

влиянии малых добавок РЗМ на ударную вязкость высокопрочного чугуна. Однако наиболее широкими технологическими возможностями обладают присадки церия, обеспечивающие получение стабильной структуры и свойств в достаточно широком интервале их содержаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Х у д о к о р м о в Д.Н. Роль примесей в процессе графитизации чугунов. — Минск: Наука и техника, 1968, с. 43–44. 2. Л ю б ч е н к о А.П. Высокопрочные чугуны. — М.: Металлургия, 1982, с. 6–7.

УДК 621.74.047

В.И. ТУТОВ,
В.А. ГРИНБЕРГ,
И.В. ЗЕМСКОВ, канд-ты техн. наук,
Г.И. СТОЛЯРОВА (БПИ)

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

Определяющими технологическими параметрами при непрерывном литье являются: температура металла при заливке; толщина затвердевающей корки на выходе из кристаллизатора; скорость литья. Правильный выбор этих параметров и их соотношение должны обеспечить стабильность процесса, а также требуемые структуру и свойства материала заготовки.

Интенсивность теплоотвода задается в основном конструкцией кристаллизатора и теплофизическими свойствами материала, из которого он изготовлен. Поэтому этот параметр остается практически постоянным на все время эксплуатации конкретного кристаллизатора. Другие же параметры могут изменяться, использоваться в различных комбинациях и соотношениях, могут быть вычислены теоретически.

Рассматривая затвердевающую при непрерывном литье заготовку как замкнутую термодинамическую систему, взаимодействующую с окружающей средой через поверхность раздела, используем уравнение теплового баланса

$$dQ_{ж} + dQ_{Т} = -\alpha(T_{п} - T_{с})Fdt, \quad (1)$$

где $dQ_{ж}$ — изменение теплосодержания жидкого металла; $dQ_{Т}$ — изменение теплосодержания затвердевающей корки металла; α — коэффициент теплоотдачи от поверхности отливки в окружающую среду; $T_{п}$ — температура поверхности заготовки; $T_{с}$ — температура окружающей среды; F — площадь поверхности заготовки.

При его преобразовании вводим допущения, приведенные в работах по непрерывному литью [1, 2], и дифференцированный учет снятия теплоты перегрева при кристаллизации металла, задаваясь линейной зависимостью интенсивности отвода теплоты перегрева ($i_{пер} = \frac{dQ_{пер}}{dV}$) от объема или массы металла.

Для расчета кинетики затвердевания полой цилиндрической заготовки получаем уравнение:

$$\begin{aligned}
 t - t_0 = & \frac{R^2}{a} \left\{ - \frac{2r_{\text{пер}}}{5 \pi \cdot c \nu_{\text{кр}}} \frac{1}{\frac{\xi_{\text{к}}}{R} \left(2 - \frac{\xi_{\text{к}}}{R} \right)} \frac{\xi^5 - \xi_0^5}{R^5} + \right. \\
 & + \frac{1}{2} \frac{r_{\text{пер}}}{c \nu_{\text{кр}}} \cdot \left(\frac{3}{n} - \frac{\lambda}{aR} \right) \frac{1}{\frac{\xi_{\text{к}}}{R} \left(2 - \frac{\xi_{\text{к}}}{R} \right)} \frac{\xi^4 - \xi_0^4}{R^4} - \frac{1}{3} \times \\
 & \times \left[\frac{r + 2r_{\text{пер}}}{c \nu_{\text{кр}}} + \frac{2}{(n+1)(n+2)} - \frac{2r_{\text{пер}}}{c \cdot \nu_{\text{кр}} \frac{\xi_{\text{к}}}{R} \left(2 - \frac{\xi_{\text{к}}}{R} \right)} \right. \\
 & \times \left. \left(3 \frac{n\lambda}{aR} - 2 \right) \right] \cdot \frac{\xi^3 - \xi_0^3}{R^3} + \frac{1}{2n} \left[\frac{r + 2r_{\text{пер}}}{c \nu_{\text{кр}}} + \frac{1}{n+1} - \right. \\
 & - \frac{n\lambda}{aR} \left(\frac{r + 2r_{\text{пер}}}{c \nu_{\text{кр}}} - \frac{4r_{\text{пер}} n \lambda}{aR \frac{\xi_{\text{к}}}{R} \left(2 - \frac{\xi_{\text{к}}}{R} \right) c \nu_{\text{кр}}} - \right. \\
 & \left. \left. - \frac{\lambda}{aR(n+1)(n+2)} \right] \frac{\xi^2 - \xi_0^2}{R^2} + \frac{\lambda}{aR} \left[\frac{r + 2r_{\text{пер}}}{c \nu_{\text{кр}}} + \right. \\
 & \left. + \frac{1}{n+1} + \frac{n\lambda}{aR(n+1)(n+2)} \right] \frac{\xi - \xi_0}{R} - \frac{n}{n+1} \left(\frac{\lambda}{aR} \right)^2 \times \\
 & \left. \times \left(1 + \frac{n}{n+2} \frac{\lambda}{aR} \right) \ln \frac{\xi + \frac{n\lambda}{a}}{\xi_0 + \frac{n\lambda}{a}} \right\}, \quad (2)
 \end{aligned}$$

где t и t_0 — текущее и начальное время затвердевания; a — коэффициент температуропроводности материала отливки; λ — коэффициент теплопроводности материала отливки; r — удельная теплота кристаллизации; $r_{\text{пер}}$ — удельная теплота перегрева; c — удельная теплоемкость материала отливки; $\nu_{\text{кр}}$ — избыточная по отношению к температуре среды температура кристаллизации; n — показатель степени параболы распределения температур в затвердевшей корке металла; ξ , ξ_0 и $\xi_{\text{к}}$ — текущая, начальная и конечная толщина затвердевшей корки соответственно; R — радиус наружной поверхности отливки.

Эта зависимость связывает между собой интенсивность теплоотвода, теплофизические свойства материала, технологические параметры, позволяя решить следующие задачи:

— определить высоту кристаллизатора по заданной скорости литья и толщине затвердевшей корки;

- определить скорость литья, зная высоту кристаллизатора и толщину затвердевшей корки;
- определить толщину затвердевшей корки при заданной скорости литья и высоте кристаллизатора;
- выбрать температуру заливаемого металла.

Как показали исследования и производственная отработка процесса непрерывного литья, для практики чаще всего решается задача по определению скорости литья. Лимитирующим фактором для скорости литья является толщина затвердевшей корки на выходе из кристаллизатора, которую находим, используя экспериментальные данные [3]. Выбирая температуру заливаемого металла, оптимальную для получения требуемого качества данной заготовки, и соответствующие ей теплофизические характеристики, считая, что в начале процесса $t_0 = 0$ и $\xi_0 = 0$, подставляем все известные параметры в уравнение (2) и находим время затвердевания в кристаллизаторе заданной толщины корки. Зная высоту кристаллизатора и время нахождения в нем заготовки, определяем среднюю скорость литья. По предлагаемой методике можно определить и другие параметры процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейник А.И. Теория особых видов литья. – М.: Машгиз, 1958. – 300 с. 2. Туттов В.И. Расчет затвердевания непрерывной отливки. – Докл. АН БССР, 1981, т. XXV, № 2, с. 147–150. 3. Столярова Г.И., Гринберг В.А., Крутилин А.Н. Вертикальное непрерывное литье с использованием разрушаемых стержней. – В кн.: Металлургия, 1984, вып. 18, с. 50–51.

УДК 621.74.04

Г.А. ГАРАНИН,
Е.Б. ДЕМЧЕНКО;
А.Н. КРУТИЛИН,
Б.В. ВОЙТЮК (БПИ)

РАСЧЕТ КИНЕТИКИ РАЗОГРЕВА ОТЛИВКИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ КРИСТАЛЛИЗАТОРА

Определение максимальной температуры разогрева затвердевшей корки имеет большое значение при выборе технологических параметров процесса (скорость литья, длина кристаллизатора).

Максимальную температуру поверхности отливки после разогрева рассчитываем по формуле

$$C \left[\left(\frac{T_{п. max}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 + \alpha_k (T_{п. max} - T_c) \right] = \frac{\lambda}{\xi_k} (T_{кр} - T_{п. max}),$$

где $T_{п. max}$ – максимальная температура поверхности отливки; T_c – температура окружающей среды; $T_{кр}$ – температура кристаллизации; C – коэффициент лучеиспускания отливки; α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией;