

В.И.Тугов, канд. техн. наук,
 В.А.Гринберг, канд. техн. наук,
 В.С.Скотаренко, инженер,
 Е.В.Пустовалов, инженер,
 В.К.Ханин, инженер,
 Н.А.Сенькин, канд. техн. наук (БПИ)

ТЕПЛОВЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЧУГУНА

Разработка технологии современных высокопроизводительных процессов получения литых заготовок требует проведения теоретического анализа, получения расчетных зависимостей, связывающих между собой основные параметры, характеризующие процесс. Одним из таких процессов является горизонтальное непрерывное литье чугуна, получающее в последние годы все большее развитие.

В результате решения дифференциального уравнения теплового баланса системы жидкий металл - затвердевшая часть отливки - окружающая среда для бесконечного цилиндра получено уравнение:

$$\begin{aligned}
 t - t_0 = & \frac{1}{a} \left\{ \frac{\lambda}{\alpha} \left[\frac{r + 2r_{\text{пер}}}{cv_{\text{кр}}} + \frac{1}{n+1} + \frac{n\lambda}{\alpha R(n+1)(n+2)} \right] \times \right. \\
 \times (\xi - \xi_0) & + \frac{1}{2n} \left[\frac{r + 2r_{\text{пер}}}{cv_{\text{кр}}} + \frac{1}{n+1} - \frac{n\lambda}{\alpha R} (r + 6r_{\text{пер}}) - \right. \\
 - \frac{\lambda}{\alpha R(n+1)(n+2)} & \left. \left. \right] (\xi^2 - \xi_0^2) - \frac{1}{3Rn} \left[\frac{r + 6r_{\text{пер}}}{cv_{\text{кр}}} - \right. \right. \\
 - \frac{6r_{\text{пер}}}{cv_{\text{кр}}} \cdot \frac{n\lambda}{\alpha R} & + \frac{2}{(n+1)(n+2)} \left. \left. \right] (\xi^3 - \xi_0^3) + \right. \\
 + \frac{1}{2R^2} \frac{r_{\text{пер}}}{cv_{\text{кр}}} & \left(\frac{3}{n} - \frac{\lambda}{\alpha R} \right) (\xi^4 - \xi_0^4) - \frac{2}{5R^3 n} \cdot \frac{r_{\text{пер}}}{cv_{\text{кр}}} \times (\xi^5 - \\
 - \xi_0^5) & - \frac{n}{n+1} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^2 \left(1 + \frac{n}{n+2} \cdot \frac{\lambda}{\alpha R} \right) \ln \frac{\xi + \frac{n\lambda}{\alpha}}{\xi_0 + \frac{n\lambda}{\alpha}}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

где t и t_0 – текущее и начальное время затвердевания, a – коэффициент температуропроводности материала отливки; λ – коэффициент теплопроводности материала отливки; r – удельная теплота затвердевания; $r_{\text{пер}}$ – удельная теплота перегрева; c – удельная теплоемкость материала отливки; $v_{\text{кр}}$ – избыточная по отношению к температуре среды температура кристаллизации; n – показатель кривой распределения температур в затвердевшей корке; ξ и ξ_0 – текущая и начальная толщина затвердевшей корки; α – коэффициент теплоотдачи от поверхности отливки к окружающей среде; R – радиус отливки.

Уравнение (1) связывает между собой технологические параметры процесса, термодинамические свойства материала и условия охлаждения цилиндрической заготовки, получаемой методом горизонтального непрерывного литья.

Однако строгий аналитический расчет по формуле (1) невозможен из-за отсутствия надежных и достоверных сведений о коэффициенте теплопередачи α . Значение этого коэффициента было получено при обработке экспериментальных данных по теплово-вому режиму процесса.

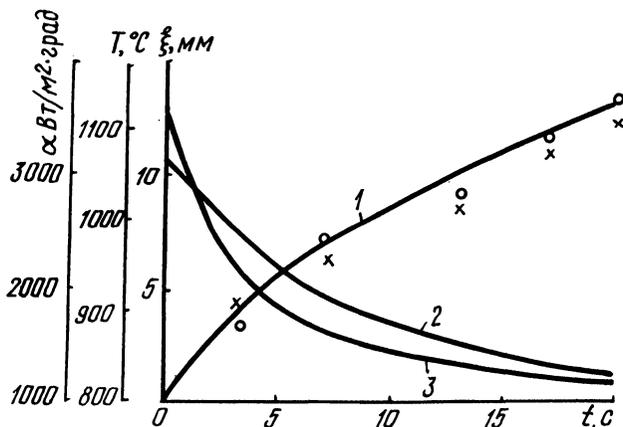
В работе исследовано изменение температуры жидкого чугуна в металлоприемнике при температуре заливаемого металла 1340°C и различных размерах порции заливаемого металла.

После заливки свежей порции чугуна наблюдается резкий подъем температуры. Максимальное значение температуры определяется размером порции и температурой заливаемого металла. При увеличении размера порции с 0,5 до 1 т максимальная температура увеличивается с 1250 до 1300°C . В дальнейшем температура металла быстро падает и стабилизируется вплоть до заливки новой порции металла на определенном уровне, несколько превышающем температуру начала затвердевания. Установлено, что размер порции и температура заливаемого металла влияют только на время стабилизации температуры и практически не влияют на ее численное значение. Тепловой режим процесса в пределах кристаллизатора в значительной степени определяет технологические параметры.

Результаты расчета для отливки диаметром 100 мм представлены на рис. 1 в виде зависимости от времени формирования толщины затвердевшей корки ξ (кривая 1), коэффициента теплопередачи α (кривая 2), температуры поверхности отливки $T_{\text{п}}$ (кривая 3). Экспериментальные значения толщины затвердевшей корки, полученные методом выливания, показаны кружками для боковой образующей и крестиками – для верхней образую-

Таблица 1.

Диаметр отливки, мм	50	100	150	200	250
Длина охлаждаемой части кристаллизатора, мм	80-150	150-200	200-250	200-300	250-350
Толщина корки на выходе из кристаллизатора, мм	5-10	8-15	10-18	16-25	20-30
Скорость литья, м/мин	0,5-1,5	0,4-0,9	0,3-0,7	0,2-0,5	0,15-0,3

Рис. 1. Зависимость ξ (1), α (2) и T_p (3) от времени формирования в кристаллизаторе заготовки диаметром 100 мм.

щей отливки. Некоторые отклонения экспериментальных точек для верхней образующей от расчетной кривой объясняются большим влиянием на кинетику затвердевания перегрева металла и зазора между отливкой и кристаллизатором.

Анализ расчетных и экспериментальных данных позволил определить реально допустимые пределы изменения основных технологических параметров процесса для заготовок различных диаметров, которые приведены в табл. 1.