

**Информационные системы и технологии в литейном  
и металлургическом производствах**

Рафальский И.В., Бежок А.П., Лущик П.Э.  
Белорусский национальный технический университет

*Аннотация:*

В работе рассмотрены организационные вопросы и техническая сторона проблемы применения специализированных программных пакетов компьютерного моделирования и инженерного анализа литейных и металлургических процессов.

*Текст доклада:*

Создание и применение информационных систем (ИС) и технологий (ИТ) является ключевым фактором автоматизации производственных процессов, в том числе литейной и металлургической отраслей. Основной причиной активного развития ИС/ИТ является то, что автоматизация литейных и металлургических процессов служит основой качественного изменения процессов управления технических объектов, обеспечивающих эффективное ресурсосбережение и эффективность производства. Разрабатываемые автоматизированные системы контроля и управления производственных процессов с использованием ИС/ИТ направлены, прежде всего, на решение следующих основных задач:

- автоматизация сбора и обработки информации, обеспечивающей контроль и управление технологическим оборудованием, литейными и металлургическими процессами (АСУТП);
- автоматизация планирования, учета и управления производственной деятельности предприятия (АСУП);
- автоматизация проектных работ, предпроектной подготовки и анализа производственных процессов (САПР).

Основной задачей литейного и металлургического производств является создание конкурентоспособных изделий, обладающих низкой металлоемкостью, высоким качеством и минимальной себестоимостью изготовления. Решение этой задачи обеспечивается в значительной степени на стадии проектирования и подготовки технологических процессов производства литых изделий. Интенсивное развитие CAD/CAM/CAE технологий, накопленный опыт использования методов и средств компьютерного 3D-моделирования позволяет говорить о реальной экономии времени и материальных ресурсов при использовании специализированных программ моделирования литейных и металлургических процессов.

С целью разработки технологии производства литых изделий за рубежом широко используются средства компьютерного моделирования литейных процессов. Для этих целей используются известные компьютерные программы ProCAST (ESI Group, Франция), QuikCAST (ESI Group, Франция), MAGMASOFT (MAGMA Giessereitechnologie GmbH, Германия), СКМ ЛП «ПолигонСофт» (ООО «Полигон» Россия), LVMFlow (НПО МКМ, Россия) и др., позволяющие моделировать процесс заполнения расплавом формы, определять изменение температуры расплава в ходе его затвердевания, устанавливать места образования усадочных дефектов, рассчитывать внутренние напряжения, которые могут быть причиной образования горячих трещин.

Несмотря на качественные изменения общей концепции развития промышленного производства, связанные с доминированием высокотехнологичной (hi-tech) составляющей, уровень автоматизации производственных процессов отечественных предприятий литейного и металлургического производств, в большинстве случаев, все еще является недостаточным для решения задач получения высококонкурентоспособной продукции. Прежде всего, это связано с проблемами недостаточной оснащенности предприятий CAD/CAM/CAE технологиями и дефицитом инженерных кадров, обеспечивающих эффективное использование систем автоматизированного проектирования, технического анализа конструкций, изделий, оборудования и технологических процессов.

Проблема дефицита высококвалифицированных инженерных кадров, обеспечивающих автоматизированное проектирование и анализ технологических процессов, объясняется недостаточным уровнем оснащения технических вузов учебными версиями специализированных пакетов программ, используемых для инженерных расчетов и моделирования производственных процессов, а также отсутствием специальностей, обеспечивающих подготовку специалистов в области автоматизированного управления и информационных технологий в литейном и металлургическом производствах. Промышленные предприятия, по имеющимся в открытых источниках информации данным, за редким исключением, также пока не демонстрируют большой заинтересованности как в специалистах в области современных ИС/ИТ, со знанием CAD/CAM/CAE технологий и навыков 3D-проектирования, так и в приобретении такого рода систем.

Техническая сторона проблемы применения специализированных программных пакетов компьютерного моделирования и инженерного анализа литейных и металлургических процессов состоит в следующем. Существующие программы, как правило, содержат обширные базы теплофизических свойств различных материалов, в том числе черных и цветных

сплавов, которые приведены лишь для усредненных составов, полученных, как правило, при равновесных условиях кристаллизации без учета влияния примесей и технологии выплавки сплава. При отсутствии точных, экспериментально установленных свойств используемых материалов такие данные служат приближенной, но необходимой альтернативой, однако получаемые результаты компьютерного моделирования в ряде случаев могут расходиться с реальностью.

Значительно повысить точность моделирования процессов формирования изделий из различных сплавов позволяет использование данных компьютерного термического анализа пробы расплава (Computer-Aided Cooling Curve Analysis, или СА-ССА-методы), обеспечивающие возможность определения функциональной зависимости содержания твердой фазы, выделяющейся при затвердевании расплава, от температуры или времени. Это объясняется тем, что решение задач охлаждения и затвердевания литых изделий в системах компьютерного моделирования реализуется, как правило, на основе нестационарного уравнения теплопроводности с учетом выделения теплоты кристаллизации:

$$c(T)\rho(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div}(\lambda(T)\operatorname{grad}T) + \rho L \frac{\partial f_s}{\partial \tau},$$

где  $T$  – температура, К;  $\lambda$  – теплопроводность, Вт/(м·К);  $c$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – время, с;  $L$  – удельная теплота кристаллизации, Дж/кг;  $f_s$  – содержание твердой фазы в расплаве, о.е.

Сотрудниками кафедры «Металлургия черных и цветных сплавов» БНТУ, совместно с предприятием «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник» созданы микропроцессорные и программные средства для определения содержания твердой фазы, выделяющейся при затвердевании расплава, от температуры и времени, на базе усовершенствованных алгоритмов с учетом изменения теплофизических параметров сплава в интервале кристаллизации.

Информацию, полученную с использованием разработанного программно-аппаратного комплекса для термического анализа, можно передавать в системы моделирования литейных и металлургических процессов, имеющие возможность ввода пользовательских данных для уточнения расчета. Это способствует при наличии квалифицированного инженерного пер-

сонала получению точных, адекватных результатов моделирования при разработке и оптимизации технологий получения литых изделий.

Разработанный программно-аппаратный комплекс успешно зарекомендовал себя при разработке технологий получения отливок сложной конфигурации при литье в кокиль из алюминиевых сплавов АК7, АК9ч, АК5М4, АК5М7, АК12М2МгН и других сплавов, что является подтверждение того, что техническая сторона проблемы применения систем компьютерного моделирования и анализа литейных и металлургических процессов на предприятиях, в настоящее время может быть успешно решена.