать припуск на обработку.

Качество изготовленной мастер-модели, по предварительным оценкам, признано пригодным для производства отливок в глинистых формах.

Оценка точности изготовления мастер-модели оптическим ска-

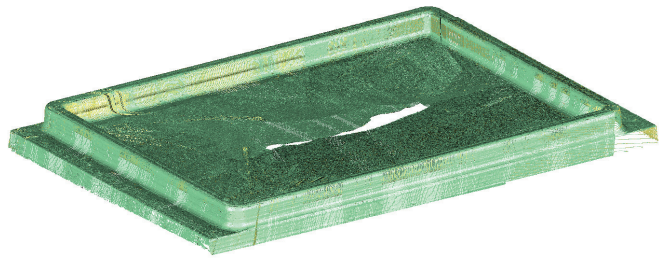


Рис. 10. Представление отсканированной пластиковой мастер-модели

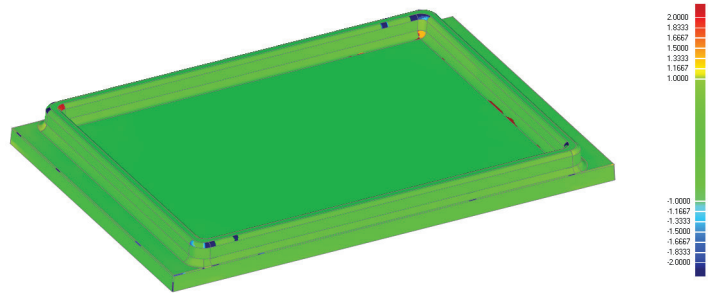


Рис. 11. Результаты сравнения исходного геометрического электронного макета и данных сканирования мастер-модели из пластика

нированием. Соответствие геометрических характеристик отпечатанной мастер-модели исходной трехмерной модели выполнялось средствами программно-аппаратного комплекса бесконтактного сканирования в составе: координатной измерительной машины Hexagon Metrology CIMCORE 7520SE, оптического бесконтактного сканера Perceptron ScanWorks V5 и комплектного программного обеспечения.

Сканирование мастер-модели выполнено с одной стороны, к которой предъявлялись повышенные требования по точности геометрических размеров (рис 10).

Результаты измерений показали, что отклонения экструдированной модели от эталонного геометрического электронного макета мастер-модели по большинству поверхностей не превышают ± 1 мм. В локальных участках, отклонения не превысили ± 2 мм (рис. 11). Продолжительность сканирования и обработка результатов на примененных компьютерах составила 12 мин.

Таким образом, измеренные отклонения размеров мастер-модели относительно требуемых укладываются в допустимый предел и припуск на последующую обработку готового изделия.

Литье реальной детали. Экструдированная мастер-модель была использована для изготовления песчаной формы. Как показал опыт, текстура поверхности мастер-модели не оказала существенного негативного влияния на качество литейной формы, которое признано приемлемым.

Предложенная конструкция отливки с литниковой системой, а также технологические режимы литья и литейная песчаноглинистая форма, изготовленная по экструдированной мастер-модели, позволили получить реальную отливку

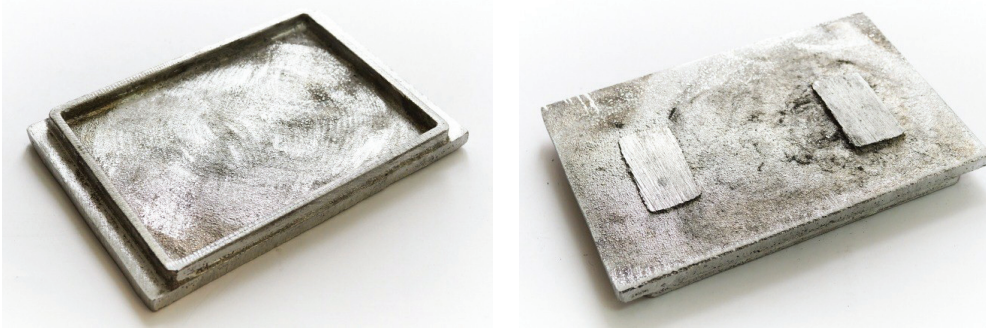


Рис. 12. Отливка с удаленной литниковой системой и прибылью, изготовленная по экструдированной мастер-модели

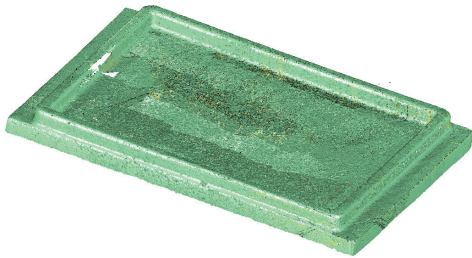


Рис. 13. Представление отсканированной реальной отливки в программной среде сканера

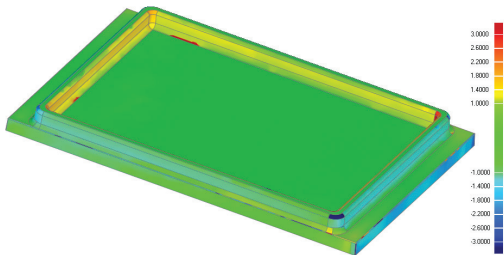


Рис. 14. Результаты сравнения исходной электронной модели и данных сканирования реальной отливки

без недопустимых дефектов (рис. 12). Внешний вид отливки признан соответствующим существующим требованиям.

Оценка отклонений размеров реальной отливки относительно электронной модели детали. Сканирование отливки выполнено после удаления элементов литниковой системы и механической зачистки ряда поверхностей. Для устранения блеска поверхности отливки, который вносит искажение в результаты измерения, использовано специально предназначенное для этой цели легко удаляемое мелкодисперсное белое матовое покрытие. Сканирование отливки выполнялось с той же стороны, с которой сканировалась и мастер-модель (рис. 13).

Результаты измерений показали, что отклонения геометрических характеристик реальной отливки от исходного электронного геометрического макета по большинству поверхностей не превышают ± 1 мм, по положению стенок – не пре-

вышают $\pm 1,5$ мм, в локальных участках – не более ± 3 мм (рис. 14). Измеренные отклонения готовой отливки при учете припуска на последующую обработку укладываются в допустимые пределы.

Заключение. Таким образом, сквозная технология подготовки производства

отливок позволила:

- за счет оптимизации конструкции литниковой системы и виртуальной отработки режимов литья практически исключить появления пористости;

- значительно сократить время подготовки производства, поскольку отпала необходимость производства мастер-моделей традиционными методами;

- быстро получить достоверные данные об отклонениях геометрических характеристик, как мастер-модели, так и реальной отливки от исходной электронной трехмерной модели;

- достичь большей экономичности при мелкосерийном производстве.

Статья подготовлена по материалам работ, выполненных по проекту «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления и подготовки производства изделий авиатехники нового поколения на базе Научно-производственной корпорации «Иркут» с научным сопровождением Иркутского государственного технического университета» в рамках реализации Постановления Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Библиографический список

1. Дубицкий Г.М. Литниковые системы. Москва-Свердловск, Машгиз, 1962. 256 с.
2. Кован В.М. Расчет припусков на обработку в машиностроении. Справочное пособие. М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной и судостроительной литературы, 1953. 208 с.
3. Унагаев Е.И., Осипов С.А. Поиск путей устранения литейных дефектов в отливках средствами виртуального моделирования процессов литья. Вест. ИрГТУ № 12 (83). 2013. С. 111–116.