

О ПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА МР

Проницаемость, т. е. способность материала пропускать через себя жидкости или газы под действием приложенного градиента давления, является одной из важнейших характеристик пористых материалов. При анализе материала МР необходимо отметить, что, как и для большинства других известных искусственных пористых композиций, существует большое количество различных факторов, определяющих его проницаемость. В качестве примера можно назвать пористость, эффективный диаметр и микрошероховатость поровых каналов, распределение пор по размерам, степень их цементации и др. Очевидно, что учесть все эти факторы при аналитическом исследовании весьма затруднительно.

Наиболее надежными являются феноменологические методы изучения комплексных характеристик материала МР [1].

Измерение проницаемости пористых сред осуществляется путем экспериментального определения характеристик гидравлического сопротивления исследуемых образцов. Обработка опытных данных производится по классическому закону линейной фильтрации (закону Дарси), который может быть записан в виде

$$V_{\Phi} = \frac{k}{\mu} \frac{dp}{dL}, \quad (1)$$

где V_{Φ} — скорость фильтрации;

k — проницаемость пористого материала;

μ — вязкость протекающей жидкости (или газа);

$\frac{dp}{dL}$ — градиент давления в слое пористого материала.

Скорость фильтрации V_{Φ} , иногда называемая «фиктивной скоростью», представляет собой отношение объемного расхода жидкости (газа), протекающей через пористый образец, к площади его поперечного сечения. Действительные значения скорости в отдельных поровых каналах могут существенно отличаться от величины скорости фильтрации. Следовательно, закон Дарси фено-

менологически устанавливает связь между макроскопическими характеристиками V_{ϕ} и k .

В настоящей статье изложены результаты исследований проницаемости образцов МР, изготовленных из проволоки марки ЭИ-708 диаметром 0,15 мм. Образцы представляли собой цилиндры диаметром 18 мм и высотой 100 мм. В качестве рабочих тел при определении характеристик гидравлического сопротивления образцов МР использовались воздух, дистиллированная вода и дизельное топливо. Эксперименты показали, что проницаемость не зависит от рода используемой жидкости. Газопроницаемость отличается от проницаемости по жидкости и является функцией среднего давления газа в образце.

В работе [2] Клинкенберг (Klinkenberg) исследовал зависимость газопроницаемости от обратной величины среднего давления и показал, что эта зависимость должна быть линейной,

$$k_r = k_{ж} \left(1 + \frac{b}{p_{ср}} \right), \quad (2)$$

где k_r — газонепроницаемость;

$k_{ж}$ — проницаемость по жидкости;

$p_{ср}$ — среднее давление в пористом образце;

b — постоянная.

С учетом уравнения Клинкенберга (2) закон Дарси для газа можно представить в виде [3]

$$Q p_{вх} \frac{\mu}{F} \left(\frac{2L}{p_{вх}^2 - p_{вых}^2} \right) = k_{ж} \left(1 + \frac{2b}{p_{вх} + p_{вых}} \right), \quad (3)$$

где Q — объемный расход газа через образец;

F — площадь поперечного сечения образца;

L — высота образца;

$p_{вх}$ и $p_{вых}$ — соответственно давление газа на входном и выходном торцах образца.

При изотермическом течении значение μ и величина b для данного пористого образца постоянны. Следовательно, если уравнение (3) справедливо для течения газов в пористом материале МР, то обработка экспериментальных данных в виде

графической зависимости функции $Q p_{вх} \frac{\mu}{F} \left(\frac{2L}{p_{вх}^2 - p_{вых}^2} \right)$ от параметра $\frac{2}{p_{вх} + p_{вых}}$ даст прямую линию. Угловым коэффициентом этой прямой равен $k_{ж} \cdot b$, а отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат, равен $k_{ж}$.

Результаты экспериментов по определению проницаемости исследуемых образцов представлены на рис. 1. Как видно из графика, экспериментальные данные подтверждают приведенные теоретические соображения. Проницаемость материала МР по дистиллированной воде и дизельному топливу одинакова и не зависит от

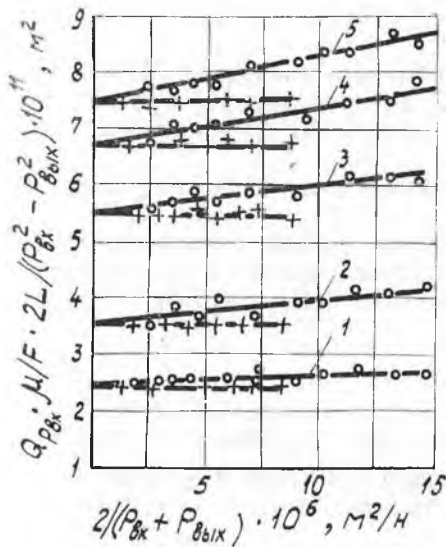


Рис. 1.

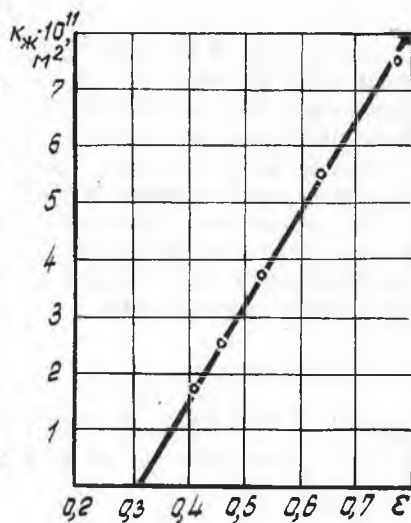


Рис. 2.

давления жидкости (в режиме линейной фильтрации). Воздухопроницаемость материала МР зависит от средней величины давления воздуха в образце, причем влияние давления тем сильнее, чем выше пористость образца.

Зависимость проницаемости по жидкости $k_{ж}$ от пористости ϵ для исследованных образцов показана на рис. 2. Нетрудно убедиться, что эта зависимость линейная и может быть выражена уравнением

$$k_{ж} = 1,6 \cdot 10^{-10} \cdot \epsilon - 5 \cdot 10^{-11} \text{ [M}^2\text{]}. \quad (4)$$

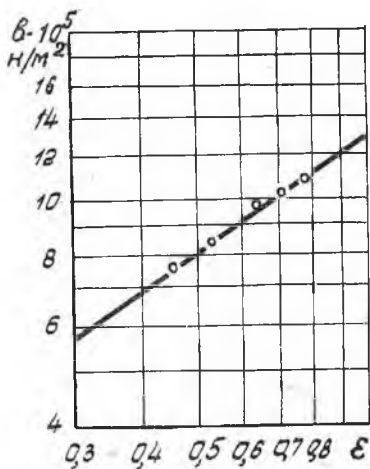


Рис. 3.

На рис. 3 представлена зависимость коэффициента b в уравнениях (2) и (3), определенного описанным способом, от пористости образцов ϵ . Как следует из рис. 3, экспериментальные точки в логарифмических координатах могут быть аппроксимированы прямыми. Следовательно, функция $b = f(\epsilon)$ является степенной. По проведенным экспериментам эта зависимость следующая:

$$b = 1,3 \cdot 10^{-4} \epsilon^{0,67} \cdot \left[\frac{H}{M^2} \right]. \quad (5)$$

ВЫВОДЫ

Исследована проницаемость образцов материала МР из проволоки ЭИ-708 диаметром 0,15 мм. Установлено, что проницаемость материала МР по жидкости $k_{ж}$ не зависит от рода жидкости и величины давления в ней.

Изучена зависимость газопроницаемости $k_{г}$ от величины среднего давления в образцах МР.

На основании экспериментальных данных получены эмпирические формулы зависимости проницаемости по жидкости $k_{ж}$ и коэффициента b в уравнении Клинкенберга (2) от пористости образцов материала МР.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Со й ф е р. Труды Куйбышевского авиационного института, вып. 30, 1967.
2. F. J. Klinkenberg A. P. I. Drilling Prod Pract, 1941, p. 200.
3. Р. Коллинз. Течение жидкостей через пористые материалы. «Мир», М., 1964.