

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ФУТЕРОВКЕ 160т КОНВЕРТЕРА С УЧЁТОМ ЦИКЛИЧНОСТИ ПЛАВКИ

Решение проблемы энерго- и ресурсосбережения при производстве стали в кислородных конвертерах прежде всего зависит от совершенствования теплового баланса плавки, сокращения тепловых потерь во время простоя, повышения стойкости футеровки и применения других технологических приёмов. Добавим к тому же, что стоимость смены футеровки 160т конвертера массой 280т на ММКИ составляет ~ 2,6 млн грн. После внедрения на комбинате технологии факельного торкретирования стойкость футеровки возросла более чем в 2 раза [1]. Однако связь между эффективностью торкретирования и цикличностью плавки ещё недостаточно изучена.

Математическая модель. Записав уравнение для теплового потока от слоя $i - 1$ к слою i и от слоя i к слою $i + 1$ с учётом изменения энтальпии i -го слоя, а также решая уравнение теплового баланса в форме

$$\rho_i c_i \Delta x (t_{i,j+1} - t_{i,j}) = \lambda_i \frac{t_{i-1} - t_{i,j}}{\Delta x} \Delta \tau - \lambda_{i+1} \frac{t_{i,j} - t_{i+1,j}}{\Delta x} \Delta \tau, \quad (1)$$

найдем, что температура промежуточных слоев составит

$$t_{i,j+1} = t_{i,j} + \frac{\lambda_{i-1} \Delta \tau}{\rho_i c_i \Delta R^2} (t_{i-1,j} - t_{i,j}) - \frac{\lambda_{i+1} \Delta \tau}{\rho_i c_i \Delta R^2} \left(1 + \frac{\Delta R}{R_i} \right) (t_{i,j} - t_{i+1,j}). \quad (2)$$

Так как футеровка конвертера состоит из различных материалов, то уравнения теплового баланса составляли для всех элементарных слоев и дополняли их уравнением, описывающим условия на границе двух различных материалов. Первый слой цилиндрической части футеровки состоит из смоломгнезитовых кирпичей и имеет толщину 550мм. В нем расположено $N_1 = 550/\Delta R$ (при $\Delta R = 5\text{мм}$, $N_1 = 110$) элементарных слоев.

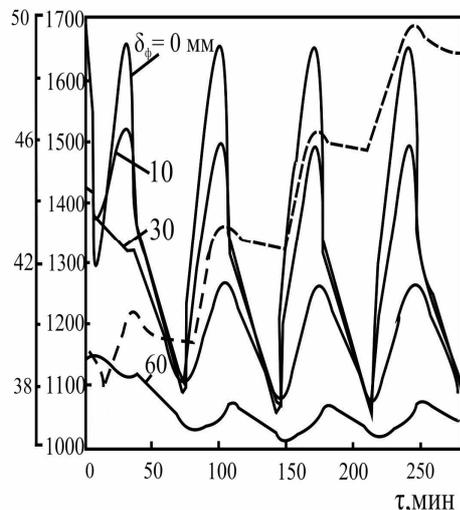
Циклограмма плавки включает следующие периоды: завалка лома – 5мин, заливка чугуна – 3 мин, продувка кислородом – 20 мин, слив стали – 7 мин, слив шлака – 3 мин, осмотр и ремонт футеровки – 10 мин.

Плавки без износа футеровки. Расчет был выполнен применительно 160т конвертеру ПАО «ММК им.Ильича». Принимали, что коэффициент теплоотдачи к внутренней стенке $\alpha = 20 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, коэффициент теплоотдачи от внешней стенки α

$= 30 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, температура греющей среды $t = 1800^\circ\text{C}$ начальная температура чугуна $t = 1300^\circ\text{C}$, конечная температура стали $t = 1660^\circ\text{C}$. Цилиндрическая часть: диаметр корпуса $D = 7.46 \text{ м}$, высота $h = 4 \text{ м}$, износ футеровки за плавку $\delta = 1 \text{ мм}$, коэффициент теплопроводности (смоломagneзит) $\lambda = 4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, плотность футеровки $\rho_\phi = 2,72 \text{ кг/м}^3$ её теплоёмкость $c = 1,184 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$. Для смоломagneзитовых, хромитопериклазовых огнеупоров и периклазового порошка коэффициент теплопроводности λ и теплоёмкости c определяли в зависимости от температуры. Например, для периклазохромитовых огнеупоров принимали, что их плотность $\rho = 2770 \div 3000 \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 2,63 - 1,15 \cdot 10^{-3} t + 0,429 \cdot 10^{-6} t^2$; а теплоёмкость $c = 0,998 + 0,223 \cdot 10^{-3} (t + 273) - 0,208 \cdot 10^{-5} (t + 273)^{-2}$;

Как видно из рисунка, максимальная температура футеровки t_ϕ достигается на 25 мин. каждой из 4 рассмотренных плавок слое толщиной 10мм ещё поддерживается значительный перепад температур (400°C). Однако на расстоянии 60мм от наружного слоя в смоломagneзитовой футеровке $\lambda_\phi = 4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, $\rho_i = 2,72 \text{ кг/м}^3$, $c = 1,184 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ даже в период продувки резкого изменения температуры не происходит. Характерно, что на 396 – 400 плавках (тонкие линии) общая закономерность изменения температуры сохраняется, более разогретой (на $\sim 50^\circ\text{C}$) футеровке.

$Q, \text{ГДж}$ $t, ^\circ\text{C}$



Рисунок— Циклограмма изменения температуры на поверхности футеровки (—) и её аккумулирующей способности (- -) в течение 4 плавок 160т конвертера без учёта факельного торкретирования.

Разработанная модель позволяет определить температуру футеровки по слоям и на поверхности корпуса конвертера, с учётом цикличности плавки и толщины торкрет – слоя.

Список литературы

1. Теория и практика факельного торкретирования футеровки 160 т кислородных конвертеров / П.С. Харлашин, А.А. Ларионов, А.К. Харин, Н.О. Чемерис // Новые огнеупоры. – 2010. – №7. – С.5-9.