

В.М. Михайлов, д-р техн. наук, проф. (ХДУХТ, Харків)

Є.А. Брильов, канд. техн. наук, доц. (ДДТУ, Дніпродзержинськ)

А.Л. Яцук, асп. (ХДУХТ, Харків)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПРОНИКНОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТА ОПОРУ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто експериментальне визначення коефіцієнта проникності та коефіцієнта опору пористих матеріалів, що використовуються в матрицях макаронного преса.

Рассматривается экспериментальное определение коэффициента проницаемости и коэффициента сопротивления пористого материала, которые используются в матрицах макаронного преса.

The experimental determination coefficient of the penetration porous materials used in the matrices of the pasta press.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Під час виготовлення макаронних виробів одним із важливих процесів є пресування. Вивчення руху тіста в шнековій камері та матрицях, що пресують, дозволяє знаходити шляхи вдосконалення конструкції преса, розробляти методику розрахунку преса та окремих його елементів, а також розробляти теоретично процес плинуну тіста всередині макаронного преса.

Одним із найважливіших елементів макаронного преса, що визначає якість виробів, а також його продуктивність, є матриця. Матриця є досить важким у виготовленні елементом, що виробляється з бронзи або іржостійкої сталі, часто з використанням спеціальних антиадгезійних матеріалів (наприклад, тефлону, аглофону та ін.). Макаронні вироби після формування через такі матриці мають гладку поверхню, привабливі на вигляд. Проте і матриці з тефлоновими вставками не позбавлені недоліків. Ці матриці мають невисоку зносостійкість, вимагають обережного поводження під час експлуатації та очищення; використання ретельно просіяного борошна та ін. У випадку пошкодження тефлонової вставки або її випадання вся матриця виходить з ладу, а це досить дорогоштуючий виріб.

Також має важливе значення проблема рівномірного випресовування джгутів тіста з отворів матриці. Рівношвидкісна матриця є досконалим випадком, у дійсності, в різних отворах матриці

швидкість відрізняється за величиною, що впливає на якість виробів. Крім того, унаслідок високого опору руху тіста в матрицях, що пресують, тиск на їх поверхні може перевищувати 10 МПа, що призводить до їх передчасного зношування, а іноді й до механічного руйнування.

У зв'язку з цим актуальною є розробка макаронних пресів, у яких опір руху тіста в матрицях, що пресують, було б зведено до мінімального, що дозволить підвищити ефективність їх роботи, а також продуктивність.

Таке завдання може бути вирішене, якщо створити тонкий повітряний прошарок між тістом, що рухається в отворах матриці, з одного боку та стінками отворів – з іншого. Для цього вкладиші матриці повинні бути виготовлені з пористого матеріалу, що є проникним для повітря і має досить однорідну та міцну структуру, що дозволить виготовити з нього різні за формою вкладиші, які б задовольняли існуючі стандарти на розміри та форму макаронних виробів та допускали використання типового виробничого обладнання поточних ліній.

Для розрахунків параметрів повітряного прошарку та режимів роботи обладнання необхідно знати таку характеристику пористого матеріалу, як коефіцієнт проникності k_p та коефіцієнт опору λ .

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує декілька способів визначення коефіцієнта проникності k_p та коефіцієнта опору λ для пористого середовища.

Одним із методів визначення коефіцієнта проникності є зняття характеристики витрати тиску до та після пористого середовища [1,]. У даних джерелах описано методику визначення коефіцієнта проникності для політропічного процесу. У нашому випадку через малу швидкість потоку повітря в пористому середовищі процес близький до ізотермічного і коефіцієнт політропи дорівнює одиниці, що призводить до необхідності розробки даної методики для нашого процесу.

Метод визначення коефіцієнта опору пористого середовища, який дозволяє встановити границі ламінарної течії повітря, описується в [2].

Мета та завдання статті. Метою даної статті є розробка методики визначення коефіцієнта проникності k_p та коефіцієнта опору λ стосовно безконтактного формування макаронних виробів та експериментальне визначення їх величин.

Вклад основного матеріалу дослідження. Оскільки величина коефіцієнта проникності залежить не лише від природи та пористості середовища, але й від технології виготовлення й обробки деталей,

бажано визначати цей коефіцієнт експериментально в кожному конкретному випадку. Розглянемо рух повітря через пористу пластинку завтовшки δ та діаметром D (рисунок 1).

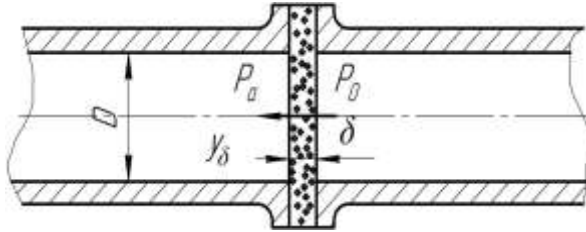


Рисунок 1 – Експериментальне визначення коефіцієнта проникності

Повітря в пористому середовищі рухається в напрямку осі y_δ та описується законом Дарсі [3] за ламінарного режиму течії повітря:

$$v = \frac{k_p}{\mu} \cdot \frac{dp}{dy_\delta}, \quad (1)$$

де k_p – коефіцієнт проникності пористого середовища, м^2 ;

μ – коефіцієнт в'язкості повітря, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

p – тиск повітря в пористому середовищі, Па ;

v – швидкість повітря в пористому середовищі, м/с .

Згідно з рівнянням нерозривності [4]:

$$\text{div}(\rho v) = 0 \quad \text{або} \quad \text{div}(\rho v) = \frac{d(\rho v)}{dx} + \frac{d(\rho v)}{dy_\delta} + \frac{d(\rho v)}{dz},$$

де ρ – щільність повітря, кг/м^3 .

Оскільки повітря в пористому середовищі рухається в напрямку

осі y_δ , то $\frac{d(\rho v)}{dx} = 0$ та $\frac{d(\rho v)}{dz} = 0$.

Тоді:

$$\text{div}(\rho v) = \rho \frac{dv}{dy_\delta}, \quad (2)$$

Підставляємо (1) в (2), отримуємо:

$$\frac{d\left(\frac{k_p \cdot dp}{\mu dy_\delta}\right)}{dy_\delta} = \rho \frac{k_p}{\mu} \cdot \frac{d^2 p}{dy_\delta^2}, \quad \rho \frac{k_p}{\mu} \cdot \frac{d^2 p}{dy_\delta^2} \quad \text{або} \quad \frac{d^2 p}{dy_\delta^2} = 0. \quad (3)$$

Шляхом інтегрування цього рівняння за граничних умов $y_\delta = 0$, $p = p_0$; $y_\delta = \delta$, $p = p_a$ (де p_0 та p_a – тиск до та після пористої пластини, Па), отримаємо розподіл тиску повітря в пористому середовищі:

$$p = p_0 - (p_0 - p_a) \frac{y_\delta}{\delta}. \quad (4)$$

Підставивши (4) в (1), отримаємо:

$$v = \frac{k_p}{\mu \delta} \cdot (p_0 - p_a). \quad (5)$$

Ураховуючи, що $v = \frac{Q}{S}$, де Q – витрата повітря, м³/с; S – площа пластинки, м², отримаємо:

$$k_p = \frac{\mu \delta Q}{S(p_0 - p_a)} \quad \text{або} \quad k_p = \frac{4 \mu \delta}{\pi D^2 (p_0 - p_a)}. \quad (6)$$

За цим рівнянням можна визначити коефіцієнт проникності k_p , якщо поміряно тиски p_0 і p_a та витрати повітря Q .

На рисунку 2 наведено експериментальні залежності падіння тиску на пластині від витрати повітря. За формулою (6) було визначено коефіцієнт проникності k_p для пористих пластинок різного діаметра. За розміру зерна діаметром $d_{31} = 0,34 \cdot 10^{-4}$ м коефіцієнт $k_{p1} = 0,956 \cdot 10^{-10}$ м²; за $d_{32} = 0,31 \cdot 10^{-4}$ м - $k_{p2} = 0,824 \cdot 10^{-10}$ м²; за $d_{33} = 0,23 \cdot 10^{-4}$ м, - $k_{p3} = 0,445 \cdot 10^{-10}$ м².

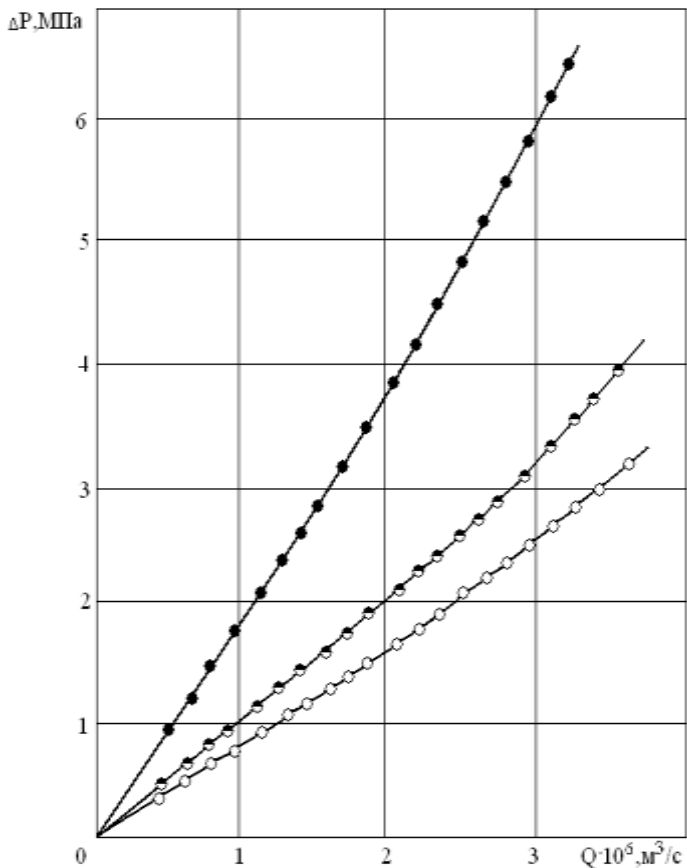


Рисунок 2 – Експериментальні залежності падіння тиску ΔP на пластині з різною зернистістю d_3 від витрати повітря Q :

○ – d_{31} ; ◐ – d_{33} ; ● – d_{32}

Коефіцієнт опору пористих середовищ із зернистого матеріалу постійного діаметра d_3 , яких визначає межі застосування закону Дарсі, тобто ламінарний режим течії повітря, можна визначити, використовуючи рівняння Вейсбаха [5]:

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho v^2 / 2} = \lambda \frac{\delta}{d_3}, \quad (7)$$

де λ – коефіцієнт опору прошарку, що має товщину в один діаметр зерна ($\delta/d_3 = 1,0$);

Δp – втрата тиску під час проходження рідини через пористе середовище завтовшки δ , Па;

$$v - \text{середня швидкість } v = \frac{Q}{S}, \text{ м/с.}$$

Із рівняння (7) отримаємо:

$$\lambda = \frac{2d_3 \Delta p}{\delta \rho v^2}. \quad (8)$$

Використовуючи співвідношення (8) було експериментально визначено залежність коефіцієнта опору λ від числа Рейнольдса Re . Такі залежності, зняті експериментально для пористих поверхонь різної зернистості, наведено на рисунку 3 у логарифмічних шкалах. Із рисунка видно, що течія повітря в пористій поверхні має стійкий ламінарний характер при $Re < 14-16$ для d_{31} і при $Re < 7-8$ для d_{32} , що відповідає швидкостям потоку повітря через пористу поверхню близько 0,55 і 0,45 м/с. Як показали експериментальні дослідження, необхідна для безконтактного пресування витрата повітря через пористу поверхню досягається за малих значень числа Re , що дозволяє вважати характер течії повітря через пористу поверхню стійко ламінарним. У зв'язку з цим правомірним є використання рівняння (6) для визначення коефіцієнта проникності k_p у заданому діапазоні значень числа Re .

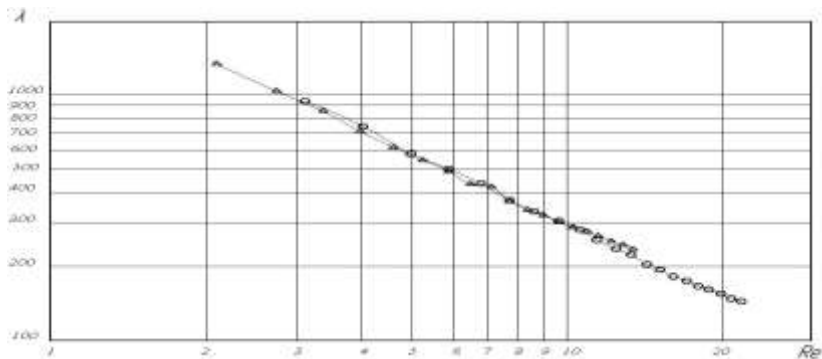


Рисунок 3 – Залежності λ від Re для пористих вкладок із різною зернистістю: $\circ - d_{31} = 0,34 \cdot 10^{-4}$ м; $\triangle - d_{32} = 0,23 \cdot 10^{-4}$ м

Висновки. У результаті досліджень було отримано теоретичні залежності для визначення величини коефіцієнта проникності k_p , а також експериментально визначено величину коефіцієнта проникності для різних пористих вкладок.

Визначено експериментально залежність коефіцієнта опору λ від числа Рейнольдса Re , що дозволяє встановити границі ламінарної течії повітря для різних режимів роботи обладнання. Результати досліджень, отримані в процесі роботи, можуть бути використані під час розробки нового обладнання для формування макаронних виробів.

Список літератури

1. Константиnescу В. Н. Газовая смазка / В. Н. Константиnescу. – М. : Машиностроение, 1998. – 720 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М. : Наука, 1974. – 712 с.
3. Леонтьев Н. Е. Основы теории фильтрации / Н. Е. Леонтьев. – М. : МГУ, 2009. – 88 с.
4. Ртищева А. С. Теоретические основы гидравлики и теплотехники. / А. С. Ртищева. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 171с.
5. Малезик І. Ф. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / І. Ф. Малезик, П. С. Циганков. – К. : НУХТ, 2003. – 400 с.

Отримано 01.05.2013. ХДУХТ, Харків.

© В.М. Михайлов, Є.А. Брильов, А.Л. Яцук, 2013.

УДК 644.8:658.562.5

Л.В. Кіптєла, д-р техн. наук, проф.

В.П. Плевако, д-р техн. наук, проф.

А.М. Загорулько, асп.

ГЕОМЕТРІЯ РОЗМІЩЕННЯ РЕФЛЕКТОРА В ІЧ-СУШАРКАХ ПЛОДОЯГІДНОЇ СИРОВИНИ

Наведено результати дослідження розміщення рефлекторів в ІЧ-сушарках для забезпечення рівномірного розподілу теплового потоку на плоску приймальну поверхню під час сушіння плодоягідної сировини.

Представлены результаты исследования размещения рефлекторов в ИК-сушилках для обеспечения равномерного распределения теплового потока на плоскую приемную поверхность при сушке плодоягодного сырья.