

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ В СЛЯБОВЫЕ ЗАГОТОВКИ

Симкин Б.А., студент; Чичкарев Е.А., к.т.н., доц.; Исаев О.Б., д.т.н., начальник лаборатории

(Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, Украина)

Проблемы качества непрерывнолитой заготовки должны решаться в интегрированной информационной среде предприятия. Зависимость дефектов слитка от предыстории его получения и последующая трансформация при дальнейших переделах требуют комплексного учета технологических параметров процессов по всей производственной линии от сырья до готовой продукции.

Данная работа посвящена разработке способов оптимального управления вторичным охлаждением при непрерывной разливке стали в слябовые заготовки.

Оптимизация режима охлаждения в ЗВО производилась по ряду критериев: тепловому критерию, комплексному критерию с учетом требований снижения осевой макронеоднородности, комплексному критерию с учетом экспертной оценки качества заготовок.

Для выбора оптимального распределения расходов воды по секциям зоны вторичного охлаждения слябовой МНЛЗ был использован критерий оптимальности:

$$\begin{aligned}
 J_T(\bar{\alpha}) = \int_0^{z_{\max}} \{ & w_1 |\alpha(z)|^2 + w_2 \max(0, \alpha(z) - \bar{\alpha})^2 + w_3 \min(0, \alpha(z) - \underline{\alpha})^2 + \\
 & + w_4 |T^*(z) - T(z)|^2 + w_5 \max(0, T(z) - \bar{T}^*(z))^2 + \\
 & + w_6 \min(0, T(z) - \underline{T}^*(z))^2 \} dz + \sum_{i=1}^9 w_i' (\bar{T}_i - T_i') \rightarrow \min
 \end{aligned} \quad (1)$$

где $w_1 \dots w_6$, $w_1' \dots w_9'$ – весовые коэффициенты; $\alpha(z)$, $\bar{\alpha}$, $\underline{\alpha}$ – текущее значение коэффициента теплоотдачи, его максимально и минимально допустимые значения, Вт/(м²·К); T , T^* , \bar{T}^* , \underline{T}^* – текущая температура поверхности, оптимальная температура, максимально и минимально допустимая температура поверхности заготовки для данного сечения, К; \bar{T}_i , T_i' – максимальная температура в секции ЗВО, температура в начальной точке секции, К; i – индекс секции ЗВО.

Для уточнения теплового режима вторичного охлаждения с учетом требований по снижению осевой неоднородности было построено семейство более сложных комплексных критериев:

$$J(\bar{\alpha}) = J_T(\bar{\alpha}) + \sum_k w_k'' \cdot \frac{c_k^{\max} - \bar{c}_k}{\bar{c}_k} + \sum_j w_j''' \cdot \frac{f_k - f_{opt}}{f_{norm}} \quad (2)$$

где w_k'' – весовые коэффициенты для минимизации химической макронеоднородности по k -му элементу; c_k^{\max} , \bar{c}_k – максимальная и средняя концентрация k -го элемента в поперечном сечении заготовки, %масс.; f_k , f_{opt} , f_{norm} – текущее, частное оптимальное и нормированное значение учитываемого критерия качества.

Целевая функция оптимизации рассчитывалась с использованием разработанной математической модели нестационарных процессов затвердевания и формирования химической неоднородности.

Локальные температуры ликвидуса и солидуса и ассоциированные с ними энтальпии вычислялись по формулам:

$$T_L = T_m + \sum_i m_i c_i, H_L = \rho \cdot c \cdot T_L + \rho \cdot L \quad (3)$$

$$T_S = T_m + \sum_i \frac{m_i}{k_i} c_i, H_S = \rho \cdot c \cdot T_S \quad (4)$$

где T_m – температура плавления железа, К; m_i – коэффициент, определяющий влияние i -го элемента на тангенс угла наклона линии ликвидуса на линеаризованной фазовой диаграмме для исследуемой стали; k_i – коэффициент распределения i -го элемента между жидкой и твердой фазами; H_L , H_S – энтальпия стали при температуре ликвидуса и солидуса, Дж/кг.

Расчет доли твердой фазы $0 < \psi < 1$ и значений температуры расчетной ячейки по величине энтальпии выполнялся на базе модели микронеоднородности с использованием линейной аппроксимации зависимости ликвидуса от химического состава жидкой фазы в дендритной ячейке:

$$T = T_m + \sum_{i=1}^N \left[m_i^i (C_0)_i (1 - y_i) + m_i^i (C_0)_i y_i (1 - \psi)^{x_i/y_i} \right], \quad (5)$$

где C_0 – концентрация i -компонента в исходном расплаве, %масс; m_i^i – наклон кривой ликвидуса в зависимости от концентрации i -го компонента; $x_i = 1 - k_i$; $y_i = 1 - 2\gamma k_i$ – параметры модели микронеоднородности; k_i – равновесный коэффициент распределения i -го компонента; $\gamma = 0; 0,5; 1$ – параметр, изменяющийся в зависимости от варианта модели.

Для проведения процедуры оптимизации использованы генетические методы оптимизации. Все расчеты выполнялись с использованием системы компьютерной математики SciLab.

Проверка адекватности модели осуществлялась путем сопоставления результатов расчета с литературными данными и результатами контроля текущего производства слябов ККЦ ОАО «МК «Азовсталь». Установлено, что оптимизированный режим ЗВО обеспечивает снижение отсортировки листового проката по поверхностным дефектам, а также балла по внутренним трещинам и осевой неоднородности. В зависимости от выбранных требований к качеству заготовки расходы воды в секциях зоны вторичного охлаждения варьируются на 15-25 % для одной и той же группы марок стали и сечения заготовок.