

УДК 664.61 (075.8)

В.М. Михайлов, профессор, д-р техн. наук,**Е.А. Брылёв, доцент, канд. техн. наук,****А.Л. Яцук, ассистент***Днепродзержинский государственный технический университет**ул. Днепростроевская 2, г. Днепродзержинск, Украина, 51918**E-mail: brulev_dnepr@mail.ru***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ***Найден экспериментально коэффициент проницаемости пористых материалов, используемых в матрицах макаронного пресса.***Ключевые слова:** коэффициент проницаемости, матрица, давление, число Рейнольдса.

Введение. Для обеспечения бесконтактного прессования макаронных изделий необходимы разработка и изготовление принципиально новых матриц, которые обеспечивали бы наличие воздушной прослойки между тестовой массой и стенками матриц.

Постановка задачи. Для достижения поставленной задачи вкладыши матриц должны быть изготовлены из пористого материала, проницаемого для воздуха, имеющего достаточно однородную и прочную структуру, позволяющего изготовить из него различные по форме вкладыши, удовлетворяющие существующим стандартам на размеры и форму макаронных изделий и допускающие использование типового производственного оборудования поточных линий. Для исследования формования макаронных изделий через пористые вкладыши необходимо знать такую характеристику пористого материала, из которого они изготовлены, как коэффициент проницаемости k_p и его величину. Так же необходимо знать величину коэффициента сопротивления λ для границ ламинарного течения воздуха в прослойке между стенками вкладышей и тестовой массы.

Результат исследований. Поскольку величина коэффициента проницаемости зависит не только от природы и пористости материала, но и от технологии изготовления и обработки деталей, желательна

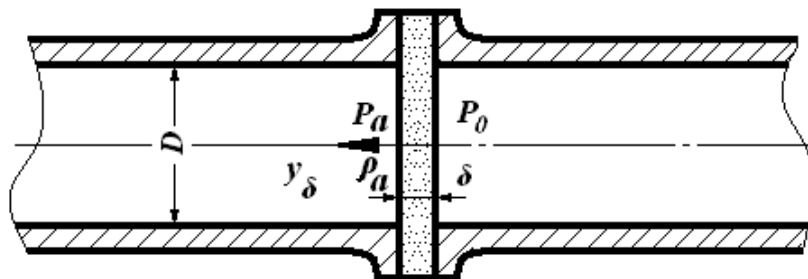


Рисунок 1 – Экспериментальное определение коэффициента проницаемости

определять этот коэффициент экспериментально в каждом конкретном случае. Такой эксперимент довольно прост. Пластина из пористого материала толщиной δ перекрывает сечение трубопровода диаметром D (рисунок 1). Измерив давление воздуха p_a и p_0 с двух сторон пластины получим [1, 2]:

$$\Delta \eta_p \approx \frac{d^2 \eta_p}{dy_\delta^2} = 0 \quad (1)$$

$$\eta_p = \eta_0 + (\eta_a - \eta_0) \frac{y_\delta}{\delta}$$

где $\eta_a = p_a^2$, Па²; $\eta_0 = p_0^2$, Па²; y_δ – координата по нормали к пластинке, м.

С учетом [1] имеем:

$$M = \frac{k_p \rho}{\mu p_a} \cdot \frac{\eta_a - \eta_0}{\delta} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \approx \frac{k_p \rho}{2 \mu p_a} \cdot \frac{p_a^2 - p_0^2}{\delta} \cdot \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2)$$

где M – массовый расход воздуха, кг/сек; ρ – плотность воздуха, кг/м³; μ – динамическая вязкость воздуха, кг-сек/м²;

или

$$k_p = \frac{8\mu p_a \delta M}{\pi \rho_a (p_a^2 - p_0^2) D^2} = \frac{8\mu p_a \delta G}{\pi g \rho_a (p_a^2 - p_0^2) D^2} = \frac{8\mu \delta Q_a}{\pi D^2} \cdot \frac{p_a}{p_a^2 - p_0^2} = \frac{8\mu \delta Q_0}{\pi D^2} \cdot \frac{p_0}{p_a^2 - p_0^2}, \quad (3)$$

где Q_a, Q_0 – объемный расход воздуха через пластинку, м³/сек.

По этой формуле можно вычислить k_p , если измерены давления p_a и p_0 , и расход Q_a или Q_0 .

Таким путем был определен, например, коэффициент проницаемости пористого графитированного угля [1]:

$$k_p = 1.312 \cdot 10^{-14} \left[\text{м}^2 \right]. \quad (4)$$

На рисунке 2 приведена зависимость коэффициента проницаемости от пористости для графитированной бронзы (1,5 % графита) по данным В.Т. Моргана и Ф. Камерона [1].

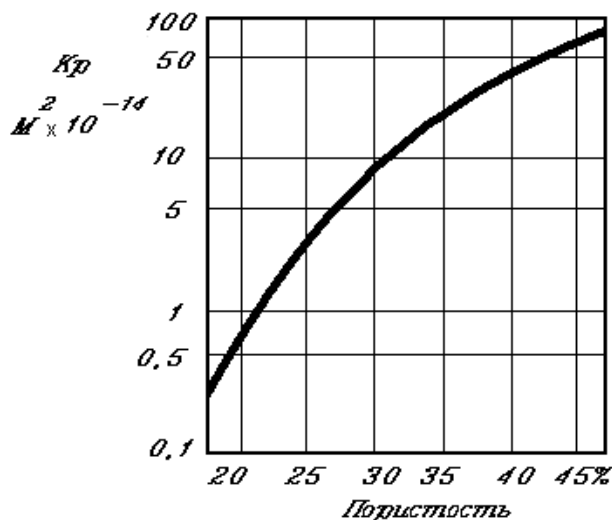


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента проницаемости k_p от пористости

Отметим, что коэффициент проницаемости можно определить, используя какую-либо жидкость, например, воду. При этом в формуле (3) необходимо заменить p^2 на p :

$$k_p = \frac{8\mu \delta Q}{\pi D^2 (p_a - p_0)}. \quad (5)$$

Другой метод оценки коэффициента проницаемости [3, 4] заключается в замене пористой среды средой, состоящей из сферических зерен диаметром d_3 . В этом случае падение давления выражается формулой:

$$\frac{dp}{dy_\delta} = -2 \frac{\xi \rho Q}{S^2 d_3}, \quad (6)$$

где Q – расход через поверхность площадью S , м²; ξ – коэффициент падения давления.

$$\xi = \frac{600}{\text{Re}}; \quad \text{Re} = \frac{\rho Q d_3}{\mu S}. \quad (7)$$

Сопоставление этой формулы с уравнением дает [4]:

$$k_p = \frac{d_3^2}{1200}. \quad (8)$$

Преимущества этого метода – установление связи коэффициента k_p с числом Рейнольдса и возможность вычислить k_p , если известен диаметр зерен d_3 . Если диаметр d_3 не известен, то коэффициент проницаемости определяется экспериментально (рисунок 3).

Можно определить экспериментально зависимость коэффициента сопротивления λ от числа Рейнольдса Re . Такие зависимости, снятые экспериментально для пористых поверхностей с различной зернистостью, приведены на рисунке 4 в логарифмических шкалах. Из рисунков видно, что течение воздуха в пористой поверхности носит устойчивый ламинарный характер при $\text{Re} < 14-16$ для d_{31} и d_{32} и при $\text{Re} < 7-8$ для d_{33} , что соответствует скоростям потока воздуха через пористую поверхность около

0,55 и 0,45 м/с. Как показали экспериментальные исследования, необходимый для бесконтактного прессования расход воздуха через пористую поверхность достигается при меньших значениях числа Re, что позволяет считать характер течения воздуха через пористую поверхность устойчивым ламинарным. В связи с этим правомерно применение уравнения (3) для определения коэффициента проницаемости k_p в заданном диапазоне значений числа Re.

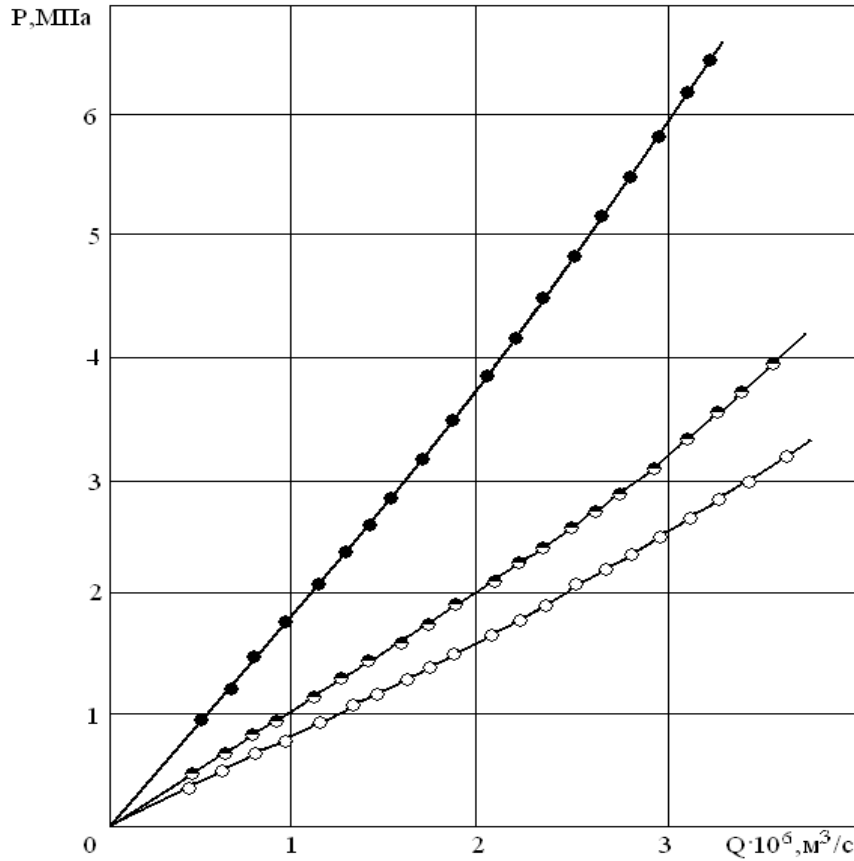


Рисунок 3 – Определение коэффициента проницаемости различных пористых вкладышей:

- $- d_{31} = 0,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}, \quad k_{p1} = 0,956 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$
- ◐ $- d_{32} = 0,31 \cdot 10^{-4} \text{ м}, \quad k_{p2} = 0,824 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$
- $- d_{33} = 0,23 \cdot 10^{-4} \text{ м}, \quad k_{p3} = 0,445 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$

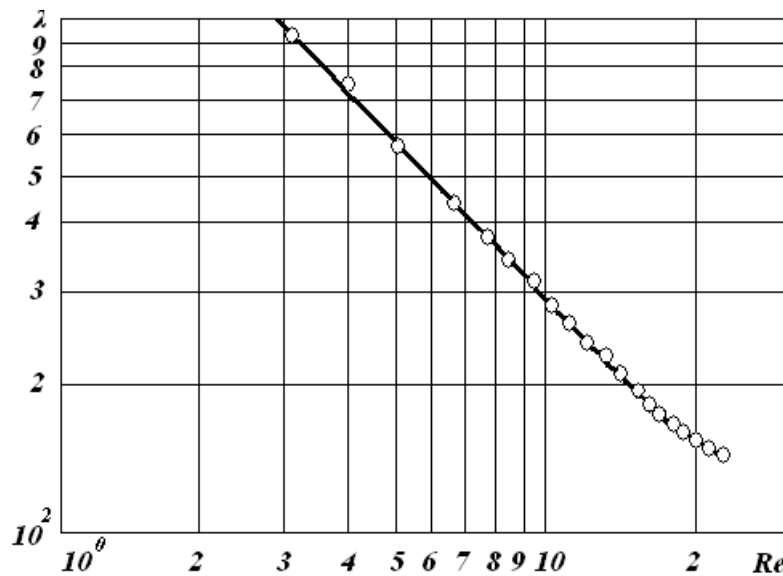


Рисунок 4 – Зависимости λ от Re для пористых вкладышей с различной зернистостью:
 $d_{31} = 0,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \quad d_{32} = 0,31 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \quad d_{33} = 0,23 \cdot 10^{-4} \text{ м}$

Коефіцієнт проникності визначається шляхом зняття характеристик витрати-тиск при вільному виході повітря в атмосферу. Відповідні характеристики і значення коефіцієнта проникності для різних пористих поверхонь наведені на рисунку 3.

Висновки. Отримані теоретичні залежності для визначення величини коефіцієнта проникності k_p , а також експериментально визначена величина коефіцієнта проникності для різних пористих вкладиш.

Визначено експериментально залежність коефіцієнта опору λ від числа Рейнольдса Re , що дозволяє встановити межі ламінарного течія повітря для різних режимів роботи обладнання. Результати досліджень, проводимих в роботі, можуть бути використані при експлуатації нового обладнання для формування макаронних виробів.

Дальніші дослідження пов'язані з впровадженням отриманих результатів.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Константи́нська В.Н. Газова смазка / В.Н. Константи́нська. — М.: Машиностроение, 1998. — 720 с.
2. Лісовенко О.Т. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв / О.Т. Лісовенко. — Київ: Наукова думка, 2000. — 282 с.
3. Pan C.H. T. On the Translatory Whirl Motion of a Vertical Rotor in Plain Gylindrical Gas – Dynamic Journal Bearings / C.H.T. Pan, B. Sternlicht // Trans. Of the ASME, Series D, Journ., of Basic Eng. — 84, 1, March, 1992. — P. 152–158,
4. Брильова С.О. Розробка матриць з пористими вкладишами для макаронних пресів / С.О. Брильова // Харчова промисловість — 2001. — № 5. — С. 36–38.

Поступила в редакцію 16.04.2013 г.

Михайлов В.М., Брильов Є.А., Яцук А.Л. Експериментальне визначення коефіцієнта проникнення пористих матеріалів

Експериментально визначено коефіцієнт проникності пористих матеріалів, що використовуються в матрицях макаронного пресу.

Ключові слова: коефіцієнт проникнення, матриця, тиск, число Рейнольдса.

Mykhailov V.M., Brulev E.A., Yatsuk A.L. Experimental definition of the penetration coefficient of porous materials

The experimental definition of coefficient of the porous material penetration used in the matrices of the pasta press is observed.

Keywords: penetration coefficient, matrix, the pressure, the Reynolds number.