

УДК 621.746

С.П. Андреев, инж., А.Г. Щербина, инж.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ ОТЛИВОК ПОРШНЕЙ

На ОАО «АВТРАМАТ» действует полный цикл создания поршней для двигателей внутреннего сгорания, включающий в себя процессы проектирования, производства и испытаний, а также процесс проектирования и изготовления литейной оснастки и оснастки для механической обработки.

В начале 2005 года в этот цикл включен внедренный на заводе программный комплекс LVM Flow для расчета и анализа параметров процесса заливки и кристаллизации отливок любой формы. Программа LVM Flow состоит из следующих модулей: база данных материалов; модуль импорта 3D модели; модуль создания конечно-разностной сетки и начальных установок; расчетный модуль; банк паспортов.

Процесс проектирования поршня в отделе главного конструктора начинается с построения 3D модели с учетом припуска на механическую обработку. Эта модель передается в отдел главного металлурга, где к ней добавляются элементы литниково-питающей системы (рис.1).

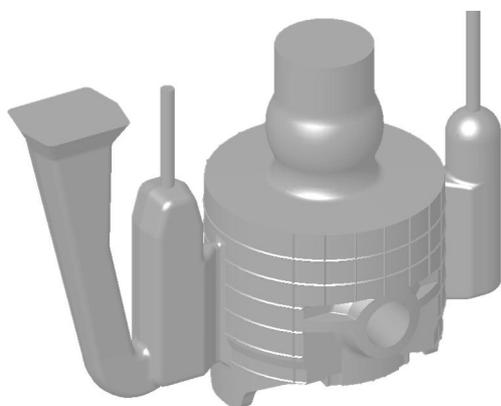


Рис.1. Модель отливки поршня

Дальнейшим этапом является создание пригодной для использования в LVM Flow 3D модели ли-

тейной оснастки, которая несколько отличается от реальной конструкции. Так некоторые элементы оснастки из одного материала объединяются в один (матрица и стержни), потому что при моделировании не имеется возможности задавать зазор или термосопротивление между элементами оснастки. Но как показывает практика, в этом нет необходимости вследствие направленности тепловых потоков, в основном, вдоль поверхностей стыка элементов оснастки. Еще одной особенностью является то, что в 3D модели каждый элемент отливки (литник, питатель и т.д.) окружается отдельным элементом оснастки, для обеспечения возможности задания в LVM Flow различных параметров теплозащитных и утепляющих покрытий. Так же в 3D модель оснастки может быть добавлен элемент, имитирующий канал охлаждения сложной формы, и на основе которого будет автоматически построен 3D канал.

Далее модель оснастки вместе с отливкой импортируется в формат STL. На основе STL файлов создается конечно-разностная сетка. Как известно, главным недостатком конечно-разностной схемы является не абсолютно точное, ступенчатое описание геометрии, что приводит к необходимости построения мелкой сетки с большим числом конечных элементов. Особенно в случае расчета течения, когда в самом тонком месте отливки требуется не менее 3 конечных элементов (рекомендуется для увеличения точности 4-6). Это в свою очередь требует, большого объема оперативной памяти. Рекомендуется не менее 1ГБт. Но как показала практика расчетов, что является неприемлемым для многих других программных продуктов, для литейных программ не является недостатком. В данном случае выступаю-

щие элементы сетки являются центрами кристаллизации и, таким косвенным образом, имитируют случайные факторы (неравномерная толщина покрытий, образование воздушного зазора, неоднородный хим. состав сплава). Особенно это проявляется в тонкостенных элементах конструкции, в частности, в юбке поршня, имеющей в конце процесса заливки незначительный температурный градиент. В этом случае существенное влияние на направленность кристаллизации оказывают случайные факторы.

После построения сетки задаются материалы, упрощенная геометрия каналов охлаждения элементов оснастки и параметры покрытий формообразующей части оснастки.

Следует остановиться на особенностях расчета. LVM Flow предлагает три варианта расчета: заливка; кристаллизация; заливка с кристаллизацией. Опыт расчетов показал, что для получения достоверных результатов, совпадающих с реальным процессом получения отливки, необходимо проводить расчет заливки с кристаллизацией. В процессе заливки происходит существенный теплоотвод от материала отливки в детали оснастки. В конце заливки, в наиболее удаленных от литника точках температура может упасть до температуры солидуса. Так же имеет большое значение порядок заполнения формы (рис.2). Таким образом, в конце процесса заливки температурное поле в материале отливки оказывается сильно неравномерным (в отличие от расчета кристаллизации без заливки), что оказывает существенное влияние на процесс кристаллизации.

Расчетный модуль LVM Flow предоставляет возможность циклического расчета нескольких отливок (количество и отрезки времени задаются). Из всех предложенных вариантов наиболее рациональным, по нашему мнению, является вариант: все солид (кристаллизация), последний течение плюс солид. В этом случае анализ результатов проводится по последней отливке. Все предыдущие отливки в про-

цессе кристаллизации нагревают оснастку, создавая в ней неравномерное температурное поле. Таким образом, заливка последней (анализируемой) отливки происходит в оснастку, которая имеет температурное поле, приближенное к реальному, что оказывает положительное влияние на достоверность получаемых результатов.

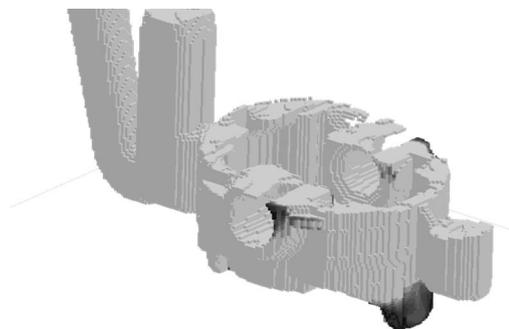


Рис.2. Параметр Жидкая фаза в процессе заполнения

В расчетном модуле задаются параметры заливки и порог протекания для материала отливки, оказывающий влияние на образование усадочных дефектов, и требующий определенного объема экспериментов для идентификации. Параметры заливки нужно задавать такими, что бы заполнение было плавным, а скорость потока в форме не превышала определенного значения (для алюминиевых сплавов рекомендуется не более 0,5 м/с). Также задаются рассчитываемые параметры, которые контролируются в процессе расчета, и сохраняются с определенным шагом по времени в файл-паспорт отливки. Основными являются скорость, давление, жидкая фаза, усадка и критерий Niyama. Математическое выражение критерия Niyama представляет собой отношение градиента температуры к корню квадратному из скорости охлаждения $\frac{\text{grad}T}{\sqrt{dT/dt}}$. Рассчитывается для каждой точки в момент достижения температуры солидуса. Физический смысл представляется как условия питания в момент затвердевания. Данный критерий (рис.3) позволяет анализировать причины

возникновения дефектов. По величине этого критерия можно судить о вероятности возникновения дефектов (микропористость), не выявленных в результате расчета усадочных макродефектов (параметра усадка, см рис.4). Наиболее опасными зонами являются области, где критерий Niyama $< 0,8..1$.

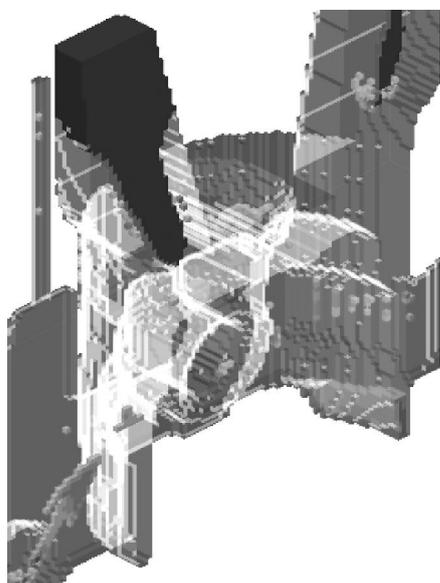


Рис.3. Критерий Niyama (условия питания)



Рис.4. Усадка

В большинстве случаев наиболее важным является анализ изменения поля жидкой фазы по времени (рис.5). При наличии некоторого опыта такой анализ позволяет прогнозировать образование усадочных

дефектов, и принимать меры по их устранению или минимизировать вероятность их появления.

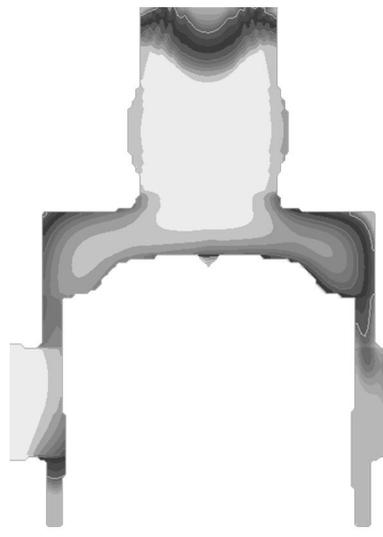


Рис. 5. Жидкая фаза в процессе кристаллизации

Описанный выше алгоритм выполняется для всех вновь разрабатываемых изделий. Это позволяет избежать больших материальных и временных затрат на эксперименты и доработку оснастки при запуске в производство, а так же улучшить качество отливок и снизить брак.

При разработке новой литниково-питающей системы для изделия, находящегося в серийном производстве, сначала выполняется расчет со старой литниковой системой, а потом путем численных экспериментов подбирается новая - более эффективная. Это позволяет не только снизить брак, но и уменьшить металлоемкость литниково-питающей системы на 30...35%.

Расчеты в LVM Flow позволили выявить причины всех систематических дефектов (пористость на юбке, поры на щели питателя, дефекты в головке поршня со стороны, противоположной прибыли) по отливкам поршней для ДВС легковых автомобилей (ВАЗ, МеМЗ), и принять решения, направленные на их устранение.