

**Решение тепловых задач в компьютерной системе моделирования литейных процессов  
ProCAST для оценки качества отливок из алюминиевых сплавов**

Студент гр. 104113 Лущик П.Е.

Научный руководитель – Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Применение компьютерных технологий позволяет проводить моделирование отливок сложной конфигурации с использованием большой номенклатуры сплавов, что значительно сокращает затраты на отладку технологического процесса.

Следует отметить, что процессы затвердевания и охлаждения-нагрева для большинства литейных задач являются определяющими и вопрос о согласованности литейных систем, в первую очередь, зависит от степени согласованности тепловых расчетов.

Одним из наиболее современных и часто применяемых численных методов для решения задач моделирования физических процессов является метод конечных элементов. Метод конечных элементов (МКЭ) является численным методом решения дифференциальных уравнений, встречающихся в физике и технике. Система ProCAST, основанная на использовании МКЭ, является достаточно универсальной по сплавам и способам литья, сравнительные расчеты проводились для варианта литья алюминиевого сплава АК9 в металлическую форму.

Для реальных сплавов величину скрытой теплоты и зависимость температуры от доли твердой фазы можно считать характеристикой сплава. Т.е. скрытая теплота и характер ее выделения предполагаются постоянными. Это справедливо в случае, когда существует устойчивая однозначная зависимость тепловыделения от количества твердой фазы в широком интервале скоростей охлаждения. В этом случае наиболее важен адекватный учет неравномерности тепловыделения в интервале температур затвердевания. Применение для этого различных функциональных зависимостей, связывающих количество твердой фазы с диаграммами состояния сплавов чаще всего малоэффективно и крайне неадекватно отражает действительный характер тепловыделения для реальных неравновесных условий. В связи с этим, единственным способом учета зависимости процентного количества выделившейся твердой фазы (и относительной теплоты) от температуры является применение экспериментально полученных данных с использованием методов термического анализа сплавов.

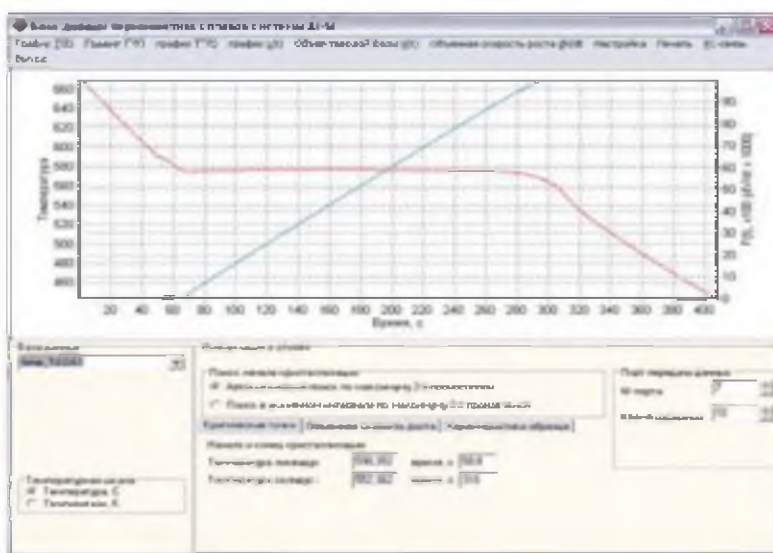


Рис.1 – Опытная температурная кривая пробы сплава Al-10%Si.

Наибольшую достоверность обеспечивает экспериментальный спектр тепловыделения. Методика его определения состоит в пересчете на тепловыделение опытной температурной кривой специальной пробы. Можно показать, что даже для простейших бинарных сплавов расчет спектра тепловыделения по диаграмме состояния приводит к дополнительным ошибкам, которые легко избежать, используя экспериментальный спектр.

Отклонения в задаваемом спектре соответственно дает отклонения при численном решении тепловой задачи. На рис.2 приведена расчетная кривая зависимости выделения твердой фазы в интервале затвердевания в отливке «Насос ММЗ» из сплава АК9, заливаемого в кокиль.

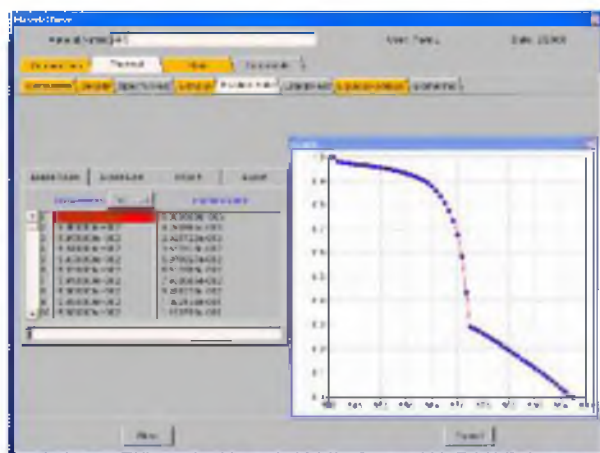


Рис.2 - Зависимость выделения твердой фазы от температуры (расчетная)

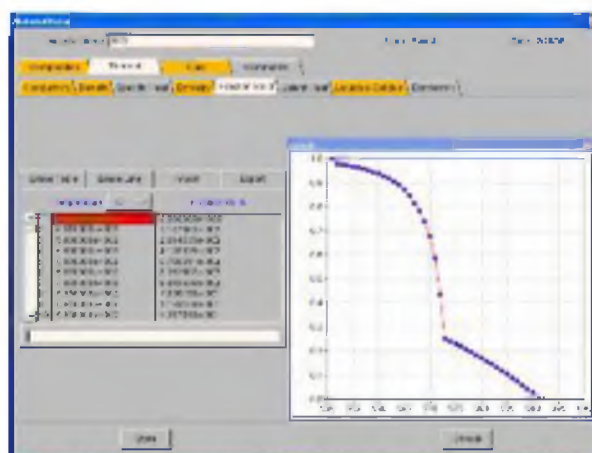


Рис.3 - Зависимость выделения твердой фазы от температуры (измеренная)

Ликвидация усадочных дефектов в отливках является довольно сложным процессом при моделировании тепловых задач. Решение тепловой задачи, связанной с анализом усадочных дефектов, выполняли с использованием реальной отливки Минского моторного завода «Насос», которая имеет значительное количество термических узлов (Рис. 4). Задача состояла в разработке технологического процесса изготовления отливки, предупреждающего образование усадочных раковин. Технология – литье в

кокиль. Марка сплава АК9. Реальный химический состав (Si – 10; Mn – 0.4; Mg – 0.3; Fe – 0.8; Cu – 0.5; Zn – 0.2). Расчетная температура ликвидус – 597 °С, солидус – 541 °С.

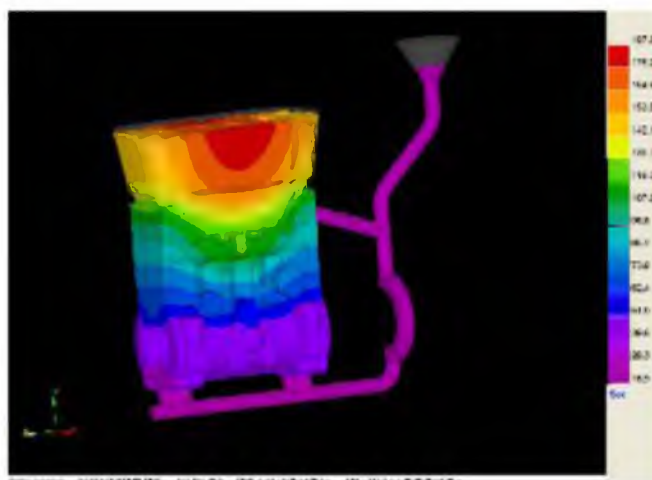


Рис. 4 - Динамика времени затвердевания отливки «Насос»

Результаты компьютерного моделирования процесса затвердевания показали, что образование усадочных дефектов можно ожидать в верхней части отливки (рис.5), что не полностью соответствовало реальному расположению усадочных дефектов в отливках, полученных после заливки в кокиль в заводских условиях. В связи с этим было высказано предположение о том, что возможной причиной неадекватного моделирования затвердевания отливки могут служить неточные данные о температурах фазовых переходов и отклонения в кинетике выделения твердой фазы.

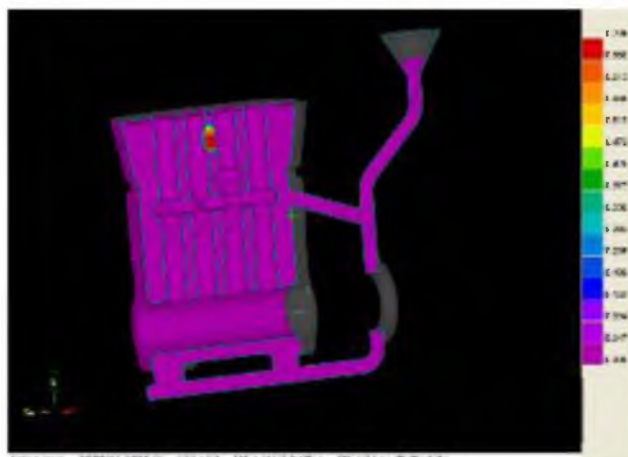


Рис. 5 – Вероятность формирования усадочных дефектов (пористости) в отливке из сплава АК9 с использованием расчетных данных ProCAST

Для определения температур фазовых превращений реальных сплавов наиболее эффективным является использование метода термического анализа (ТА) по кривой охлаждения пробы расплава.

С целью проверки влияния значений температур фазовых превращений на результаты моделирования процесса затвердевания использовали данные термического анализа сплава АК9. Термический анализ проводили на установке, которая включала в себя измерительный блок и специальный штатив для крепления датчика температуры. Измерительный блок системы построен на базе электронных компонентов (16-рядного АЦП типа AD7710 и микроконтроллера с повышенной производительностью W77E58), и предназначен для получения термограмм кристаллизации металлов и сплавов с последующей передачей их в персональный компьютер (ПК). Для передачи информации в ПК измерительный блок оснащён интерфейсом последовательного обмена RS-232. В качестве термодатчика использовали хромель-алюмелевую термопару. Сигнал от термопары (термо-ЭДС) преобразовывался в цифровой вид и передавался для обработки в компьютер. Запись значений температуры во время процесса кристаллизации расплава осуществлялась через заданные промежутки времени: 0,48 мс. По завершению кристаллизации пробы производилась обработка термограммы и определялись параметры фазовых превращений, произошедшие в процессе кристаллизации.

В результате проведенного термического анализа было установлено, что реальная температура ликвидус – 592 °С, солидус – 553 °С. Результаты повторного компьютерного моделирования с учетом

экспериментально полученных данных о фазовых переходах показали, что характер затвердевания изменяется (рис.6).



Рис.6 – Вероятность формирования усадочных дефектов (пористости) в отливке с использованием экспериментальных данных о фазовых переходах сплава АК9

Как видно из полученных данных (рис.5-6), результаты моделирования процесса затвердевания и распределение усадочных дефектов существенно различаются. Такие различия при моделировании реальных отливок свидетельствуют о том, что определяющим фактором при моделировании литейных процессов является соответствие исходных расчетных данных – прежде всего, температур фазовых превращений и теплофизических характеристик сплава – их реальным значениям для данного сплава.