

дается через многослойную стенку посредством теплопередачи охлаждающей среде, другая часть $\alpha Q''$ уходит на восполнение потерь при теплообмене с внутренней и охлаждаемой поверхностей после удаления отливки из формы до начала следующей заливки. Уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$\alpha Q'_1 = \alpha Q' + \alpha Q'', \text{ Дж.} \quad (1)$$

Ввиду того, что величины температур поверхностей отливки и кокиля, коэффициентов теплоотдачи, зазора, входящих в уравнение (1) при циклическом режиме являются переменными, то численные значения их можно определить из решений соответствующих дифференциальных уравнений теплообмена при граничных условиях третьего рода (задача несимметричная). Такое решение было получено на ЭВМ [1]. Используя расчетные методы указанной работы определялась продолжительность цикла кокиля $t_{\text{п}}$.

Теоретический и экспериментальный анализ показывает (рис. 1), что независимо от охлаждающей среды время охлаждения тонкостенной отливки до температуры выбивки изменяется незначительно. На диаграммах цикла (рис. 1) обозначено: а - охлаждение водой ($W = 0,2 \text{ м/с}$; $T = 293 \text{ К}$); б - охлаждение маслом ТСКН-30 ($W = 0,2 \text{ м/с}$; $T = 353 \text{ К}$); в - охлаждение эмульсией ($W = 0,2 \text{ м/с}$; $T = 303 \text{ К}$); г - охлаждение на воздухе. Как видно из диаграмм, цикл кокиля при охлаждении маслом уменьшается в 7-8 раз, водяном и эмульсионном - в 13-14 раз по сравнению с естественным охлаждением на воздухе.

Л и т е р а т у р а

1. Есьман Р.В. Расчет теплового режима кокиля с искусственным охлаждением. В сб.: "Металлургия", вып. 6, Минск, БИЛ, 1973.

Ю.А. Лосюк, А.В. Никитин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЛЕНТЫ, НАМОРАЖИВАЕМОЙ НА ВРАЩАЮЩИЙСЯ КРИСТАЛЛИЗАТОР

Для управления процессом намораживания на вращающийся кристаллизатор непрерывной ленты важно знать закон роста корочки в ванне, который обусловлен многими факторами.

В литературе /1,2/ предложены формулы для расчета толщины ленты в рассматриваемом процессе. Сложность точного определения многих составляющих этих формул приводит к большим отклонениям расчетных величин от экспериментальных данных. Одним из важнейших параметров процесса намораживания является температура поверхности кристаллизатора, которая в упомянутых работах определяется параболой n -го порядка. Отыскание значения n , соответствующего данному процессу, затруднено ввиду отсутствия приемлемых критериев. В данной работе температура рабочей поверхности кристаллизатора рассчитывалась аналитически, как температура бесконечной пластины при граничных условиях третьего рода на этой поверхности и первого рода на другой, а также при линейном начальном распределении температуры по сечению пластины.

Уравнение теплового баланса для системы "расплав-лента-кристаллизатор" позволяет получить следующую зависимость для толщины намораживаемой ленты:

$$\xi = \frac{1}{r\rho} \left[\int_0^{t_n} \lambda_{\text{кор}} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{\phi} dt - \alpha_c (T_{\text{зал}} - T_{\text{кр}}) t_n \right] \quad (1)$$

где ρ - плотность расплава; r - теплота плавления; $\lambda_{\text{кор}}$ - теплопроводность корки; t_n - время намораживания; $T_{\text{кр}}$ - температура кристаллизации, α_c - коэффициент теплоотдачи от расплава к корке, $\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{\phi}$ - градиент температуры в корке на границе раздела фаз.

Если распределение температуры в зазоре между коркой и кристаллизатором принять линейным, температуру корочки постоянной и равной $T_{\text{кр}}$, то тепловой поток в корке $\lambda_{\text{кор}} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{\phi}$ можно выразить через тепловой поток в зазоре:

$$\lambda_{\text{кор}} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{\phi} = k (T_{\text{к1}} - T_{\text{2п}}), \quad (2)$$

где k - коэффициент теплообмена между коркой и кристаллизатором /1/, $T_{\text{2п}}$ - температура поверхности кристаллизатора.

В процессе намораживания ленты на вращающийся кристаллизатор протяженность участка контакта вала с расплавом много меньше радиуса вала. Это обстоятельство, с учетом малой толщины стенки кристаллизатора, позволяет рассматривать его за время намораживания термически плоским. Внут-

ренняя поверхность кристаллизатора, охлаждаемая кипящей водой, имеет постоянную температуру $T_{3п}$. Учитывая вышесказанное и связывая жестко систему координат с подвижным валком, задачу о распределении температуры по сечению кристаллизатора можно записать так:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad 0 < x < X_2, \quad t > 0 \quad (3)$$

$$T(x, 0) = \frac{T_o - T_{3п}}{X_2} x + T_{3п}, \quad 0 \leq x \leq X_2, \quad t = 0 \quad (4)$$

$$T(0, t) = T_{3п}, \quad x = 0, \quad t > 0 \quad (5)$$

$$\lambda_{кр} \frac{\partial T}{\partial x} = k (T_{кр} - T_{2п}), \quad x = X_2, \quad t > 0 \quad (6)$$

X_2 - толщина стенки кристаллизатора; T_o - начальная температура поверхности кристаллизатора; $\lambda_{кр}$ - коэффициент теплопроводности материала кристаллизатора.

Решение задачи (3) - (6) имеет вид:

$$T = \frac{T_{кр} x}{X_2 \left(\frac{1}{Bi} + 1 \right)} + T_{3п} + \sum A_n \sin \mu_n \frac{x}{X_2} \exp(-\mu_n^2 F_o), \quad (7)$$

где $Bi = \frac{k X_2}{\lambda_{кр}}$, $\Delta T_{кр} = T_{кр} - T_{3п}$,

$$A_n = \frac{2(\Delta T_o - \frac{\Delta T_{кр} Bi}{1+Bi}) \left(\frac{1}{\mu_n} \sin \mu_n - \cos \mu_n \right)}{\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n}$$

μ_n являются корнями характеристического уравнения:

$$\frac{\mu}{Bi} = -\operatorname{tg} \mu$$

В табл. 1 приведены значения μ_n для различных чисел Bi /4/.

Температуру $T_{2п}$ найдем из (7) подстановкой $x = X_2$. Тогда с учетом (1) и (2) получим:

$$\xi = \frac{1}{r \rho} \left\{ \frac{k \Delta T t_n}{1 + Bi} - \frac{X_2^2 k}{a} \sum A_n \sin M_n \left[\exp(-M_n^2 F_0) - 1 \right] - \alpha_c (T_{\text{зал}} - T_{\text{кр}}) t_n \right\} \quad (8)$$

Коэффициент теплоотдачи от расплава к корке можно определить согласно [3].

Таблица 1

Bi	M_1	M_2	M_3
1	2,028	4,913	7,978
2	2,289	5,087	8,096
3	2,456	5,233	8,204
4	2,570	5,354	8,302
5	2,654	5,454	8,391

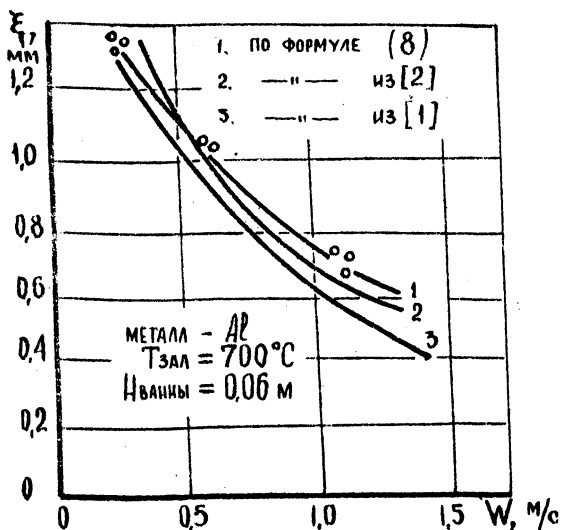


Рис. 1

На рис. 1 представлены результаты расчета толщины ленты по разным формулам и приведены экспериментальные точки. Расчеты по формуле (8) дают значения, наиболее близкие к опытным.

Л и т е р а т у р а

1. Вейник А.И. Кокиль. Минск, "Наука и техника", 1972.
2. Барановский Э.Ф. Приближенный расчет затвердевания плоской отливки при непрерывном намораживании на валковом кристаллизаторе. Вести АН БССР, серия физико-технических наук. № 1, 1974.
3. Баландин Г.Ф. Литье намораживанием. М., Машгиз, 1962.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М., "Высшая школа", 1967.