

$$d\tau = \frac{cm}{aF} \frac{dt}{(t_{п.г} - t_6)^{3/4}} = \frac{c}{a} \Psi \frac{dt}{(t_{п.г} - t_6)^{3/4}}, \quad (6)$$

где Ψ - масса на единицу поверхности изделия, $\Psi = \frac{m}{F}$; t_6 - температура бетона.

После интегрирования получаем

$$\tau = \frac{1}{4} \frac{c}{a} \Psi \left[(t_{п.г} - t_{6_1})^{1/4} - (t_{п.г} - t_{6_2})^{1/4} \right]. \quad (7)$$

Здесь индекс 1 относится к выходу изделий в камеру, а индекс 2 - к выходу изделий из зоны подъема температур.

Таким образом, расчет необходимой длины обогреваемой зоны туннельной камеры может быть выполнен сравнительно просто для двух крайних случаев ($Bi \gg 1$ и $Bi < 1$).

Л и т е р а т у р а

1. Солдаткин М.Т., Бондарев В.А., Кравец В.Ф. Применение парогазовой смеси как низкопотенциального теплоносителя. - "Изв. вузов. Энергетика", 1971, № 4.
2. Солдаткин М.Т., Кравец В.Ф. Теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси. - "Изв. вузов. Энергетика", 1971, № 8.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М., 1967.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М. - Л., 1965.

Г.А. Фатеев, Л.И. Тарасевич, А.М. Заватко

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИЛОЖЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН К ПРОЦЕССУ ТЕПЛОВОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ АДСОРБЕНТА

Метод резонансных тепловых волн при десорбции насыщенного слоя адсорбента имеет ограничение, связанное с соизмеримостью скоростей переноса тепловых и концентрационных волн. Скорость движения тепловой волны описывается уравнением [1]

$$u_t = \frac{j C_2}{\rho C_1}, \quad (1)$$

где u_t - скорость движения тепловой волны; j - массовый расход газа, отнесенный к единице полного сечения слоя;

ρ - плотность слоя; C_1 и C_2 - соответственно удельные теплоемкости слоя и газа.

Учитывая известную аналогию переноса тепла и адсорбционных масс в плотном слое, скорость движения концентрационной волны в аналогичных обозначениях можно записать следующим образом [2]:

$$u_c = \frac{jC}{\rho a}, \quad (2)$$

где C - массовая доля адсорбента в насыщающем потоке; a - массоемкость адсорбата при этой массовой доле.

Представляя (1) в виде

$$u_t = \frac{v \rho_2 C_2}{\rho C_1},$$

где v и ρ_2 - скорость фильтрации газового потока и его плотность, и полагая, что для большинства адсорбентов, применяемых для очистки воздуха, $C_1 \approx C_2$, получаем соотношение

$$\frac{v}{u_t} \approx \frac{\rho}{\rho_2}.$$

Иными словами скорость фильтрации воздуха превосходит скорость движения тепловой волны в 300 - 1000 раз (полагаем $\rho_2 \approx 1 \text{ кг/м}^3$, ρ для слоя активного угля колеблется в пределах 200 - 600 кг/м^3 , для слоя цеолита - 650 - 900 кг/м^3). Рассматривая процесс десорбции в режиме тепловых волн как очень выгодный с точки зрения экономии тепла (при десорбции CO_2 из слоя цеолита высотой 0,5 м затраты тепла в режиме тепловой волны сокращаются примерно в 3 раза в сравнении с адиабатным разогревом всего слоя до той же температуры [3]), необходимо отметить отрицательный фактор, обусловленный разбавлением адсорбата на стадии десорбции. Соотношение скоростей переноса тепловой и концентрационной волн при одинаковых фильтрационных условиях

$$v = \frac{u_t}{u_c} = \frac{C_2 a}{C_1 C} \quad (3)$$

определяется соотношением массоемких свойств адсорбата.

Пренебрегая явлением передесорбции при движении тепловой волны, концентрация адсорбата в десорбционном потоке C_{des} может быть оценена по формуле

$$C_{des} = C \frac{V}{1 + CV} \cdot \quad (4)$$

Полагая концентрацию адсорбата в насыщающем потоке достаточно малой, можно сделать вывод, что концентрация адсорбата при десорбции возрастает пропорционально соотношению скоростей переноса тепла и массы в слое адсорбента. Очевидно, при $V \leq 1$ десорбция в режиме тепловых волн утрачивает смысл.

Расчет по формулам (3), (4) показывает, что для цеолита, обладающего емкостью к CO_2 , равной $a = 0,05$ при $C = 0,015$, получаем превышение концентрации в десорбционном потоке по отношению к адсорбционному примерно в 3 раза.

Современные цеолиты имеют емкостные соотношения $a = 0,08$ при $C = 0,008$, т.е. дают возможность добиться концентрационного превышения примерно в 10 раз. Концентрацию адсорбата в десорбционном потоке, рассчитанную по формулам (4), следует рассматривать как минимальную. Дополнительное концентрирование адсорбата может достигаться вследствие дополнительного насыщения нижележащих слоев адсорбента при передесорбировании масс адсорбата, вытесняемого тепловой волной.

Учитывая рассмотренные выше закономерности десорбции при движении резонансных тепловых волн можно сделать следующие выводы.

Наибольший эффект концентрирования может быть достигнут при малой концентрации адсорбата в насыщающем потоке, так как в этом случае согласно изотерме равновесия, как правило, отношение $\frac{a}{C}$ достигает наибольшего значения и, кроме того, адсорбент сохраняет значительную часть емкости.

Уменьшение расхода газового потока при десорбции должно повысить эффект концентрирования в сравнении с расчетным по формуле (4), так как в этом случае внутренне диффузионное сопротивление зерен в меньшей степени препятствует дополнительному насыщению адсорбента передесорбирующимися массами адсорбата.

Метод десорбции насыщенного слоя адсорбента может быть рекомендован в тех случаях, когда ставится задача получения очищенного газового потока при минимальных затратах тепла.

В тех случаях, когда целью процесса является концентрирование адсорбата, необходимо предусмотреть вторую ступень адсорбции. Целесообразность применения резонансного волнового переноса в этом случае состоит в экономичном промежуточном концентрировании адсорбата. На второй ступени может быть использован другой тип адсорбента, регенерируемого с меньшими затратами тепла.

Концентрирующий эффект десорбции с помощью тепловой волны может быть значительно повышен благодаря применению промежуточного массового агента, обладающего большим сродством к адсорбенту, чем целевой адсорбат. Например, при десорбции CO_2 из цеолита нами отмечена интенсификация процесса десорбции при передесорбции небольших количеств влаги, сохраняющихся в слое. При этом перед тепловой волной возникает температурный фронт передесорбирующейся влаги. Ускорение его движения связано с наращиванием теплоемкости газа C_2 (1) с учетом энергии связи паров воды с цеолитом. Возрастание u_t и соответственно V (3) примерно пропорционально им увеличивает относительное концентрирование адсорбционного процесса $\frac{C_{des}}{C}$ (4).

Тепловая волна может быть рекомендована при десорбции тяжелых углеводородов с активных углей с применением пара. В этом случае будет значительно уменьшен расход пара, а выделение чистого адсорбата из конденсата, как правило, не представляет большого труда.

Л и т е р а т у р а

1. Фатеев Г.А. Перенос тепла в реагирующем пористом теле при наличии фильтрации газа. — В сб.: Тепло- и массообмен при фазовых и химических превращениях. Минск, 1968
2. Серпионова Е.Н. Промышленная адсорбция газов и паров. М., 1969.
3. Бицютко И.Я. и др. Тепловая эффективность обработки продуваемого слоя распределенными источниками тепла. — В сб.: Научные и прикладные проблемы энергетики, вып. 2. Минск, 1975.