

## **КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В КОНВЕРТЕРЕ**

*Введение.* Известен ряд методов для контроля содержания углерода в процессе продувки металла кислородом в сталеплавильном агрегате. Наиболее распространенным из них является метод по контролю состава отходящих газов. При всей теоретической простоте метода при его реализации возникают проблемы как точного измерения количества отходящих из конвертера газов в месте отбора их на анализ, так и временного согласования результатов измерений состава и количества отходящих газов. В результате это снижает точность контроля содержания углерода.

*Постановка задачи.* Цель исследований – повышение точности контроля содержания углерода в сталеплавильном агрегате.

*Результаты исследований.* Скорость распространения ультразвука в жидкости определяется по формуле

$$v = \sqrt{E/\rho}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость распространения ультразвука, м/с;  $E$  – модуль объемной упругости жидкости, г/м · с<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность жидкости, г/м<sup>3</sup>.

С изменением температуры изменяется и скорость прохождения ультразвуковых волн в жидкости в соответствии с температурным коэффициентом скорости. Отсюда

$$v = \sqrt{E/\rho} + f(\gamma, t), \quad (2)$$

где  $\gamma$  – температурный коэффициент скорости ультразвука, м/с;  $t$  – температура жидкости, °С.

Для упрощения результирующего уравнения связь между изменением температуры и скоростью распространения ультразвуковых волн в жидкости для диапазона изменения температур в сталеплавильной печи (1200 – 1700 °С) представим в линейном виде

$$v = \sqrt{E/\rho} + \gamma(t - t_k), \quad (3)$$

где  $t_k$  – температура кристаллизации жидкости, °С.

Модуль объемной упругости – величина, обратно пропорциональная

коэффициенту сжимаемости жидкого металла, в процессе продувки ванны кислородом в результате наличия в нем газовых пузырей зависит от их количества в объеме металла, определяющем уровень расплава, и, в конечном итоге, от скорости обезуглероживания. Связь между уровнем металла и скоростью обезуглероживания представим выражением:

$$E = 1/\chi = 1/(\alpha_0 + \alpha_1 v_c^{0,7}), \quad (4)$$

где  $\chi$  – коэффициент сжимаемости жидкости, м<sup>3</sup>·с<sup>2</sup>/г;  $\alpha_0, \alpha_1$  – коэффициенты,  $v_c$  – скорость обезуглероживания металла, %/мин.

Температуру кристаллизации металла представляем в виде

$$t_k = \alpha_2 + \alpha_3 C, \quad (5)$$

где  $\alpha_2, \alpha_3$  – коэффициенты;  $C$  – содержание углерода в ванне жидкого металла.

Скорость распространения звука может быть измерена как отношение расстояния, проходимого звуком, ко времени прохождения этого расстояния

$$v = L/\Delta\tau, \quad (6)$$

где  $L$  – расстояние, проходимое звуком, м;  $\Delta\tau$  – продолжительность времени прохождения ультразвуковыми колебаниями через ванну пути, равного  $L$ , с.

Рассматривая выражения (3 – 6) совместно получаем:

$$t = \beta_0 + \frac{\beta_1}{\Delta\tau} - \sqrt{\frac{\beta_2}{\beta_3 + \beta_4 v_c^{0,7}}} + \beta_5 C, \quad (7)$$

где  $\beta_0 - \beta_5$  – коэффициенты.

С другой стороны, температуру ванны можно определить по тепловому потоку на фурму

$$t = \beta_6 q + \beta_7 v_c + \beta_8, \quad (8)$$

где  $q$  – тепловой поток на фурму, кВт;  $\beta_6 - \beta_8$  – коэффициенты.

Решая совместно уравнения (7) и (8), получаем выражение для определения скорости обезуглероживания

$$\gamma_0 + \frac{\gamma_1}{\Delta\tau} + \gamma_2 q - \sqrt{\frac{\gamma_3}{\gamma_4 + \gamma_5 v_c^{0,7}}} + \gamma_6 v_c + \gamma_7 C = 0, \quad (9)$$

где  $\gamma_0 - \gamma_7$  – коэффициенты.

Опробование метода показало, что среднеквадратическая ошибка контроля содержания углерода по сравнению с разовыми замерами составила 0,038 %, существенно уменьшаясь к концу продувки.