

А. С. ВОСОРКИН

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Отличительной чертой композиционных материалов является зависимость свойств выполненных из них изделий от микроструктуры материала. Рассмотрены особенности изготовления таких изделий. Описаны возможности применения систем инженерного анализа и моделирования при проектировании изделий из полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, литье под давлением, САЕ-системы, численное моделирование.

В современном мире полимерные композиционные материалы (ПКМ) получили широкое распространение. В области приборостроения большим потенциалом обладают полимерные композиционные материалы, армированные коротким волокном. Изделия из таких материалов изготавливаются методом литья под давлением, что обеспечивает им хорошее сочетание технологичности и механических свойств, из них возможно получать изделия практически любых размеров и геометрической формы.

Для изделий из ПКМ по сравнению с изделиями из ненаполненных полимерных материалов характерна зависимость конечных механических свойств не только от конструкции, но и от технологических режимов изготовления, поскольку в процессе изготовления формируется сложная пространственная структура расположения волокон, которая приводит к неоднородности свойств различных фрагментов изделия. С пространственной структурой связана неравномерная усадка материала. Когда ориентация изменяется, возникают локально усадки, что приводит к появлению внутренних напряжений и возможных деформаций, это, в свою очередь, ведет к короблению изделия [1].

Традиционный подход, основанный на использовании при конструировании изделия усредненных параметров материала и не учитывающий анизотропию свойств материала в различных областях изделия, приводит к тому, что конечное изделие имеет характеристики, отличные от требуемых. Кроме того, такой подход подразумевает закладывание больших коэффициентов запаса, что, в свою очередь, ведет к увеличению массы изделия, повышению материалоемкости [2].

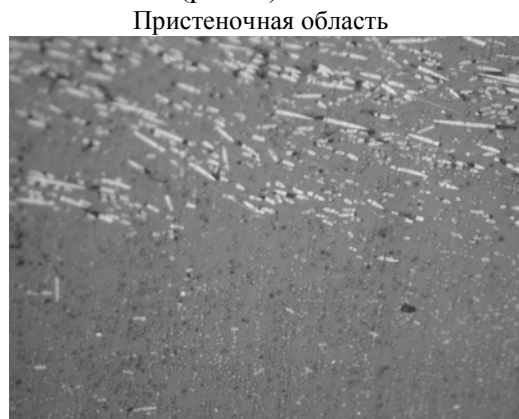
В ходе работы были проведены испытания образцов из полиэфирэфиркетона (ПЭЭК), армированного углеродным волокном (массовое содержание волокна 40 %). На термопластавтомате были изготовлены пластины размером 300×300×3 мм, из которых вырезались образцы в форме лопаток. Образцы различались ориентацией волокон относительно направления течения расплава: часть образцов была ориентирована в продольном направлении, часть — в поперечном. Испытания показали существенную зависимость механических свойств от положения образца при вырезке из пластины, в области разрыва наблюдалась ярко выраженная слоистая структура (рис. 1), которая определяет характер разрушения.

Как показывают исследования, механизмы формирования микроструктуры различны: расширение потока расплава, сдвиговые явления при заполнении формы.

Расширение потока происходит при впрыске расплава в формующую полость оснастки. Увеличение периметра фронта течения приводит к тому, что расплав подвергается эластичному расширению под прямым углом к направлению течения (рис. 2). Было определено, что

положение волокна в полости оснастки практически не зависит от его исходной ориентации (в литниковой системе).

Было установлено, что скорость потока выше всего в его середине, а по краям она уменьшается вплоть до нуля из-за адгезии с холодными стенками оснастки. Вблизи стенки существует ярко выраженный сдвиговый слой материала, в то время как в центре расплав почти не подвержен сдвигу. Армирующие волокна в среднем слое направляются „фонтанообразно“ непосредственно к стенке, подпадая под воздействие сдвига, что определяет их ориентацию вдоль направления течения (рис. 3).



Центральная область

Рис. 1

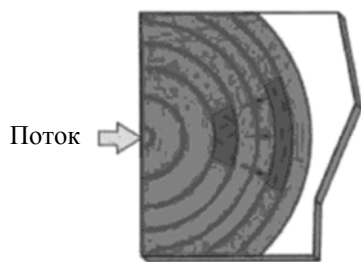


Рис. 2

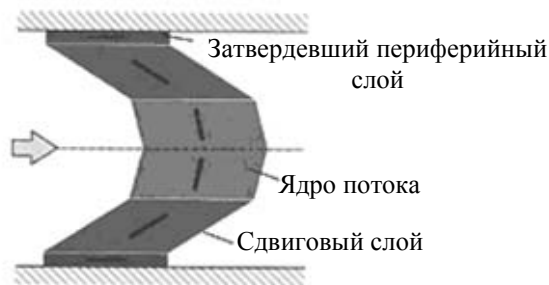


Рис. 3

Оценить влияние совокупности всех этих факторов на структуру расположения волокон, а также на жесткостные и прочностные характеристики изделия позволяют современные системы моделирования. Для проектирования конструкций из композиционных материалов необходимо опираться как на численное моделирование напряженно-деформированного состояния, так и на анализ процесса литья под давлением, это позволит подобрать оптимальные параметры изготовления.

При моделировании процесса изготовления изделий из ПКМ необходимо учитывать тензор ориентации волокон. Ориентация каждого отдельного волокна в расплаве может быть описана единичным вектором \mathbf{p} (рис. 4). В современных системах численного моделирования ориентация рассматривается как вероятностный процесс, что подтверждают микроснимки отлитых образцов: волокна никогда не выравниваются полностью.

Для учета этого фактора вводится функция случайного распределения ориентации $\psi(\mathbf{p})$, которая соответствует вероятности того, что волокно имеет направление \mathbf{p} . Практическое значение имеет пространственная ориентация волокна, определяемая тензорами второго порядка [2, 3]:

$$a_{ij} = \oint \psi(p) p_i \otimes p_j dp, \quad i, j = 1, \dots, 3. \quad (1)$$

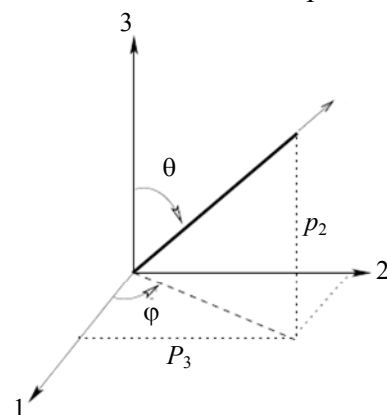


Рис. 4

Статистически тензор ориентации является моментом второго порядка поля ориентаций вектора \mathbf{p} . Тензор характеризует среднестатистическую ориентацию волокон в заданном объеме, он должен удовлетворять следующим условиям:

$$a_{ij} = a_{ji}, a_{ij} = 1. \quad (2)$$

Тензор может быть представлен в виде матрицы 6×6 :

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Основной интерес представляют значения тензора по главной диагонали, которые определяют степень (интенсивность) ориентации волокон вдоль одного из трех главных направлений ($11 = X$, $22 = Y$, $33 = Z$). Собственные векторы матрицы определяют направления в пространстве, вдоль которых в основном ориентированы волокна. В свою очередь, собственные числа дают количественную информацию о степени ориентации волокон в соответствующих направлениях: чем больше значение, тем выше степень ($0,3$ — случайная ориентация, 1 — ориентация строго вдоль заданного направления).

Определение тензора ориентации выполняется численно, при моделировании процесса инжекционного литья. Результаты моделирования могут быть представлены в виде картины распределения ориентации (рис. 5). Для дальнейшего исследования напряженно-деформированного состояния изделия результаты моделирования пространственной структуры могут быть переданы в системы структурного анализа. Моделирование процесса изготовления в совокупности со структурным анализом позволяет выбрать оптимальную пространственную структуру армирования, которая обеспечила бы получение необходимых прочностных и жесткостных характеристик изделия.

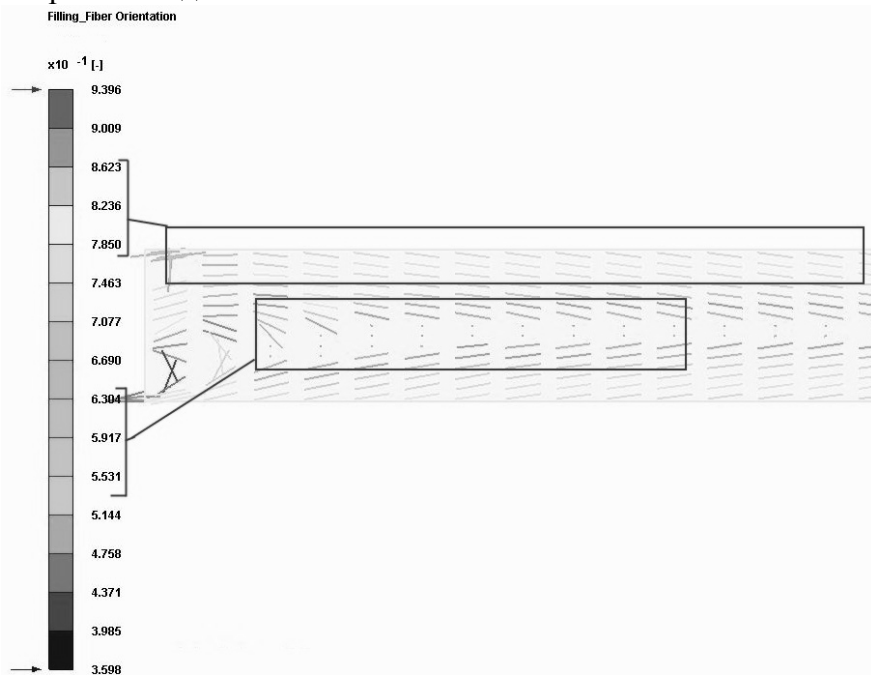


Рис. 5

Применение систем моделирования позволяет определять наилучшие параметры технологического процесса литья, а также геометрию литниковых каналов, которые обеспечили бы получение равномерной ориентации волокон по всему изделию.

Таким образом, учет пространственной структуры армирования с использованием систем виртуального моделирования позволяет более точно определять свойства ПКМ и получать качественные изделия, удовлетворяющие всем предъявляемым требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plastinfo.ru. Литьевые армированные изделия: характеристики коробления [Электронный ресурс]: <<http://plastinfo.ru/information/articles/print/167>>.
2. Яблочников Е. И., Брагинский А. Б., Восоркин С. В. Применение систем виртуального моделирования при выборе и проектировании полимерных композиционных материалов // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 7. С. 75—80.
3. Альтенбах Х., Науменко К. и др. Численное исследование влияния технологических параметров изготовления на упругие свойства коротковолокнистых композитных материалов // Вестн. НТУ „ХПИ“. Харьков, 2003. Т. 1. С. 184—192.
4. Phelps J. H., Tucker Ch. L. An anisotropic rotary diffusion model for fiber orientation in short- and long-fiber thermoplastics // J. of Non-Newtonian Fluid Mechanics. 2009. Vol. 156, is. 3. P. 165—176.

Сведения об авторе

Алексей Сергеевич Восоркин — аспирант; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: asvosorkin@gmail.com

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.

УДК 621.363

Е. И. Яблочников, П. В. Смирнов, А. С. Воробьев

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
КОРПУСИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Рассмотрены основные типы корпусов интегральных микросхем и технологии корпусирования, основанные на применении инжекционно-компрессионного литья. Указаны преимущества применения полимерных материалов для корпусирования электронных компонентов. Рассмотрены особенности применения систем виртуального моделирования технологических процессов при изготовлении корпусов различных типов.

Ключевые слова: корпус, электронный компонент, инжекционно-компрессионное литье, специализированный программный комплекс, моделирование технологических процессов.

Рассмотрим три основных типа корпусов электронных компонентов: с плоскими и вертикальными выводами, с шариковыми выводами на нижней плоскости корпуса и в форме пластины [1]. Первый тип корпусов наиболее распространен, но его главным недостатком является возможность деформации выводов в процессе формовки, тестирования и транспортировки на сборку, а также относительно большие габариты. Второй и третий типы относятся к более новым технологиям изготовления, которые активно развиваются в связи с тенденцией к миниатюризации изделий. Уменьшение размеров электронного компонента приводит к расширению областей его применения, начиная от калькулятора, часов и CD-привода и заканчивая микропроцессорами и микроконтроллерами. При корпусировании на уровне пластин основной задачей является выдерживание точности позиционирования, а при использовании корпусов с шариковыми выводами могут возникать трудности с контролем герметизации.

Во всех рассматриваемых типах корпусов используются полимерные материалы для герметизации с целью защиты элементов и компонентов интегральных микросхем от воздействия внешней среды (действия агрессивных сред, атмосферного кислорода, пыли, влаги, ме-