

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 66.095.5

А.П. НЕСЕНЧУК, канд. техн. наук (БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СОРБЦИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА МИКРОСФЕРИЧЕСКИХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТАХ СаА и MgА

При разработке адсорбционно-десорбционного блока (АДБ) повышенные требования предъявляются к выбору сорбента и таких его параметров, как степень адсорбции a и кинетика сорбции $a(\tau)$.

Адсорбция диоксида углерода в АДБ обычно осуществляется в псевдооживленном слое. Поэтому кинетика сорбции изучалась в кипящем слое цеолита, где исходной газовой смесью и оживляющим агентом служит смесь аргона и CO_2 в различных соотношениях (100 %, 75, 20, 15, 10 и 5 % CO_2).

Установка для исследования кинетики сорбции включала блок приготовления исходной смеси, который представляет собой смеситель с измерителем расхода Ar и CO_2 и приборы контроля состава смеси. Из блока приготовления смесь подавалась в нижнюю часть реторты, которая разделена пористой перегородкой. В верхней полости реторты помещается навеска десорбированного цеолита СаА или MgА. Измерительный блок установки состоит из элемента питания Б5-7, усилителя ТОПАЗ-3-01 и регистрирующего прибора Н3021-3.

Оценка кинетики сорбции осуществлялась по следующей методике: навеска цеолита массой $(6...17) \cdot 10^{-3}$ кг загружалась в верхнюю полость реторты. До загрузки проба прокаливалась и взвешивалась на весах ВЛА. Нижняя полость реторты соединялась резиновым шлангом с дозатором исходной смеси. Расход смеси устанавливался на уровне 15 мл/с. Для измерения температуры цеолита в верхней части реторты помещалась хромель-копелевая термопара.

Исходными данными опыта служили: температура цеолита до опыта; термостатированная исходная газовая смесь; степень адсорбции CO_2 цеолитом до опыта; содержание CO_2 в смеси; масса навески цеолита до опыта; расход смеси через реторту. Определялись масса навески в момент ее максимального нагрева при адсорбции, масса навески в момент достижения ею температуры окружающей среды и значения температур навески в заданные моменты времени.

Опыт начинался фиксированием расхода смеси через холостую навеску для обеспечения устойчивого псевдооживления. Затем холостая навеска заменялась равнозначной по массе рабочей, замерялась температура рабочей навески до пропуска смеси через реторту. Одновременно открывался кран, обеспечивающий пропуск смеси через реторту, и включался прибор Н3021-3, кото-

Результаты эксперимента по изучению кинетики адсорбции CO_2

Размер частиц, м	Содержание CO_2 в смеси, % (вес.)	Адсорбция в точке перегиба, %	Позиция на графике (рис.1,2)	Масса навески цеолита до опыта, кг	Конечная адсорбция, % (мас.)
CaA					
$0,1 \cdot 10^{-3}$	100,0	15,5	1	$7,793 \cdot 10^{-3}$	15,5
$(0,1...0,16) \cdot 10^{-3}$	100,0	14,3	2	$6,052 \cdot 10^{-3}$	15,5
$(0,2...0,315) \cdot 10^{-3}$	100,0	11,1	3	$6,455 \cdot 10^{-3}$	15,5
$0,1 \cdot 10^{-3}$	75	14,3	10	$8,09 \cdot 10^{-3}$	15,5
$0,1 \cdot 10^{-3}$	15	10,9	11	$14,796 \cdot 10^{-3}$	15,5
$0,1 \cdot 10^{-3}$	10	10,2	4	$14,093 \cdot 10^{-3}$	15,5
$(0,1...0,16) \cdot 10^{-3}$	10	6,4	5	$14,680 \cdot 10^{-3}$	15,5
$(0,2...0,315) \cdot 10^{-3}$	10	5	6	$13,604 \cdot 10^{-3}$	15,5
$0,1 \cdot 10^{-3}$	5	8,7	7	$11,439 \cdot 10^{-3}$	15,5
$(0,1...0,16) \cdot 10^{-3}$	5	6,1	8	$11,710 \cdot 10^{-3}$	15,5
$(0,2...0,315) \cdot 10^{-3}$	5	6,3	9	$13,567 \cdot 10^{-3}$	15,5
MgA					
$0,1 \cdot 10^{-3}$	100,0	13,6	1	$8,807 \cdot 10^{-3}$	13,6
$(0,1...0,16) \cdot 10^{-3}$	100,0	10	2	$6,961 \cdot 10^{-3}$	13,6
$0,1 \cdot 10^{-3}$	75	12,5	7	$9,274 \cdot 10^{-3}$	13,6
$0,1 \cdot 10^{-3}$	15	6,3	8	$16,570 \cdot 10^{-3}$	13,6
$0,1 \cdot 10^{-3}$	10	6,6	3	$13,613 \cdot 10^{-3}$	13,6
$(0,1...0,16) \cdot 10^{-3}$	10	6,2	4	$15,671 \cdot 10^{-3}$	13,6
$0,1 \cdot 10^{-3}$	5	4,4	6	$13,554 \cdot 10^{-3}$	13,6
$(0,1...0,16) \cdot 10^{-3}$	5	3,2	5	$17,461 \cdot 10^{-3}$	13,6

рый позволяет получать информацию об изменении температуры во времени. Результаты измерений приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Кинетические кривые, изображенные на рис. 1, представляют собой зависимости $a = f(\tau)$, $a = f_1(\tau)$. Степень адсорбции для частиц сферической фор-

мы осредняется согласно $\bar{a} = \frac{3}{4\pi R_0^3} \int_0^{R_0} a(r) 4\pi r^2 dr$.

Переход от экспериментальных данных к зависимости типа $a = f(\tau)$ осуществляется с помощью модели диффузии для сферической частицы радиусом R_0 . Основное рабочее уравнение имеет вид

$$\rho_\tau \frac{\partial a}{\partial \tau} = \rho_\tau \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 D \frac{\partial a}{\partial r} \quad (1)$$

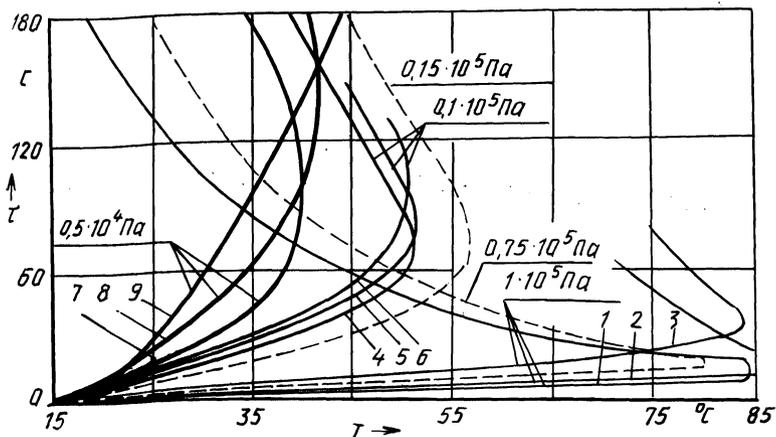


Рис. 1. Результаты опытов с системой CaA-CO₂-Ar.

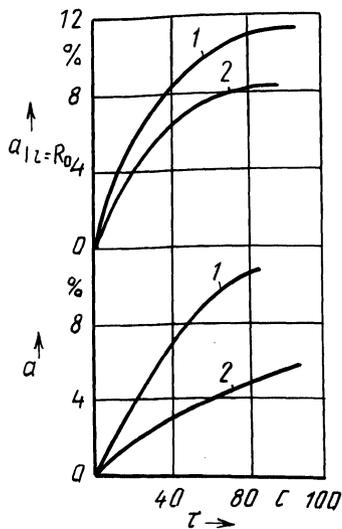


Рис. 2. Обработка опытных данных по кинетике сорбции CO₂ цеолитами CaA и MgA:

1 - $d = 0,05 \cdot 10^{-3}$; 2 - $d = 0,15 \cdot 10^{-3}$ м.

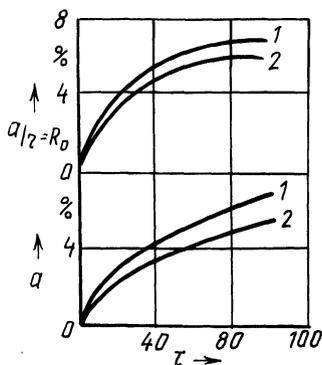


Рис. 3. То же, что и на рис. 2, но для парциального давления CO₂ в смеси 10⁴ Па:

1 - $d = 0,05 \cdot 10^{-3}$; 2 - $d = 0,07 \cdot 10^{-3}$ м.

Начальное условие запишется:

$$a|_{\tau=0} = 0.$$

(2)

Граничное условие выражает суть массообменных процессов, происходящих на наружной границе частицы:

$$-\rho_T D \frac{\partial a}{\partial r} \Big|_{r=R_0} = \beta (p_{\text{пов}} - p_0), \quad (3)$$

где β — коэффициент массообмена; $p_{\text{пов}}$ — давление в поверхностном слое, прилегающем к частице; p_0 — парциальное давление CO_2 в смеси газов.

Для обобщения результатов по кинетике адсорбции использовалась известная формула $D = D_0 e^{-E/RT}$.

Решение системы (1)...(3) выполнялось на ЭВМ ЕС-1033. На основании полученных результатов были построены графики, изображенные на рис. 2 и 3, с помощью которых устанавливались зависимости $a = f(\tau)$ и $a|_{r=R_0} = f_1(\tau)$.

Из графиков видно, что цеолиты СаА имеют более приемлемую кинетику адсорбции CO_2 (на рис. 3 кривые для СаА располагаются круче). Кривые $a|_{r=R_0} = f_1(\tau)$ имеют экстремум, который объясняется стоком концентрации CO_2 с поверхности к центру зерна при достижении на ней максимальной концентрации диоксида углерода. Аналогичное явление наблюдается при химико-термической обработке стальных изделий и, в частности, при их цементации [1]. На графиках также прослеживается влияние размеров зерна на кинетику сорбции [2]. Как видно, снижение содержания CO_2 в исходной смеси $10^5 \dots 0,5 \cdot 10^4$ Па значительно изменяет характер кривых, представленных на рис. 1...3.

Анализ кинетики адсорбции различных цеолитов при расчете АДБ может выполняться по следующим формулам:

$$\text{для СаА } D = 3,415 \cdot 10^{-6} e^{-\frac{29750}{8,314T}};$$

$$\text{для MgA } D = 0,942 \cdot 10^{-6} e^{-\frac{29750}{8,314T}}$$

Приведенное экспериментальное исследование дополняет сведения по кинетике адсорбции CO_2 синтетическими цеолитами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Несенчук А.П., Жмакин Н.П., Кальтман И.И. Пламенные печи для нагрева и термообработки металла. — Минск: Выш. шк., 1973. — 351 с. 2. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Мир, 1984. — 592 с.