

РОЛЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПЛОТНОСТИ И ПОРИСТОСТИ АДсорбЕНТА В ПРОЦЕССАХ ФИЗИЧЕСКОЙ АДсорБЦИИ ГАЗОВ

Ключевые слова: адсорбция, пористость, порозность, плотность, скорость, объем, процесс.

Дана характеристика физической адсорбции, различных плотностей адсорбентов и формул для определения значений плотностей. Показаны различные стадии процесса адсорбции, параметры, определяющие скорость адсорбции на каждой стадии.

Keywords: adsorption, porosity, porosity, density, velocity, volume, the process.

The characteristic of the physical adsorption of various densities of adsorbents and formulas to determine the values of densities. Shows the various stages of the adsorption process parameters determine the rate of adsorption in each stage.

Благодаря ряду преимуществ перед другими методами газоочистки (высокая селективность и эффективность процесса, возможность применения для рекуперации, для промывочной и санитарной очистки газа и воздуха, высокая степень десорбции, отсутствие изменения свойств адсорбента и поглощаемого компонента, возможность автоматизации процесса и другие достоинства) физическая адсорбция широко применяется в химической технологии и многих других отраслях промышленности.

Пористые адсорбенты характеризуются величинами истинной, кажущейся и насыпной (гравиметрической) плотности.

Истинная плотность – масса единицы объема слоя адсорбента минус объем всех пор. Величина истинной плотности ρ_u может быть определена по формуле:

$$\rho_u = m_{ad}^{cl} / (V_{cl}^I - V_2), \quad (1)$$

где m_{ad}^{cl} – масса единицы объема слоя адсорбента; V_{cl}^I – объем слоя адсорбента с учетом пор; V_2 – объем внешних и внутренних пор.

Кажущаяся плотность ρ_k – масса единицы объема гранул адсорбента m_{ad}^{cp} , отнесенная к сумме объемов гранул и внутренних пор (пористости); значение ρ_k можно определить по формуле:

$$\rho_k = m_{ad}^{cp} / (V_{cp}^I + V_2^*), \quad (2)$$

где V_{cp}^I – объем гранул адсорбента; V_2^* – объем внутренних пор адсорбента.

Насыпная плотность ρ_n – масса единицы объема слоя адсорбента, свободно насыпанного в емкость. В насыпную плотность входит кажущаяся плотность плюс промежуточное пространство (воздушные прослойки) между гранулами адсорбента. Величину ρ_n можно определить по формуле:

$$\rho_n = m_{ad}^{cl} / (V_{cl}^I + V_2), \quad (3)$$

Для характеристики адсорбента применяют понятие *порозности (пористости) слоя* адсорбента ε^{cl} , которую можно определить из соотношения насыпной и кажущейся плотностей:

$$\varepsilon^{cl} = 1 - (\rho_n / \rho_k), \quad (4)$$

Основным параметром, определяющим скорость диффузии молекул адсорбтива, является коэффициент *пористости гранул* адсорбента ε^{cp} , зависящую от кажущейся и истинной плотностей:

$$\varepsilon^{cp} = 1 - (\rho_k / \rho_u), \quad (5)$$

Для пористых адсорбентов характерно два значения пространства (пустоты) снаружи и внутри гранул (зерен): поры между гранулами, которые обычно называют *порозностью* и поры в гранулах (микро-, мезо-, макропоры). Размер пор (диаметр и длина) обуславливают внутреннюю *пористость* зерен адсорбента. В формулах 1 и 3 имеется в виду внутренняя пористость гранул и порозность слоя адсорбента, в формуле 2 – только внутренняя пористость гранул.

Величину порозности определяют в основном три параметра гранул адсорбента: размер, форма, способ укладки (упаковки) гранул в объеме адсорбента.

Процесс непосредственной адсорбции (без учета стадий десорбции и регенерации сорбента) суммируется из трех последовательно осуществляемых и технологически взаимосвязанных стадий (этапов):

- массоперенос молекул газа к поверхности твердого адсорбента;

- диффузия молекул газа во внутренние поры адсорбента (определяется коэффициентом диффузии);

- адсорбция молекул в порах.

Скорость переноса адсорбтива к поверхности адсорбента γ_{ad} может быть определена по уравнению:

$$\gamma_{ad} = k_m (S \cdot V / \rho_n) (p - p_{ad}), \quad [2] \quad (6)$$

где k_m – коэффициент массопереноса (газ-адсорбент); S – площадь внешней поверхности адсорбента; V – объем пустот (порозности) между гранулами; ρ_n – насыпная плотность адсорбента; p и p_{ad} – парциальное давление поглощаемого компонента в объеме газа и на поверхности адсорбента (движущая сила адсорбции).

В свою очередь коэффициент массопереноса k_m может быть определен по следующей зависимости:

$$k_m = 1,82 \gamma [(d_s \cdot \gamma \cdot V \cdot \rho) / \mu]^{-0,51} [\mu / (\rho \cdot k_d)]^{-0,67}, \quad [2] \quad (7)$$

где γ – средняя линейная скорость газа; d_s – эквивалентный диаметр гранулы (гранулы промышленных адсорбентов обычно не шаровидной формы, поэтому используют понятие

эквивалентного диаметра гранулы d_3); величину d_3 можно определить по эмпирической формуле:

$$d_3 = 6/S_v, \quad (8)$$

где S_v – удельная поверхность единицы объема гранул, равная частному от деления величины поверхности гранул на их объем; ρ – плотность газа; μ – вязкость газа; k_0 – коэффициент диффузии адсорбируемого газа в порах.

Из уравнения 6 видно, что скорость переноса газа из объема к поверхности адсорбента зависит от коэффициента массопереноса, порозности адсорбента и движущей силы переноса.

Уравнение 7 показывает зависимость коэффициента массопереноса от скорости газа, от свойств газа-носителя и коэффициента диффузии газа в порах.

Как правило, в промышленных адсорбентах первые две стадии сорбции – массоперенос из

объема газа и диффузия в поры гранул осуществляются с большой скоростью и лимитирующей весь процесс является последняя стадия – адсорбция молекул в порах.

Литература

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2 кн./В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А.Носов и др.; Под ред. В.Г. Айнштейна. М.: Лотос; Высшая школа, 2003. Кн.2. 872 с.
2. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер. с англ.- М., Химия, 1981. 616 с.
3. Махоткин И.А., Сахаров И.Ю., Махоткин А.Ф., Сахаров Ю.Н. Закономерности кинетики абсорбции аммиака азотной кислотой в условиях производства аммиачной селитры // Вестник Казанского технологического университета.-2013-№15.-С.74-76.