

## Л и т е р а т у р а

1. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки. М., Машгиз, 1960. 2. Вейник А.И. Теория особых видов литья. М., Машгиз, 1958. 3. Тихонов А.Н., Швидковский Е.Г. ЖТФ, г. ХУП, вып. 2, 1947. 4. Рыжиков А.А., Тимофеев Г.И. Сб.: "Взаимодействие литейной формы и отливки", М., АН СССР, 1962, с.22-24. 5. Savage I. I. Iron and Steel Institute, 1962, v. 200. N 1, p. 41-47.

В.Ф. Бевза, Е.И. Марукович,  
Н.А. Сенькин

### УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОХЛАЖДЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ОТЛИВКИ С ПОМОЩЬЮ ЭКРАНОВ

Из теории теплопередачи известно, что установка плоского экрана параллельно какой-либо поверхности уменьшает в стационарном режиме тепловой поток в два раза. При этом имеется в виду, что экран не имеет термического сопротивления, а его теплофизические характеристики такие же, как у излучающей поверхности. Если же теплопроводность материала экрана и коэффициент лучеиспускания меньше, чем у поверхности непрерывной чугуновой отливки, то скорость охлаждения можно изменить в несколько раз.

Рассмотрим теплообмен между двумя цилиндрическими поверхностями - полый чугуновой отливкой и тонким алюминиевым экраном. Термическим сопротивлением стенки экрана и его теплоаккумулирующей способностью можно пренебречь.

Тепловой поток между поверхностью трубы и экраном определяется по формуле:

$$q_2 = c \cdot \left[ \left( \frac{T_{II}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{Э}}{100} \right)^4 \right] + \alpha c_2 \cdot \left( \frac{T_{II} - T_{Э}}{2} \right), \quad (1)$$

где  $T_{II}$  и  $T_{Э}$  - соответственно температура поверхности отливки и экрана;  $\alpha c_2$  - коэффициент теплоотдачи соприкосновения;  $c$  - приведенный коэффициент лучеиспускания системы отливка-экран.

Тепловой поток на наружной поверхности экрана равен

$$q_3 = \left\{ c_3 \cdot \left[ \left( \frac{T_{Э}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 \right] + \alpha c_3 \cdot (T_{Э} - T_c) \right\} \cdot \frac{F_3}{F_1}, \quad (2)$$

где  $c_3$  - коэффициент лучеиспускания поверхности экрана;  $T_c$  - температура среды;  $\alpha c_3$  - коэффициент теплоотдачи соприкосновением;  $F_1$  и  $F_3$  - соответственно площадь поверхности отливки и экрана.

Зависимость температуры экрана от температуры поверхности отливки определяется из совместного решения уравнений (1) и (2). Решаются эти уравнения графическим методом. Если пренебречь конвекцией в зазоре между отливкой и экраном, то связь между температурами поверхностей экрана и отливки описывается уравнением:

$$T_{\text{п}} = 100 \sqrt{\left(1 + \frac{c_3}{c} \frac{F_3}{F_1}\right) \left(\frac{T_{\text{э}}}{100}\right)^4 + \frac{F_3}{c F_1} \left[\alpha c_3 (T_{\text{э}} - T_c) - c_3 \left(\frac{T_c}{100}\right)^4\right]} \quad (3)$$

При анализе процесса охлаждения отливки действие экрана можно заменить эффективным термическим сопротивлением на ее поверхности  $1/\alpha_{\text{эф}}$ .

Составим уравнение теплового баланса для поверхности отливки и экрана

$$Q = \alpha_{\text{эф}} (T_{\text{п}} - T_c) F_1 = \alpha_3 (T_{\text{э}} - T_c) F_3, \quad (4)$$

где  $\alpha_3$  - коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности экрана:

$$\alpha_3 = \frac{c_3 \left[ \left(\frac{T_{\text{э}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_c}{100}\right)^4 \right]}{T_{\text{э}} - T_c} + \alpha c_3; \quad (5)$$

$\alpha_{\text{эф}}$  - эффективный коэффициент теплоотдачи на поверхности трубы, учитывающий сопротивление экрана:

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha_3 \frac{T_{\text{э}} - T_c}{T_{\text{п}} - T_c} \cdot \frac{F_3}{F_1}. \quad (6)$$

Температуру внешней поверхности экрана и тепловой поток можно многократно уменьшить, если покрыть внутреннюю поверхность экрана малотеплопроводной футеровкой, например, асбестовым листом. В этом случае величина теплового потока между поверхностью отливки и экраном равна:

$$q_2 = c \left[ \left(\frac{T_{\text{п}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] + \alpha c_2 \left( \frac{T_{\text{п}} - T_2}{2} \right), \quad (7)$$

где  $T_2$  - температура внутренней поверхности экрана.

Тепловой поток на поверхности экрана:

$$q_3 = \frac{\lambda_{\text{э}}}{X_{\text{э}}} (T_2 - T_3) \cdot \frac{F_2 + F_3}{2F_1} \quad (8)$$

где  $F_2$  - площадь внутренней поверхности экрана;  $\lambda_{\text{э}}$  - теплопроводность футеровки экрана;  $X_{\text{э}}$  - толщина футеровки.

Решая систему уравнений (2) и (8) относительно  $T_2$ , получаем:

$$T_2 = T_3 + \frac{X_{\text{э}}}{\lambda_{\text{э}}} \left\{ c_3 \left[ \left( \frac{T_3}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 \right] + \alpha C_3 (T_3 - T_c) \right\} \frac{2F_3}{F_2 + F_3} \quad (9)$$

Зависимость  $T_2$  и  $T_3$  от  $T_{\text{п}}$  определяется из совместного решения (графическим методом) уравнений (7) и (8). Без учета конвекции в зазоре зависимость выражается формулой:

$$T_{\text{п}} = 100 \sqrt{\left( \frac{T_2}{100} \right)^4 + \frac{\lambda_{\text{э}}}{X_{\text{э}}} (T_2 - T_3) \frac{F_2 + F_3}{2F_1 c}} \quad ; \quad (10)$$

Полученные уравнения дают возможность проанализировать особенности теплообмена между непрерывной отливкой и экраном. Задаваясь одной из температур, можно определить величины тепловых потоков и распределение температуры во всей системе. Возможность регулирования величины теплового потока с поверхности отливки осуществляется в широких пределах за счет изменения толщины футеровки, ее теплопроводности, коэффициента лучеиспускания, расстояния между экраном и отливкой и длины экрана. Регулируемый отвод тепла можно осуществлять, снимая и одевая экран в любой необходимый для технологического процесса момент времени.

### Л и т е р а т у р а

1. Анисович Г.А., Почанин Ю.С., Манакин А.И. Управление процессом затвердевания слитков в тонкостенных изложницах при помощи экранов. В сб.: "Охлаждение отливки" Минск, "Наука и техника", 1969.