

Здесь λ, ρ, c' - коэффициент теплопроводности, Вт/м-град; удельный вес (кг/м³) и удельная теплоемкость (дж/кг-град) для жидкого металла.

Элементарное количество аккумулированной теплоты за время $d\tau$:

$$dQ_{акк} = -\frac{n}{n+1} \lambda, \rho c' dF dT_4 \quad дж \quad (4)$$

Уравнение теплового баланса для установившегося процесса в момент, когда еще отсутствует замороженная корочка

$$n\lambda \frac{T_4 - T_{кр}}{\chi_i} dF dT = -\frac{n}{n+1} \lambda, \rho c' dF dT_4 \quad (5)$$

После некоторых преобразований и интегрирования в пределах от $\tau = 0$ до τ и от $T_{зад}$ до $T_{ц}$ решением данного уравнения является выражение

$$F_0 = \frac{1}{n+1} \ln \frac{T_{зад} - T_{кр}}{T_4 - T_{кр}} \quad (6)$$

или

$$T_4 = T_{кр} + (T_{зад} - T_{кр}) e^{-(n+1)F_0} \quad (7)$$

где $F_0 = \frac{\alpha \tau}{\chi_i}$ - критерий Фурье;
 $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c}$ - коэффициент температуропроводности, м²/сек.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Вейник А.И. Приближенный расчет процессов теплопроводности. М.-Л., Госэнергоиздат, 1959.

УДК 621.746.6

В.И. ТУТОВ, Г.А. АНИСОВИЧ,
 В.А. ГРИНБЕРГ, В.С. СКОТАРЕНКО

К РАСЧЕТУ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВКИ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ

В настоящее время получает развитие литье чугуновых заготовок машино- и станкостроения на горизонтальных установках. Формирование отливки при горизонтальном непрерывном литье начинается в графитовом водосхлаждаемом кристаллизаторе, соединенным с

металлоприемником. Затвердевшая на стенках кристаллизатора твердая оболочка вместе с жидкой сердцевиной извлекается из кристаллизатора и дальнейшее затвердевание отливки происходит при охлаждении на воздухе или в зоне вторичного охлаждения. Структура и свойства получаемой заготовки определяются комплексным воздействием технологических, тепловых и металлургических параметров процесса литья. При определении этих параметров и проектировании литейных установок приходится производить расчет процесса затвердевания отливки. Для создания необходимых расчетных формул, принимая обычные для подобных расчетов упрощения [1], будем исходить из предположения, что теплота перегрева полностью отводится в кристаллизаторе, а жидкий металл внутри отливки за пределами кристаллизатора имеет постоянную температуру $T_{кр}$.

Рассмотрим затвердевание цилиндрической отливки в кристаллизаторе / рис. I /.

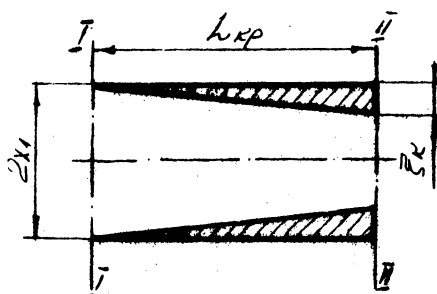


Рис. I. Схема I-го этапа расчета

деленное количество тепла $Q_{1м}$ а через сечение II-II тепло уносится с твердой коркой $Q_{2т}$ и с жидким металлом $Q_{2ж}$. Часть тепла отводится кристаллизатором

Тогда

$$Q_k = \alpha_k (T_{in} - T_c) F.$$

$$Q_{1м} = Q_{2ж} + Q_{2т} + Q_k \quad /I/$$

Выражая соответствующие количества тепла через расход и теплосодержание жидкого и твердого металла, определяя среднюю температуру твердой корки $T_{ср}$ и температуру поверхности отливки T_{II} по формулам работы [2] и решая уравнение /I/,

получим:

$$\Delta t = \frac{R(3\lambda_1^2 q_{\text{пер}} + (2\lambda_1 - \xi_1) \xi_1 Z_1) + \alpha_2 C_1 \xi_1^2 U_{\text{кр}} (3\lambda_1 - \xi_1)}{12\lambda_1 \alpha_2 U_{\text{кр}} \lambda_1 (\alpha_2 \xi_1 + \lambda_1)} \quad (2),$$

где ρ_1 - плотность материала отливки; $q_{\text{пер}}$ - теплота перегрева металла; Z_1 - эффективная теплота кристаллизации, учитывающая теплоту охлаждения металла в интервале температур кристаллизации; α_2 - коэффициент теплоотдачи на поверхности отливки в момент выхода ее из кристаллизатора; C_1 - теплоемкость материала отливки; $\alpha_{\text{кр}}$ - средний коэффициент теплоотдачи от отливки к кристаллизатору; λ_1 - коэффициент теплопроводности материала отливки; $U_{\text{кр}} = T_{\text{кр}} - T_c$; $T_{\text{кр}}$ - температура кристаллизации; T_c - температура охлаждающей среды.

Уравнение /2/ связывает условия охлаждения, теплофизические свойства материала отливки и позволяет определять толщину затвердевшей за время прохождения через кристаллизатор твердой корки.

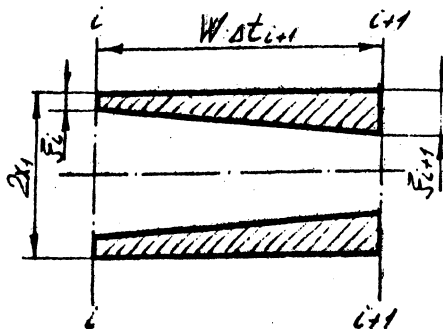


Рис.2. Схема 2-го этапа расчета

Формулы для поэтапного расчета затвердевания отливки вне кристаллизатора могут быть получены путем составления и решения уравнения теплового баланса для произвольного участка отливки, покинувшей кристаллизатор /рис.2/. Это уравнение имеет следующий вид:

$$Q_{\text{жж}} + Q_{\text{жт}} = Q(i+1) \mu + Q(i+1) T + Q_{\text{от}}, \quad /3/$$

где индексами i и $i+1$ обозначено соответственно количество теплоты, вносимое жидким и твердым металлом через сечение i и уносимое через сечение $i+1$, а $Q_{\text{от}}$ - количество тепла, теряемое с поверхности отливки за время перемещения отливки от сечения i до $i+1$ и равно $\alpha_2 W \Delta t_{i+1}$.

Решая уравнение /3/, получаем выражение

$$\Delta t_{i,i-1} = \frac{\left\{ 3 \rho r (2x_i \xi_i - \xi_{i-1}) / (\xi_i \tau \xi_i) + 2 C_{\text{кр}} \left[\frac{d_{i-1} \xi_{i-1} (3x_i - \xi_{i-1})}{d_{i-1} \xi_{i-1} + \lambda_i} - \frac{d_i \xi_i (3x_i - \xi_i)}{d_i \xi_i + \lambda_i} \right] \right\} \left[\alpha_{\text{ср}} (\xi_i + \xi_{i-1}) + \lambda_i \right]}{12 x_i \alpha_{\text{ср}} V_{\text{кр}} A_i}$$

где

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{d_i + d_{i-1}}{2}$$

/4/

При выполнении расчетов по формуле /4/ покинувшая кристаллизатор отливка разбивается на ряд произвольных участков, для каждого из которых производится расчет. Расчет получится тем точнее, чем меньше эти участки.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В е й н и к А.И. Теория особых видов литья. Машгиз, М., 1958.
2. В е й н и к А.И. Теория затвердевания отливки. Машгиз, М., 1960.

УДК 620.165

С.К.Павлюк, А.Ф.Кислов,
И.М.Кузменко

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАЛОСТИ РАБОЧИХ ВТУЛОК КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ ПРИ ПОЛУНЕПРЕРЫВНОЙ ОТЛИВКЕ ЧУГУННЫХ ТРУБ

Основным технологическим узлом установок для полунепрерывной отливки чугуных труб является водосклаждаемый кристаллизатор, в котором происходит формирование отливаемой трубы. В рабочих втулках кристаллизаторов возникают температурные напряжения, достигающие предела текучести металла и вызывающие его пластическую деформацию. В месте наибольшего нагрева втулки появляется сужение ее внутреннего диаметра, сопровождающееся появлением трещин термической усталости на поверхности металла, обращенной к жидкому чугуну [1].

Для исследования процесса формоизменения и разгара с целью разработки методов повышения работоспособности рабочих втулок спроектирована, изготовлена и испытана автоматическая установка. На рабочем блоке установки укрепляется полный цилиндрический образец из стали, Ю, внутри которого помещается на регулируемой