

Компьютерное моделирование литейных

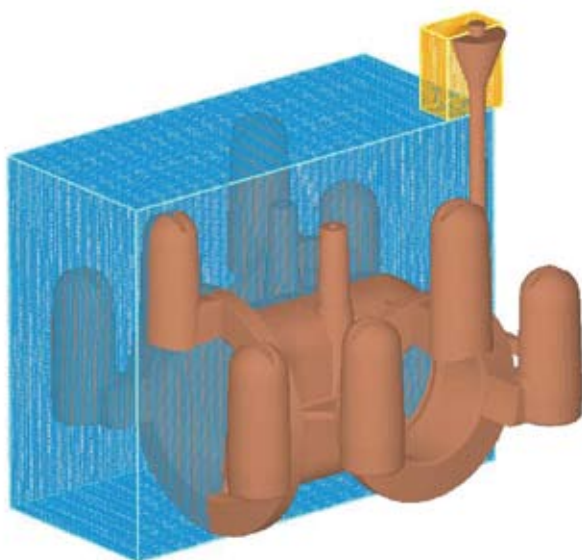


Рис. 1. Отливка «Корпус клиновой задвижки» с литниково-питающей системой и расчетной сеткой

Компьютерное моделирование становится неотъемлемой частью процессов конструирования новых деталей и проектирования технологических процессов их изготовления. Оно приобретает статус важного, а зачастую решающего конкурентного преимущества. Все чаще заказчики на литейную продукцию в списке требований к производителю этой продукции выдвигают требование об обязательном использовании компьютерного моделирования. Преимущества, предоставляемые системами автоматизированного моделирования литейных процессов (САМ ЛП) очевидны. В первую очередь, это возможность отработки нюансов ли-

тейной технологии на виртуальном прототипе изготавливаемой отливки, что уменьшает или полностью исключает необходимость в изготовлении пробных отливок, сокращает процесс проектирования технологии и снижает себестоимость отливки. Визуализация физических процессов литейной технологии, таких как заполнение расплавом полости литейной формы, охлаждение и затвердевание металла, его коробление под действием термических напряжений позволяет лучше понять особенности этих процессов, а следовательно, более эффективно управлять ими с целью снижения брака отливок и повышения выхода годного. Однако широкое внедрение САМ ЛП сдерживается рядом причин, среди которых недостаток информации о САМ ЛП, недостаток квалифицированных специалистов и др.

Важный вопрос использования САМ ЛП на производствах — это вопрос соответствия получаемых в моделировании результатов реальным производственным данным. Часто приходится сталкиваться с двумя прямо противоположными точками зрения: от полного «слепого» доверия результатам моделирования до такого же полного пренебрежения ими. Оба случая — результат недостаточной информированности о возможностях используемой САМ ЛП. Ясно, что для успешного применения САМ ЛП виртуальная модель технологического процесса должна соответствовать конкретному производственному процессу. Это соответствие обеспечивается на качественном и количественном уровне. Качественное соответствие возможно за счет использования адекватных математических моделей тех физических процессов, которые необходимо моделировать. Например, не следует ожидать, что САМ ЛП с упрощенными гидродинамическими решателями с псевдо-VOF методом описания свободной поверхности, [1], будут адекватно предсказывать дефекты отливок (окисные пленки, замешивание воздуха в расплав, спай), которые являются результатом физических и физико-химических процессов, происходящих на этой поверхности в процессе течения расплава.

Количественное соответствие обеспечивается правильным заданием значений параметров математических моделей. Например, теплофизические свойства формовочных материалов и металлических сплавов

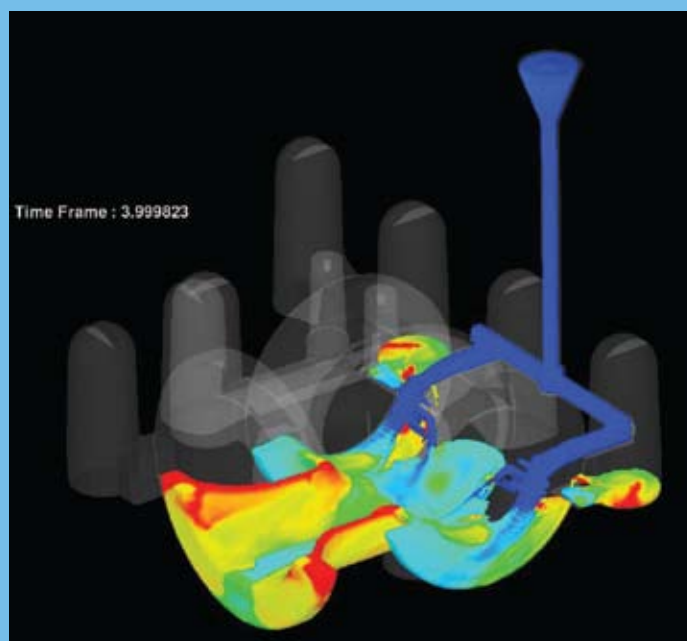
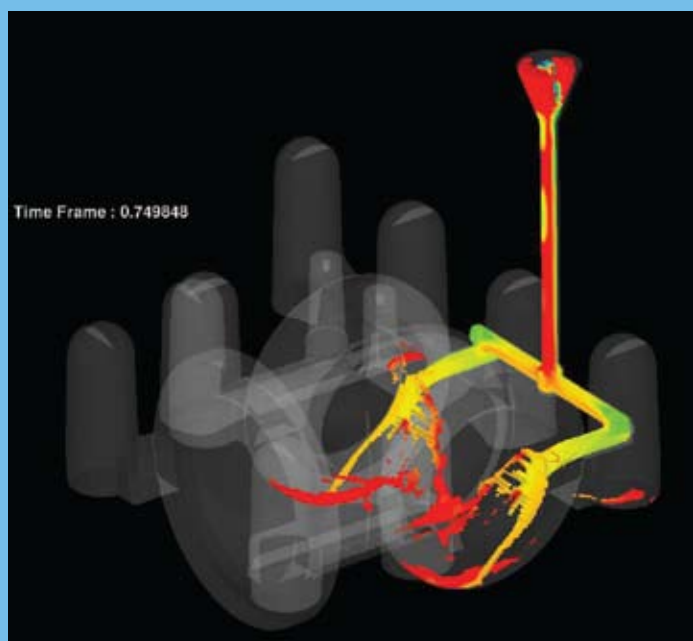


Рис. 2а. Последовательные слайды процесса заливки, металл раскрашен по доле замешанного воздуха (начальные стадии)

процессов при производстве ТПА

■ И. Н. Вольнов, кандидат технических наук, ЗАО «Русская промышленная компания», Москва; e-mail: volnov@cad.ru

должны соответствовать свойствам реально используемых материалов и сплавов. Для определения некоторых свойств требуется постановка специальных экспериментов и изготовление тестовых отливок. Так, для модели расчета микропористости необходимы экспериментальные значения коэффициента фильтрации расплава и долей твердой фазы образования дендритного каркаса и остановки фильтрационного течения. Постановка таких экспериментов на производствах затруднительна, поэтому в большинстве случаев в моделировании используют свойства, взятые из литературных данных или из рекомендаций поставщиков САМ ЛП.

Таким образом, при правильной постановке задачи моделирования и с учетом вышесказанного в отношении значений параметров моделирования САМ ЛП позволяет получать результаты, как минимум, качественно адекватные экспериментальным. Количественная адекватность может быть установлена путем опытного определения шкалы соответствия расчетных и экспериментальных данных. Это необходимо понимать, чтобы правильно оценивать возможности САМ ЛП и эффективно их использовать.

Одной из САМ ЛП, которая с успехом используется в литейном производстве во всем мире, а с недавних пор и в России, является **FLOW-3D**[®] (США, www.flow3d.com, www.flow3d.ru). Отличительной особенностью **FLOW-3D** является мощный гидродинамический решатель, который позволяет адекватно и с высокой степенью точности моделировать течение металла в литейной форме и достоверно предсказывать помимо прочих дефекты литья, образующиеся на этапе заливки металла в форму, например, спаи, окисные пленки, засоры, газовые раковины и пористость от замешивания воздуха в жидкий расплав, [1, 2].

Приведем пример использования **FLOW-3D** при отработке литейной технологии изготовления корпуса клиновой задвижки. В этом примере рассмотрены не все технологические особенности и их моделирование, а только те, которые были актуальны для производителя данной отливки. Задача ставится следующим образом: оценить базовый вариант литейной технологии на этапах заливки формы и затвердевания отливки, выявить его возможные недостатки и предложить технологические мероприятия

для их устранения. На рис. 1. показана отливка с литниково-питающей системой и расчетной сеткой, на которой численно решаются уравнения математической физики для моделирования процессов заливки расплава в полость литейной формы, его охлаждения и затвердевания.

На первом этапе анализа литейной технологии моделировали процесс заливки литейной формы. Оценивали температуру заливки с точки зрения проливаемости формы и возможного образования недоливов и спаев и работу литниковой системы с точки зрения захвата воздуха потоком жидкого металла и возможного образования по этой причине газовых раковин и пористости. Моделирование показало, что назначенная технологическая температура заливки обеспечивает гарантированную проливаемость формы без образования недоливов и спаев. И данная конструкция литниково-питающей системы также удачна, поскольку порции расплава с наибольшей долей замешанного в него воздуха перетекают в процессе заливки от проточной части корпуса в боковые приливы на запорном фланце и, как это видно из рис. 2, там остаются к моменту окончания заливки. Таким образом, тело отливки формируется металлом с малым содержанием замешанного воздуха, что снижает вероятность образования газовых раковин и газовой пористости в теле отливки.

Следующий этап анализа включал моделирование процесса затвердевания металла в литейной форме и оценку дефектов усадочного характера, таких как раковины и усадочная пористость. Моделирование показало, что изменение температурного поля в отливке и кинетика ее затвердевания не соответствуют принципу направленного затвердевания. В отливке образуется два тепловых узла (рис. 3), а это прямое указание на образование дефектов усадочного характера в этих узлах. Действительно, прямой расчет усадочных раковин выявил несколько проблемных мест в теле отливки. Как видно из рис. 4, усадочные раковины присутствуют в различных частях нижней половины корпуса, например, в зоне сопряжения проточной и запорной частей корпуса, в нижней части запорного фланца и в других местах. После получения этих результатов, окончательную оценку того, насколько эти дефекты критичны по отношению к требованиям качества данной конкретной отливки, дает технолог.

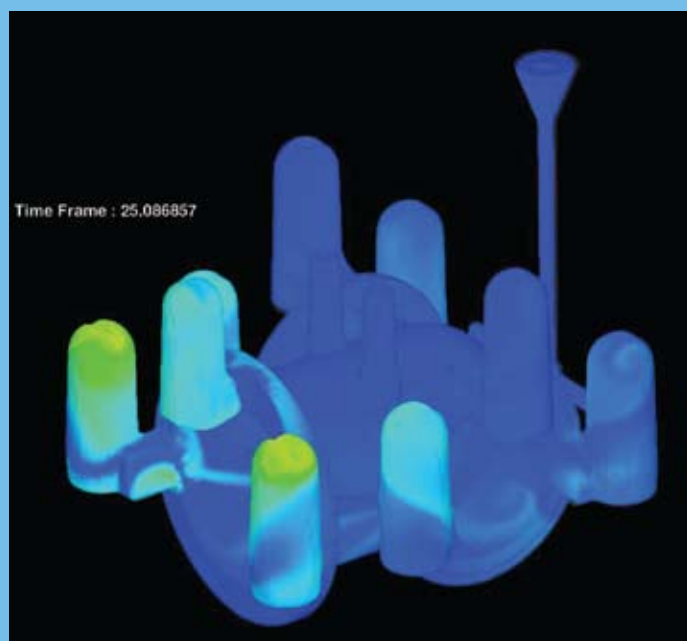
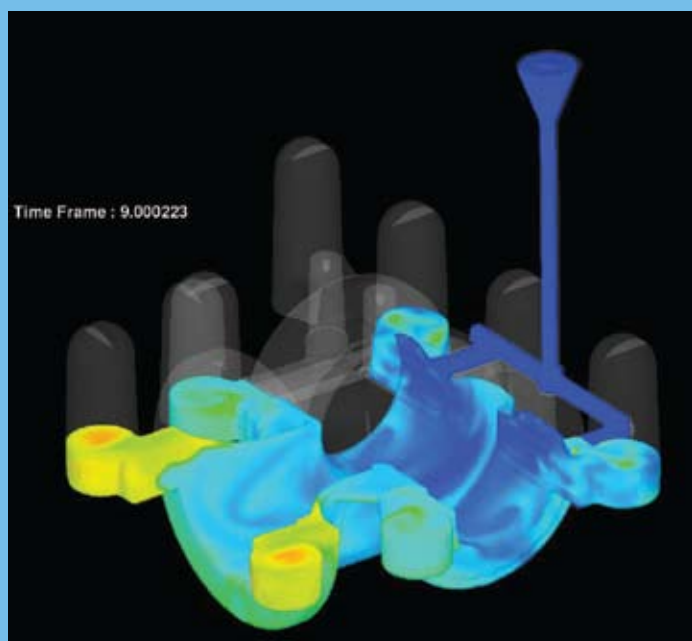


Рис. 26. Последовательные слайды процесса заливки, металл раскрашен по доле замешанного воздуха (окончательные стадии)

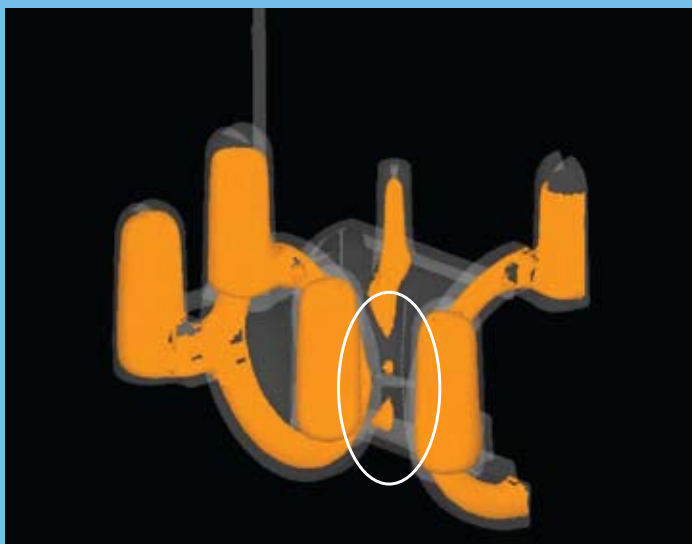


Рис. 3. Доля жидкой (незатвердевшей) фазы в разные моменты затвердевания отливки. Овалами выделены тепловые узлы отливки

Если данный уровень дефектов оценивается как критический, приводящий к браку отливок, необходимо внесение изменений в технологический процесс. Хорошо известно, что литой металл невозможно получить полностью без дефектов усадочного характера, таких как пористость, поэтому литейщики могут только в определенном пределе понизить уровень пористости в отливке, а если он остается выше допустимого, то переместить пористость в менее ответственную ее часть. Один из инструментов управления уровнем пористости и ее положением в отливке является использование холодильников. На рис. 4 показан результат расчета усадочных раковин в отливке, полученной с применением холодильников, установленных на нижние части фланцев. Из рисунка видно, что некоторые усадочные раковины малого размера исчезли, а другие уменьшились и изменили свое положение. Опять выполняется оценка полученных результатов, и в случае необходимости процесс коррекции технологии продолжается. Он может включать поиск оптимальных размеров, положения и количества не только холодильников, но и других элементов литниково-питающей системы, а также технологических параметров процесса литья. Конечным результатом этого является скорректиро-

ванная технология, обеспечивающая гарантированное получение качественной отливки.

Помимо моделирования литейных процессов **FLOW-3D** может эффективно использоваться для решения широкого круга других задач. Созданный первоначально как пакет гидродинамического анализа **FLOW-3D** незаменим при разработке конструкций трубопроводной арматуры и расчета режимов ее эксплуатации. Например, могут быть определены динамические нагрузки со стороны протекающей жидкости на корпус и подвижные внутренние элементы арматуры в различных режимах ее работы. В этой универсальности мы видим еще одну «сильную» сторону **FLOW-3D**: технологические и конструкторские задачи могут быть решены с помощью одного пакета.

Литература

1. Вольнов И. Н. Моделирование литейных процессов — современные вычислительные технологии // Литейщик России. — 2007. — № 11. — С. 27–30.
2. Вольнов И. Н. Системы автоматизированного моделирования литейных процессов — состояние, проблемы, перспективы // Литейщик России. — 2007. — № 6. — С. 14–17.

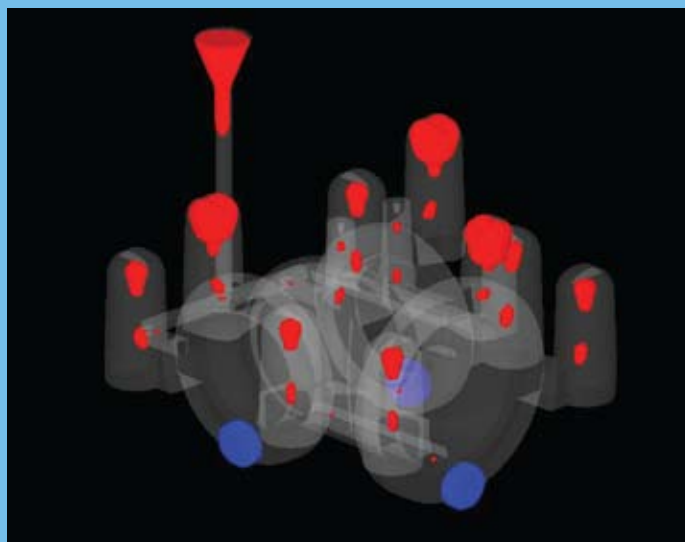
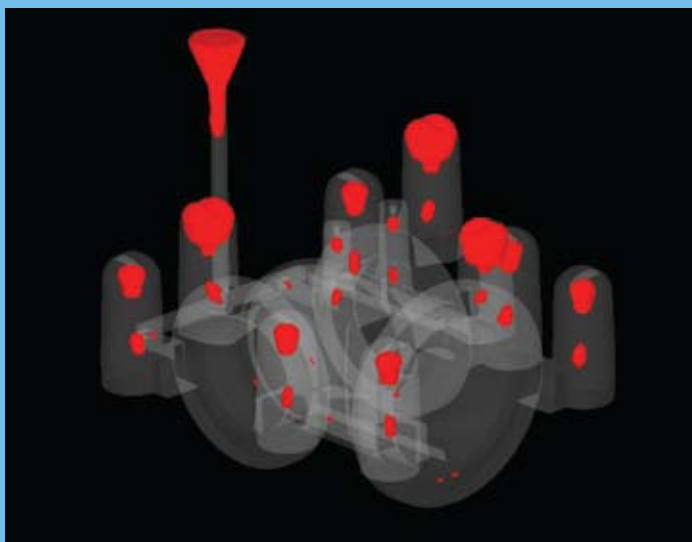


Рис. 4. Усадочные раковины в теле отливки, полученной без использования холодильников (левый рисунок) и с их использованием (правый рисунок)