

УДК 669.531.5:001.891.57

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ ВЕЛЬЦ-ПЕЧИ

Л.С. Казаринов, А.Р. Вернергольд, О.В. Колесникова

Рассматривается математическая модель процесса вельцевания цинковых кеков, учитывающая реакции разложения сульфата цинка, восстановления цинка, окисления углерода коксика, тепломассообмен в элементарном объеме длины печи, а также изменение тепловых потоков шихты и газа по длине печи. Приводятся результаты моделирования – графики изменения количества веществ, вступающих в реакцию при вельц-процессе, и температуры шихты по длине печи.

Ключевые слова: вельцевание цинковых кеков; вельц-процесс; математическое моделирование.

Производство цинка является важным направлением цветной металлургии. Крупнейшим в России производителем цинка, кадмия, индия является ОАО «Челябинский цинковый завод» (ОАО «ЧЦЗ») [1].

Цинковый кек для извлечения металлов (цинка, индия, кадмия, свинца и меди) смешивают с коксовой мелочью и нагревают в вельц-печи. Тепло выделяется за счет сгорания коксовой мелочи и экзотермических реакций. В качестве корректирующих добавок используются известняк и формовочный песок. Технологический воздух используется для интенсификации процессов горения углерода и окисления паров цинка, свинца и кадмия, поддержания необходимой температуры в реакционной зоне. Принудительная подача воздуха используется также для эффективного сжигания природного газа при разогреве печи. Природный газ используется для сушки и разогрева футеровки печи при ее пуске, а также для разогрева материала после остановок печи и технологических нарушений. Продуктами вельцевания являются вельц-окись, которая возгоняется, охлаждается и улавливается рукавными фильтрами, и медистый клинкер.

Обобщенная структура процесса вельцевания цинковых кеков представлена на рис. 1 [2, 3].

Перспективным подходом к исследованию температурных режимов вельц-процесса является математическое моделирование. Для моделирования вельц-процесса в работе использовалась типовая модель для пиротехнологических процессов, приводимая ниже.

При вельц-процессе протекают около тридцати химических реакций, но на характер распределения температур по длине печи заметное влияние оказывают реакции разложения сульфатов, восстановления железа, восстановления и окисления цинка, окисления углерода коксика. Существенное влияние также оказывают испарение влаги шихты и испарение цинка [4].

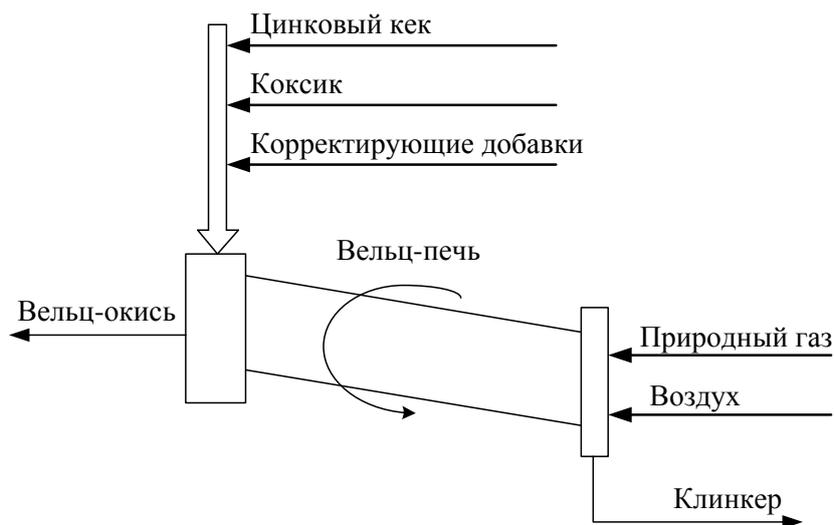


Рис. 1. Общая структура процесса вельцевания цинковых кеков

Значительное отношение длины печей к их диаметру позволяет рассматривать совокупность протекающих процессов в установившемся режиме на основании одномерной теории объектов с распределенными параметрами. При этом на каждой элементарной длине печи можно выделить две характерные технологические зоны: шихты и газового потока [5].

Математическая модель процесса вельцевания цинковых кеков описывается следующей системой уравнений:

$$\frac{dm_i}{dt} = K_i m_i, \quad (1)$$

$$\frac{dG_i}{dx} = \frac{K_i}{V_{\text{ш}}} G_i, \quad (2)$$

$$\frac{d\Phi_{\text{ш}}}{dx} = T_{\text{ш}} \sum_{i=1}^n v_i c_i \frac{dG_i}{dx} + \sum_{i=1}^n q_i \frac{dG_i}{dx} - \alpha F_1 (T_{\text{г}} - T_{\text{ш}}), \quad (3)$$

$$\frac{d\Phi_{\text{г}}}{dx} = T_{\text{ш}} \sum_{i=1}^n v_i c_i \frac{dG_i}{dx} + \sum_{j=1}^m q_j \frac{dG_j}{dx} - \alpha F_1 (T_{\text{г}} - T_{\text{ш}}) - q_{\text{п}} F_2 (T_{\text{г}} - T_{\text{окр}}), \quad (4)$$

$$d\Phi_{\text{ш}} = T_{\text{ш}} V_{\text{ш}} \sum_{i=1}^n c_i m_i, \quad (5)$$

$$d\Phi_{\text{г}} = T_{\text{г}} V_{\text{г}} \sum_{j=1}^m c_j m_j. \quad (6)$$

Здесь $m_i = f(x)$ – количество i -го вещества, вступающего в реакцию, на единицу длины печи, кг/м; $K_i = f_i[T_{\text{ш}}(x)]$ – скорость реакции i -го вещества, вступающего в реакцию, как функция температуры шихты, 1/час; t – вре-

мя, час; $G_i = m_i V$ – текущее количество i -го вещества, вступающего в реакцию, кг/час; $V_{ш}$, $V_{г}$ – соответственно скорость движения шихты и газа, м/час; $\Phi_{ш}$, $\Phi_{г}$ – соответственно тепловой поток шихты и газа; $T_{ш}$, $T_{г}$, $T_{окр}$ – соответственно температура шихты, газа и окружающей среды; v_i – коэффициент, определяющий долю соответствующих веществ, вступающих в реакцию; c_i , c_j – соответственно теплоемкость i -го вещества, вступающего в реакцию, и j -го вещества, составляющего газовый поток, ккал/кг·град; q_i – выделяемое или поглощаемое тепло реакции, отнесенное к единице веса прореагировавшего вещества, в шихте, ккал/кг; q_j – выделяемое или поглощаемое тепло реакции, отнесенное к единице веса прореагировавшего вещества, в газовой фазе, ккал/кг; $\alpha = f(T)$ – коэффициент теплопередачи конвекцией, ккал/м·час·град; F_1 , F_2 – соответственно поверхность шихты и кожуха печи, м²/м; $q_{п}$ – суммарный коэффициент теплоотдачи в окружающую среду.

Уравнения (1), (2) описывают реакции разложения сульфата цинка, восстановления цинка, окисления углерода коксика. Тепломассоперенос в элементарном объеме длины печи описывается уравнениями (3), (4). Расчет тепловых потоков шихты и газа по длине печи осуществляется на основе уравнений (5), (6).

На рис. 2, рис. 3 приведены графики изменения соответственно количества веществ (сульфат цинка, оксид цинка, углерод), вступающих в реакцию, и температуры шихты по длине печи.

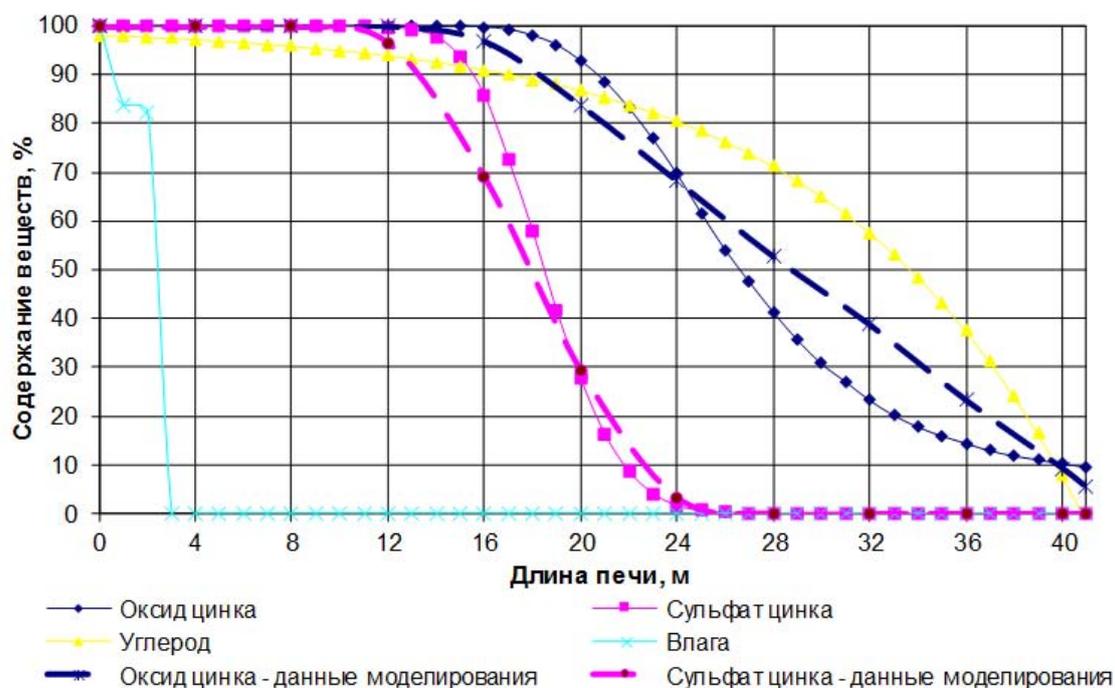


Рис. 2. Графики изменения количества вещества по длине печи



Рис. 3. Графики изменения температуры шихты по длине печи

Форма траекторий вельц-процесса существенно зависит от начальных условий процесса, определяемых параметрами цинкового кека, коксика, корректирующих добавок, расхода воздуха и др. Качество ведения вельц-процесса в основном определяется его терминальными условиями, главными из которых являются наиболее полное выгорание цинка и углерода к окончанию процесса.

С точки зрения управления процессом, внутреннее состояние вельц-процесса является ненаблюдаемым, наблюдаемыми являются начальные и терминальные условия. Изменяя начальные условия процесса, можно изменить терминальные условия. При этом задача управления состоит в том, чтобы задать такие начальные условия, которые обусловили бы максимальное выгорание цинка и углерода на терминальном участке процесса при минимизации энергетических затрат.

Библиографический список

1. Казаринов, Л.С. Процедура оптимизации режимов вельц-процессов / Л.С. Казаринов, А.Р. Вернергольд, О.В. Колесникова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2014. – Т. 14. – № 4. – С. 143–148.
2. Вернергольд, А.Р. Об оптимальном управлении процессом вельцевания цинковых кеков / А.Р. Вернергольд, Л.С. Казаринов, О.В. Колесникова, Д.А. Шнайдер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2008. – Вып. 7. – № 3(103). – С. 54–56.
3. Вернергольд, А.Р. Лингвистический подход к оптимизации управления вельц-процессом / А.Р. Вернергольд, Л.С. Казаринов, О.В. Колесникова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2008. – Вып. 8. – № 17(117). – С. 61–65.

4. Динцис, Н.П. Исследование тепломассопереноса по основным зонам вельц-печи / Н.П. Динцис, А.М. Давидсон, Г.А. Епутаев, Н.В. Ходов // Цветная металлургия. – 1977. – № 2. – С. 98–101.

5. Ходов, Н.В. Математическое описание работы вельц-печи, как объекта с распределенными параметрами / Н.В. Ходов, Г.А. Епутаев, А.М. Давидсон // Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института. – 1973. – Вып. XXXIII.