

Е. И. Яблочников, А. В. Пирогов, А. А. Грибовский

СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Представлен типовой процесс проектирования литьевых форм с использованием систем виртуального моделирования. Отмечены значение и эффективность совместного применения систем виртуального моделирования и аддитивных технологий. Рассмотрена возможность применения аддитивных технологий для визуализации данных, рассчитываемых в САЕ-системах, а также изготовления элементов литьевых форм из полимерных материалов или металлических порошков.

***Ключевые слова:** аддитивные технологии, CAD/CAM/CAE-системы, литье под давлением, литьевые формы, силиконовые заливочные формы, формообразующие детали, конформные системы охлаждения.*

Введение. Технология литья термопластичных полимерных материалов (ТПМ) под давлением является одной из самых массовых технологий производства современных изделий. Пластиковые детали содержатся практически в любом изделии и степень их использования возрастает. При этом процесс подготовки производства средств технологической оснастки для литья изделий достаточно трудоемок и требует существенных временных затрат, которые могут не только повлиять на коммерческую успешность новых продуктов, но и поставить под сомнение целесообразность выпуска изделия как такового.

Применение методов и средств виртуального моделирования на различных этапах интегрированного процесса в сочетании с использованием технологий быстрого производства (аддитивных технологий) существенно увеличивает вероятность вывода на рынок новых изделий в приемлемые сроки и с требуемым качеством.

Виртуальное моделирование и аддитивные технологии. Процесс проектирования и производства изделия из ТПМ (рис. 1) характеризуется участием различных специалистов и принятием множества решений на каждом из этапов, что, в свою очередь, на практике приводит к множеству итераций.

Выбор аддитивных технологий для использования на разных этапах данного процесса зависит от различных факторов (применяемого материала, точности размеров, требований к качеству поверхностей, скорости изготовления) [1]. Современное оборудование на базе аддитивных технологий обеспечивает точность изделий до нескольких десятков микрон. Такой уровень точности в сочетании с высоким качеством поверхности позволяет использовать полученное изделие, например, в качестве мастер-модели при литье под вакуумом в силиконовые формы [2]. Применение данной технологии обеспечивает возможность получения небольших партий изделий с заданными параметрами (шероховатость поверхности, цвет и т.п.), вы-

полненных из разнообразных материалов-имитаторов промышленных ТПМ. Используя одну силиконовую форму, можно получить несколько десятков отливок (в зависимости от сложности мастер-модели и типа материала-имитатора), при этом за счет литья под вакуумом обеспечивается хорошая заполняемость даже форм со сложной геометрией. Использование литья в силиконовые формы совместно с аддитивными технологиями позволяет производить уникальные изделия с достаточно низкой себестоимостью, поэтому можно рекомендовать применение данного способа при производстве малых серий изделий из ТПМ. При увеличении размера партии деталей литье в силиконовые формы становится неэффективным вследствие повышения материальных и временных затрат на создание и тиражирование форм.



Рис. 1

Выделим следующие аспекты применения систем виртуального моделирования в сочетании с использованием аддитивных технологий: моделирование на этапах разработки и согласования конструкции изделия; моделирование конструкции литейной формы; моделирование процессов литья под давлением.

Моделирование на этапах разработки и согласования конструкции изделия. Для моделирования используются САЕ-системы (Computer Aided Engineering — системы инженерного анализа), получившие широкое распространение во множестве областей, связанных с производством и эксплуатацией изделий. Результаты расчетов в САЕ-системах обладают большой информативностью, которая выражается в виде графиков, таблиц и диаграмм. Однако для начальных этапов процесса проектирования и подготовки производства (маркетинговые исследования, выбор технологии производства) необходим такой вид представления информации, который будет максимально нагляден для руководителей проекта, маркетологов и других заинтересованных специалистов. Например, технология InkJet (или 3DP — трехмерная струйная печать — технология, основанная на послойном соединении порошкообразных материалов специальным клеевым составом) позволяет изготавливать наглядный трехмерный образец изделия (или формообразующих деталей литейных форм) с полноцветным (16 бит) представлением отклонений геометрических размеров изделия от исходных, а также значений напряжений или распределения давлений, полученных при расчетах в САЕ-системе.

Моделирование конструкции литейной формы. Виртуальное моделирование с использованием САЕ-систем, например Moldex3D, не ограничивается анализом „поведения“ изделия при его эксплуатации, но и позволяет изучить процесс его производства путем заполнения литейной формы расплавленным ТПМ. На этапе проектирования формообразующих деталей (ФОД) литейной формы целесообразно оценить потенциальные напряжения, вызванные повышенным давлением и температурой, и проанализировать их влияние на литейную форму. По диаграмме распределения давления (рис. 2, а) при заполнении формы и выдержке можно не только выяснить, справится ли форма с нагрузкой, но и определить предельную продолжительность цикла литья, при которой произойдет необратимое нарушение геометрии формы или ее разрушение. Также результаты анализа позволяют определить

максимальную температуру расплава, впрыскиваемого в полость (рис. 2, б), и оценить стабильность геометрии формы при ее нагреве.

Использование аддитивных технологий на стадии технологической подготовки производства литьевых форм обеспечивает возможность не только визуально оценить ФОД, но и изготовить реальные детали из стандартного ТПМ. При этом виртуальное моделирование (см. рис. 2) позволяет предварительно оценить давление внутри формы и подобрать такой материал (и соответствующую ему аддитивную технологию), который, с одной стороны, будет достаточно стоек к нагрузкам, а с другой — обеспечит приемлемое качество для проведения полноценных испытаний.

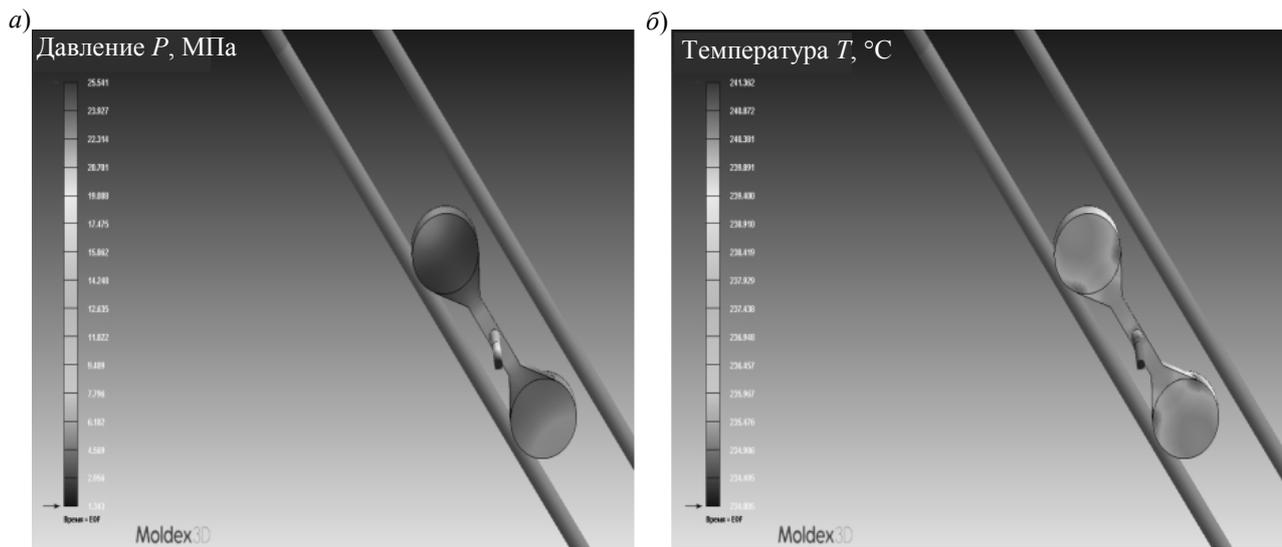


Рис. 2

Возможности получения ФОД из полимерных материалов в настоящее время широко исследуются разработчиками и производителями, хотя номенклатура соответствующих материалов сравнительно небольшая. В качестве примера можно привести материал Digital ABS компании “Stratasys”. В большей степени освоенными при изготовлении ФОД являются аддитивные технологии, использующие спекание или сплавление металлических порошков. В настоящее время это наиболее экономически выгодный вариант при изготовлении литьевых форм с конформными системами охлаждения.

Моделирование процессов литья под давлением. Применение конформных систем охлаждения литьевых форм позволяет максимально повысить эффективность охлаждения за счет сокращения времени цикла литья и улучшить качество деталей со сложной геометрией и при наличии разнотолщинности. Данные системы охлаждения проектируются таким образом, чтобы их контур по возможности эквидистантно повторял геометрию отливаемой детали. За счет такого расположения обеспечивается более равномерное охлаждение при литье. Геометрия конформных каналов охлаждения намного более сложная, чем каналов обычного охлаждения, соответственно их проектирование и изготовление является задачей повышенной сложности. Для примера на рис. 3, а показан внешний вид формообразующих деталей, а на рис. 3, б — 3D модель с выделенными конформными каналами охлаждения.

Использование конформных систем охлаждения позволяет создать эффективное равномерное тепловое поле (распределение температур в объеме или на поверхности тела) ФОД литьевой формы. В результате такие дефекты изделия, как коробление и усадка, а также возникающие остаточные напряжения могут быть устранены или существенно снижены.

Проектирование подобных систем охлаждения ФОД литьевых форм невозможно без применения специализированных CAE-систем анализа литьевых процессов. Например, примененная при моделировании система Moldex3D [3] позволяет проанализировать эффектив-

ность работы системы охлаждения литьевой формы как по величине перепада температур в разных частях отливки, так и по длительности цикла и соответственно оценить качество отливки. Использование результатов CAE-анализа и построение конформной сбалансированной системы, обеспечивающей равномерное и быстрое охлаждение всего изделия [4], позволяет значительно уменьшить время цикла (по результатам Moldex3D на 30—40 %). Для создания стойкой к температуре и высокому давлению оснастки рекомендуется использовать аддитивные технологии EBM (Electron Beam Melting — создание изделий за счет расплавления порошкового материала под действием пучка электронов) и LENS (Laser Engineered Net Shaping — создание изделий за счет спекания порошкового материала лазерным лучом).

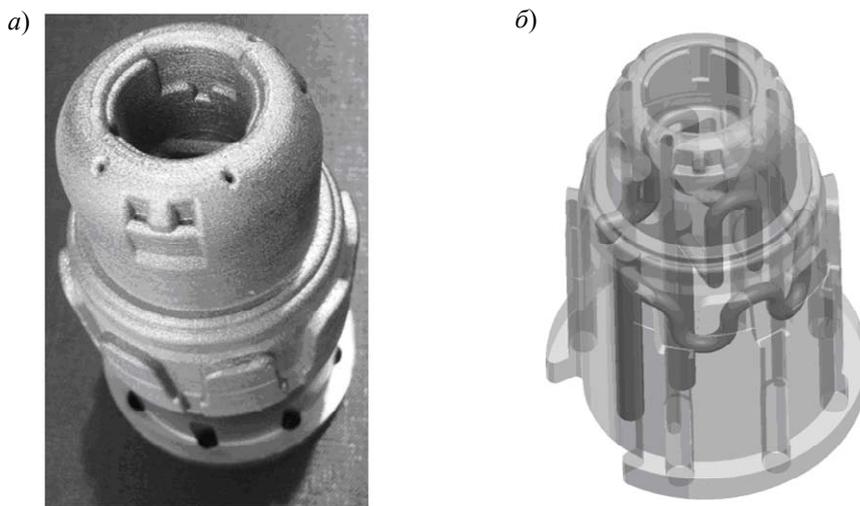


Рис. 3

Заключение. Применение аддитивных технологий совместно со средствами виртуального моделирования при проектировании и производстве изделий из термопластичных полимерных материалов позволяет существенно сократить время от начала разработки до выпуска конечного изделия. Эффективность такого подхода подтверждается его использованием при проведении опытно-конструкторских и технологических работ, выполняемых на кафедре технологии приборостроения Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. В качестве экспериментальной базы применялись установки Eden 350V и Dimension 1200s (производства фирмы “Stratasys”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грибовский А. А., Тамбовцева Н. А. Алгоритмы выбора технологий быстрого прототипирования для единичного и мелкосерийного производства изделий // Сб. тез. докл. конф. молодых ученых. Вып. 2. Труды молодых ученых / Под ред. В. О. Никифорова. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. С. 207—209.
2. Яблочников Е. И., Пирогов А. В., Васильков С. Д., Восоркин А. С., Кушнаренко А. А. Принципы проектирования литьевых форм для производства пилотных серий деталей оптических приборов из термопластичных полимерных материалов // Материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. „Современное машиностроение. Наука и образование“. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. С. 409—417.
3. Яблочников Е. И., Брагинский В. А., Восоркин А. С. Применение систем виртуального моделирования при выборе и проектировании полимерных композиционных материалов // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 7. С. 75—80.
4. Moldex3D [Электронный ресурс]: Direct Metal Laser Sintering Technology Applications on Conformal Cooling System Development, 2013; <<http://www.moldex3d.com/en/assets/2012/01/Direct-Metal-Laser-Sintering-Technology-Applications-on-Conformal-Cooling-System-Development.pdf>>.

Сведения об авторах

- Евгений Иванович Яблочников** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра технологии приборостроения;
E-mail: eugeny@beepitron.com
- Александр Владимирович Пирогов** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра технологии приборостроения;
E-mail: avpir@mail.ru
- Андрей Александрович Грибовский** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра технологии приборостроения;
E-mail: griandrey@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
05.02.14 г.