

различных типоразмеров из серого чугуна с мелкозернистой структурой без отбела поверхностных слоев взамен ранее применяемой технологии получения этих отливок в землю.

УДК 621.746.6

В.А.Антонов, инженер,
 Э.А.Гурвич, канд. техн. наук,
 Р.И.Есьман, канд. техн. наук,
 Н.П.Жмакин, канд. техн. наук,
 Н.П.Кеда, канд. физ.-мат. наук (БПИ)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВКИ В ПРЕСС-ФОРМЕ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛООБМЕНА

В работе предлагается численное решение несимметричной задачи затвердевания и охлаждения отливки в пресс-форме.

Введем декартову систему координат с центром на оси отливки. Направим перпендикулярно к ней ось Ox , на которой отрезок $[a_1, -a_0]$ соответствует подвижной полуформе, $[a_0, b]$ - неподвижной полуформе, $[-a_0, a_0]$ - отливке (рис. 1).

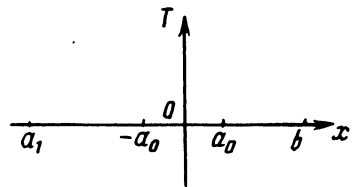


Рис. 1. Расчетная схема.

Температурное поле отливки и формы описывается дифференциальным уравнением теплопроводности с соответствующими краевыми условиями. В безразмерных переменных исходные уравнения, граничные и начальные условия запишутся в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} d^2 c_1(u) \rho_1(u) \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_1(u) \frac{\partial u}{\partial y} \right]; -\frac{a_0}{d} \leq y \leq \frac{a_0}{d}; \\ d^2 c_2(u) \rho_2(u) \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_2(u) \frac{\partial u}{\partial y} \right]; \frac{a_1}{d} \leq y \leq -\frac{a_0}{d}; \\ \frac{a_0}{d} \leq y \leq \frac{b}{d}; \end{array} \right. \quad (1)$$

$$-\lambda_2(u) \frac{\partial u}{\partial y} = du \varphi(u); y = \frac{a_1}{d}, \frac{b}{d}; \quad (2)$$

$$-\lambda_1(u) \frac{\partial u}{\partial y} = \lambda_2(u) \frac{u}{y}; y = -\frac{a_0}{d}; \frac{a_0}{d}; \quad (3)$$

$$u^{10} \text{ при } y \in \left[-\frac{a_0}{d}; \frac{a_0}{d}\right]$$

$$u(y, 0) = u^{20} \text{ при } y \in \left[\frac{a_1}{d}; -\frac{a_0}{d}\right) \cup \left(\frac{a_0}{d}, \frac{b}{d}\right], \quad (4)$$

где $u = \frac{T - T_0}{T_0}$; $d = \max(-a_1, b)$; $\varphi(u) = \alpha + \epsilon \sigma T_0^3 (u + 2)[(u + 1)^2 + 1]$; $u^{10} = \frac{T_{10} - T_0}{T_0}$; $u^{20} = \frac{T_{20} - T_0}{T_0}$; T -

текущая температура; T_0 - температура среды; α - коэффициент теплоотдачи; ϵ - степень черноты (различна на поверхностях полуформ); σ - коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Для численного решения этой задачи разделим отрезок $\left[\frac{a_1}{d}, -\frac{a_0}{d}\right]$ на n_0 равных частей; $\left[-\frac{a_0}{d}, \frac{a_0}{d}\right]$ на $n_1 = 2m$; $\left[\frac{a_0}{d}, \frac{b}{d}\right]$ на n_0 равных частей и введем обозначения:

$$h = \frac{-a_0 - a_1}{n_0 d}; h_0 = \frac{a_0}{md}; h' = \frac{b_1 - a_0}{n_2 d};$$

$$N_0 = n_0 + n_1; N = n_0 + n_1 + n_2.$$

На отрезке $\left[\frac{a_1}{d}, \frac{b}{d}\right]$ оси Ox получим неравномерную сетку $\{x_k (k = \overline{0, N}); x_{k+1} = x_k + h_k\}$, причем

$$h_k = \begin{cases} h_0, & k = \overline{0, n_0 - 1} \\ h_1, & k = \overline{n_0, N_0 - 1} \\ h', & k = \overline{N_0, N - 1}, \end{cases}$$

представляющую возможность экономичного счета при различных соотношениях геометрических размеров отливки и составляющих формы.

Заменим задачу конечно-разностным аналогом на четырехточечном шаблоне (рис. 2):

$$d_{i_k}^{2, k+\frac{1}{2}} \rho_{i_k}^{k+\frac{1}{2}} \frac{u_k^{l+1} - u_k^l}{\tau} = \frac{2}{h_k + h_{k+1}} \left(\lambda_{i_{k+\frac{1}{2}}}^{l+1} \frac{u_{k+1}^{l+1} - u_k^{l+1}}{h_{k+\frac{1}{2}}} - \lambda_{i_{k-\frac{1}{2}}}^{l+1} \frac{u_k^{l+1} - u_{k-1}^{l+1}}{h_{k-\frac{1}{2}}} \right); \quad k = 1, N-1; \quad k \neq n_0, N_0;$$

$$- \lambda_{2, k+\frac{1}{2}}^{l+1} \frac{u_{k+1}^{l+1} - u_k^{l+1}}{h_k} = d_{2, k+\frac{1}{2}} \frac{u_k^{l+1} + u_{k+1}^{l+1}}{2} \left(\lambda_{2, k+\frac{1}{2}}^{l+1} \frac{u_k^{l+1} + u_{k+1}^{l+1}}{2} \right),$$

$$k = \overline{0, N-1}; \quad \lambda_{2, n_0-\frac{1}{2}}^{l+1} \frac{u_{n_0}^{l+1} - u_{n_0-1}^{l+1}}{h^0} = \lambda_{1, n_0+\frac{1}{2}}^{l+1} x$$

$$x \frac{u_{n_0+1}^{l+1} - u_{n_0}^{l+1}}{h^0}; \quad \lambda_{1, N_0-\frac{1}{2}}^{l+1} \frac{u_{N_0}^{l+1} - u_{N_0-1}^{l+1}}{h^0} = \lambda_{2, N_0+\frac{1}{2}}^{l+1} x$$

$$x \frac{u_{N_0+1}^{l+1} - u_{N_0}^{l+1}}{h'}; \quad u_k^0 = \begin{cases} u^{10}, & k = \overline{n_0, N_0} \\ u^{20}, & k = \overline{0, n_0-1, N_0+1, N} \end{cases}$$

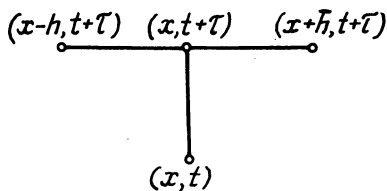


Рис. 2. Четырехточечный шаблон.

Здесь через u_k^l обозначено значение температуры в узле с номером "к" и в момент времени τl ($l = 0, 1, 2 \dots$), теплофизические коэффициенты c_k, ρ_k, λ_k вычисляются по значениям температуры $u = T_0 (u_k^l + 1)$, а $\lambda_{k+\frac{1}{2}}^l$ - по значению температуры, равному среднему арифметическому температур в узлах с номерами k и $(k+1)$.

Получили систему $N + 1$ нелинейных уравнений относительно неизвестных u_k^{1+1} ($k = \overline{0, N}$). Ее можно решить методом итераций, взяв за начальное приближение решение на предыдущем временном слое. Если же теплофизические коэффициенты и функцию $\varphi(u)$ вычислять на предыдущем слое, то система будет линейной и может быть решена методом прогонки [1]. В данной задаче прямая прогонка начинается с вычисления прогоночных коэффициентов из уравнения для первого узла в точке $x_0 = \frac{a_1}{d}$, а обратная прогонка - с вычисления значения температуры u_k^{1+1} в узле $x_N = \frac{b}{d}$.

По данному алгоритму разработана ФОРТРАН-программа, а вычисления при различных тепловых и геометрических параметрах проведены на ЭВМ "БЭСМ-6".

По результатам расчетов были построены номограммы циклов процесса при различных сочетаниях толщин отливки и пресс-формы в зависимости от начальной температуры формирующей поверхности пресс-формы, интенсивности теплообмена на внешней поверхности и удаления каналов охлаждения от рабочей поверхности пресс-формы. На рис. 3 дан пример такой номограм-

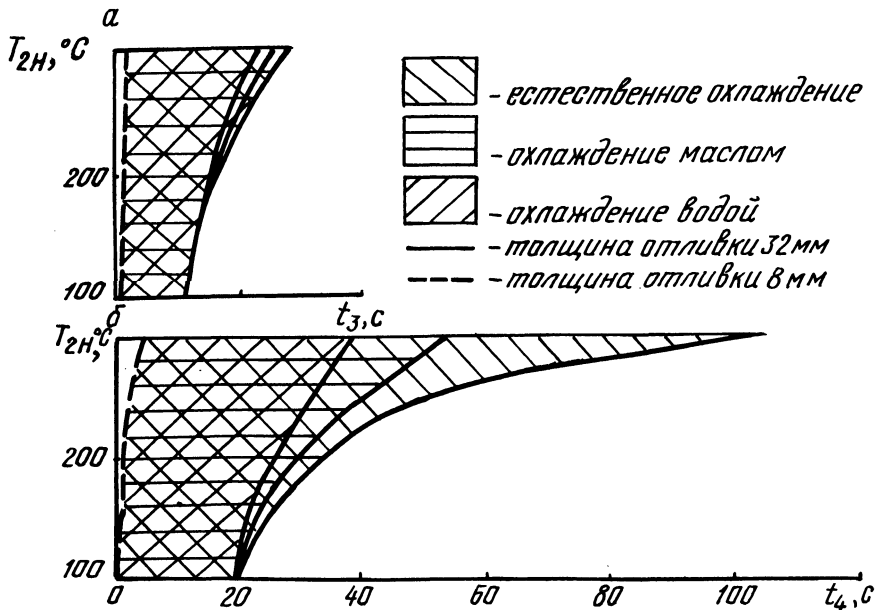


Рис. 3. Номограмма для определения времени затвердевания (а) и охлаждения (б) отливки в пресс-форме.

мы для определения времени затвердевания и охлаждения отливки из сплава АЛ4 в стальной пресс-форме с толщиной стенки 30 мм, покрытой со стороны рабочей поверхности смазкой с термической проводимостью $0,5 \cdot 10^5$ Вт/(м·К). Толщина отливок на номограмме изменяется в пределах от 8 до 32 мм. Начальная температура варьируется от 100 до 300°C, температура заливаемого металла - 630°C, температура выбивки отливки - 450°C, коэффициенты теплоотдачи на поверхности охлаждающих каналов или на внешней поверхности пресс-формы (в случае естественного охлаждения) соответствуют: охлаждению водой, маслом и естественному охлаждению.

Анализ расчетов на ЭВМ показал, что с увеличением начальной температуры формирующей поверхности длительность технологического цикла отливки возрастает. Чем больше интенсивность охлаждения на поверхности каналов и на внешней поверхности пресс-формы, тем меньше сказывается это влияние. Увеличение толщины отливки требует снижения уровня начальной температуры для выравнивания процесса затвердевания и охлаждения разных по толщине элементов сложной отливки. Увеличением толщины формы можно практически свести на нет влияние принудительного охлаждения на цикл затвердевания, независимо от начальной температуры пресс-формы.

Данные номограммы можно широко использовать при конструировании пресс-форм для литья под давлением сложных отливок. Они позволяют правильно выбрать места расположения каналов охлаждения, теплоносители и послужить исходными для выбора оптимальных параметров при автоматизации процесса.

Литература

1. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. - М.: Наука, 1971. - 506 с.

УДК 621.746.6

Р.И.Есьман, канд. техн. наук,
В.А.Антонов, инженер (БПИ)

РЕШЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВКИ В ПРЕСС-ФОРМЕ НА ЭВМ

Температурное поле потока жидкого металла в процессе заполнения пресс-формы определяется гидродинамикой впрыска и прессования, а также условиями теплоотдачи на поверхности