

А. Н. ЧИЧКО, Е. А. ДРОЗДОВ,
В. Ф. СОБОЛЕВ, БГПА

КОМПЬЮТЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОТЛИВОК, ПОЛУЧЕННЫХ ЛИТЬЕМ В КОКИЛЬ

УДК 669.27: 519

Одной из сложнейших проблем теории формирования свойств отливок является проблема расчета температурных характеристик кокиля и отливки в процессе кристаллизации [1]. Развитие компьютерных технологий позволяет предложить новые методы в численном моделировании и расчете температурных полей в трехмерном случае. Один из возможных путей состоит в использовании клеточно-автоматных подходов.

Цель настоящей работы — численное моделирование температурных полей кокиля и чугунной отливки с помощью программного пакета "ПроЛит1", разработанного в БГПА [2, 3]. К данной задаче можно применить модуль расчета кристаллизации, математическим ядром которого служит уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{c(T)\rho} \left(\frac{\partial \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right)}{\partial z} \right) + \frac{F}{c(T)\rho}, \quad (1)$$

где $T(x, y, z, \tau)$ — температура в точке x, y, z в момент времени τ ; $\lambda(T)$ — зависимость теплоты от температуры.

Разностная схема уравнения (1) имеет вид

$$\Delta T_{i,j,k} = \frac{\Delta \tau}{C(T)\rho} \left(\sum_{l=1}^3 \left(\lambda \left(\frac{T_{i,j,k} + T_{i+\Delta i, j+\Delta j, k+\Delta k}}{2} \right) \left(\frac{T_{i+\Delta i, j+\Delta j, k+\Delta k} - T_{i,j,k}}{\Delta K_l} \right) - \lambda \left(\frac{T_{i,j,k} + T_{i-\Delta i, j-\Delta j, k-\Delta k}}{2} \right) \left(\frac{T_{i-\Delta i, j-\Delta j, k-\Delta k} - T_{i,j,k}}{\Delta K_l} \right) \right) \right), \quad (2)$$

$$\text{где } \Delta K_l = \begin{cases} \Delta x & \text{при } l = 1, \Delta j = 0; \Delta k = 0, \\ \Delta y & \text{при } l = 2, \Delta i = 0; \Delta k = 0, \\ \Delta z & \text{при } l = 3, \Delta i = 0; \Delta j = 0. \end{cases}$$

При реализации численной схемы для граничных областей расплава было использовано следующее граничное условие: $T(x_{\text{гр}}, y_{\text{гр}}, z_{\text{гр}}) = T_{\text{пк}}$, где $T_{\text{пк}}$ — температура поверхности кокиля.

Для расчета была выбрана отливка "Стакан" с размерами 100×100×60 мм. При построении отливки использовался равномерный шаг по пространству 2 мм, а при расчете для модулей теплового и гидродинамики — шаг по времени 0,00001 с. При расчете температурных полей для чугунной отливки и кокиля были выбраны следующие физические характеристики:

для расплава — коэффициент теплопроводности $\lambda=93$ Вт/м, коэффициент теплоемкости $C=343$ Дж/(кг·К), плотность $\rho=8900$ кг/м³. В трех расчетах использовали три различные начальные температуры расплава: 1100, 1200 и 1300°С, а также коэффициент вязкости ($\eta=3,5$ Нс/м²), теплоту кристаллизации ($Q=564,3$ Дж/кг), температуру ликвидуса ($T=948$ °С) и солидуса ($T=941$ °С); для кокиля — $\lambda=44,4$ Вт/м, $C=519$ Дж/(кг·К), $\rho=7770$ кг/м³, $T=300$ °С; для стержня — $\lambda=0,17$ Вт/м, $C=830$ Дж/(кг·К), $\rho=1600$ кг/м³, $T=300$ °С. Результаты численного моделирования представлены на рис. 1—4.

На рис. 1 представлена отливка "Стакан" в различных проекциях (сечения по $Z=27$, $Y=29$, $Y=16$, шаг по пространству равен 2 мм).

На рис. 2 показаны температурные поля для отливки после окончания кристаллизации (2,7 с) в сечениях $Z=27$ и $Y=29$, а на рис. 3 — кривые охлаждения для различных точек отливки (1—4) и кривые нагрева кокиля (5—6).

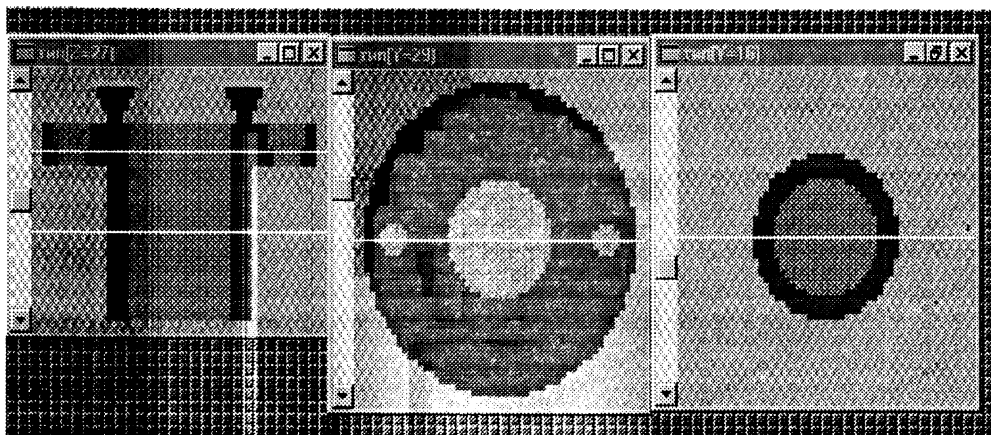


Рис. 1. Сечения трехмерного изображения отливки "Стакан", построенного в компьютерной системе "ПроЛит1"

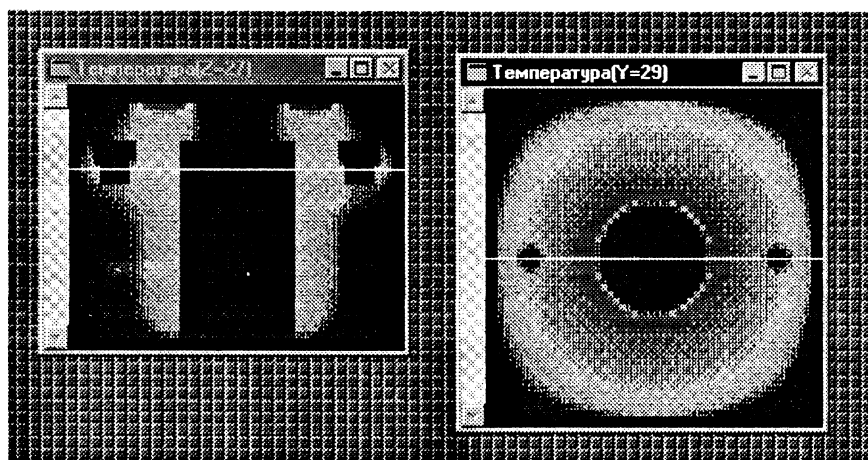


Рис. 2. Расчетные температурные поля для отливки в сечениях Z=27 и Y=29

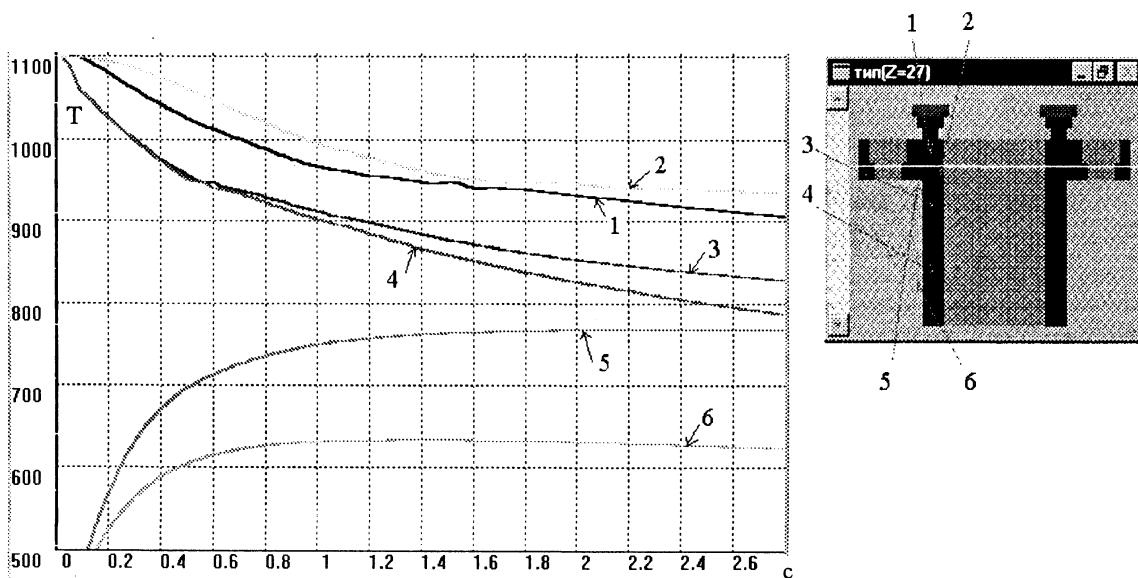


Рис. 3. Расчетные зависимости температуры от времени для различных точек кокиля : 1 — X=15, Y=31, Z=27; 2 — X=17, Y=28, Z=27; 3 — X=15, Y=23, Z=27; 4 — X=15, Y=10, Z=27; 5 — X=13, Y=25, Z=27; 6 — X=13, Y=11, Z=27

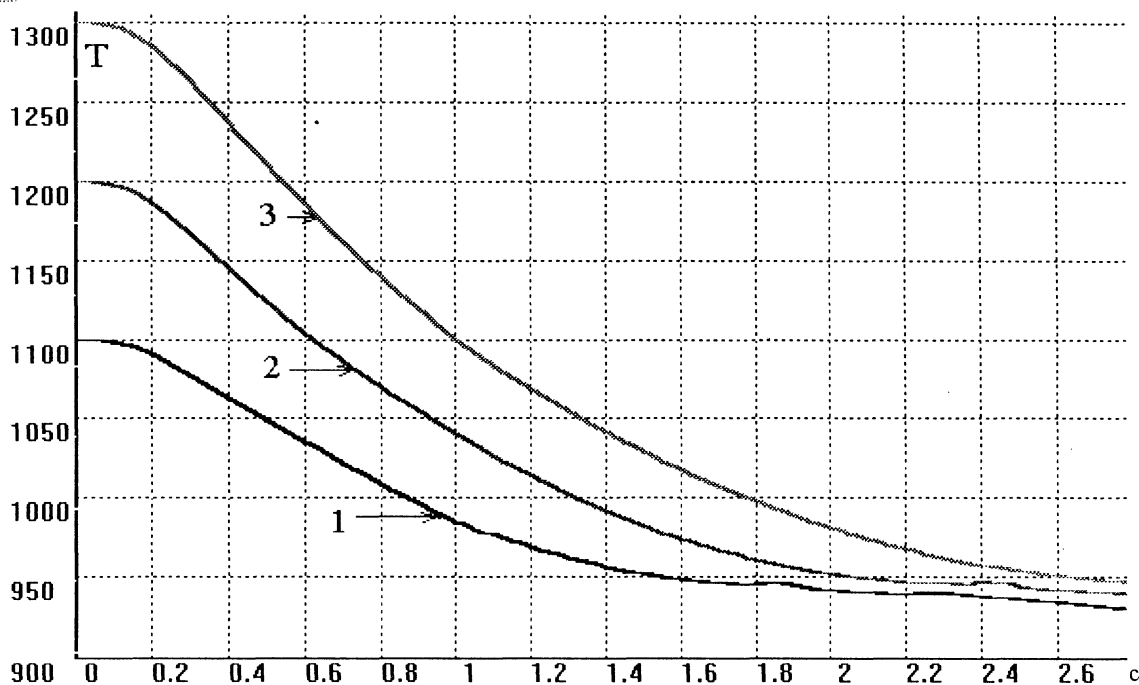


Рис. 4. Расчетные зависимости температуры от времени в точке $X=15$, $Y=29$, $Z=27$ для различных начальных температур заливки: 1 — 1100°C; 2 — 1200; 3 — 1300°C

Из рис. 4 видно, что чем ниже температура, тем быстрее происходит кристаллизация. Так, в данной точке чугуновой отливки при начальной температуре заливки 1100°C кристаллизация закончилась за 2 с, при 1200° — за 2,5 с, при 1300°C — за 2,7с.

Таким образом, представленные расчеты по системе "кокиль—отливка" показывают программные возможности одного из модулей пакета "ПроЛит1". Целью представленных расчетов является выбор толщин стенок кокиля на основе численных компьютерных методов.

Литература

1. Руденко А. Б., Серебро В. С. Литье в облицованный кокиль. М.: Машиностроение, 1987.
2. Чичко А. Н., Дроздов Е. А. Влияние электронного строения 3d-расплавов на характеристики охлаждающегося расплава, рассчитанные на основе уравнений Навье—Стокса и Фурье—Кирхгофа // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2000. № 2. С. 5—9.
3. Чичко А. Н., Яцкевич Ю. В. Трехмерное компьютерное моделирование охлаждения отливки и выбор питателя литниковой системы на основе уравнения теплопроводности // ИФЖ. 1999. Т. 72, №4. С. 792—796.