

локального принудительного охлаждения кокиля различными теплоносителями. Результаты исследований использованы при создании технологической оснастки с автоматическим регулированием теплового режима кокиля при изготовлении отливки корпус топливного насоса на Минском моторном заводе.

В результате проведенных исследований изучены особенности процесса формирования сопряжений отливок в кокиле и определены оптимальные условия охлаждения различных участков формы, что позволило уменьшить неравномерность температурного поля и получить качественные отливки без усадочных дефектов.

УДК 621.743

*Е.В.Кравченко, А.С.Калиниченко*

### РАСЧЕТ ПРОДВИЖЕНИЯ ФРОНТА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Сложность получения отливок из чугуна в кокилях определяется образованием отбела поверхностных слоев, препятствующего последующей механической обработке. Снижение скорости затвердевания за счет утепления кокиля приводит к появлению трудностей технологического характера, поскольку стойкость теплоизоляционного покрытия невысока.

В настоящее время предложен способ литья чугунных отливок в кокиль, позволяющий устранить отбел поверхностных слоев [1]. Это достигается путем создания значительного искусственного зазора между отливкой и кокилем, вследствие которого резко снижается интенсивность теплообмена и происходит самоотжиг поверхностных слоев.

Для нахождения времени раскрытия кокиля необходимо рассчитать продвижение фронта кристаллизации в отливке. Поскольку раскрытие формы происходит до момента полного затвердевания отливки, то можно допустить температуру отливки постоянной. Найдем количество тепла, передаваемое от отливки к форме за время  $dt$  при затвердевании слоя отливки толщиной  $d\xi$  :

$$dQ_1 = \rho_1 r_{\text{эф}} d\xi F, \quad (1)$$

где  $\rho_1$  — плотность материала отливки,  $\text{кг/м}^3$ ;  $r_{\text{эф}}$  — эффективная теплота кристаллизации,  $\text{Дж/кг}$ ;  $F$  — площадь контакта.

Это тепло отводится формой площадью  $F$  за время  $dt$ :

$$dQ_2 = \alpha_1 (T_{\text{кр}} - T_{2п,t}) F dt, \quad (2)$$

где  $\alpha_1$  — коэффициент теплопередачи от отливки к форме, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $T_{2пт}$  — температура рабочей поверхности формы, К.

Приравняв выражения (1) и (2), получим после преобразований:

$$d\xi = \frac{\alpha_1 (T_{кр} - T_{2пт})}{\rho_1 r_{эф}} dt. \quad (3)$$

Для решения уравнения (3) необходимо найти зависимость от времени. Используя общее решение для несимметричных граничных условий третьего рода [2], найдем выражение для определения  $T_{2пт}$  для наших условий:

$$T_2(x, Fo) = (b - cx) (T_{кр} - T_B) + \sum_{k=1}^{\infty} u_k \left( \frac{A_k}{N_k^2} e^{-a\gamma_k^2 Fo} - M_k Fo + T_B \right), \quad (4)$$

где  $T_B$  — температура воды, К;  $b$  и  $c$  — постоянные, учитывающие интенсивность теплообмена,

$$b = \frac{Bi_1 (1 - Bi_2)}{Bi_1 + Bi_2 + Bi_1 Bi_2 m}; \quad c = \frac{Bi_1 Bi_2}{Bi_1 + Bi_2 + Bi_1 Bi_2 m}. \quad (5)$$

Значения  $\gamma_k$  находятся как корни характеристического уравнения [2]. Постоянную  $A_k$  и квадрат нормы  $N_k$  собственной функции находим из следующих выражений:

$$A_k = \left( \frac{1}{\gamma_k} \sin 2\gamma_k m - \frac{Bi_1}{\gamma_k} \cos 2\gamma_k m + \frac{Bi_1}{\gamma_k^2} \right) (T_{2пт,0} - T_B - bT_{кр} + bT_B - (R_k + P_k \frac{Bi_1}{\gamma_k}) (k - cT_{кр} + cT_B));$$

$$N_k = \frac{1}{4\gamma_k} \left( 1 - \frac{Bi_1}{\gamma_k} \right) \sin 4\gamma_k m + m \left( 1 + \frac{Bi_1^2}{\gamma_k} \right) + \frac{Bi_1}{2\gamma_k^2} (1 - 4\cos 4\gamma_k m).$$

Подставляя значения постоянных  $b$ ,  $c$ ,  $A_k$ ,  $N_k$  и выражение (4) в (3), после интегрирования левой части от 0 до  $\xi$ , а правой от 0 до  $t$  получим

$$\xi = \frac{\alpha_1 t_H}{\rho_1 r_{эф}} [T_{кр} - (b - c) (T_{кр} - T_B) - T_B] + \frac{\alpha_1}{\rho_1 r_{эф}} \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{1}{a\gamma_k^2} \frac{A_k}{N_k^2} e^{-a\gamma_k^2 Fo} + \frac{1}{2} M_k Fo^2 \right).$$

Используя выражение (8), можно рассчитать продвижение фронта кристаллизации до момента затвердевания и определить момент раскрытия формы для конкретной отливки.

### Л и т е р а т у р а

1. А н и с о в и ч Г.А., А л е к с е е в В.С., К р у т о в а Ю.Н. Затвердевание отливки в кокиле с искусственным воздушным зазором. — Литейное производство, 1978, № 5. 2. Х р и с т и ч е н к о П.И. Новый способ теплового расчета постоянной литейной формы. — В сб.: Тепловые процессы в отливках и формах. М., 1972.

УДК 621.74.043.2:621.892

*Д.Н.Худокормов, В.А.Бахмат,  
А.М.Михальцов, В.Н.Амосенко*

### ВЛИЯНИЕ СКОРОСТЕЙ ВПУСКА И ПРЕССОВАНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ ОТЛИВОК ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Качество литья под давлением в значительной степени определяется гидродинамическим режимом заполнения полости пресс-формы, основными параметрами которого являются скорость прессования и скорость впуска жидкого металла. Одним из важнейших показателей качества литья под давлением является плотность отливок, находящаяся в непосредственной связи с газовой пористостью — основным недостатком данного способа литья. Поэтому в настоящей работе исследовалось влияние скоростей прессования и впуска на плотность отливок из сплава АЛ2.

Отливки прямоугольной формы изготавливались на машине литья под давлением модели 5А12 с холодной горизонтальной камерой прессования. В опытной пресс-форме при этом была конструктивно предусмотрена возможность быстрого изменения толщины стенки отливки от 2 до 6 мм и толщины питателя от 0,75 до 2 мм.

Скорость первой фазы прессования оставалась постоянной. Скорость второй — регулировалась в пределах 0,3–1,0 м/с, измерялась с помощью магнитно-электрического датчика и фиксировалась шлейфовым осциллографом на фотобумаге.

Для измерения усилия прессования использовался специальный переходник с наклеенными тензодатчиками.