

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛИВОК, ПОЛУЧАЕМЫХ ЛИТЬЕМ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ КОКИЛЬ С ГРАФИТОВЫМ СТЕРЖНЕМ

С.В. Гридин, С.М. Сафьянц
Донецкий национальный технический университет

Комп'ютерне моделювання здійснюється на основі математичної моделі процесу тепломасопереносу в бінарному сплаві Fe-C у ливниковій системі. Модель враховує ефективну теплопровідність, теплоємність та густину матеріалу. Виконано дослідження динаміки нагрівання форми і час нагрівання системи до заданої температури та її подальшого охолодження.

В работе рассматривается область, представляющая собой патрубков цилиндрической формы с находящимся внутри него графитовым стержнем, которая нагревается в среде с заданной температурой T_n . Стенки патрубка покрыты теплоизолирующей краской. Начальная температура кокиля $T_0=20^0\text{C}$, в полости формы помещен пористый наполнитель. Необходимо определить динамику нагрева формы и время нагрева наполнителя до заданной температуры.

Вторая задача состоит в том, чтобы определить динамику и время охлаждения формы. Процесс описывается нестационарным уравнением теплопроводности, записанной в цилиндрических координатах:

$$c_3 \rho_3 \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_3 \frac{\partial^2 T}{\partial r^2}; \quad (1)$$

где $\rho_3 = \rho_m(1-p) + \rho_b p$, $c_3 = c_m(1-p) + c_b p$ – эффективные плотности и теплоемкости наполнителя, p – пористость (таблица 1). Расчет эффективной теплопроводности λ_3 может быть проведен либо по формуле

$$\lambda_3 = \langle \lambda \rangle - \frac{p_1 p_2 \lambda_3^2}{3 \langle \lambda \rangle (p_2 - p_1) \lambda_3}; \quad \text{где } \langle \lambda \rangle = \lambda_m(1-p) + \lambda_g p; \quad \lambda_3 = \lambda_g - \lambda_m.$$

либо – (2)

$$\lambda_3 = \lambda_g \frac{5,8(100-p)^2}{100^2 l}; \quad \text{где } l = \lambda_r / \lambda_{mv}.$$

Геометрические размеры области следующие. Толщина стенки

кокиля варьируется от 5 до 30 мм; толщина наполнителя – 10-80 мм, толщина графитового стержня – 15 мм.

Уравнение замыкается системой краевых условий. Для первой задачи (нагрев) они выглядят следующим образом.

Начальные условия: $t=0 \quad T = T_0$

На стержне: $T=T_n$;

На границах стержень-наполнитель и наполнитель-кокиль соответственно:

$$\lambda_{ст} \frac{\partial T}{\partial r} = \lambda_{нап} \frac{\partial T}{\partial r}; \quad T_+ = T_- \quad \text{и} \quad \lambda_{нап} \frac{\partial T}{\partial r} = \lambda_{кок} \frac{\partial T}{\partial r}; \quad T_+ = T_- \quad (3)$$

На внешней границе кокиля: $T=T_{ср}$,

где $\lambda_{ст}$, $\lambda_{нап}$, $\lambda_{кок}$ – коэффициенты теплопроводности стержня, наполнителя, кокиля, $T_{ср}$ – температура окружающей среды.

Таблица 1. Теплофизические свойства материала наполнителя, стержня, кокиля и окружающей среды в зависимости от температуры (в интервале температур от 20 до 1200°C)

Материал	$\frac{Вт}{\lambda, м \cdot ^\circ C}$	$\frac{Дж}{\rho, кг \cdot ^\circ C}$	$\frac{кг}{\rho, м^3}$	T_l/T_s
Сухой воздух, Р=750 мм. рт. ст.	$-1 \cdot 10^{-8} T^2 + 6 \cdot 10^{-5} T + 0,03$	$0,123 T + 1023$	$-85 \cdot 10^{-8} T^3 + 2,6 \cdot 10^{-6} T^2 - 2,8 \cdot 10^{-3} T + 1,3$	-
Шх-15	$1,8 \cdot 10^{-5} T^2 - 0,03 T + 41,25$	$3,9 \cdot 10^{-5} T^2 + 0,165 T + 512$	$-0,3179 T + 7812$	1460/1340
Ст 35Л	$0,41 \cdot 10^{-7} T^3 - 0,7 \cdot 10^{-4} T^2 + 0,002 T + 53,3$	$1,56 \cdot 10^{-10} T^4 - 8,5 \cdot 10^{-7} T^3 + 0,0012 T^2 - 0,24 T + 490$	$-0,313 T + 7826$	1480/1360
Ст 50Л	$0,06 T^3 - 1,05 T^2 + 2,83 T + 46$	$-0,46 T^3 + 8,42 T^2 - 15,47 T + 493$	$-31,15 T + 7852,7$	1490/1360
Титан	$-0,012 T^3 + 0,32 T^2 - 2,25 T + 23,69$	$-0,099 T^2 + 9,04 T + 601$	$-0,55 T^2 - 9,45 T + 4512,3$	-
Алюминий А7- А5	$-0,41 T^3 + 3,39 T^2 - 9,13 T + 244$	$-0,01 T^3 + 0,076 T^2 + 0,69 T + 897$	$0,57 T^2 - 46,14 T + 2753$	$T_{пл}=659^\circ C$
Графит плотный (порист. 0%)	$8,15 \cdot 10^{-5} T^2 - 0,21 T + 188$	$-0,001 T^2 + 2,3 T + 590$	$-0,067 T + 1700$	-
Графит пористый (порист. 30%)	$-6,12 \cdot 10^{-8} T^3 + 0,0002 T^2 - 0,25 T + 16$	$-0,001 T^2 + 2,3 T + 590$	$-0,067 T + 1700$	-

Для второй задачи (охлаждение) начальные условия записываются в виде функции распределения температур от координаты $f(r)$,

полученной после решения первой задачи - нагревания наполнителя. Что же касается граничных условий, то они остаются такими же, как и для первой задачи.

Для реализации вычислительного алгоритма используется конечно-разностный метод с привлечением метода "возмущенных операторов", баланса и переменных направлений, позволяющие построить монотонную схему А.А. Самарского для одномерной задачи с числом разбиений 300 узлов по оси X. Задача выполнена в среде программирования Borland Paskal 7.

Программа «Kokil» (рис. 1), реализующая вычислительный алгоритм расчета предназначена для поиска, отбора, накопления, обработки и хранения технологических данных процесса охлаждения литниковой системы.

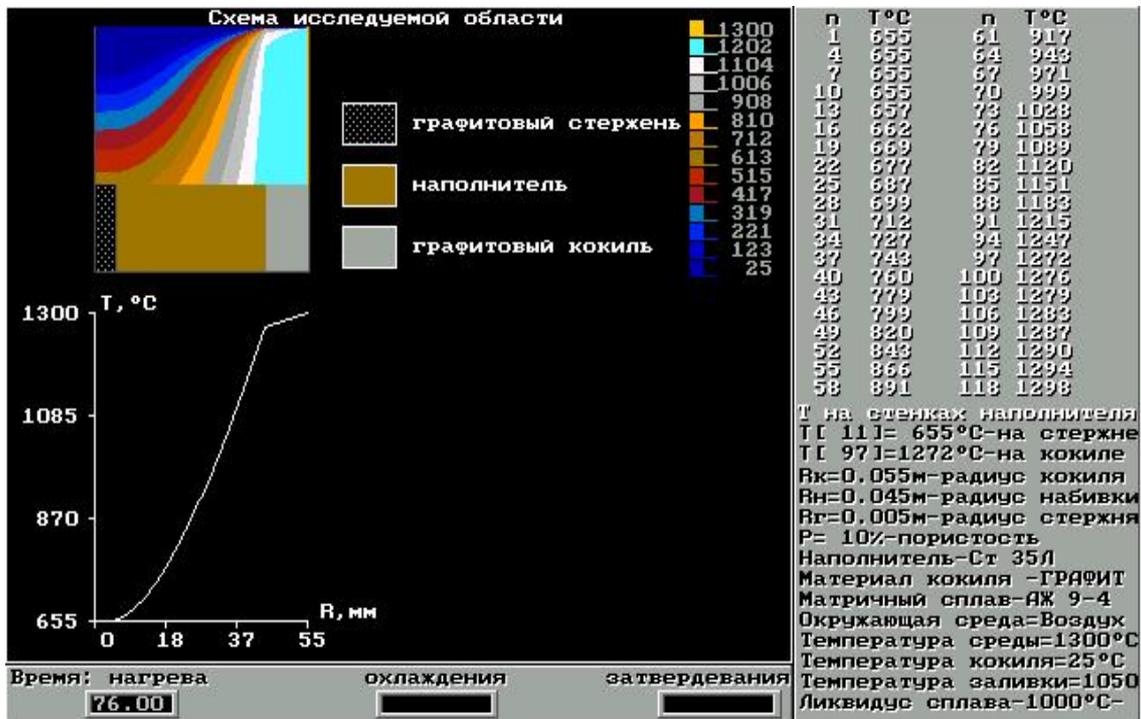


Рисунок 1. Формат рабочего экрана программы «Kokil».

Пути достижения цели - использование программных средств различного назначения: базы данных, системы компьютерного моделирования и проектирования, системы компьютерного поиска и отбора необходимых параметров процесса, технологических оценок.

Компьютерное моделирование осуществляется на основе математической модели процесса тепломассопереноса в бинарном сплаве Fe-C в литниковой системе. Модель учитывает турбулентную вязкость сплава.

Процессы, протекающие в литниковой системе, описываются уравнением теплопереноса для температуры с учетом выделения

скрытой теплоты кристаллизации и эффективной теплопроводности сплава. Доля твердой фазы ищется методом неравновесного рычага. Уравнения замыкаются системой краевых условий для температуры и доли твердой фазы.

В программе предусмотрена возможность детального ознакомления с технологической и научной информацией в разделе главного меню "ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ" (рис. 3).

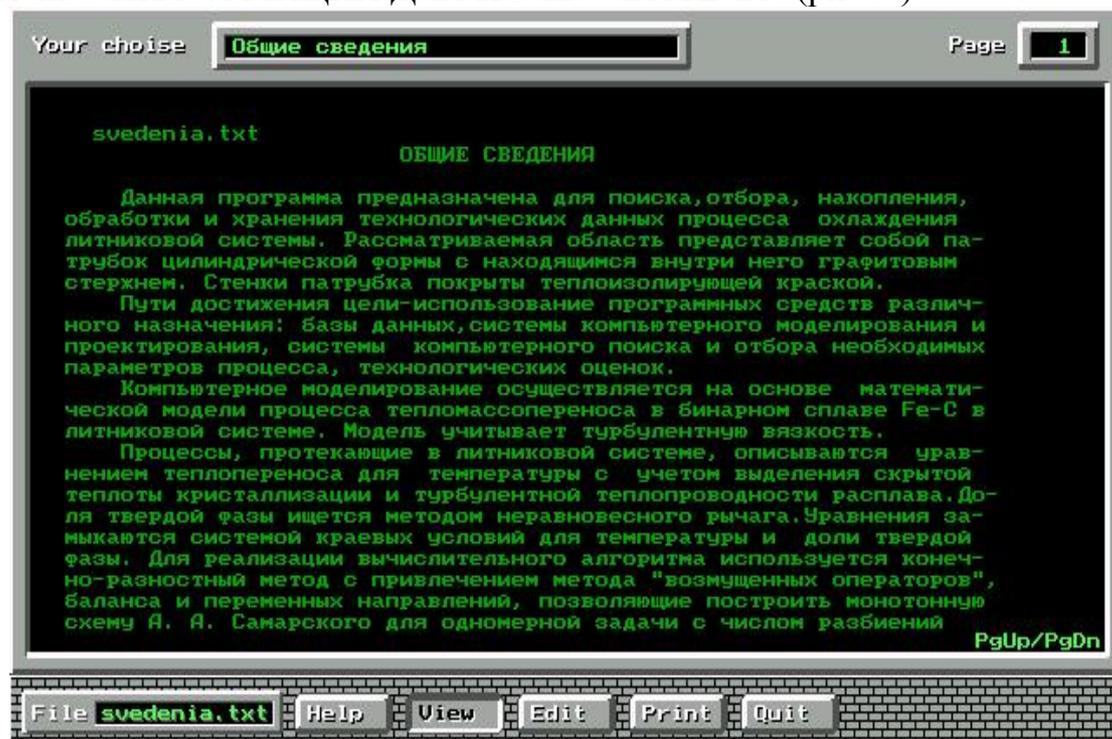


Рисунок 3. Окно «Общие сведения» программы «Kokil».

В качестве исходной информации (входной поток, рис. 2) служат конструктивные данные расплава, графитового стержня и формы (геометрические параметры стержня и формы, толщина слоя краски, характерный размер патрубка), теплофизические параметры расплава, формы, краски и формы (начальные температуры расплава, формы и стержня, температуры ликвидус и солидус сплава, теплоемкость, теплопроводность и плотность материала формы, краски и графитового стержня, данные о коэффициенте вязкости расплава, равновесный коэффициент распределения углерода в расплаве), марка сплава и т.д.

Все эти данные находятся путем их отбора из базы данных (рис. 2), пункт главного меню "БАЗЫ ДАННЫХ" (либо введением в нее новых данных с последующим их отбором).

Промежуточная информация (данные по оборудованию, технологические и научные сведения) представлена в текстовом, табличном и аналитическом видах и также обеспечена системой поиска и отбора.

Результирующие данные (выходной поток, рис. 1) представляют оптимальные параметры технологического процесса (температурная кривая охлаждения литниковой системы с одновременной визуализацией поля температур в литниковой системе в виде поверхностей равных значений с цветовой градацией температур (рис. 1).

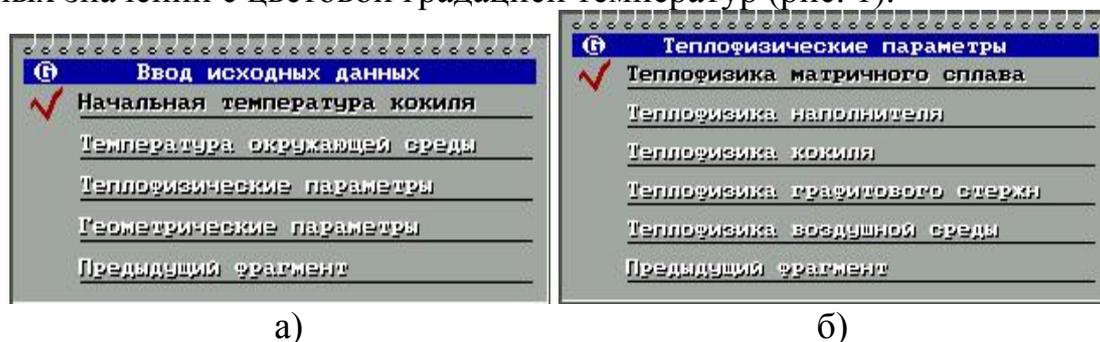


Рисунок 2. Окно ввода исходных данных (а) и ввода теплофизических параметров (б) базы данных программы «Kokil».

Формально любой этап преобразует входной поток данных в результирующий (выходной) поток при помощи диалоговых, расчетных и моделирующих процедур. В свою очередь результирующий поток служит входным потоком для следующего блока программы, и т.д. Такая последовательность операций позволяет реализовать цель работы (целевую функцию).

Выход на целевую функцию осуществляется прямыми и обратными "проходами" по отдельным блокам (итерации и корректировки) с запросами на информацию в необходимых объемах и с привлечением управляющих процессов. Требуемый оптимум складывается из локальных оптимумов, которые, в свою очередь, определяются как расчетным, так и эвристическим (на базе производственного опыта технолога - литейщика) путем.

В итоге проведенных компьютерного поиска, расчетов и т.д. выбираются:

- - оптимальная начальная температура расплава, формы и стержня;
- - оптимальные размеры литниковой системы;
- - оптимальная толщина слоя теплоизолирующей краски;
- - оптимальный химический состав сплава;
- - оптимальные размеры графитового стержня.

Требуется разработать технологичную конструкцию, выбрать материалы и оборудование, определить параметры управляющих и вспомогательных процессов, использовать технологические и научные разработки и мероприятия, обеспечивающих выбор оптимума.

В конечном счете это приводит к снижению металлоемкости и стоимости литых изделий и повышению их ресурса работы.