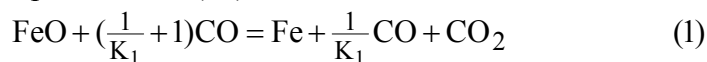


УДК 669.162.14

Е.В. Буденный (5 курс, каф. СиС), В.Г. Манчинский, д.т.н., проф.

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА НА РАСХОД УГЛЕРОДА КАК ВОССТАНОВИТЕЛЯ ПРИ 685°C

Теоретический минимальный расход участников различных химических превращений принято оценивать по достижению состояния равновесия взаимодействующих веществ. Это правило, однако, не всегда последовательно применяется при нахождении теоретически минимального расхода углерода кокса, как восстановителя, в доменном процессе при совместном развитии непрямого (косвенного) и прямого восстановления железа. Для непрямого восстановления берется за основу обратимая реакция и расход углерода подсчитывается с помощью константы ее равновесия (K_1):



Тогда расход углерода, как восстановителя (C_i), в зависимости степени развития прямого восстановления составит (моль С/моль Fe):

$$C_i = \left(\frac{1}{K_1} + 1\right)(1 - r_d) \quad (2)$$

где r_d – доля FeO, восстановленная твердым углеродом.

Прямое восстановление железа из FeO принято в настоящее время учитывать в соответствии с предложенным М.А. Павловым показателем r_d : количество железа, восстановленное из FeO углеродом с образованием только окиси углерода, и отнесенное ко всему железу, восстановленному в доменной печи. Есть и другие ограничения для использования. Этот показатель до сих пор играет важную роль в балансовых расчетах по доменному производству. В соответствии с данным определением восстановление железа прямым путем совершается по следующей схеме:

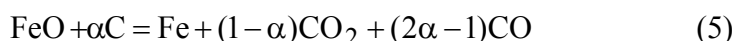


Эту схему нельзя отождествлять с химической реакцией восстановления железа из FeO твердым углеродом. Характерной особенностью соотношения (3) является отсутствие у нее термодинамических свойств обратимости и равновесия, влияния температуры на константу равновесия.

В настоящей работе сделана попытка оценки расхода твердого углерода кокса на восстановление железа из FeO в условиях равновесия обратимых реакций в системе FeO-Fe-C-CO-CO₂. При постоянном давлении 0,1 МПа равновесие в этой системе имеет место только при 685°C. При восстановлении железа твердым углеродом регулируется равновесие реакции



и в конечном итоге выражается равенством



По условию состав газообразных продуктов при 685°C одинаков для реакций (1) и (5): 58%CO + 42%CO₂. Различны лишь константы их равновесия: $K_1 = 0,72$ и $K_3 = 0,80$. Тогда

$$K_3 = (2\alpha - 1)^2 / (1 - \alpha) \quad (6)$$

расход твердого углерода $\alpha = C_d$ найдем из константы равновесия (4) и (5).
Тогда для 685°C

$$C_d = \alpha = \frac{1}{8}((4 - K_3) + \sqrt{(K_3^2 + 8K_3)}) = 0.732 \text{ моль / моль Fe} \quad (7)$$

Если принять за основу соотношение (3), то $C_d = 1$.

Смешанное (косвенное и прямое) восстановление, по нашему представлению совершается одновременно в едином изотермическом реакционном пространстве 685°C. Поскольку равновесные составы газов для независимых реакций (1) и (5) одинаковы, то они не реагируют между собой. По этой причине общий расход углерода кокса будет равен сумме расходов на прямое и косвенное восстановление. В зависимости от r_d вычисляется по формуле:

$$C_{\Sigma} = C_i + C_d = \left(\frac{1}{K_1} + 1\right)(1 - r_d) + \frac{1}{8}r_d((4 - K_3) + \sqrt{(K_3^2 + 8K_3)}) = 2.389 - 1.658r_d \quad (8)$$

Для выбранных условий минимальный расход углерода кокса как восстановителя при смешанном восстановлении будет иметь место при $r_d = 1$ в отличие от пространственно и температурного раздельного восстановления, когда минимальный расход углерода достигается при сочетании этих двух видов процесса.