

Е. И. Яблочников, В. А. Брагинский, А. С. Восоркин

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены особенности выбора композиционного материала как ключевой задачи при проектировании изделий из полимеров. Описано применение системы моделирования процессов литья под давлением Moldex3D. Приведена последовательность этапов выбора и проектирования материала с использованием систем виртуального моделирования и инженерного анализа.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, литье под давлением, системы виртуального моделирования и инженерного анализа.

Выбор материала является ключевой задачей при проектировании новых изделий из полимеров. В принятии решений участвуют различные специалисты (представители заказчика, дизайнеры, конструкторы и технологи, специалисты по материалам, метрологи), образующие экспертную группу, которая отвечает за окончательное решение.

Методика выбора полимерного композиционного материала (ПКМ) определяется содержанием задания, в котором приводится необходимая информация в виде „опросного листа“, отражающего условия эксплуатации изделия. Проектировщик изделия должен точно указать необходимый уровень требуемых механических, термических, химических свойств, установить приоритетность требований с учетом их значимости и учесть дополнительные функциональные требования: например, ультрафиолетовое облучение, радиационное воздействие, эксплуатационные ограничения (параметры долговечности, ползучести и др.). Следует также принимать во внимание необходимые требования по выбору технологии переработки материала и сборки конструкций, в которые входит проектируемая деталь. Многие полимеры плохо противостоят действию различных химических веществ. Поэтому требуется также учесть возможность их воздействия на создаваемое изделие [1]. Качество формирования исходных документов определяет в дальнейшем эффективность всех процессов, связанных с жизненным циклом изделия (проектирование — производство — эксплуатация).

Как правило, для любого изделия (тем более, сложного и ответственного назначения) необходимо обеспечить достижение требуемых параметров не по одному, а по нескольким эксплуатационным свойствам, степень влияния которых на выбор материала различна. В этом случае выделяют основные эксплуатационные свойства, по которым производят первичный поиск и оценивают пригодность материала, далее решения уточняются с учетом дополнительных свойств, не вошедших в список основных (иногда при этом оказывается целесообразным определенное снижение требований).

На практике применяется большое количество баз данных по полимерным материалам, которые содержат: описание свойств материала, полученных производителями и испытательными

лабораториями в соответствии со стандартами ISO и ASTM; данные о производителях; области применения материалов (например, базы данных CAMPUS (www.campus.com), M-Base (www.m-base.com), IDES (www.ides.com), Matweb (www.matweb.com) и др.).

Однако зачастую в результате поиска с использованием баз данных, справочной информации, данных от производителей материалов не удается найти материал, удовлетворяющий предъявляемым требованиям. В таких случаях проблема решается созданием новых композиций, а именно, производится направленное регулирование свойств ПКМ посредством модификации полимерной матрицы и подбора наполнителя. Модификация полимерной матрицы осуществляется путем введения других полимеров, пластификаторов и смазок, стабилизаторов, добавок. Подбор наполнителя предполагает вариацию его типа, формы и соотношения (объемного или массового, в процентах) к полимерной матрице, а также возможную технологию введения в композицию.

При проектировании новых ПКМ необходимо принимать во внимание сложность и разнообразие процессов, происходящих на разных стадиях формообразования изделия; их интегральное влияние лежит в основе образования определенной структуры ПКМ и, следовательно, комплекса свойств любой новой композиционной полимерной системы. В этом случае проблема заключается в возможности быстрого оценивания свойств спроектированного материала, проверке возможности применения соответствующих технологических методов, анализе требований, предъявляемых к изделию. Данный комплекс задач может быть решен с использованием методов и технологий компьютерного моделирования [2].

На рис. 1 (модификация рисунка, приведенного в работе [3]) представлены этапы выбора и проектирования ПКМ, используемых при изготовлении изделий литьем под давлением.



Рис. 1

Литье под давлением — широко применяемый процесс изготовления изделий из ПКМ, армированных короткими волокнами. Эти материалы получают все большее распространение, заменяя традиционные неармированные полимеры и составляя конкуренцию композиционным материалам с непрерывными волокнами. Основными входными данными для использования программного обеспечения, моделирующего литье под давлением (в статье рассматривается система Moldex3D [2]), являются:

— сведения о количестве волокон (объемная или массовая часть, в процентах);

- соотношение геометрических размеров волокна (отношение длины к диаметру); средний диаметр и длина коротких волокон;
- термомеханические свойства волокна: например, удельная теплоемкость, теплопроводность, коэффициент теплового расширения, упругие свойства;
- реологические и термомеханические свойства: например, вязкость, сжимаемость, теплоемкость и теплопроводность;
- температура и давление при литье;
- расположение впускных литниковых каналов и конфигурация формообразующей полости.

В результате моделирования формируется картина поведения материала на этапах процесса литья под давлением на термопластавтомате (заполнение литьевой формы, выдержка под давлением, охлаждение) в виде диаграмм, наглядно представляющих распределение температур, давлений, реологических параметров, движение потока расплава, коробления, усадки и т.д.

В первую очередь оценивается характер и полнота заполняемости формы, что во многом зависит от реологических свойств материала. Если при этом оказывается, что невозможно изготовить изделие из данного материала, то принимается решение о доработке литьевой формы, изменении технологических режимов или даже конструкции изделия. Для сложных изделий, работающих под нагрузкой, большое значение имеют зоны спая, возникающие при встрече потоков расплава (рис. 2).



Рис. 2

Зоны спая „ослабляют“ конструкцию изделия. Следует обращать внимание на равномерность распределения давления и температуры в формующей полости на различных этапах процесса литья. Равномерность распределения давления расплава в отливке обеспечивает лучшее уплотнение материала, что, в свою очередь, обеспечивает более высокую геометрическую точность изделия, отсутствие воздушных включений и пустот, его прочность. Управление температурой расплава при заполнении формы позволяет достичь равномерности его течения, отсутствия термодеструкции материала, возникающей при слишком высоких температурах. Также становится возможным предсказать появление некоторых дефектов, вызываемых различными температурными колебаниями. Детально проводится анализ равномерности

охлаждения изделия, поскольку на основе картины распределения температуры на этапе выдержки с охлаждением делается вывод о возникновении остаточных напряжений, влияющих на механические свойства изделия и приводящих к усадочным деформациям [4]. Кроме того, деформации могут быть вызваны и неравномерной ориентацией волокон. На рис. 3 представлены результаты расчета усадочных деформаций и указано отклонение (Δd , мм) отливки от исходной модели изделия. На основе оценивания этих параметров из списка конкурентных материалов выбирается предпочтительный с точки зрения технологичности переработки и обеспечения точности и качества изделия. (Расчет проведен для материала PA66 CF35 марки RADILON® A CF350. Данный материал представляет собой композицию полиамида ПА66 (PA66), наполненного углеродным волокном (CF — carbon fiber); содержание волокна составляет 35 %.)

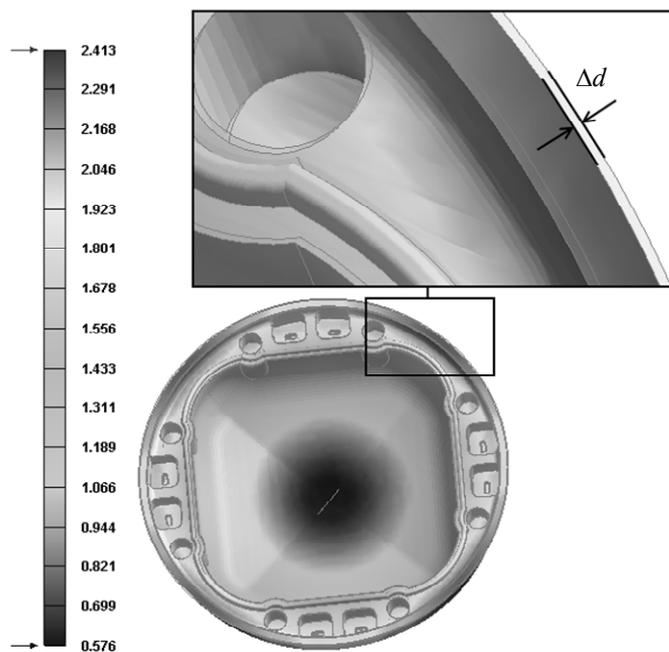


Рис. 3

Для достижения соответствия свойств выбранного материала заданным характеристикам изделия ориентация волокон имеет важнейшее значение, так как в процессе изготовления изделия именно ориентация волокон приводит к анизотропии свойств изделия. Картина распределения волокон в изделии после литья под давлением позволяет сделать вывод о предпочтительных для данного изделия направлениях и участках приложения нагрузки. В случае обратной задачи (когда известны места приложения и параметры нагрузки) это позволяет так подобрать литниковую систему, чтобы наилучшим образом обеспечить необходимые прочностные характеристики. На рис. 4 представлена картина ориентации волокон в изделии после заполнения полости литьевой формы, рассчитанная в системе Moldex3D. Численные значения показывают вероятность ориентации волокон.

После моделирования технологического процесса изготовления изделия данные об ориентации волокон в виде тензора ориентации (см. рис. 1) передаются в одну из систем структурного анализа (MSC.Nastran/Patran, Ansys, Abaqus, Samcef или др.) [5]. На основе усовершенствованной (относительно традиционного способа задания свойств материала, когда свойства задаются для всей модели усредненными) расчетной модели проводится анализ поведения изделия в условиях, определяемых техническим заданием или техническими требованиями, такими как жесткость, долговечность, ударопрочность, вибростойкость и др. Возможно проведение мультидисциплинарных расчетов, при которых учитывается влияние различных факторов одновременно. По результатам инженерного анализа принимается решение

о соответствии свойств данного материала эксплуатационным требованиям. При этом возможен вариант, когда доработка изделия выполняется в несколько итераций в целях достижения требуемых характеристик. Если же добиться этих характеристик не удастся, то материал исключается из списка конкурирующих.

Таким образом, выбор в пользу того или иного материала следует делать на основе оценки технологичности его переработки и степени обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик изделия, которые, в свою очередь, находятся в зависимости от технологического процесса изготовления.

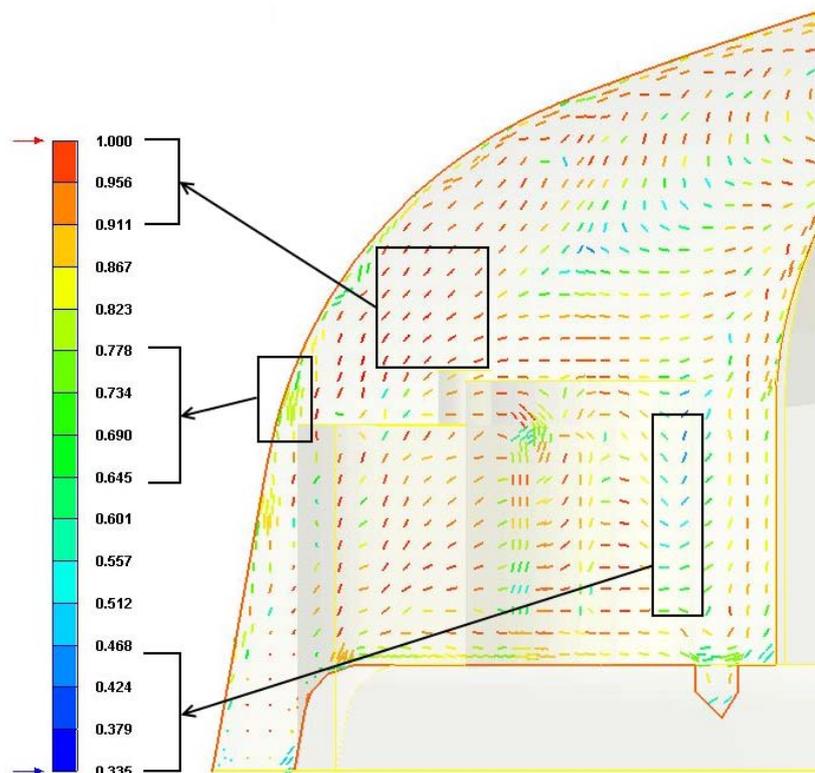


Рис. 4

Статья подготовлена по результатам исследований, проводимых в области информационно-телекоммуникационных систем для решения задач технологической платформы „Новые полимерные композиционные материалы и технологии“ по заказу Министерства образования и науки Российской Федерации (государственный контракт № 07.514.12.4015 на выполнение научно-исследовательских работ от 06.10.2011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения / Пер. с англ.; Под ред. А. Я. Малкина. СПб: НОТ, 2009. 732 с.
2. Яблочников Е. И., Васильков С. Д., Фомина Ю. Н. Интегрированные технологии проектирования изделий из полимерных композиционных материалов // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 2. С. 109—113.
3. Maréchal E. SAMCEF/Digmat based numerical simulation of short fibers reinforced thermoplastics in aircraft engine applications // 12th SAMTECH Conf. Belgium, 2011. P. 2—23.
4. Освальд Т. А., Тунг Л.-Ш., Грэмман П. Дж. Литье пластмасс под давлением / Под ред. Э. Л. Калинин. СПб: Профессия, 2008. 712 с.
5. Peng A. Y., Yang W.-H., Hsu D. C. Enhanced structure CAE solution with molding effect for automotive parts // 63rd Society of Plastics Engineers ANTEC 2005. Boston, 2005. P. 2787—2791.

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@bee-pitron.spb.su
- Владимир Абрамович Брагинский** — канд. техн. наук, доцент; журнал „Металлообработка“, Санкт-Петербург; член редакционного совета; E-mail: ipspe@mail.ru
- Алексей Сергеевич Восоркин** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра технологии приборостроения; E-mail: asvosorkin@gmail.com

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения НИУ ИТМО

Поступила в редакцию
23.02.12 г.