

Э.А. ГУРВИЧ, канд.техн.наук,
Р.И. ЕСЬМАН, канд.техн.наук,
В.А. АНТОНОВ, Е.С. МАТЮШ (БПИ)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ В МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

Температурное поле многослойной системы "отливка—металлическая форма" определяется многообразием факторов и в общем случае в безразмерных переменных описывается дифференциальным уравнением теплопроводности [1] (рис. 1)

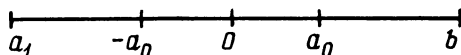


Рис. 1. Расчетная схема.

$$d^2 c_1(u_1) \rho_1(u_1) \frac{\partial u_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_1(u_1) \frac{\partial u_1}{\partial x} \right]; \quad -\frac{a_0}{d} \leq x \leq \frac{a_0}{d};$$

$$d^2 c_2(u_2) \rho_2(u_2) \frac{\partial u_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_2(u_2) \frac{\partial u_2}{\partial x} \right]; \quad (1)$$

$$a_1/d \leq x < -a_0/d, \quad a_0/d < x \leq b/d.$$

Здесь удельная массовая теплоемкость c_i , плотность ρ_i и коэффициент теплопроводности λ_i — функции безразмерной температуры $u_i(x, t)$; индексом $i = 1$ обозначены величины, относящиеся к отливке ($-a_0/d \leq x \leq a_0/d$), индексом $i = 2$ — к форме ($a_1/d \leq x < -a_0/d, a_0/d < x \leq b/d$).

В начальный момент времени $t = 0$ безразмерная температура

$$u_i(x, 0) = \frac{T_i(x, 0) - T_0}{T_0}, \quad (2)$$

где $T_i(x, 0)$ — начальная температура отливки (формы); T_0 — температура окружающей среды.

Сформулируем граничные условия. На свободных поверхностях металлической формы при $x = a_1/d, b/d$ граничные условия с учетом радиационного теплообмена в соответствии с законом Стефана—Больцмана и в безразмерных переменных можно записать в виде

$$-\lambda_2(u_2) \frac{\partial u_2}{\partial x} = \epsilon \sigma T_0^3 (u + 2) ((u + 1)^2 + 1), \quad (3)$$

где $\varphi(u) = \epsilon \sigma T_0^3 (u + 2) ((u + 1)^2 + 1)$.

Интегральная степень черноты поверхности кокиля ϵ и коэффициенты теплоотдачи a_2 на разных свободных поверхностях формы могут быть различны

ны. В случае применения в качестве теплоносителя капельной жидкости радиационной теплообмен исключается.

На рабочих поверхностях металлической формы ($x = \pm a_0/d$) имеют место совместные граничные условия. При идеальном контакте они записываются в виде

$$\lambda_1(u_1) \frac{\partial u_1}{\partial x} = \lambda_2(u_2) \frac{\partial u_2}{\partial x} \quad (4)$$

На практике идеальный контакт не существует, так как на рабочую поверхность формы наносится слой разделительной смазки (теплоизоляционной краски) толщиной $\delta_{кр}$. Кроме того, в процессе охлаждения отливки вследствие усадки затвердевающего металла между внешней поверхностью отливки и рабочей поверхностью формы образуется воздушный зазор δ_B . Его величина определяется из рассмотрения термонапряженного состояния формы [2]. Учитывая, что через слой краски тепло передается за счет теплопроводности, а через воздушный зазор — за счет теплопроводности и теплоотдачи излучением, конкретные условия в безразмерных переменных можно записать в виде

$$\begin{aligned} -\lambda_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} &= -\lambda_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} = \frac{\lambda_{кр} d}{\delta_{кр}} (u_{кр} - u_2) = \\ &= \frac{(u_1 - u_2) ((\lambda_B/\delta_B) - a_L) \cdot (\lambda_{кр} d)/\delta_{кр}}{(\lambda_{кр}/\delta_{кр}) + (\lambda_B/\delta_B) + a_L} \end{aligned}$$

Если задача симметрична (т.е. размеры полуформ, толщина и свойства теплоизоляционного покрытия на обеих рабочих поверхностях формы и условия теплообмена на свободных поверхностях одинаковы), то нет необходимости изучать тепловой режим для всего тела "отливка—форма". В этом случае достаточно изучить его на участке $0 \leq x \leq b/d$, для чего на оси симметрии при $x = 0$ ставится условие

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0. \quad (5)$$

Для решения сформулированной задачи введем равномерные сетки с шагом $h = (-a_0 - a_1)/n_0 d$ на отрезке $[a_1/d, -a_0/d]$, с шагом $h^0 = 2a_0/dn_1$ в области отливки и с шагом $h^1 = (b_1 - a_0)/n_2 d$ на отрезке $[a_0/d, b/d]$ (n_1 — целые числа и n_1 — четное).

Если задача несимметричная, то n_1 может быть и нечетным. Задача аппроксимируется конечно-разностным аналогом уравнений (1)–(4) с помощью неявной схемы на четырехточечном шаблоне [1].

В случае симметричной задачи условие (5) в разностном виде переписывается так: $u_{N-1} = u_{N+1}$. Здесь $N = (n_0 + n_1)/2$.

Для определения значения температуры в узлах сетки получили систему $N + 5$ (в случае симметричной задачи $N + 3$) нелинейных уравнений. Задача может быть решена одним из итерационных методов. За начальное приближение решения на временном слое $l + 1$ можно взять его значение на слое l . Для нахождения очередной итерации имеем линейную систему уравнений, для решения которой можно использовать метод прогонки [1].

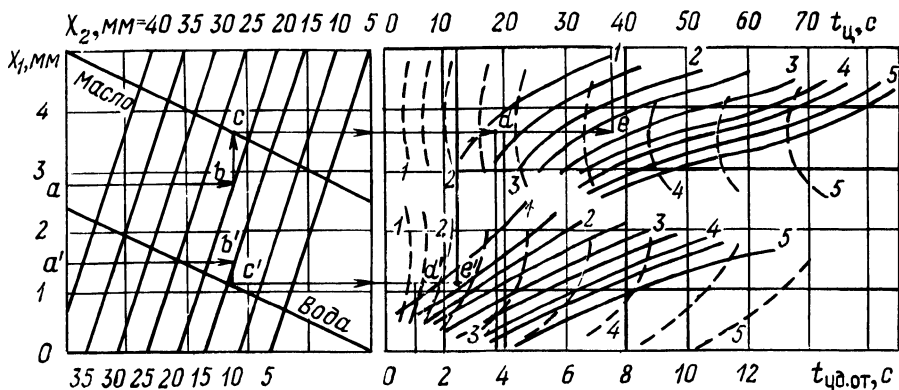


Рис. 2. Номограмма для определения временных параметров процесса литья под давлением отливок из сплава АЛ4 при различных условиях охлаждения пресс-форм: сплошные линии – цикл ($T_{2н} = 250^{\circ}\text{C}$); штриховые – удаление отливки ($T_{уд.отл} = 450^{\circ}\text{C}$).

Описанный алгоритм реализован на языке ФОРТРАН. Вычисления производились на ЭВМ "БЭСМ-6".

Одним из результатов расчета является номограмма, приведенная на рис. 2. Она позволяет определить технологический цикл (заливка–удаление отливки) и температурный цикл (заливка – заливка) процесса литья под давлением отливки толщиной до 10 мм из сплава АЛ4 в пресс-формы с различным расстоянием каналов охлаждения от рабочей поверхности при использовании в качестве охлаждающей среды разных теплоносителей. Для примера определим температурный цикл процесса и момент удаления отливки из сплава АЛ4 толщиной 5,5 мм, формирующейся в стальной пресс-форме, охлаждаемой маслом ГСКП-30, которое протекает по каналам, расположенным на расстоянии 20 мм от рабочей поверхности пресс-формы.

Для решения задачи с помощью номограммы осуществляем следующие операции: на оси X_1 находим отметку 2,75 мм (точка а); проводим линию, перпендикулярную оси X_1 , до пересечения с линией X_2 , равной 20 мм (точка в); из точки в до пересечения с линией "масло" параллельно оси X_1 проводим прямую (точка с); из точки с проводим прямую параллельно осям времени; на пересечении этой прямой с кривыми выбивки (штриховые линии) и температурного цикла (сплошные линии), соответствующими $X_1 = 2,75$ мм, получаем точки d (на кривой выбивки) и e (на кривой цикла); из точек d и e опускаем перпендикуляры на соответствующие оси времени (из точки d на ось $T_{уд.от}$, из точки e на ось $T_{ц}$) и определяем $T_{уд.от} = 3,75$ и время температурного цикла процесса $T_{ц} = 37,5$ с.

Таким образом, разработанная математическая модель и решение задачи описанным методом с использованием ЭВМ, позволяют получить практические номограммы для выбора оптимальных параметров процесса литья в металлические формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е с ь м а н Р.И. Ж м а к и н Н.П., Ш у б Л.И. Расчеты процессов литья. — Минск: Выш. шк., 1977. — 265 с. 2. Г е й г в у д Б.Е. Температурные напряжения/Пер. с англ. — М.: Изд-во иностр. лиг., 1959. — 300 с. 3. Т и м о ш е н к о С.П., Г у д ь е р Дж. Теория упругости. — М.: Изд-во иностр. лиг., 1975. — 157 с.

УДК 621.746 + 621.745

Н.П. ЖВАВЫЙ, Н.П. ЖМАКИН, канд.техн.наук,
Е.В. КРАВЧЕНКО, канд.техн.наук (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ТОНКОСТЕННЫХ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК И СТОЙКОСТЬ ЭМАЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ

Стойкость эмаливого покрытия на металлической поверхности изделия во многом определяется такими факторами, как макро- и микроструктура, химический состав, тепловые и химические свойства металла, состояние поверхности изделия.

Главная трудность при эмалировании чугуна заключается в том, что по своей структуре и свойствам он не менее стабилен, чем сталь. При одинаковом химическом составе его структура может изменяться в зависимости от условий литья, интенсивности теплоотвода в процессе кристаллизации и последующего охлаждения. При этом структура графита в чугуне имеет большее значение, чем металлическая матрица.

Комплексное воздействие на процесс формирования структуры с использованием модифицирующих добавок при литье в кокиль позволяет получать плотную мелкозернистую и равномерную по сечению структуру чугуновых отливок без отбела.

В данной работе проводились исследования по определению состава и содержания модифицирующих добавок, вводимых в расплав определенного химического состава для получения тонкостенных чугуновых отливок с хорошим качеством и высокой стойкостью эмаливого покрытия.

Исследования проводились на заводе "Эмальпосуда" г. Слуцка при литье изделий с толщиной стенки 4–6 мм. Использовали чугун следующего химического состава: С = 3,4–3,6 %; Мп = 0,5–0,8 ; Si = 2,2–2,6 %; P = 0,3–0,4 %; S = 0,06–0,09 %.

Температура металла перед заливкой составляла 1280–1320 °С.

Формой служил тонкостенный кокиль, рабочая поверхность которого покрывалась слоем облицовки толщиной 0,3 мм и краски — 0,1–0,2 мм. Температура кокиля перед заливкой составляла 300–350 °С.

При данных начальных условиях исследовалось влияние ряда модифицирующих добавок: силикомишметалла (СММ), силикокальция (СК), а также комплексных модификаторов: силикомишметалла с феррохромом (СММ + FeCr), силикомишметалла с феррованадием (СММ + FeV). Модификатор вводили в ковш перед заливкой. Содержание модификатора в серии экспери-