

## СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ

### НА ОСНОВЕ ОБРАТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВКИ В ФОРМЕ

Д.С. Мальгавко (Омский государственный технический университет)

Приведен алгоритм поиска значений технологических параметров на основе обратного моделирования процесса охлаждения отливки в форме; описан программный комплекс, реализующий данный алгоритм.

Ключевые слова: обратное моделирование, технология литья, параметрический синтез, анализ технологии, метод конечных элементов

На сегодняшний день компьютерное моделирование является незаменимым инструментом технолога при проектировании технологии литья. Современные САПР способны прогнозировать размеры, расположение и интенсивность развития литейных дефектов, что в свою очередь помогает принимать решение о внесении изменений в технологию, подбирать значения технологических параметров.

Первым шагом при использовании подобных САПР является задание первичного варианта технологии. Для этого пользователь вводит геометрию отливки и формы, задает значения ряда технологических параметров, при необходимости вводит холодильник, дополнительный теплоизоляционный слой или другие средства воздействия на процесс охлаждения отливки. Затем производится расчет, результатом которого становятся поля физических величин в теле отливки, среди которых распределение температуры, усадочной пористости, напряжений и другие. Если полученные результаты не соответствуют требуемому качеству отливки, пользователь изменяет значения технологических параметров, после чего повторяет расчет. Таким образом, технолог осуществляет параметрический синтез на основе многовариантного анализа [1], целенаправленно выискивая оптимальный вариант технологии.

Недостатком такого подхода является то, что ввиду трудоемкости численных методов, применяемых в моделирующих САПР, время одной итерации анализа может достигать нескольких часов, в итоге суммарное время проектирования становится очень большим. В некоторой степени ускорить процесс может высокая профессиональная подготовка технолога, который за меньшее число итераций анализа подберет оптимальные значения параметров.

С целью исключения операции ручного перебора значений технологических параметров разработан алгоритм их автоматического поиска. Алгоритм заключается в выполнении параметрического синтеза на основе многовариантного обратного моделирования процесса охлаждения отливки. Применение обратного моделирования позволяет задействовать для расчета только интересующий пользователя температурный интервал в процессе охлаждения отливки для выявления термических узлов и не проводить моделирование всего процесса. В итоге, за счет применения быстрой процедуры анализа, ускоряется этап параметрического синтеза, что в свою очередь значительно сокращает общее время проектирования технологии.

При таком подходе входными данными для обратного расчета являются требуемые значения равномерного распределения температуры в теле отливки, а результатом является значение заданной целевой функции, которое используется в качестве критерия для автоматического поиска значений параметров. С точки зрения развития внутренних напряжений интерес представляет интервал вблизи температуры кристаллизации сплава, когда возможно образование горячих трещин, и интервал после полного затвердевания отливки, когда могут образовываться холодные трещины или развиваться коробление [2]. Таким образом, в зависимости от склонности сплава к тем или иным дефектам предлагается в качестве исходных данных для обратного моделирования использовать указанные значения равномерного распределения температуры в отливке.

На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма автоматического поиска значений технологических параметров. В соответствии с алгоритмом пользователь задает исходный вариант технологии, значение требуемой равномерно-распределенной температуры, начальные значения искомого технологических параметров и запускает расчет. При этом производится моделирование процесса охлаждения в сторону увеличения температуры. Результатом расчета становятся значения неравномерно-распределенной температуры в точках отливки. После этого вычисляется зна-

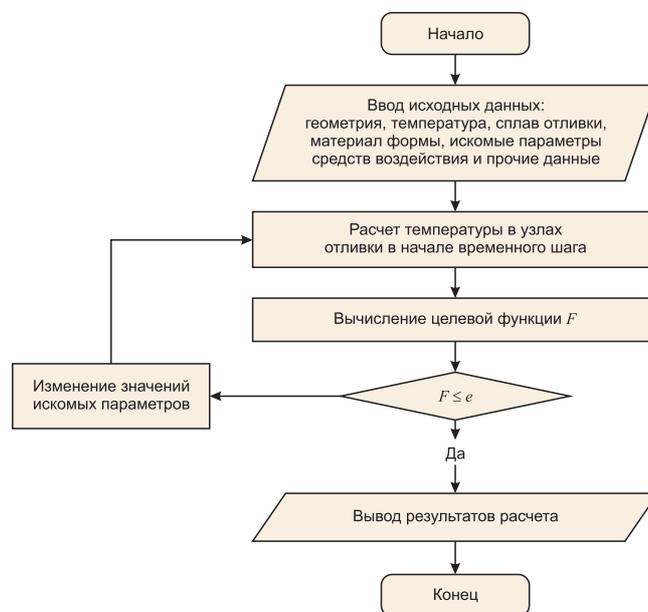


Рис. 1. Блок-схема алгоритма поиска значений параметров

чение целевой функции  $F$ . Для выполнения условия равномерного охлаждения в качестве целевой функции может быть использовано выражение

$$F = T_{max} - T_{min}, \quad (1)$$

где  $T_{max}$  – температура самой горячей точки отливки,  $T_{min}$  – температура самой холодной точки отливки. Далее, если полученное значение целевой функции больше заданной предельно допустимой величины  $\epsilon$ , в соответствии с выбранным поисковым методом изменяются значения технологических параметров, и расчет повторяется. Цикл продолжается до тех пор, пока условие не будет выполнено.

Если после проведения процедуры параметрического синтеза в компьютерной модели сохраняется дефект или значения технологических параметров выходят за предельные границы, то пользователю необходимо выполнить процедуру структурного синтеза, т. е. внести изменения в исходный вариант технологии, после чего повторить процедуру поиска параметров.

На основе описанного алгоритма был разработан программный комплекс моделирования процесса охлаждения отливки в форме, который позволяет сравнительно быстро получать значения различных параметров технологии, в частности, требуемые размеры холодильников и их коэффициенты теплоемкости и теплопроводности, необходимые для создания условий равномерного охлаждения отливки в форме. Программный комплекс базируется на методе конечных элементов и состоит из модуля генерации конечно-элементной сетки, модуля обратного моделирования, модуля визуализации результатов расчета и базы данных теплофизических характеристик материалов.

В основе модуля обратного моделирования лежит решение задачи нестационарной теплопроводности на базе метода конечных элементов. Отливка, форма и средства воздействия рассматриваются как самостоятельные объекты со своими конечно-элементными сетками и своими теплофизическими характеристиками. В матрицах сопряженных элементов всех объектов учитывается контактная составляющая, согласно работе [3]; в результате нет необходимости применения специальных методик расчета для разных типов средств.

Решение тепловой задачи для каждого объекта сводится к уравнению

$$\left( [K] + \frac{[C]}{\Delta t} \right) \{T_2\} = \frac{[C]}{\Delta t} \{T_1\} - \{F\},$$

где  $[K]$  – матрица теплопроводности,  $[C]$  – матрица теплоемкости,  $\{f\}$  – вектор-столбец тепловой нагрузки,  $\Delta t = t_2 - t_1$  – временной интервал от начала расчетного шага  $t_1$  до конца расчетного шага  $t_2$ ,  $\{T_1\}$ ,  $\{T_2\}$  – вектор-столбцы температур, соответствующие моментам времени  $t_1$  и  $t_2$ . Для обратного расчета предлагается разрешающее уравнение формулировать относительно  $\{T_1\}$ , а не относительно  $\{T_2\}$  как при расчете в прямом направлении. Для экономии машинного времени расчет ведется относительно разности  $\{\Delta T\} = \{T_1\} - \{T_2\}$ , тогда

$$\frac{[C]}{\Delta t} \{\Delta T\} = [K] \{T_2\} + \{F\}. \quad (2)$$

Уравнение (2) приводится к обычному виду:

$$[M_k] \{\Delta T\} = \{R\}, \quad (3)$$

где  $[M_k]$  – матрица известных коэффициентов,  $\{R\}$  – вектор-столбец известных правых частей уравнений,  $\{\Delta T\}$  – вектор-столбец искомых величин. Модуль решает уравнение (3) с помощью метода Гаусса.

Исходными данными для работы модуля обратного моделирования являются конечно-элементные сетки объектов, их материал, временной интервал одной итерации анализа, число итераций, требуемое значение равномерно-распределенной температуры в теле отливки и предельно-допустимое значение целевой функции. Искомые параметры задаются в виде переменных. При выборе материала отливки и формы происходит запрос в базу данных теплофизических характеристик. На рис. 2 представлена форма для ввода исходных данных.

Наименование параметра	Начальное значение	Нижняя граница	Верхняя граница
Коэффициент теплоемк	2500	100	5000
Радиус	0,001	0,1	0,5
Высота	0,02	0,01	0,08

Рис. 2. Форма ввода исходных данных

Для поиска значений параметров программный комплекс использует метод деформируемого многогранника (Налдера-Мида). В качестве целевой функции для случая равномерного охлаждения используется выражение (1). Если осуществляется поиск значений геометрических параметров средств воздействия, то перед каждой итерацией анализа выполняется корректировка конечно-элементных сеток средств воздействия и сопряженных с ними объектов.

Так как качество конечно-элементной сетки оказывает большое влияние на адекватность расчета, к соответствующему модулю программного комплекса были предъявлены повышенные требования. Входная геометрия отливки, формы и средств воздействия передается в модуль генерации сетки в виде списка треугольных граней, записанного в стандартном формате STL. Модуль перед разбиением объектов улучшает качество исходных граней с помощью алгоритма Рапперта. В качестве метода разбиения применен

метод исчерпывания как наиболее адаптированный для сложных объемных областей. После разбиения с целью улучшения качества сетки модуль производит оптимизацию положения ее узлов. Входная геометрия может быть спроектирована и записана в формате STL посредством любой системы твердотельного моделирования.

Модуль визуализации отображает результаты расчета и показывает в цветовой графике распределение температуры в любом сечении отливки. На рис. 3 представлены результаты обратного моделирования после выполнения процедуры параметрического синтеза.

С помощью программного комплекса было произведено моделирование процесса охлаждения Т-образной отливки из сплава АК12пч в форме из песчано-глинистой смеси влажностью 4 %. Внутренний холодильник цилиндрической формы был установлен в центре Т-образного теплового узла отливки. В качестве требуемой равномерно-распределенной температуры была задана температура солидус данного сплава. В результате расчета были получены требуемые радиус основания, высота и коэффициент теплоемкости материала холодильника.

*Мальгавко Дмитрий Сергеевич — аспирант Омского государственного технического университета. Контактный телефон (913) 622-15-85. E-mail: malgavco@mail.ru*

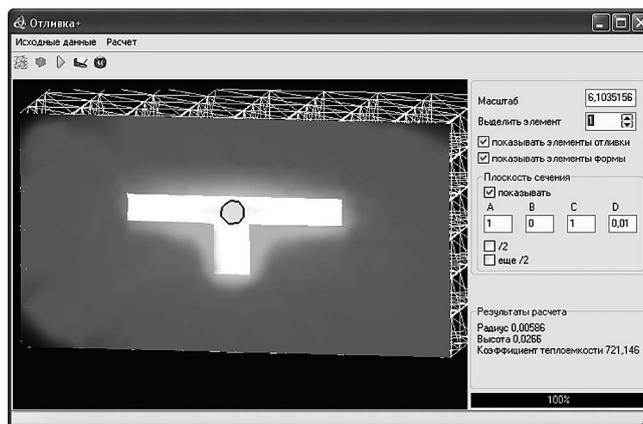


Рис. 3. Результаты расчета

#### Список литературы

1. *Норенков И.П.* Основы автоматизированного проектирования. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002.
2. *Гуляев Б.Б.* Теория литейных процессов. Л.: Машиностроение. 1976.
3. *Тихомиров М.Д.* Основы моделирования литейных процессов. Тепловая задача // Литейное производство. 1998. № 4.

#### Применение защищенных ноутбуков EVOC при борьбе с пожарами

Современная система информационной поддержки при борьбе с пожарами осуществляет функции: наблюдения за пожарными машинами в РВ, навигацию; контроль, наблюдение и координацию действий членов пожарной команды, находящихся на месте пожара с помощью трехмерного отображения зоны действий; автоматический сбор, передачу и анализ информации с места пожаротушения и т.д.

Компоненты информационной системы отличаются компактностью, интеллектуальностью, высокой производительностью, надежностью и оперативностью предоставляемой информации. Очевидно, что стандартный офисный компьютер не пригоден для использования в качестве центрального управляющего элемента подобной системы оборудования. Подходящим решением является применение в этой роли защищенного ноутбука.

Отвечая за центральное управление системой связи и контроля при борьбе с пожарами, защищенные ноутбуки характеризуются повышенной надежностью и способностью функционировать в жестких внешних условиях в течение длительного времени. Высокая виброустойчивость и ударопрочность делает ноутбуки идеальным решением для применения на борту транспортных средств служб спасения. Устойчивость к особо высоким температурам, отличные показатели теплорассеяния, водо- и пыленепроницаемость, а также наличие тачпада обеспечивают успешность работы пожарных команд в самых различных условиях. Кроме того, благодаря установки модулей GPS-навигации и коммуникации система поддерживает беспроводную сетевую связь, позволяет определять местонахождение объектов в РВ и обеспечивает функции удаленной связи и наблюдения.

После получения сигнала пожарной тревоги пожарная команда немедленно отправляется на место пожара. В пути пожарные могут включить защищенный компьютер и вызвать систему поддержки принятия решений при борьбе с пожаром. Система предоставит данные об источниках

водоснабжения и наличии пожарных кранов, а также двухмерные электронные карты места пожара, предложит подходящую тактику пожаротушения в актуальной ситуации. Таким образом, еще до прибытия к месту действий пожарные будут располагать подробной информацией об условиях и ресурсах, доступных на месте пожара, что позволит им разработать подходящий план действий по подавлению огня и спасательным работам, рационально распределить членов команды на месте действий для достижения оптимального результата.

В качестве главного устройства контроля в системе используется защищенный ноутбук JNB-1401 компании EVOC, оснащенный необходимым ПО и устройствами связи.

Материнская плата ноутбука оснащена низковольтным процессором Intel Core Duo 1,66 Гц, чипсетом Intel 945GME+ICH7-M, памятью 512 Мбайт и выше (максимум 2 Гбайт + 512 Мбайт), интегрированным видеоконтроллером Intel GMA950, дисплеем 14.1" XGA (1024 × 768 точек), высококонтрастным Sunlight Readable (на заказ), сетевым устройством Intel PRO/Wireless 3945 a/b/g, 1×GbE, 1×RJ11. Ноутбук содержит жесткий диск 80 Гбайт и выше (интерфейс SATA), модульный отсек: комбо-привод, дополнительный аккумулятор (на заказ), клавиатуру/мышь: водонепроницаемая мембрана, водонепроницаемая подсветка (на заказ); тачпад (емкостной).

Интерфейс ввода/вывода: 1×PCMCIA Type II, 1×Express Card Type II, считыватель карт 4 в 1 MS/XD/SD/MMC, два последовательных порта, 3×USB 2.0, один VGA-выход, 1×IEEE 1394B (Mini), порт для док-станции (POGO).

Безопасность: замок Кенсингтона, TCM 1.2 (на заказ), сканер отпечатков пальцев (на заказ).

Питание: DC-адаптер (90 Вт, 100...240 В, 50/60 Гц), аккумулятор Li-ion 6600 мАч.

*Контактный телефон (919) 962-87-68. Http://www.evocipc.ru / www.evoc.com E-mail: oversea@evoc.com*