

в угле летучие компоненты или их нет. Следовательно, продукты термической деструкции угля практически не участвуют в науглероживании восстановленных железорудных материалов.

Исследование роли летучих компонентов угля на степень металлизации железорудного концентрата показало, что они повышают ее при прочих равных условиях, однако повышение незначительно.

УДК 669.046

М.П. Ревун, В.Ю. Зинченко, В.И. Иванов

Запорожская государственная инженерная академия

ОБ УПРАВЛЕНИИ СТАДИЙНЫМ СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

Решение задачи управления стадийным сжиганием топлива в методических печах, обеспечивающего стабилизацию давления в различных зонах печи при переменных тепловых нагрузках, возможно при схемах отопления с управляемым объемом продуктов сгорания¹.

В этом случае стадийное сжигание топлива в печах рассматриваемого типа осуществляется путем сжигания газообразного топлива в томильной и сварочных зонах с коэффициентом $\alpha_1 < 1$ расхода первичного воздуха, а также его дожигания в методической зоне за счет дополнительного вторичного воздуха при коэффициенте расхода $\alpha_2 > 1$.

Управлением этим процессом предусматривается изменение во времени тепловой нагрузки, обеспечивающей заданную температуру $t_{\text{зад},i}$ по зонам печи, а также объемного расхода продуктов сгорания, при котором распределение статического давления P_i в объеме отдельных зон соответствует заданному значению α_2 , при котором сжигание завершается в пределах печи.

Количество теплоты, вводимой в i -ую зону печи, можно представить как

$$\sum_{k=1}^m \alpha_1 B_{T_{i,k}} [Q_{\text{н}}^{\text{p}}]_k + q_{\text{т}} + q_{\text{в}} = Q_i(t_i), \quad (1)$$

где $B_{T_{i,k}}$ – расход k -го топлива, сжигаемого в i -ой зоне; $[Q_{\text{н}}^{\text{p}}]_k$ – теплота сгорания k -го топлива; $q_{\text{т}}$ и $q_{\text{в}}$ – физическая теплота топлива и воздуха соответственно.

Объемный расход продуктов сгорания $V_i(P_i)$, проходящих через i -ую зону печи и определяющих избыточное статическое давление в i -ой зоне, можно определить с использованием уравнения материального баланса:

Таким образом, экспериментально установлен состав первичных продуктов термической деструкции угля и показано, что они участвуют в восстановлении, но их выделение не приводит к повышению содержания углерода в губчатом железе.

© 2012 г. А.М. Амдур, М. Лхамсурэн, Д.В. Благин

Поступила 30 января 2012 г.

$$V_{i=1} + \sum_{k=1}^m \alpha_1 B_{T_{i,k}} V_{i,k} = V_i(P_i), \quad (2)$$

где $V_{i=1}$ и $V_{i,k}$ – объемный расход продуктов сгорания в первой зоне печи и k -го топлива в i -ой зоне.

Расход $L_{\text{в},i}^1$ воздуха, необходимого для реализации первой стадии сжигания топлива в i -ой зоне печи, рассчитывают как

$$L_{\text{в},i}^1 = \sum_{k=1}^m \alpha_1 L_{0,i} B_{T_{i,k}}, \quad (3)$$

где $L_{0,i}$ – теоретический объем воздуха, необходимого для сжигания единицы k -го топлива.

На второй стадии сжигания топлива расход $L_{\text{в},i}^2$ воздуха в i -ой зоне печи определяют по формуле

$$L_{\text{в},i}^2 = \sum_{k=1}^m (1 - \alpha_i) L_{0,i} B_{T_{i,k}}. \quad (4)$$

Его величина зависит как от значений α_1 , так и от условий перемешивания воздуха с продуктами недожога. Управление расходом воздуха на этой стадии осуществляется согласно выражению (4) с коррекцией по содержанию кислорода в продуктах сгорания на выходе из печи.

При отсутствии линейной зависимости между параметрами $[Q_{\text{н}}^{\text{п}}]_k$ и V_k решение системы уравнений (1) и (2) позволяет определить комбинацию расходов топливных газов, обеспечивающих управляющее воздействие для температуры и давления.

При стадийном отоплении методической печи смесью природного и доменного газов рациональное распределение статического давления задается по результатам математического моделирования в виде величины давления в каждой из зон. Компоненты топлива подводят к печи отдельно, их комбинирование и сме-

¹ Ш у л ь ц Л.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2005. № 10. С. 62 – 69.

шивание осуществляют непосредственно перед подачей в горелочные устройства.

Для каждой отапливаемой i -ой зоны печи уравнения теплового баланса представляют в виде системы уравнений

$$\alpha_{1,i} Q_{n,пг}^p B_{пг,i} + \alpha_{1,i} Q_{n,дг}^p B_{дг,i} = Q_i(t_{зад,i}); \quad (5)$$

$$\alpha_{1,i} V_{пг,i} B_{пг,i} + \alpha_{1,i} V_{дг,i} B_{дг,i} = V_i(P_{зад,i}), \quad (6)$$

где $B_{пг,i}$ и $B_{дг,i}$ – расход природного и доменного газов в i -ой зоне соответственно; $Q_{n,пг}^p$, $Q_{n,дг}^p$ – теплота сгорания вышеуказанных компонентов топлива; $Q_i(t_{зад,i})$ и $V_i(P_{зад,i})$ – количество теплоты и объемный расход продуктов сгорания для заданных значений температуры и давления в i -ой зоне печи соответственно.

Регуляторы температуры и давления в зависимости от величины отклонения регулируемых параметров от заданного значения формируют управляющие воздействия $Q(t_i)$ и $V(P_i)$ для каждой зоны. Вычислительное устройство на основании уравнений (5) и (6) осуществляет корректировку задания регуляторам расхода природного и доменного газов.

Реализацию работы указанной системы автоматического управления осуществляют с использованием типовых микропроцессорных средств управления и возможности ее включения в АСУ ТП нагрева металла. Задание зонным регуляторам температуры и давления для каждого режима работы печи устанавливают в зависимости от информации о течении процесса и тепловом состоянии металла.

© 2012 г. М.П. Ревун, В.Ю. Зинченко, В.И. Иванов
Поступила 2 ноября 2011 г.

УДК 669.15:539.12:621.771

К.В. Волков¹, В.Я. Чинокалов¹, С.В. Коновалов²

¹ ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат

² Сибирский государственный индустриальный университет

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ АРМАТУРЫ ПРИ СЛИТТИНГ-ПРОЦЕССЕ И ПОСЛЕДУЮЩЕМ ТЕРМИЧЕСКОМ УПРОЧНЕНИИ

Одним из перспективных энергосберегающих методов прокатки арматурного профиля является слиттинг-процесс, обеспечивающий продольное разделение заготовки в процессе прокатки [1]. Знание закономерностей формирования структуры и фазового состава при прокатке-разделении и последующем упрочнении позволяет целенаправленно устанавливать оптимальные режимы обработок и формировать комплекс требуемых механических свойств [2, 3].

Для этих целей методами просвечивающей электронной микроскопии [4, 5] был проведен послойный анализ структуры, фазового состава и дефектной субструктуры стержневой арматуры из стали СтЗпс diam. 12 мм, полученной прокаткой на мелкосортном стане 250-1 по технологии продольного разделения раската и последующего термического упрочнения [6]. Технология прерванной закалки включала два последовательных цикла принудительного охлаждения (0,37 и 0,25 с в секциях 1 и 3 установки термического упрочнения под давлением воды 20 и 15 атм. соответственно) с промежуточным отогревом (0,37 с после секции 1). При такой обработке в сечении стержня формируется структурная неоднородность в виде ярко выраженного поверхностного слоя, переходных слоев

и осевой зоны, проявляющаяся в немономонном изменении микротвердости от 2900 МПа на поверхности до 2000 МПа в сердцевине.

Количественные результаты электронно-микроскопического анализа приведены в таблице. В осевой зоне формируются структуры феррита с сетчатой и фрагментированной дислокационной субструктурой, перлита и квазиперлита. Феррит содержит наноразмерные частицы цементита (20 – 30 нм) округлой формы. Структура слоя на глубине приблизительно 3 мм от поверхности термической обработки состоит из феррита пластинчатой (объемная доля примерно 65 %) и зеренной (объемная доля примерно 20 %) морфологии, а также пластинчатого псевдоперлита (объемная доля примерно 15 %) (см. рисунок, поз. а). Частицы карбидной фазы имеют глобулярную и игольчатую морфологию.

Слой на глубине приблизительно 2 мм от поверхности представлен тем же набором структур (см. таблицу), который дополняют области пакетного мартенсита с объемной долей примерно 7 %. С приближением к поверхности (в слое на расстоянии приблизительно 1 мм) содержание псевдоперлита уменьшается до 6 %, а пакетного мартенсита увеличивается до 17 % (см. рисунок, поз. б). Отличительной особенностью