

Работа 1.5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И СРЕДНЕГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ПО ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ

В теории фильтрации измерение удельной поверхности порошков эквивалентно измерению среднего гидравлического радиуса капилляров порового пространства, образуемого слоем уплотненного порошка. Соотношение объема пор и площади их поверхности принято равным отношению объема трубы и площади ее внутренней цилиндрической поверхности.

Объем трубы диаметром d_T и длиной L равен $V_T = \frac{\pi d_T^2 L}{4}$, а площадь ее внутренней поверхности $s_T = \pi d_T L$, гидравлический диаметр трубы $d_r = \frac{4V_T}{s_T}$.

Аналогично этому гидравлический диаметр пор (d_r) пористого тела, объем пор которого составляет (V_{II}), а площадь их поверхности (s_{II}) равен

$$d_r = \frac{4V_{II}}{s_{II}}. \quad (1)$$

Если V — объем пористого тела, ε — значение пористости - доля объема пор в объеме пористого тела, то объем пор $V_{II} = V\varepsilon$, объем твердого вещества в пористом теле: $V(1 - \varepsilon)$. Для пористого тела в виде цилиндра, например, его объем равен произведению площади его сечения $F[\text{см}^2]$ на высоту $L[\text{см}]$ $V = FL [\text{см}^3]$.

Пористость по определению равна

$$\varepsilon = \frac{FL - m/\rho}{FL} = 1 - \frac{m}{FL\rho},$$

где m [г]— масса слоя порошка в кювете, ρ [г/см³]— плотность его частиц, m/ρ [см³]— объем частиц в кювете.

Удельная поверхность единицы объема твердого тела порошка S_v [см²/см³] и S [см²/г]— удельная поверхность единицы массы связаны между собой и с площадью суммарной поверхности пор соотношениями

$$S_v = \rho S;$$

$$s_{II} = S_v V(1 - \varepsilon) = SV(1 - \varepsilon)\rho.$$

В тех же обозначениях средний гидравлический диаметр капилляров равен

$$d_r = \frac{4V\varepsilon}{V(1-\varepsilon)S_v} = \frac{4\varepsilon}{(1-\varepsilon)S_v} = \frac{4\varepsilon}{(1-\varepsilon)S\rho}. \quad (2)$$

В пористом теле, образованном слоем порошка, поры извилисты относительно направления потока через них газа. Принято поэтому вводить коэффициент извилистости K_K — постоянная Козени, которая на основании экспериментальных данных принята равной 5. Тогда средняя длина капилляров пористого слоя высотой L равна $X = K_K L$. Среднее число капилляров, выходящих на его торец

$$n_K = \frac{4V\varepsilon}{K_K L \pi d_r^2} = \frac{4F\varepsilon}{K_K \pi d_r^2}. \quad (3)$$

Далее рассматривают скорость течение вязкого газа $Q[\text{см}^3/\text{с}]$ (динамическая вязкость μ — в пуазах) через длинную (по сравнению с диаметром) трубку (капилляр) под действием перепада давления — $\Delta P[\text{Г}/\text{см}^2]$.

Применительно к пористому слою вычисления приводят к общепринятой формуле для удельной поверхности пороша $S[\text{см}^2/\text{г}]$

$$S = \frac{14 \sqrt{\frac{\varepsilon^3 \Delta P F}{(1-\varepsilon)^2 Q L}}}{\rho \sqrt{\mu}} = \frac{14 M \sqrt{\frac{\Delta P}{Q}}}{\rho \sqrt{\mu}}. \quad (4)$$

Обычно измерения осуществляют посредством фильтрации воздуха при атмосферном давлении (P_0), когда перепад давления на пористом слое $\Delta P \ll P_0$. Молекулярный вес воздуха принят равным 28.

В уравнении (4) величина $M = \sqrt{\frac{\varepsilon^3 F}{(1-\varepsilon)^2 L}}$ зависит только от геометрических параметров слоя порошка и его пористости.

Если масса порошка во всех измерениях выбрана так, что объем частиц порошка в кювете, равный $\frac{m}{\rho} = \text{const}$ во всех измерениях, величина M при постоянной площади сечения слоя (F) зависит только от степени уплотнения порошка — высоты его слоя в цилиндрической кювете.

Действительно

$$M = \sqrt{\frac{\varepsilon^3 F}{(1-\varepsilon)^2 L}} = \sqrt{\frac{\left(1 - \frac{m}{\rho F L}\right)^3 m F}{\left(1 - \frac{m}{\rho F L}\right)^3 \rho F L L}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{\rho F L}{m} - 1\right)^3 m}{\rho L^2}} = \frac{\rho \sqrt{\left(F L - \frac{m}{\rho}\right)^3}}{L m}. \quad (5)$$

Согласно формуле (4) для измерения удельной поверхности необходимо из порошка с измеренной массой (m) в кювете площадью поперечного сечения (F) сформировать слой и измерить: его высоту— L , расход воздуха— Q , перепад давления, обеспечивающий этот расход— ΔP , и температуру, по которой определяют вязкость воздуха (μ).

Средний размер частиц (плотность которых— ρ) связан с удельной поверхностью единицы объема (S_v) и единицы массы (S) порошка соотношением

$$\Lambda = \frac{6}{S_v} = \frac{6}{\rho S}. \quad (6)$$

Формула (4) предусматривает стационарный режим фильтрации воздуха. В этом режиме значения Q и ΔP (перепад давления и скорость течения воздуха) необходимо поддерживать установившимися и неизменными в период их измерений. Однако, как показала обширная производственная практика, надежное соблюдение этого условия весьма затруднительно.

В этом плане приборы нестационарной фильтрации, в которых измерению подлежит только один параметр— длительность изменения давления в замкнутом объеме Ω от p_1 до p_2 , значительно практичнее и надежней. В режиме нестационарной фильтрации гидравлическое сопротивление ($\mathfrak{R}$ — величина, обратная проницаемости) определяют по длительности (τ) фильтрации (натекания) газа через уплотненный слой порошка в замкнутый объем (Ω). Величина гидравлического сопротивления равна:

$$\mathfrak{R} = \frac{\Delta P}{Q} = \frac{1}{D} = \frac{\tau P_0}{\Omega \lg\left(\frac{p_1}{p_2}\right)} = \beta \tau, \quad (7)$$

где P_0 — атмосферное давление воздуха в момент измерения; Ω — объем прибора, в который производится фильтрация внешнего газа; τ — интервал времени, в течение которого в замкнутом объеме Ω происходит изменение давления от p_1 до p_2 .

Если считать атмосферное давление неизменным, то как следует из расчетов

$$\beta = \frac{P_0}{\Omega \lg\left(\frac{p_1}{p_2}\right)} = const. \quad (8)$$

Соответственно удельная поверхность равна

$$S = \frac{14 \sqrt{\frac{\varepsilon^3 \beta \tau F}{(1-\varepsilon)^2 L}}}{\rho \sqrt{\mu}} = \frac{14 M \sqrt{\beta \tau}}{\rho \sqrt{\mu}}, \quad (9)$$

$$M = \frac{\rho \sqrt{\left(FL - \frac{m}{\rho}\right)^3}}{Lm}$$

Величина $14\sqrt{\beta} = K$ — постоянная прибора, которую определяют либо по уравнению (8), либо в калибровочных опытах с прибором, работающим в стационарном режиме по соотношению (7). Для одного и того же слоя порошка при заданных p_1 и p_2

измеряют $\left(\frac{\Delta P}{Q}\right)_K$ и $\tau_K \beta = \frac{\left(\frac{\Delta P}{Q}\right)_K}{\tau_K} = const$ для данного прибора.

Удельная поверхность равна

$$S = \frac{KM\sqrt{\tau}}{\rho\sqrt{\mu}}. \quad (10)$$

Измерения удельной поверхности разных порошков желательно производить в одинаковых условиях. Одним из таких определяющих условий является одинаковость во всех измерениях физического объема порошка в кювете. Это условие выполняется, если масса порошка выбрана всегда равной одинаковой доле его плотности $m = B\rho$. Как показывает опыт многолетней работы с разными порошками, такой прием при прочих одинаковых условиях обеспечивает наименьшую погрешность измерений и максимальное удобство в их подготовке.

Если выбрать, например, отношение $\frac{m}{\rho} = 10/3$ (соответственно массу исследуемой пробы всегда равной $m = 10/3\rho$) и цилиндрическую кювету диаметром 5 см (площадь дна - 4,9 см²), то $M = \frac{3,33\sqrt{(4,9L - 3,33)^3}}{L}$.

Тогда

$$S = \frac{KM\sqrt{\tau}}{\rho\sqrt{\mu}} = \frac{K_0\sqrt{(4,9L - 3,33)^3}\tau}{L\rho\sqrt{\mu}} \quad (11)$$

Значение массы исследуемого порошка, равное $m = 10/3\rho$, выбрано одинаковым для всех материалов для удобства измерений и расчетов в приборах ПСХ. Такой выбор не является обязательным. Возможны и другие соотношения $\frac{m}{\rho}$.

ОБОРУДОВАНИЕ

Прибор ПСХ-4 характеризуется непостоянством расхода воздуха в течение опыта (Рис.1).

Кювета 1 предназначена для укладки в ней слоя испытуемого материала. Она представляет собой испытательную камеру, перегороденную на некоторой высоте диском с высверленными в нем отверстиями. Часть камеры, ограниченная диском и дном кюветы, с помощью штуцера 2 и резиновой трубки 3 присоединяется к жидкостному манометру 6. На внешней поверхности кюветы нанесена миллиметровая шкала с нониусом для измерения толщины слоя материала.

Плунжер служит для уплотнения слоя материала в кювете.

Резиновая груша 8 с клапанами применяется для создания разрежения под слоем материала.

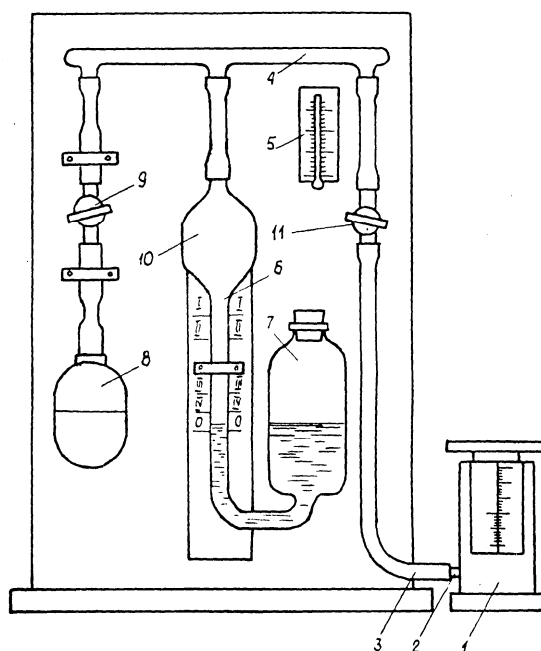


Рис. 1. Схема прибора ПСХ-4

Стеклянный одноколенный манометр заполнен подкрашенной водой.

Он предназначен для определения давления воздуха под слоем испытуемого материала и позволяет проследить скорость изменения давления в нижней полости кюветы вследствие воздухопроницаемости слоя материала.

ПОДГОТОВКА К АНАЛИЗУ

Определить величину навески Q из выражения:

$$m = 3.33 \rho_m$$

где ρ_m — плотность материала.

Для грубодисперсных порошков (с удельной поверхностью менее 1500 см/г) величина навески определяется выражением:

$$m = 10.8 \rho_m$$

При определении удельной поверхности смеси порошков величина навески вычисляется по формуле:

$$m = \frac{3.33}{\frac{A}{\rho_1} + \frac{B}{\rho_2} + \frac{C}{\rho_3}}$$

где A, B, C — весовые доли содержания компонентов в смеси;

ρ_1, ρ_2, ρ_3 — плотности соответственных компонентов.

Проверить исправность работы прибора. Для этого с помощью резиновой груши при закрытом кране 11 создать разрежение. Жидкость в манометре должна подняться до уровня верхней колбочки.

В кювету прибора поместить кружок фильтровальной бумаги, вырезанной по внутреннему диаметру кюветы, и высыпать на него навеску.

Порошок разравнивать и покрыть вторым кружком из фильтровальной бумаги и уплотнить плунжером сильным нажатием руки в течение 2-х минут.

ХОД АНАЛИЗА

При закрытом кране 11 в полости манометра создается с помощью резиновой груши разрежение. Далее закрывается кран 9 и открывается кран 11; сообщающий кювету с манометром. Воздух начинает просачиваться через слой порошка и уровень жидкости в манометре понижается. Время прохождения жидкости между двумя рисками манометра замеряется с помощью секундомера. При быстром опускании столба жидкости замеряется время между рисками 111-1У, при медленном — между рисками 1-11.

ФОРМА ЗАПИСИ НАБЛЮДЕНИЙ

№ опыта	Риски	τ , с

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Вычисление удельной поверхности порошка производится по формуле:

$$S = K \frac{M\sqrt{\tau}}{m},$$

где K — постоянная прибора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Характеристики, определяющие время просева.
2. Оценка размеров частиц с помощью микроскопа.
3. Системы сит. Модуль сита.
4. Законы распределения частиц по размерам.
5. Расчет навески.
6. Определение времени прохождения жидкости между двумя рисками манометра.
7. Построение гистограммы (размерность координат, количество и диапазоны фракций).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ходаков Г.С. Основные методы дисперсионного анализа порошков.— М: Стройиздат, 1968.
2. Андреев Е. Е., Товаров В. В., Перов В. Л. Закономерности измельчения и исчисления характеристик гранулометрического состава.— М.: Металлургиздат, 1959.
3. Коузов Л. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов.— М.: Химия, 1974.
4. Сиденко Л. М. Измельчение в химической промышленности.— М.: Химия, 1977.