

УДК 669 + 519.2

С.Ш. Кажикенова

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Процесс спекания при обжиге окускованных сырьевых материалов черной и цветной металлургии характеризуется рядом особенностей. К ним относятся наличие множества компонентов в составе окатышей, одновременное или последовательное протекание твердофазных и иных реакций (окисления, диссоциации соединений), сопровождающихся выделением газов, образование жидкой фазы. В ходе спекания наблюдается уменьшение пористости и геометрических размеров окатышей (увеличение плотности), что ведет к повышению их прочности. Поскольку внешним проявлением процесса спекания является уменьшение геометрических размеров образца – его усадка, то при изучении кинетических закономерностей акта спекания, как правило, определяют изменения указанного параметра [1,2]. При этом решают задачу подбора (вывода) математических соотношений для описания данных эксперимента и задачу их использования для расчета значений кажущейся энергии активации процесса и интерпретации результатов опытов.

В. И. Коротичем и В. Т. Барановым [1] для описания кинетических зависимостей величины усадки брикетов из железорудного концентрата предложено использовать уравнение вида:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = K \tau^n e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (1)$$

где K и n - эмпирические коэффициенты; E - кажущаяся энергия активации; τ - время; $\Delta l = l_0 - l$ - разность начальной и конечной длин образца.

Уравнение (1) было применено и в ряде других работ. При выполнении рассматриваемых исследований варьируемыми факторами являлись температура, время, химический и гранулометрический составы исходных материалов. Авторами названных исследований отмечено, что значение коэффициентов K и n зависят от температуры, гранулометрического и химического составов материалов. Это обусловило необходимость получение индивидуальных математических уравнений для нескольких интервалов температур и каждой фракции исходного материала.

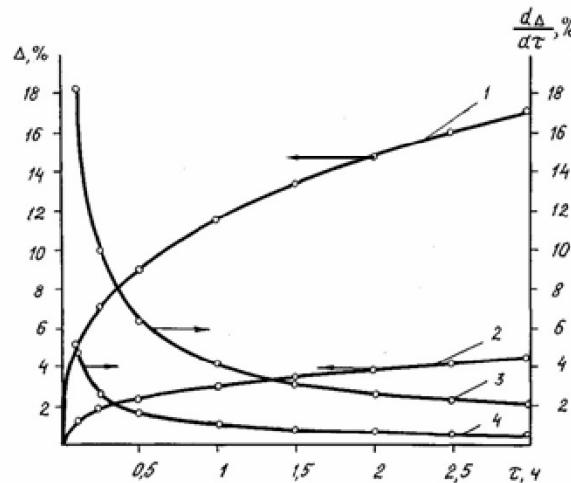
В работе [3] рекомендован общий методический подход к решению задачи определения кинетических характеристик какого-либо процесса. Этот подход включает несколько этапов:

- получение многофакторного уравнения (в число факторов входят время и температура);
- нахождение скорости процесса дифференцированием уравнения по времени;
- обращение степени реагирования на время в

многофакторном уравнении;

- подстановка в уравнение скорости процесса найденного выражения для времени. В итоге получается уравнение, где степень реагирования задавается вместо времени, тем самым появляется возможность гарантирования постоянства всех переменных, кроме температуры;

- логарифмирование уравнения скорости для его линеаризации, получение зависимости $\ln(V) - 1/T$, поиск значений кажущейся энергии активации при неизменных заданных значениях степени реагирования с помощью уравнения Аррениуса.



1 - усадка гранул при расходе марганцевого концентрата, равном 0% ($Mn=0\%$); 2 - усадка гранул при расходе, равном 30% ($Mn=30\%$); 3 - скорость усадки гранул при расходе, равном 0%; 4 - скорость усадки гранул при расходе, равном 30% : $t=850^{\circ}\text{C}$; $V=0,6\text{ м}/\text{с}$

Рис. 1. Зависимости величины усадки гранул и скорости усадки от времени

Используя данный метод, после дифференцирования уравнения [2]:

$$\Delta = 0,1231 \left(13,846 - 3,407 \cdot 10^{-1} Mn \right) \left(6m809 + 2,193 \cdot 10^{-3} t \right)^{0,3517} V^{0,1233} \quad (2)$$

получим:

$$\frac{d\Delta}{d\tau} = 3,628 \cdot 10^{-2} \left(13,846 - 3,407 \cdot 10^{-1} Mn \right) \left(6,809 + 2,193 \cdot 10^{-3} t \right)^{0,1233} V^{0,6483} \quad (3)$$

Произведя перемену мест Δ и τ в (2), найдем:

$$\tau = 913,056 \cdot \Delta^{2,843} \times$$

$$\times \left[\left(13,846 - 3,407 \cdot 10^{-1} Mn \right) \left(6,809 + 2,193 \cdot 10^{-3} t \right) \right]^{-2,843} V^{-0,3511} \quad (4)$$

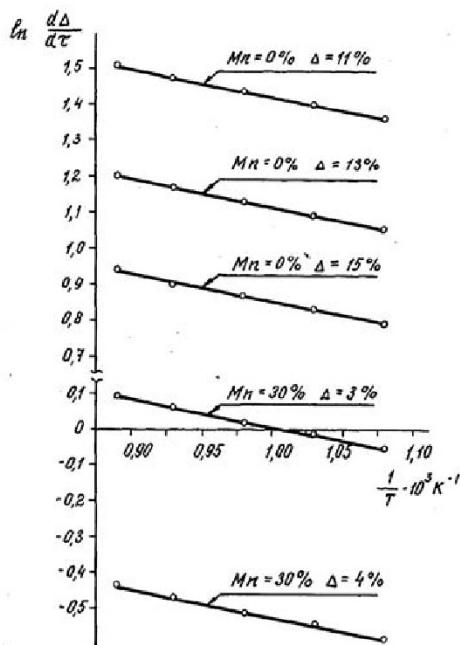


Рис. 2. Зависимость логарифма скорости усадки гранул от обратной температуры $T^{-1} \cdot 10^3 K^{-1}$

Если задать скорость воздуха постоянной, равной 0,6 м/с, и подставить (4) в (3), то искомое выражение для скорости процесса спекания будет иметь вид:

$$\frac{d\Delta}{d\tau} = 4,6073 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta^{-1,843} \quad (5)$$

$$(13,846 - 0,3407 Mn)(6,809 + 2,193 \cdot 10^{-3} t)^{2,843}$$

На рис. 1 показаны зависимости величины усадки гранул и скорости усадки, рассчитанной по (5), от времени при крайних значениях расхода добавки в шихту марганцевого концентрата 0% и 30%. Как следует из приводимых данных, процесс усадки характеризуется наличием трех стадий: начальной, промежуточной и конечной. При этом значение усадки и ее скорости, найденные для сопоставляемых типов шихты, существенно отличаются. Так, наиболее значительные изменения данных параметров (увеличение усадки и умень-

шение ее скорости) на начальной стадии в течении первых 0,5 часов наблюдается у гранул, которые получены без добавок марганцевого концентрата. На следующей промежуточной стадии скорость процесса плавно замедляется. Для гранул первого типа ($Mn=0\%$) протяженность во времени этой стадии составляет от 0,5 час. до 1,5 час., а для гранул второго типа ($Mn=30\%$) находится в пределах 0,25 час. - 0,75 час. На завершающей стадии эти параметры меняются незначительно.

На основании наборов величин скорости процесса, рассчитанных по (5) при заданных значениях усадки гранул и температуры, построены графики зависимостей в координатах $\ln \frac{d\Delta}{d\tau} - 1/T$ (рис. 2). С использованием метода наименьших квадратов эти зависимости описаны уравнениями (таблица 1). Найденное значение кажущейся энергии активации является постоянным в изученном интервале значений факторов. Оно равно 6,35 кДж/моль и характерно для внешней диффузии.

Таблица 1. Результаты расчета энергии активации

Mn, %	Δ , %	Уравнение	E, кДж/моль
0	11	$\ln \frac{d\Delta}{d\tau} = 2,188 - 763,9 \cdot 1/T$	6,35
0	13	$\ln \frac{d\Delta}{d\tau} = 1,880 - 763,3 \cdot 1/T$	6,35
0	15	$\ln \frac{d\Delta}{d\tau} = 1,616 - 763,8 \cdot 1/T$	6,35
30	3	$\ln \frac{d\Delta}{d\tau} = 0,773 - 763,8 \cdot 1/T$	6,35
30	4	$\ln \frac{d\Delta}{d\tau} = 0,242 - 763,3 \cdot 1/T$	6,35

На основании приводимых данных можно заключить, что процесс спекания лимитируется диффузией газообразных частиц через пленку жидкости из гранул. Механизм процесса в рассматриваемых пределах варьирования факторов не меняется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Коротич В.И., Баранов В.Т. Исследование твердофазного спекания железорудных материалов //Известия АН ССР. Металлы. – 1968. - № 4. – С. 10-15.
- 2 Сухина В.М., Карабасов Ю.С., Юсфин Ю.С. Кинетика спекания гематита //Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1971. - № 1. – С. 26-30.
- 3 Малышев В.П. Вероятностно-детерминированное планирование эксперимента. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 118 с.

□ Автор статьи

Кажикенова
Сауле Шарапатовна
-канд. техн. наук, доц. каф. высшей
математики (Карагандинский госу-
дарственный технический универси-
тет). Email: sauleshka555@mail.ru