

Применение компьютерных технологий для оценки процесса литья пластмасс

Барвинский И.А., Барвинская И.Е.
ООО «Инженерная фирма АБ Универсал»

Доклад на международной научно-практической конференции «Полимерные материалы XXI века», Москва, 8-9 ноября 2006 г.

Разработка методов моделирования процесса литья термопластов для реальных изделий является одним из актуальных направлений современной науки. Использование концепции сплошной среды /1/ и фундаментальных законов механики и термодинамики позволило получить математические модели всех стадий процесса литья.

Точное решение системы уравнений, описывающих, например, стадию впрыска, можно найти только для одномерного течения расплава в канале с простой геометрией при целом ряде принципиальных упрощений /2-3/. Применение такого подхода к литьевым изделиям, отличающихся сложностью и разнообразием конфигураций, в общем, является недостаточно эффективным.

Современный компьютерный анализ литья пластмасс – совокупность численных методов приближенного решения систем уравнений, описывающих стадии процесса литья на моделях, геометрия которых приближена к геометрии реальных изделий. Эти методы оказались успешными с точки зрения точности получаемых оценок при приемлемой стоимости расчетов. Благодаря своим успехам компьютерный анализ оформился в важный раздел современной промышленности.

Необходимым условием получения корректных результатов в компьютерном анализе является учет особенностей используемых моделей изделия, материала и процесса, параметров литьевого оборудования. В данном докладе мы хотим остановиться на этом вопросе.

По мере развития методов компьютерного анализа литья термопластов были разработаны несколько подходов (1D, 2D и 3D), использующих различные типы моделей процесса /4/. В этих подходах применяются различные типы моделей отливки и, соответственно, различные способы их диагностики и корректировки, алгоритмы расчетов, способы вывода результатов. В конкретных коммерческих программных продуктах обычно используется один из подходов.

1D-подход (по историческим причинам он часто называется 2D-анализом) базируется на концепции «потока». В этом подходе применяется модель одномерного неизотермического течения сжимаемого расплава. Данный подход позволяет определить потери давления на стадии заполнения и рассчитать важнейшие характеристики полимера: температуру, скорость и напряжение сдвига и др. Он также позволяет автоматически решить некоторые оптимизационные задачи (оптимизация скорости впрыска, балансировка потоков) /5-6/.

1D-подход оказывается «нечувствительным» к некоторым явлениям, которые происходят при литье и оказывают большое влияние на качество изделий. К таким явлениям относится, например, эффект «замедленного течения» расплава /7/. Моделирование процесса уплотнения расплава в рамках концепции «потока» также оказывается малоэффективным, поскольку направление течения расплава на стадии уплотнения в изделиях, имеющих сложную геометрию, часто не совпадает с направлением течения при впрыске. Эти явления могут быть смоделированы в 2D-подходе, поэтому их можно назвать «2D-эффектами».

2D-подход основывается на так называемой модели течения Хеле-Шоу, в которой течение расплава полимера рассматривается как двумерное /8/. По историческим причинам 2D-подход часто называют 2.5D-анализом или 3D-анализом. В этом подходе расчеты выполняются на модели «средней линии» литьевой полости (Midplane) или на модели поверхности изделия (Dual Domain /9/). Течение в литниковых каналах в этом случае обычно моделируется как одномерное.

Существуют явления, наблюдаемые при литье термопластичных материалов, к которым 2D-подход оказывается «нечувствительным», их можно назвать «3D-эффектами». К таким явлениям, например, относятся явления, связанные с нестационарностью процесса течения полимера, возникающие в разветвленных литниковых каналах /10/. Эти явления оказывают большое влияние на процесс заполнения в некоторых распространенных конструкциях многоместных форм, а также в отливках с несколькими впусками. К 3D-эффектам можно также отнести заполнение углов изделия, образование линий спая и воздушных ловушек в толстостенных изделиях, а также явления, связанные с влиянием более интенсивного охлаждения в углах изделия /11/.

Учет параметров литьевой машины при проведении компьютерного анализа связан с рядом проблем, важнейшей из которых является проблема оценки износа и фактического состояния машины. Фактическое состояние литьевой машины наиболее полно можно оценить по ее инъекционной характеристике – зависимости максимальной скорости впрыска от давления расплава, замедленного на выходе из сопла литьевой машины /12/.

При литье термопластов могут быть реализованы различные режимы процесса, которые должны быть учтены при проведении расчетов и интерпретации результатов. Заполнение изделия в обычном процессе осуществляется в два этапа. Вначале происходит заполнение в режиме управления скоростью впрыска (режим впрыска), задается постоянная скорость или профиль скорости впрыска. Оставшаяся часть заполняется в режиме управления давлением, задается постоянное давление или профиль давления (давление выдержки). Момент переключения на режим управления давлением (обычно он соответствует заполнению 92–98 % объема изделия) – важнейший технологический параметр в реальном процессе и компьютерном анализе.

Сетка элементов, используемая в компьютерном анализе, оказывает большое влияние на результаты расчетов. Форма элементов влияет на сходимость результатов (при отсутствии сходимости результаты расчетов могут быть некорректными), характер растекания расплава и др. Размеры элементов сетки выбираются в соответствии с особенностями изделия. Сетка с крупными элементами «нечувствительна» к положению спаев и мест запираания воздуха. В областях с перепадами толщин, как правило, требуется, сетка с меньшими размерами элементов.

Очень важна модель материала, используемая в компьютерном анализе. В анализе течения в это понятие входят модели сдвиговой и продольной вязкостей, модель PVT-характеристик (зависимость удельного объема от температуры и давления), модели теплоемкости и теплопроводности полимера.

В современном компьютерном анализе для сдвиговой вязкости используются модели (например, модель Кросса-ВЛФ и др.), позволяющие с достаточно высокой точностью описать реологические свойства большинства полимеров в широком диапазоне скоростей сдвига с учетом влияния давления.

Определенные проблемы возникают при использовании PVT-данных для кристаллизующихся полимеров. В настоящее время для расчетов обычно применяются PVT-характеристики, полученные в условиях, приближенных к равновесным, т.е. при медленном охлаждении. Известно, что скорость охлаждения оказывает большое влияние на PVT-диаграмму, однако PVT-характеристики при быстром охлаждении изучены пока только для небольшого числа марок полимеров /13/.

В настоящее время используются достаточно сложные модели процесса литья. Однако существует множество явлений, которые обычно не учитываются при моделировании, но которые могут оказывать существенное влияние на ход процесса и качество литьевого изделия. К таким явлениям относятся: процессы деструкции (термоокислительной, гидролитической, механодеструкции и др.), происходящие в материальном цилиндре, литниковой системе и литьевой полости; явления фракционирования при течении расплава; неустойчивого течения на входе в изделие; процесс разрушения волокнистого наполнителя при течении расплава и др. Все эти явления обязательно должны быть отражены в модели процесса, во многих случаях достаточно оценить критические параметры системы, достижение которых приводит к нежелательным явлениям и потере качества. Но в некоторых случаях это сделать невозможно. Например, несмотря на полувековое изучение комплекса явлений, называемых неустойчивым течением, до сих пор нет четкого понимания механизмов и критериев их появления /14/.

Компьютерный анализ базируется на достижениях науки, однако и сегодня в области литья пластмасс существует немало «белых пятен». Это касается процессов кристаллизации при течении, адгезии расплава к стенке канала, неустойчивого течения на фронте потока /15/, агломерации фаз при течении расплавов блок-сополимеров /16/, прогнозирования линейной усадки и многих др. вопросов.

При проведении компьютерного анализа конкретного изделия необходимо учитывать весь круг явлений и проблем, которые могут оказывать влияние на качество изделия и производительность процесса вне зависимости от возможностей и ограничений используемого программного продукта. Для эффективной работы специалист, выполняющий компьютерный анализ, должен иметь широкие знания в области технологии литья, материалов, литьевого оборудования и оснастки.

Литература

1. Седов Л.И. Механика сплошной среды. т. 1, М., Наука, 1970, 492 с.
2. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов). М., Химия, 1977, 464 с.
3. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. М., Химия, 1984, 632 с.
4. Литье пластмасс под давлением. Под ред. Т. Освальда, Л.-Ш. Тунга, П.Дж. Грэмманна. Пер с англ. под ред. Э.Л. Калинин. СПб, Профессия, 2006, 712 с.
5. Austin C. Computer-aided part and mould design. In: Developments in injection moulding. Ed. by. A. Whelan. London, New York, 1985, v. 3. p. 111-160.
6. Катышков Ю.В. «Компьютерная система расчета и оптимизации технологического процесса литья пластмасс Пластик-2D win. 1. Структура и возможности системы». Пласт. массы. 2004, № 1; Катышков Ю.В. Компьютерная система расчета и оптимизации технологического процесса литья пластмасс «Пластик-2D win». 2. Схематизация литьевых изделий. Пласт. массы, 2004, № 2, с. 37-39.
7. Austin C. Modflow design principles. Moldflow Pty. Ltd., 1991, 54 pp.
8. Kennedy P. Flow analysis of injection molds. Hanser, 1995, 237 p.
9. US Patent 6 096 088. Method for modeling three dimension objects and simulation of fluid flow. 2000.
10. Beaumont J.P., Nagel R., Sherman R. Successful injection molding: Process, design and simulation. Hanser, 2002, 362 p.
11. Costa F.S., Yokoi H., Murata Y., Kennedy P.K. Numerical simulation of ear-flow: The faster advance of the flow front at the edge of a cavity. In: Polymer Processing Society, 22nd Annual Meeting, Yamagata, Japan, July 2-6, 2006, G08-K2.
12. Глухов Е.Е., Попов Е.Н. Инжекционные характеристики литьевых машин и расчет форм. Пласт. массы, 1980, № 3, с. 43-44.
13. Van der Beek M.H.E., Peters G.W.M., Meijer H.E.H. The influence of cooling rate on the specific volume of isotactic polypropylene at elevated pressures. Macromol. Mater. Eng., 2005, v. 290, No. 5, p. 443-455.
14. Малкин А.Я. Неустойчивость при течении растворов и расплавов полимеров. ВМС, А, 2006, т. 48, № 3, с. 1-22.
15. Bogaerds A.C.B., Hulsen M.A., Peters G.W.M., Baaijens F.P.T. Stability analysis of injection molding flows, J. Rheol., 2004, v. 48, No. 4, p. 765-785.
16. Chang M.C.O., Nemeth R.L. Rubber particle agglomeration phenomena in acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) polymers. I. Structure-property relationships study on rubber particle agglomeration and molded surface appearance. J. Appl. Polym. Sci., 1996, v. 61, No. 6, p. 1003-1011.

Препринт (С) И.А. Барвинский, И.Е. Барвинская, 2006

ООО «Инженерная фирма АБ Универсал»

Авторизованный дистрибьютор компании *Moldflow*

Тел./факс: (095) 5812732. E-mail: igor.abuniver@mtu-net.ru. Сайт: <http://abuniversal.webzone.ru>

Адрес для писем: 140093, г. Дзержинский, Московской обл., а/я 97