

ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗВЕСТНЯКА В АДИАБАТНЫХ УСЛОВИЯХ

На основе ранее полученных решений задачи диссоциации известняка с использованием квазистационарного приближения разработана методика определения динамики перемещения фронта химического превращения при выдержке в адиабатных условиях. Проведен анализ влияния начальной температуры поверхности куска материала и степени его обжига на время тепловой обработки в адиабатных условиях. Определено влияние выдержки материала после зоны обжига в адиабатных условиях на качество получаемой извести.

Введение

Известь, используемая в металлургических процессах, должна иметь максимальное содержание оксидов кальция и магния, которое определяется степенью обжига исходного сырья.

Известь должна иметь пористую мелкозернистую структуру, что обуславливает её высокую химическую активность (реакционную способность), а, следовательно, улучшает вяжущие и шлакообразующие свойства. Реакционная способность извести в значительной степени определяется температурой и длительностью процесса обжига.

Результаты исследований [1 – 3] показали, что с повышением температуры обжига усадка, а, следовательно, и объемная плотность всех пород увеличивается. Увеличение температуры обжига до 1423...1473 К вызывает резкое ускорение процесса спекания, сопровождающегося значительным увеличением размера кристаллов и объемной плотности, а также уменьшения пористости и удельной поверхности извести.

При температурах 1473...1673 К протекает процесс рекристаллизации и при 1873...1973 К кристаллы срастаются в плотное поликристаллическое тело. При этих температурах известь «намертво» обожжена, её химическая активность минимальна.

Время гашения (реакционная способность) извести однозначно связано с температурой обжига (точки ▲ [2]). На рис. 1 представлена зависимость времени гашения извести от температуры обжига.

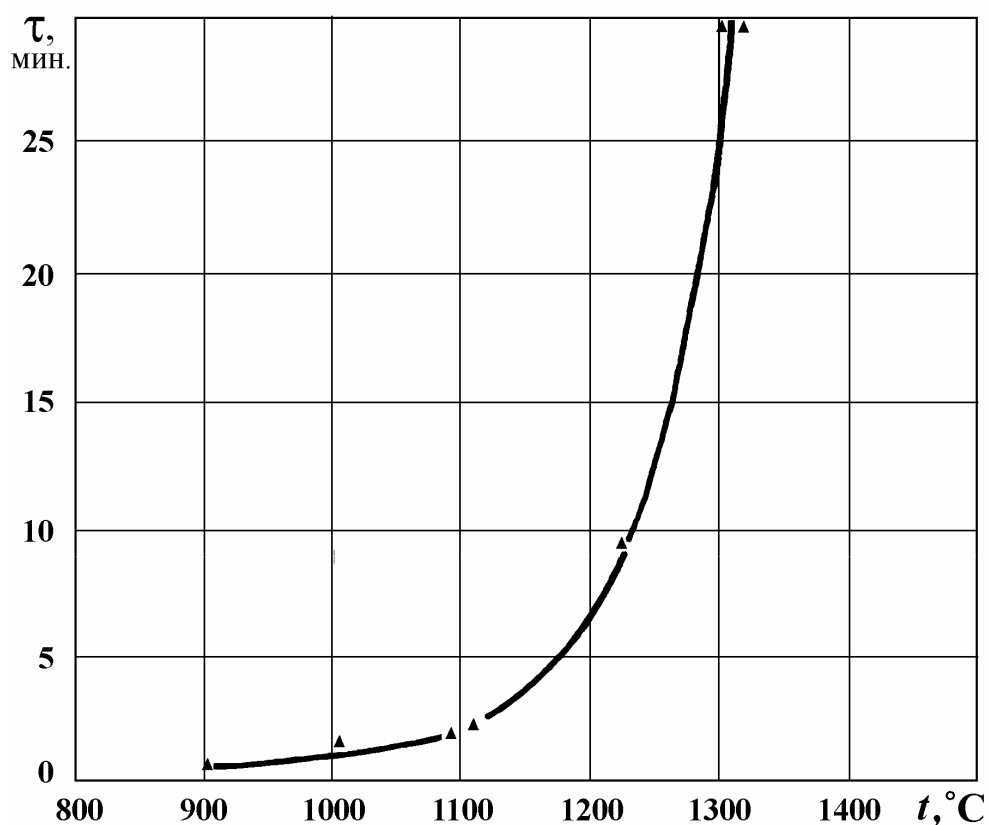


Рис. 1. Зависимость времени гашения извести от температуры её обжига

Полифракционный материал, выходящий из зоны обжига, состоит из кусков различной степени диссоциации. Мелкие куски обожжены на 100 % и практически нагреты до температуры процесса.

Куски крупных фракций материала содержат неразложившееся ядро известняка, температура которого равна температуре разложения. Ядро окружено пористым оксидным слоем, а на поверхности куска температура превышает температуру диссоциации и определяется интенсивностью процессов внешнего и внутреннего теплообмена.

Дальнейший подвод теплоты к материалу приводит к повышению содержания $\text{CaO} + \text{MgO}$ в извести, однако её реакционная способность снижается вследствие пережога мелких фракций.

В частично разложившихся кусках перегретый выше температуры обжига оксидный наружный слой имеет избыточную теплоту, которая в определенных условиях может быть использована на диссоциацию известняка в ядре куска. Для этого обжигаемое сырье необходимо выдержать в условиях отсутствия теплоотвода от него, т.е. в адиабатных условиях [4].

Эффективность выдержки материала в адиабатных условиях, а, следовательно, и конечная степень его обжига, зависит от начальной температуры поверхности куска и положения фронта диссоциации.

Точное решение задачи о диссоциации недожога в условиях адиабатной выдержки отсутствует, а необходимые для практических расчетов зависимости получены из опытных данных [1].

Постановка и решение задачи тепловой обработки известняка в адиабатных условиях

Теоретическое определение закономерностей динамики химического превращения кускового материала возможно с применением метода квазистационарного приближения. Это дает возможность использовать установившийся профиль температур в слое материала, претерпевшем химическое превращение.

В работе [5] установлено, что время достижения стационарного температурного состояния полого шара существенно меньше времени диссоциации материала. Это подтверждает правомерность допущения о квазистационарности температурного поля.

Решение задачи химического превращения материала, приведенное в [5] позволяет определить температурное поле наружного оксидного слоя куска материала. В безразмерном виде текущая температура перегретого выше температуры диссоциации слоя определяется выражением:

$$T = \frac{X - S}{1 - S} + \frac{2}{(1 - S)X} \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ \frac{2[1 - \cos \lambda_r(1 - S)]}{(1 - S)\lambda_r^3} - \frac{1}{\lambda_r} e^{-\lambda_r^2 Fo} \right\} \sin \lambda_r(1 - S). \quad (1)$$

Поскольку энтальпия реакции диссоциации значительно превышает внутреннюю энергию, то дальнейший подвод теплоты в неразложившееся ядро является незначительным, вследствие чего температура в ядре практически не изменяется. При химическом превращении материала тепловой поток расходуется на процесс декарбонизации и вызывает изменение положения фронта реакции:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial X} \right|_{X=S} = -Q_p \frac{dS}{dFo}, \quad (2)$$

где q_p – удельная теплота диссоциации, кДж/кг; ρ_m – плотность исходного материала, кг/м³; c – теплоемкость материала, претерпевшего химическое превращение, кДж/(кг·К); ρ – плотность материала, претерпевшего химическое превращение, кг/м³; t_n – температура поверхности, °С; t_p – температура диссоциации, °С.

$$Q_p = \frac{q_p \rho_m}{c \rho (t_n - t_p)}.$$

Динамику химического превращения карбонатного материала можно представить следующим образом: при фиксированном положении фронта реакции (радиуса внутренней поверхности полого шара) и заданном временном интервале определяется поток на внутренней поверхности шара, и из уравнения (2) определяется ΔS , т.е. изменение положения фронта реакции. При отсчете времени от нуля можно записать:

$$-\int_{S_n}^{S_k} dS = \frac{1}{Q_p} \int_0^{Fo} \left. \frac{\partial T}{\partial X} \right|_{X=S} dFo.$$

Следовательно, непрерывное изменение во времени положения фронта топохимической реакции заменяется дискретным.

Плотность теплового потока на внутренней поверхности оксидного слоя (полого шара) в безразмерном виде:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial X} \right|_{X=S} = \frac{1}{1-S} - \frac{2}{(1-S)S^2} \cdot \sum_{v=1}^{\infty} \left\{ \frac{2[1 - \cos \lambda_v(1-S)]}{(1-S)\lambda_v^3} - \frac{1}{\lambda_v} e^{-\lambda_v Fo} \right\} \cdot [\lambda_v S \cos \lambda_v(1-S) + \sin \lambda_v(1-S)].$$

Изменение положения фронта диссоциации определяется следующим выражением:

$$\Delta S = S_n - S_k = \frac{1}{Q_p} \left\{ \frac{1}{1-S} Fo - \frac{2}{(1-S)S^2} \cdot \sum_{r=1}^{\infty} \left[\frac{2[1 - \cos \lambda_r(1-S)]}{(1-S)\lambda_r^3} + \frac{1}{\lambda_r} e^{-\lambda_r^2 Fo} \right] \cdot [\lambda_r S \cos \lambda_r(1-S) + \sin \lambda_r(1-S)] \right\}.$$

Был разработан алгоритм расчета времени диссоциации известняка в адиабатных условиях, базирующийся на полученных выше зависимостях.

Результаты расчетов динамики химического превращения материала при различных начальных степенях диссоциации и температурах поверхности приведены на рис. 2.

Завершение процесса обжига в адиабатных условиях наступает при снижении конечной температуры слоя извести до температуры диссоциации (900 °С) или достижения степени обжига $\sigma = 1$.

Анализ полученных данных показывает, что использование теплоты перегрева слоя извести приводит к повышению степени диссоциации для различных условий на 1...7 %.

Согласно [4], адиабатическая выдержка материала, перед его охлаждением во вращающихся печах, обеспечивает снижение удельного расхода теплоты на обжиг на 3...5 % и уменьшение массовой доли CO_2 в извести до 5 %.

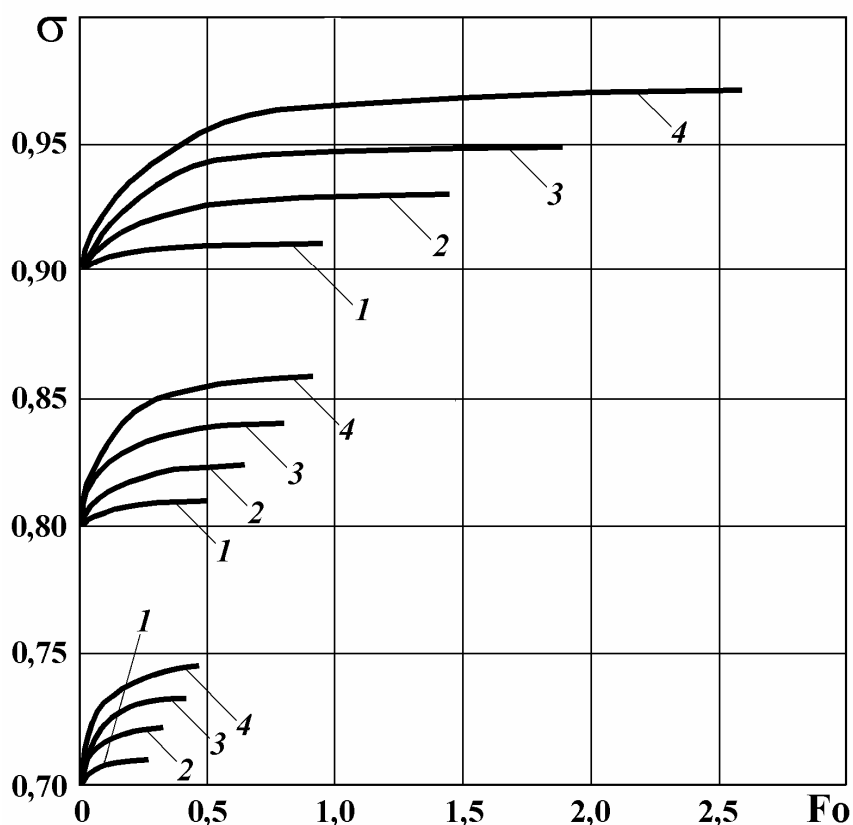


Рис. 2. Динамика химического превращения материала в адиабатных условиях
 1 – $t_n = 950 \text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $t_n = 1050 \text{ }^\circ\text{C}$;
 3 – $t_n = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$; 4 – $t_n = 1250 \text{ }^\circ\text{C}$.

Режим тепловой обработки известняка в адиабатных условиях необходимо реализовать после его обжига в противоточном и противоточно-прямоточном режимах при значительном перегреве поверхности кусков. Этот режим возможно реализовать при производстве извести как во вращающихся, так и в шахтных печах.

Выводы

Разработана методика расчета динамики химического превращения материала, которая заключается в расчете дискретного положения фронта реакции и определяемого значением теплового потока на его поверхности.

Определено влияние начальной температуры поверхности куска материала и степени его обжига на время перемещения фронта химического превращения.

Расчетно-аналитические исследования динамики диссоциации известняка в адиабатных условиях показали, что использование теплоты перегрева слоя извести приводит к повышению степени диссоциации для различных условий на 1...7 %.

Список литературы

1. Табунщиков Н.П. Производство извести. – М.: Химия, 1974. – 240 с.
2. Третьяков Е.В., Дидковский В.К. Шлаковый режим кислородно-конвертерной плавки. – М.: Metallургия, 1972. – 144 с.
3. Ростовцев С.Т. Теория металлургических процессов. – М.: Metallургиздат, 1956. с.
4. Нехлебаев Ю.П. Экономия топлива при производстве извести. – М.: Metallургия, 1987. – 136 с.
5. Мануйленко А.А. Динамика процесса диссоциации известняка // Metallургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної metallургійної академії України. – Дніпропетровськ: «ПП Грек О.С.», 2006. – С. 235 – 245.

Рукопись поступила 15.04.2008 г.