

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ОБЖИГА СУЛЬФИДНОГО НИКЕЛЕВОГО КОНЦЕНТРАТА

Предложено кинетическое уравнение, описывающее закономерности кинетики процесса окислительного обжига сульфидного никелевого концентрата. Рассматриваемый метод позволяет объективно определять предельное время завершения исследуемого процесса. Уравнение может быть использовано для описания закономерностей различных гетерогенных процессов.

The kinetic equation describing regularities of kinetics of the process of sweet roasting of the sulphide nickeliferous concentrate is offered. The considered method allows objective calculation of the time-limit of completion of investigated process. The equation can be used for the specification statement of regularities of different heterogeneous processes.

Анализ существующих кинетических уравнений, применяемых для описания закономерностей кинетики процесса обжига сульфидных концентратов, показывает, что уточнение этих зависимостей представляет определенный теоретический и практический интерес [1-4].

Известно, что основным достоинством кинетических функций, применяемых для описания закономерностей и расчета показателей процессов окисления, является возможность определения полного или условно полного времени завершения процесса, которое является весьма необходимым показателем для проведения инженерных расчетов кинетики процесса, расчета режимов работы и числа реакторов.

В практических расчетах предельное время завершения процесса выбирается произвольно – исходя из опыта исследователя, производящего данный расчет. Однако, учитывая характер проходящего процесса и условия его реализации в аппарате, следует признать очевидным, что процесс выщелачивания должен иметь предельное время завершения для всей массы целевого компонента.

Для решения данной проблемы и описания кинетических закономерностей процесса обжига предлагается использовать кинетическую функцию, полученную из уравнения материального баланса процесса

$$E(\tau) = 1 - \exp\left(-\frac{k\tau}{\tau_0 - \tau}\right) =$$

$$= 1 - \exp\left(-\frac{k\Theta}{1 - \Theta}\right), \quad (1)$$

где  $\tau_0$  – предельное (или условно предельное) время завершения процесса с требуемой полнотой;  $\Theta = \tau / \tau_0$  – безразмерное время процесса.

Применение уравнения (1) в практике инженерных расчетов позволяет находить предельное время завершения процесса, что особенно важно для определения показателей работы аппаратов периодического и непрерывного действия, так как именно эта величина необходима для проведения расчетов значений степени превращения  $E(\tau)$  в единичном аппарате или в каскаде аппаратов непрерывного или периодического действия.

Разлагая кинетическую функцию (1) в бесконечный ряд Маклорена и ограничиваясь, соответственно, первыми двумя, тремя, четырьмя и т.д. членами ряда, можно показать, отбрасывая бесконечно малые члены ряда, что предлагаемая кинетическая функция совпадает с видом кинетической функции, применяемой в технической литературе для описания закономерностей гетерогенного процесса обжига твердых частиц ( $n = 1$ ):

$$E(\tau) = (1 - \Theta_i)^n = \left(1 - \frac{\tau}{\tau_0}\right)^n.$$

Отсюда

$$E(\tau) = (1 - \Theta_i) = \left(1 - \frac{\tau}{\tau_0}\right). \quad (2)$$

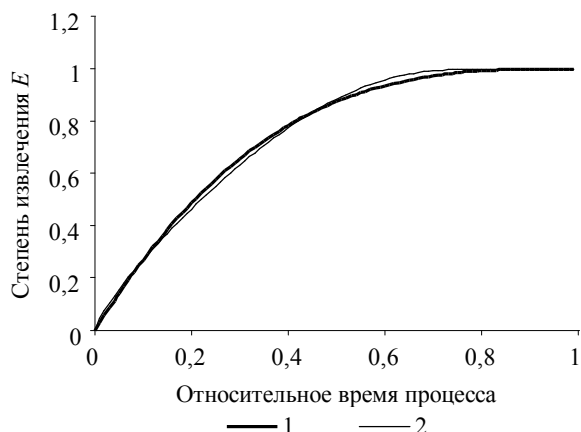


Рис.1. График зависимости степени извлечения от относительного времени процесса  $E(\Theta)$   
1 и 2 – кривые, построенные при использовании кинетических уравнений (1) и (2) соответственно

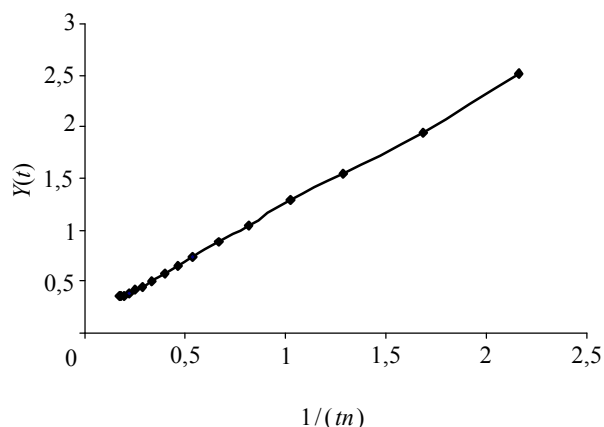


Рис.2. Результаты спрямления кинетической кривой, полученной при температуре обжига 1000 °С

Таким образом, уравнение, применяемое для расчета кинетики процесса растворения и выщелачивания, является частным случаем предложенного уравнения (рис.1).

С другой стороны, при  $\tau_0 \gg \tau$  имеем  $\tau_0 - \tau \approx \tau_0$ . Тогда

$$E = 1 \exp\left(-\frac{k\tau}{\tau_0 - \tau}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{k}{\tau_0} \tau\right) = 1 - \exp(-k'\tau). \quad (3)$$

Зависимость (1) дает возможность описать вид экспериментальных графиков  $E(\tau)$ , а также рассчитать время завершения процесса обжига  $\tau_0$ .

Важным свойством любой кинетической функции является ее инвариантность относительно технологических параметров процесса выщелачивания. Это значит, что каждому значению безразмерного времени  $\Theta$  (равному отношению продолжительности процесса выщелачивания  $\tau$  к времени завершения процесса  $\tau_0$ ) соответствует определенное значение кинетической функции  $E(\Theta)$ , величина которой является неизменной при любых постоянных значениях технологических параметров (температуры, крупности частиц, концентрации активного реагента и т.д.).

Для подтверждения возможности применения предложенной зависимости (1) и установления адекватности экспериментальных

данных и теоретической кривой, зависимость (1) преобразуем к виду

$$-\frac{1}{\ln(1-E)} = \frac{\tau_0}{k} \frac{1}{\tau} - \frac{1}{k}$$

или

$$-\frac{1}{\ln(1-E)} = A \frac{1}{\tau} - B,$$

где  $A$  и  $B$  – константы,  $A = \tau_0/k$ ,  $B = 1/k$ .

Экспериментальные данные были нанесены на график в системе координат  $1/\ln(1-E) = f(1/\tau)$ . В качестве примера на рис.2 приведены результаты обработки экспериментальных данных [1,2] в указанной выше системе координат.

Построенный график наглядно иллюстрирует, что кинетическая функция хорошо описывает процесс окислительного обжига во всем временном интервале.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю.В. Обжиг никелевых концентратов в кипящем слое / Ю.В.Алексеев, А.Ф.Астафьев. М.: Металлургия, 1967. 104 с.
2. Астафьев А.Ф. Окислительный обжиг никелевых сульфидных полупродуктов в кипящем слое / А.Ф.Астафьев, Ю.В.Алексеев. М.: Металлургия, 1982. 176 с.
3. Кучин Г.М. Обжиг цинковых концентратов в кипящем слое. М.: Металлургия, 1966.
4. Новые процессы в металлургии никеля, меди и кобальта. Теория и практика // Труды института «Гипроникель». М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2000. 296 с.