

теплоотводящей поверхности. Чем больше толщина заготовки, тем большее влияние оказывает материал теплоотводящей поверхности при прочих равных условиях (рис. 1).

Температура заливки при перегревах выше 300 °С оказывает незначительное влияние на уровень достижимых скоростей охлаждения (рис. 2). Из рис. 2 также видно, что с увеличением начальной температуры абсолютно сухой подложки скорость охлаждения заготовки падает.

Таким образом, выбирая параметры процесса и управляя в конечном итоге скоростью охлаждения ленты, можно обеспечить требуемые структуры материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миршниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. — М.: Металлургия, 1982. — 168 с.
2. Jones H. Rapid Solidification of Metals and Alloys. The Institution of Metallurgists. — London, 1982. — 86 p.
3. Старовойтенко Е.И., Мусиенко В.Т., Бейзеров С.М. Расчет скорости охлаждения частиц расплава при соударении с медной водоохлаждаемой подложкой // Порошковая металлургия. — 1981. — № 6. — С. 16–21.
4. Об определении скорости охлаждения при закалке из жидкого состояния / Ю.К. Ковнеристый, Н.П. Бологина, А.А. Раваев и др. // Изв. АН СССР. Металлы. — 1983. — № 4. — С. 76–79.
5. Дембовский С.А., Четчин Е.А. Оценка критических скоростей охлаждения для получения аморфных металлических сплавов // Изв. АН СССР. Металлы. — 1983. — № 3. — С. 82–86.
6. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н. Контактное термическое сопротивление. — М.: Энергия, 1977. — 328 с.

УДК 621.746.6

Ю.А. ЛОСЮК, канд. техн. наук (БПИ),
Э.Ф. БАРАНОВСКИЙ, канд. техн. наук,
В.Н. ТЮЛЮКИН (Могилевское отделение
ФТИ АН БССР)

ОПТИМИЗАЦИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ВАЛКОВОГО КРИСТАЛЛИЗАТОРА

Процесс бесслитковой прокатки осуществляется на стане, два валка-кристаллизатора которого располагаются в горизонтальной плоскости. Между ними заливается расплав. Он намораживается в виде корочек на каждом из валков. Затем в зоне прокатки корочки свариваются, образуя непрерывную ленту.

Основным узлом стана являются валки-кристаллизаторы с внутренним каналом. Качество получаемой ленты и устойчивость процесса ее изготовления во многом определяются их тепловым режимом.

Тепловой режим каждого валка-кристаллизатора обусловлен, с одной стороны, интенсивностью и длительностью нагрева в зоне намораживания и деформации заготовки, с другой, — условиями охлаждения внутренней поверхности водой, а внешней рабочей — воздухом.

Для стабилизации технологического процесса бесслитковой прокатки важно определить такие условия охлаждения валка, при которых в нем быстро устанавливается оптимальный тепловой режим.

При бесслитковой прокатке различают три характерные зоны нагрева и охлаждения кристаллизатора. В первой зоне валок нагревается, контактируя с затвердевающей отливкой. Во второй зоне теплообмен осуществляется при охлаждении прокатываемой заготовки. В третьей зоне валок охлаждается при контакте рабочей поверхности с окружающим воздухом. Внутренняя поверхность вала постоянно охлаждается водой.

В рассматриваемых условиях задача отыскания температурного поля одного вала сводится к решению дифференциального уравнения теплопроводности при граничных условиях третьего рода. В этом случае температурное поле будет одномерным, так как перенос теплоты в валке осуществляется в основном в радиальном направлении.

Запишем тепловую задачу совместно с граничными условиями в полярной системе координат:

$$\frac{\partial T}{\partial r} = a_2 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_1} = \frac{\alpha_i(t)}{\lambda_2} [T(r_1, t) - T_{ic}(t)]; \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_2} = -\frac{\alpha_4(t)}{\lambda_2} [T(r_2, t) - T_{4c}(t)], \quad (3)$$

где r_1, r_2 — внешний и внутренний радиусы вала; r — текущая координата; t — время; T — текущая температура; a_2 — коэффициент теплопроводности материала вала; λ_2 — коэффициент теплопроводности материала вала;

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} \alpha_1(t) & \text{при } 0 < t \leq t_1^*; \\ \alpha_2(t) & \text{при } t_1^* < t \leq t_1; \\ \alpha_3(t) & \text{при } t_1 < t \leq t_2; \end{cases} \quad T_{ic}(t) = \begin{cases} T_{1c}(t) & \text{при } 0 < t \leq t_1^*; \\ T_{2c}(t) & \text{при } t_1^* < t \leq t_1; \\ T_{3c}(t) & \text{при } t_1 < t \leq t_2, \end{cases}$$

где t_1^* — время намораживания отливки; t_1 — время намораживания и обжатия отливки; t_2 — время оборота вала; $\alpha_i(t)$ — коэффициент теплоотдачи на рабочей поверхности вала ($i = 1, 2, 3$); $\alpha_4(t)$ — коэффициент теплоотдачи на водоохлаждаемой поверхности вала; $T_{ic}(t)$ — температура среды у рабочей поверхности вала; $T_{4c}(t)$ — температура среды у водоохлаждаемой поверхности вала; $T(r_1, t)$ — температура рабочей поверхности вала; $T(r_2, t)$ — температура водоохлаждаемой поверхности вала.

Начальные условия (1)...(3) имеют вид $t = 0$; $T = T_0$.

Решение поставленной задачи проведено на ЭВМ "Минск-32" с применением метода конечных разностей. Некоторые результаты представлены на рис. 1 и 2.

Анализ имеющихся экспериментальных данных при получении из хлористого серебра ленты толщиной 0,37...0,5 мм [1] позволил упростить физическую картину процесса и, следовательно, программу для расчета. Вместо двух зон введена одна, в которой коэффициент теплоотдачи α_1 равен α_{cp} и имеет постоянное значение. Температура среды T_{1c} равна температуре кристаллизации расплава $T_{кр}$, α_4 и T_{4c} приняты постоянными.

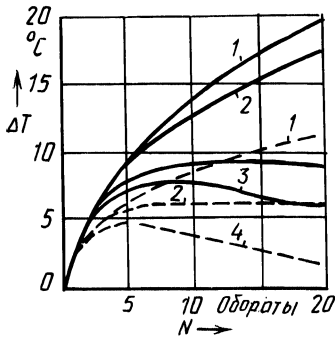


Рис. 1. Влияние интенсивности теплоотдачи на температуру рабочей поверхности:

1 - $a_3 = 3000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; 2 - 4000;
3 - 14000; 4 - 6000 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

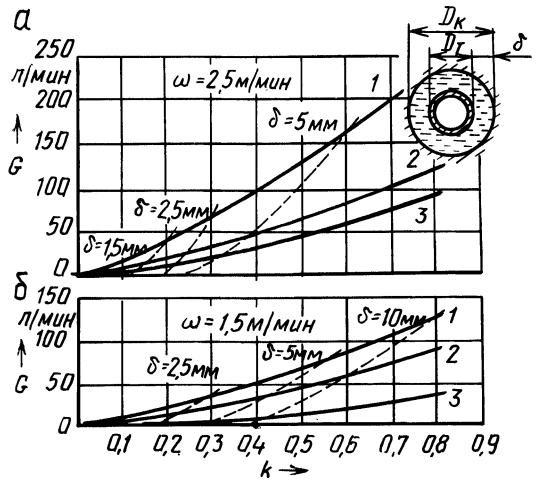


Рис. 2. Зависимость между параметрами системы охлаждения вала-кристаллизатора для: а - $w = 0,4 \text{ м}/\text{с}$; б - $w = 0,25 \text{ м}/\text{с}$; 1 - $D_{\text{к}} = 30 \text{ мм}$; 2 - 40; 3 - 50 мм.

В зоне формирования ленты валки аккумулируют теплоту перегрева и кристаллизации расплава, а также теплоту, выделившуюся в результате охлаждения ленты при обжати. Этот тепловой поток можно определить из выражения

$$Q_B = Bw \frac{h_2}{2} \rho_1 [L + c'_1 (T_{\text{зал}} - T_{\text{кр}}) + c_1 (T_{\text{кр}} - T_{\text{л}})] , \quad (4)$$

где B — ширина ленты; w — скорость литья; h_2 — толщина ленты; L — удельная теплота кристаллизации; c'_1 — удельная теплоемкость расплава; c_1 — удельная теплоемкость затвердевшего материала ленты; $T_{\text{зал}}$ — температура заливки; $T_{\text{л}}$ — температура ленты на выходе из валков.

Температура рабочей поверхности вала T_{r1} приближенно принята постоянной. Тогда $T_{r1} = T_0$ и

$$Q_B = \alpha_{\text{ср}} B (T_{\text{кр}} - T_0) l_0 , \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{ср}}$ — условный коэффициент теплоотдачи; l_0 — длина активной зоны.

Численные значения $\alpha_{\text{ср}}$ находим из уравнений (4) и (5):

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{wh_2 \rho_1 [L + c'_1 (T_{\text{зал}} - T_{\text{кр}}) + c_1 (T_{\text{кр}} - T_{\text{л}})]}{2l_0 (T_{\text{кр}} - T_0)} . \quad (6)$$

При $T_{\text{л}} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$, $h_2 = 0,4 \text{ мм}$, $T_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{зал}} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$, $l_0 = 55 \text{ мм}$ и скорости $w = 0,25 \text{ м}/\text{с}$ получим $\alpha_{\text{ср}} = 330 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; для $w = 0,4 \text{ м}/\text{с}$ $\alpha_{\text{ср}} = 550 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

При расчетах теплового режима валка в процессе получения ленты из хлористого серебра приняты: $T_{1c} = 455$; $T_{3c} = 20$; $T_{4c} = 20$ °С. Коэффициент теплоотдачи α_4 изменялся в пределах 1500...28000 Вт/(м² · К) в зависимости от диаметра внутреннего канала и скорости литья и рассчитывался по известным уравнениям подобия. В качестве материала валка выбрана сталь 45.

Из анализа расчетов следует (рис. 1), что стабилизация теплового режима валка достигается при скорости литья $w = 0,25$ м/с и интенсивности водяного охлаждения $\alpha_4 = 4000$ Вт/(м² · К) на 5-м обороте валка. При скорости $w = 0,4$ м/с тепловой режим стабилизируется при $\alpha_4 = 10\,000$ Вт/(м² · К), начиная с 9-го оборота.

Установлено, что температура $T(r_1, t)$ поверхности валка перед входом в зону расплава изменяется по сравнению с T_0 на 6...7 °С при $w = 0,25$ м/с и на 9...10 °С при $w = 0,4$ м/с. Следовательно, перед началом процесса литья валки следует разогревать до температуры T_0 , которая на 5...10 °С ниже температуры рабочей поверхности при установившемся тепловом режиме.

Определив значения коэффициентов теплоотдачи α_4 , при которых устанавливается квазистационарный тепловой режим, можно рассчитать среднюю скорость и расход воды через канал. Эти характеристики зависят от коэффициента заполнения канала водой k .

Результаты, приведенные на рис. 2, позволяют определить необходимый расход воды для охлаждения валков в зависимости от k при установившемся тепловом режиме работы кристаллизатора. На рис. 2 пунктирные линии соединяют точки, соответствующие одинаковым зазорам δ .

Анализ представленных результатов позволяет выбрать оптимальные конструктивные характеристики системы охлаждения для заданных параметров процесса литья.

При изготовлении валков-кристаллизаторов следует правильно задавать размеры зазора δ и диаметра канала D_k . Зазор менее 1,5 мм ведет к значительному возрастанию гидравлического сопротивления; предпочтительным является зазор $\delta = 2,5$ мм.

Установлено, что при бесслитковой прокатке хлористого серебра [1] с помощью валков-кристаллизаторов диаметром 200 мм можно рекомендовать диаметр канала 40...50 мм при зазоре 2,5 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Непрерывное литье ленты из хлорида серебра. Электротехническая промышленность / Э.Ф. Барановский, А.А. Степаненко, В.Н. Тюлюкин, А.Н. Кожевников. Сер. Химические и физические источники тока. — 1979. — Вып. 6 (69). — С. 12–13.