

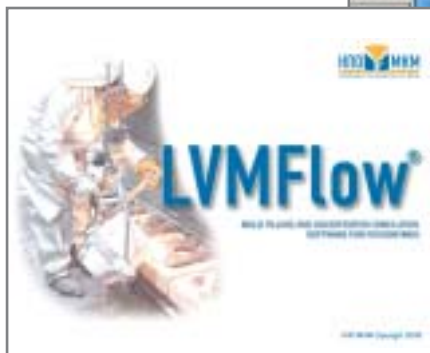
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ: ЧТО ВЫБРАТЬ?

Бурное развитие компьютерной техники и применение математического моделирования в литейной промышленности привело к появлению большого числа программ, посредством которых более или менее успешно решаются задачи, с которыми литейщики сталкиваются в повседневной практике.

На сегодня в мире насчитывается более десяти систем автоматизированного моделирования литейных процессов (САМ ЛП). Специалистам хорошо известны немецкая программа Magma и американская Procast, в этом же ряду нужно упомянуть американскую SolidCast, финскую CastCAE и немецкую WinCast. Две разработки – "Полигон" и LVMFlow – имеют российское происхождение.

Создаваемые в российских университетах прототипы подобных систем находят применение на местных предприятиях, но ограничены несколькими частными случаями или имеют существенные упрощения. Что же касается разработки по-настоящему мощной системы моделирования литейных процессов, то она требует привлечения множества специалистов, а также соответствующего финансирования.

Опыт практического применения САМ ЛП показал, что программные продукты зарубежных производителей

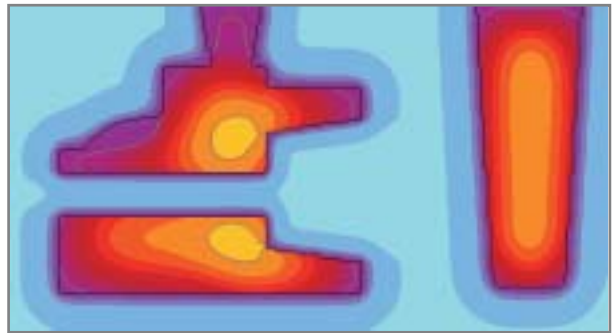
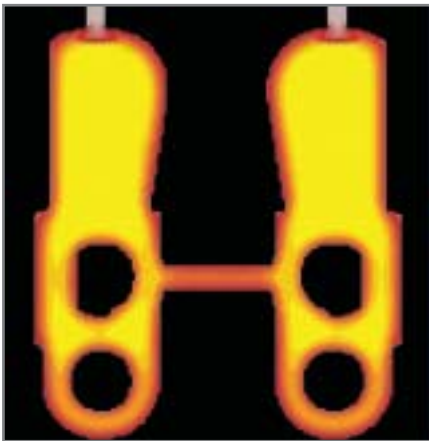


лей не получили серьезного распространения на российском рынке. Причиной тому высокая цена программ, отсутствие в большинстве случаев русского интерфейса и отечественной базы данных по материалам и сплавам, а также сложности обучения.

Программы для моделирования литейных процессов, используемые сегодня в России, в основном различаются степенью полноты факторов, учитываемых при моделировании, и, соответственно, стоимостью. Второе существенное различие связано с ме-

тодами получения и решения различных уравнений: уравнения тепло-массопереноса могут быть записаны в дифференциальном или интегральном виде.

Метод конечных разностей (МКР) базируется на уравнениях в дифференциальной форме, при этом дифференциальные операторы заменяются конечно-разностными соотношениями различной степени точности. Как правило, они строятся на ортогональных сетках (прямоугольной, цилиндрической и т.д.). Это позволяет факторизовать операторы и свести решение многомерной задачи к последовательности одномерных задач, а значит существенно упростить и ускорить решение общей системы уравнений. К недостаткам метода следует отнести плохую аппроксимацию границ сложных обла-



стей, что не слишком принципиально для уравнений теплопроводности, но довольно существенно для уравнений гидродинамики. Кроме того, метод плохо работает в случае тонкостенных отливок, когда толщина стенок становится сравнимой с шагом сетки.

Методы конечных элементов (МКЭ) и конечных объемов (МКО) базируются на уравнениях теплопереноса в интегральном виде. Область, в которой решаются уравнения, разбивается на элементы, внутри которых строятся аппроксиманты функций на основе системы базисных функций, определенных на элементе. "Проецируя" интегральные уравнения на эти базисы, получают систему разностных уравнений. Система значительно сложнее принятой в МКР, ее решение требует

больших ресурсов памяти и немалого времени. Одно из главных достоинств метода конечных элементов — хорошая аппроксимация границы, а основные недостатки — необходимость в добротном генераторе конечных элементов, сложность уравнений и невозможность факторизации.

Модификации МКО пытаются соединить в себе простоту и факторизацию МКР и хорошую аппроксимацию границ между различными материалами и различными фазами.

Сравнительная оценка двух математических методов, МКР и МКЭ, не раз приводилась в научных изданиях: авторы этих обзоров показали, что при решении некоторых литейных вопросов предпочтителен метод

конечных элементов. Действительно, при решении задач, связанных, например, с получением тонкостенных отливок больших геометрических размеров, МКЭ обеспечивает ряд преимуществ, поскольку позволяет использовать конечные элементы разной дискретности. Использование метода конечных разностей в подобных случаях приводит к увеличению количества узлов сетки и, следовательно, к большей продолжительности компьютерного расчета.

Современное развитие компьютерной техники полностью снимает

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В САМ ЛП LVMFlow, ПОЗВОЛЯЕТ В ТЕЧЕНИЕ КОРОТКОГО СРОКА (ОТ НЕСКОЛЬКИХ ЧАСОВ ДО НЕСКОЛЬКИХ ДНЕЙ) РЕШИТЬ ПОСТАВЛЕННУЮ ЗАДАЧУ, НЕ ТРЕБУЯ ОТ ТЕХНОЛОГА СПЕЦИАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ.

ограничения по объему оперативной памяти персональных компьютеров, необходимой для решения самых сложных задач, с которыми сталкиваются технологи-литейщики. Как показывает практика, для решения большинства производственных задач методом конечных разностей достаточно 512 Мб оперативной памяти.

Как уже сказано, отечественные разработки в области систем автоматизированного моделирования литейных процессов представлены двумя программными продуктами: "Полигон" (разработчик — ООО "Фоклад", Санкт-Петербург) и LVMFlow (разработчик — ЗАО "НПО МКМ",

Ижевск), которые используют различные математические методы: МКЭ и МКР соответственно.

Практическое сравнение программ показало, что использование метода конечных элементов, применяемого в САМ ЛП "Полигон", не обеспечивает удовлетворительных результатов при оперативном решении производственных задач. Сложность заключается в том, что использование МКЭ требует высокой квалификации инженеров-технологов и больших затрат рабочего времени при проведении анализа литейной технологии. Кроме того, необходимо приобретение дорогостоящего дополнительного программного обеспечения для генерации сетки конечных элементов. Поскольку в производственных условиях не всегда удастся высвободить отдельного специалиста для работы с САМ ЛП "Полигон", программа не используется на полную мощность: количество выполняемых расчетов невелико, и спустя некоторое время интерес технологов-литейщиков к этой программе угасает.

Напротив, использование метода конечных разностей, применяемого для решения технологических задач в САМ ЛП LVMFlow, позволяет в течение короткого срока (от нескольких часов до нескольких дней) решить поставленную задачу, не требуя от технолога специальной подготовки. Связано это с тем, что трудоемкая операция разбиения геометрической модели отливки на расчетные элементы, которая при работе в "Полигоне" может занять до 90% отведенного на моделирование времени, в LVMFlow происходит автоматически — технологу нужно только указать размер "ячейки".

Следует отметить, что продолжительность обучения работе с САМ ЛП LVMFlow не превышает 16 часов, после чего технолог может приступать к

самостоятельному моделированию литейных процессов. Продолжительность обучения системе "Полигон" в производственных условиях составляет от шести месяцев до года.

В сотрудничестве со шведской фирмой NOVACAST AB программный комплекс LVMFlow доработан до уровня требований мирового рынка. Достоверные результаты моделирования, их наглядное представление, широкие возможности, удобный интерфейс и разумная цена обеспечили коммерческий успех системы за рубежом (с 1993 года произведено более 150 инсталляций в США, Канаде, Бразилии, Швеции, Норвегии, Австралии, Турции); более 20 инсталляций выполнено в России и странах СНГ. Система "Полигон" установлена на лицензионной основе не более чем на двух десятках предприятий России, Китая и стран СНГ.

САМ ЛП LVMFlow апробирована специалистами Consistent Software Воронеж на предприятиях Воронежской, Липецкой, Орловской, Тамбовской, Белгородской, Волгоградской, Саратовской, Самарской областей, а также на многих других предприятиях России. Проведено более полутысячи расчетов. Достоверность получаемых результатов можно оценивать с вероятностью 90-95%.

Отличительная черта LVMFlow — возможность моделировать заполнение полости формы расплавом. Это обеспечивает получение более точных результатов, а также позволяет технологу-литейщику анализировать влияние различных литниково-питающих систем. Система "Полигон" такой опции не имеет и в целом значительно уступает системе LVMFlow в количестве предоставляемых возможностей для анализа литейной технологии.

По продолжительности компьютерного времени, необходимого для расчета той или иной отливки, обе системы показывают приблизительно одинаковые результаты.

САМ ЛП LVMFlow может использоваться для моделирования таких способов литья, как литье по выплавляемым моделям, литье в землю, в кокиль, изложницу, литье под давлением. Из дополнительных элементов оснастки, применяемых в литейной технологии, в LVMFlow рассматриваются теплоэлектронагреватели, каналы с теплоносителями, фильтры,

противопригарные покрытия. Предусмотрено моделирование многократного использования формы, что важно при моделировании литья в кокиль и под давлением.

Система LVMFlow предоставляет возможность получить распределение температурно-фазовых полей в отливке и форме, количество незатвердевшей жидкой фазы, полей скоростей и давлений, места образования усадочных раковин и микропористости, а также проследить движение шлаковых частиц и определить места их скопления. Пользователь может оценить время затвердевания и получить параметры "модуля" отливки.

Подводя итог, следует сказать, что при решении вопросов, связанных с литейным производством, САМ ЛП LVMFlow является незаменимым инструментом технолога-литейщика. Учитывая широкие возможности программы, оперативность получения не-

обходимых результатов и невысокую стоимость (LVMFlow в 1,5-2 раза дешевле системы "Полигон", а по сравнению с зарубежными аналогами его стоимость ниже в несколько раз), срок окупаемости LVMFlow составляет 2-6 месяцев (в зависимости от типа производства). Система постоянно совершенствуется с учетом пожеланий российских и зарубежных пользователей.

Добавим в завершение, что оптимальный подход состоит не в выборе какой-либо САМ ЛП, а в использовании комплекса программ — именно это позволяет получить серьезный выигрыш в скорости, точности и адекватности получаемых результатов экспериментальным данным.

Владислав Турищев
Consistent Software Воронеж
 Тел.: (0732) 39-3050
 E-mail: vlad@csoftv.vrn.ru
 Internet: www.csoft.vrn.ru

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ

система моделирования ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

LVMFlow

**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА
 ТЕХНОЛОГА-ЛИТЕЙЩИКА**

**СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ И СРЕДСТВ
 НА ПОДГОТОВКУ НОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**Consistent®
 Software**

Москва, 121351, Молодогвардейская ул., д. 46, корп. 2
 Тел.: (095) 913-2222, факс: (095) 913-2221
 Internet: www.consistent.ru E-mail: sales@csoft.ru