

УДК 681.762

О.Ю.Повстяной¹, Л.С.Богінський²,¹Луцький національний технічний університет²Білоруський національний технічний університет (м.Мінськ, Білорусія)

ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРИСТИХ ПРОНИКЛИВИХ МАТЕРІАЛІВ

Показані основні шляхи оптимізації форми для виготовлення пористих проникливих матеріалів. Доведено, що для підвищення продуктивності фільтрів без зміни їх розмірів може бути досягнуто шляхом збільшення площі робочої поверхні за рахунок її ускладнення.

Вступ.

Порошкова металургія кожним новим розробленим технологічним процесом демонструє переваги, які дозволяють отримувати матеріали з кращими або зовсім новими властивостями, або виготовляти вироби найбільш економічно вигідним способом. До таких виробів відносять пористі проникливі матеріали (ППМ), які використовують в якості фільтрів, що забезпечують очищення рідини та газів практично у всіх галузях промисловості. Велика потреба на сучасному етапі розвитку техніки у фільтруючих матеріалах, з однієї сторони, та успішне їх використання у конструкціях для кожної конкретної області застосування, з іншої, зумовлюють наявність різних видів таких матеріалів із широким діапазоном експлуатаційних властивостей.

Сучасний стан розвитку порошкової металургії характеризується процесом неперервного збагачення її новими ідеями отримання пористих проникливих матеріалів [1-3]. Однак, рішення цих задач методами порошкової металургії обмежені, з однієї сторони, технологічними можливостями відомих прийомів та методів отримання фільтруючих матеріалів [4, 5], а з другої, залежностями ряду властивостей від параметрів виготовлення [6, 7]. Крім того, на практиці при створенні ППМ зі заданим комплексом експлуатаційних характеристик виникають труднощі, які пов'язані з обмеженими властивостями традиційних технологій виготовлення.

Аналіз літературних даних [8, 9], показує, що перспективними методами отримання ППМ, є методи, які направлені на створення ППМ з анізотропною структурою, у яких розміри та кількість пор змінюються в напрямку фільтрації. У таких ППМ тонкість фільтрації буде визначатися шаром з мінімальним розміром пор, проникливістю є інтегральна величина, яка визначається пористою структурою всього матеріалу а забруднювач у процесі фільтрування розподіляється по всьому об'ємі фільтруючого елемента, що дозволяє збільшити ресурс роботи фільтру.

Постановка задачі.

Фільтруючі ППМ у вигляді тіл обертання (труби, диски, колби тощо) отримують все більше розповсюдження у різних галузях техніки, так як вони володіють високою технологічністю конструкції. Основні вимоги, які висувуються до геометрії таких виробів, є забезпечення точності зовнішніх та внутрішніх розмірів.

Широко використовувані такі ППМ характеризуються досить високою технологічністю виготовлення. Розміри і форма таких виробів визначаються габаритами пристроїв, складовою частиною яких вони є. Збільшення продуктивності цих пристроїв зі збереженням габаритів дозволяє значно підвищити ефективність їх використання. Проте для підвищення продуктивності, наприклад, фільтруючого пристрою, необхідно збільшувати або кількість елементів, що фільтрують, або їх розміри, що неодмінно призводить до зростання габаритів усієї установки і ускладнює технологію виготовлення самих фільтрів (рис.1).



Рис.1. Загальний вигляд фільтруючого пристрою

Тому дуже актуальним завданням є підвищення продуктивності фільтроелементів без зміни їх розмірів, що може бути досягнуто шляхом збільшення площі робочої поверхні за рахунок її ускладнення.

Основна частина.

Найбільш оптимальним процесом отримання фільтруючих ППМ є реалізація радіальної схеми ущільнення є СР-П, коли форма з порошком ізольована від робочої рідини еластичним середовищем, що дозволяє ефективно механізувати та автоматизувати процес, підвищити культуру виробництва, зменшити енерговитрати тощо [10]. Використання радіальної схеми пресування потребує застосування у якості інструменту еластичних оболонок, які передають тиск на порошковий матеріал.

Найбільш придатні для пресування еластичні оболонки із поліуретану, який витримує багатократні деформації при тисках до 600 МПа. Ці оболонки добре зберігають пружні властивості, технологічні – при виготовленні, і мають хороші адгезійні властивості до металів та кераміки.

На рис.2 представлено технологічне оснащення для пресування труб квадратного перерізу, що включає формуючий стержень, еластичну оболонку з еквідистантним йому центральним отвором, і отримані вироби з порошкового матеріалу. Квадратні труби із стороною S мають велику площу поверхні, ніж круглі з діаметром d . Крім того, при монтажі можлива їх щільніша упаковка.

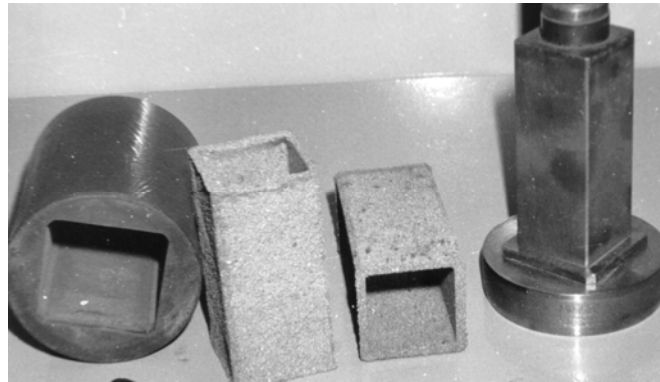


Рис.2. Вид технологічного оснащення для отримання отриманих труб квадратного перерізу

На рис.3 показана еластична оболонка для пресування виробів з гвинтовими зовнішньою і внутрішньою поверхнями, стержень для її відливання. На рис.4 представлені гвинтові порошкові фільтри з Ti і технологічне оснащення для їх пресування, яке розроблено у Білоруському національному технічному університеті. Відмітимо, що гвинтові фільтри з тими ж габаритними розмірами мають більшу площу робочої поверхні у порівнянні з гладкою циліндричною або квадратною трубою.

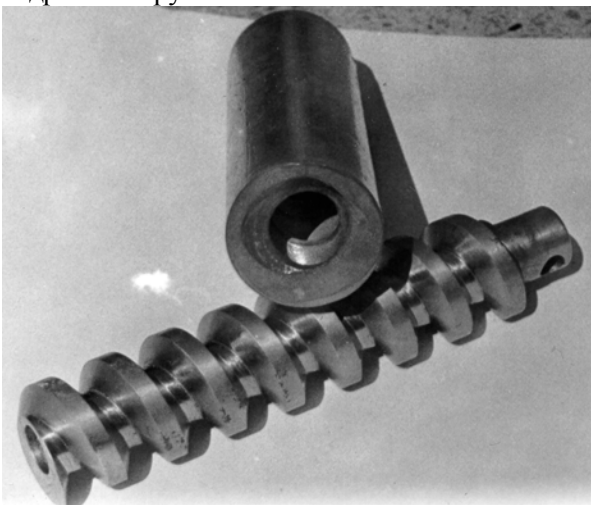


Рис.3. Оболонка для пресування гвинтових виробів і стержень для її відливання

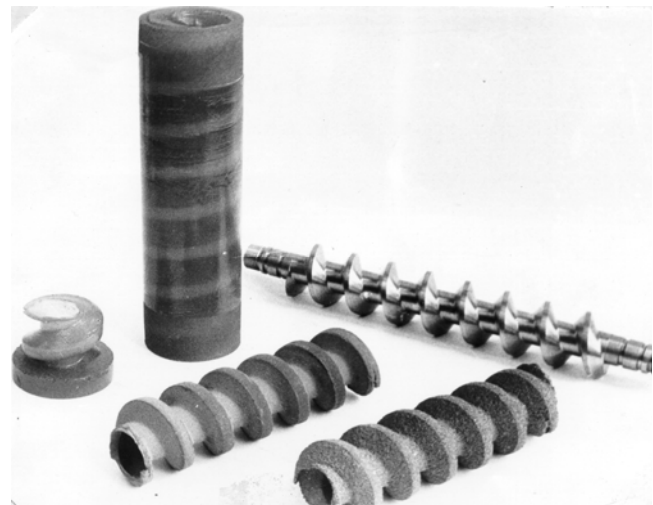


Рис.4. Гвинтові фільтри і форма для їх отримання

Одним з шляхів збільшення площі робочої поверхні ППМ є формування ребристої бічної поверхні, оскільки саме така трансформація забезпечує ефективніше використання виробів. Початкові дані при проектуванні ребристих ППМ слід задавати з урахуванням досвіду розробки технології і устаткування для радіального пресування. Так, не дивлячись на те, що коефіцієнт Пуассона матеріалу еластичного передавального середовища (зокрема, поліуретану) наближається до 0,5, існують обмеження за формою і мінімальною товщиною елементів еластичних форм для пресування. Тому в число початкових даних повинні входити такі показники, як мінімальна відстань між сусідніми зубами, радіуси переходів між поверхнями, максимальна висота зубів залежно від розмірів пресування, тобто параметри, що визначають технологічність і принципову можливість виготовлення конкретного виробу.

Розглянемо послідовність оптимізації розмірів виробу з перерізом (рис.5). Початковими параметрами є: B - товщина стінки; L_s - довжина внутрішньої дуги ребра; D_u і D_s - дотичні до зовнішнього і внутрішнього діаметрів фільтру відповідно; φ_1 - мінімальний кут нахилу бічної сторони ребра.

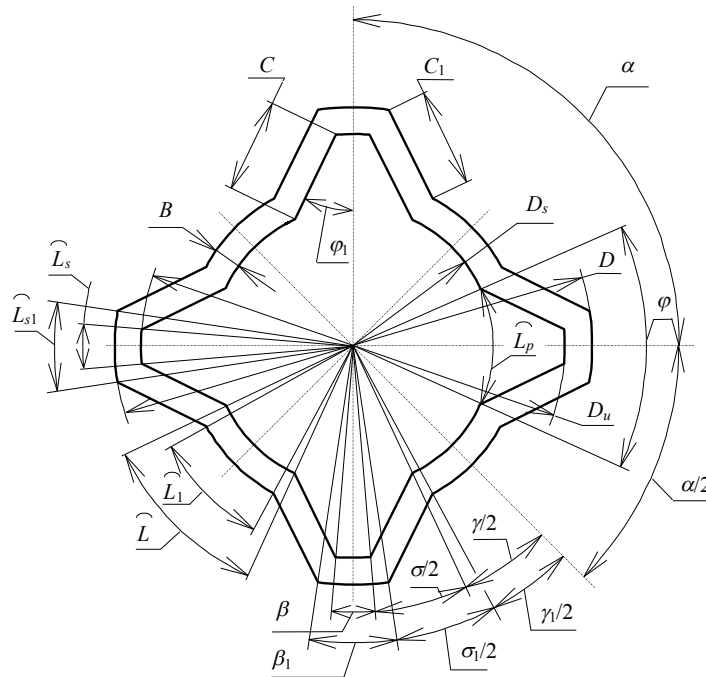


Рис.5 Переріз виробу з ребристою бічною поверхнею (варіант I)

Прийmemo наступний порядок розрахунку:

- обчислення довжини дуг L_1 , L , L_p і кутів α , φ , β усередині фільтру;
- визначення попередніх (розрахункових) значень кута α (позначається як (α_p) і розрахункової кількості зубів z_p ;
- уточнення кількості зубів шляхом відкидання дробової частини z_p ;
- розрахунок кута α , кута σ та довжини бічної сторони ребра c усередині фільтру;
- визначення загальної довжини периметра усередині фільтру:

$$L_0 = (L + L_s + 2c)z; \quad (1)$$

- розрахунок коефіцієнта збільшення площі поверхні усередині фільтру по відношенню до гладкого циліндра:

$$K_s = \frac{L_0}{\pi D_u}, \quad (2)$$

- обчислення кутів β_1 , γ_1 , σ_1 , довжини дуги L_{s1} і довжини бічної сторони ребра зовні фільтру c_1 , встановлення загальної довжини периметра із зовнішнього боку фільтру:

$$L_{01} = (L_1 + L_{s1} + 2c_1)z, \quad (3)$$

- визначення коефіцієнта збільшення площі поверхні зі зовнішнього боку фільтру:

$$K_{s1} = \frac{L_{01}}{\pi(D_u + 2B)}; \tag{4}$$

– обчислення середнього значення коефіцієнта збільшення поверхні:

$$K = (K_s + K_{s1}) / 2.$$

Розглянемо залежність коефіцієнта K від відношення $K_D = D_s / D_u$ для фільтру з параметрами: $\varphi_1 = 5^\circ$, $B = 3$ мм, $D_u = 74$ мм при змінній кількості зубів (рис.6). Переривчастий характер представленої залежності пояснюється округленням в меншу сторону задалегідь встановлених значень. За даною залежністю можна визначити оптимальні значення K_D і z . Існує прийнятний діапазон співвідношень внутрішніх і зовнішніх діаметрів ППМ з точки зору максимально можливого збільшення їх поверхні з урахуванням прийнятих технологічних обмежень. Кількість зубів на виробках доцільно приймати парним, що спрощує їх виготовлення.

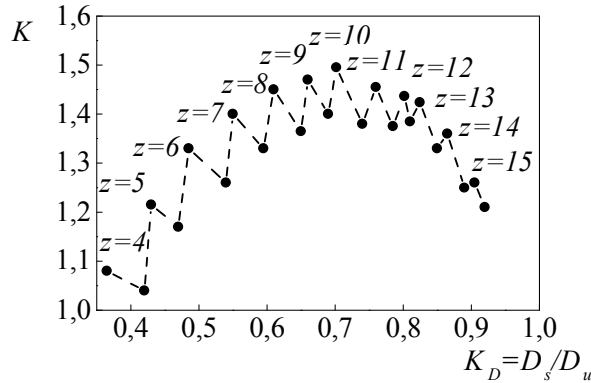


Рис.6 Залежність коефіцієнта K від відношення $K_D = D_s / D_u$ (варіант I)

Збільшити робочу поверхню фільтру ще можна шляхом закручування його ребер у вигляді гвинта. Проте при цьому зменшується довжина усіх дуг, обмежуються мінімальні технологічні розміри дуг L_s , L_{s1} . Тому перехід на гвинтову поверхню ребер у ряді випадків недоцільний, оскільки, з одного боку, такий прийом розширює площу робочої поверхні за рахунок збільшення довжини ребер, а з іншого боку, технологічні обмеження призводять до зменшення числа ребер і пропорційного йому зниження площі робочої поверхні фільтру. Хоча гвинтові ППМ складніші у виготовленні, ніж ребристі, але їх використання може дати хороший ефект у специфічних сферах застосування, наприклад, при тангенціальній фільтрації. Тому повністю унеможливити застосування гвинтових порошкових виробів не варто. Технологія радіального пресування дозволяє отримувати пресування з гвинтовою бічною поверхнею.

З рис.7 слідує, що із збільшенням кутів β , β_1 і, відповідно, довжини дуг L_s , L_{s1} , зростає площа робочої поверхні виробу. Для її розрахунку будуть ті ж самі початкові параметри, за винятком φ_1 і L_s : замість внутрішньої дуги ребра використовується довжина внутрішньої дуги впадини L_1 . Послідовність розрахунку аналогічна попередній.

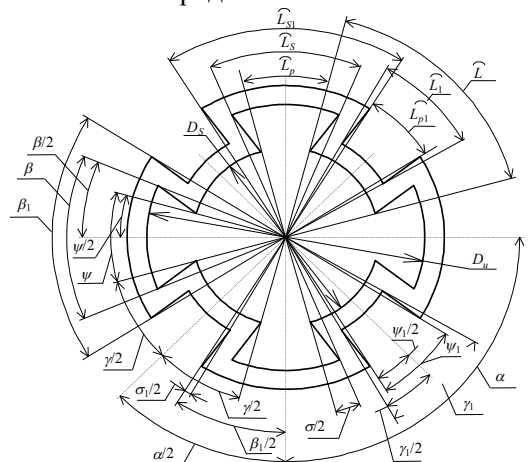


Рис.7 Переріз виробу з ребристою бічною поверхнею (варіант II)

На рис.8 приводиться залежність коефіцієнта K від відношення $K_D = D_s / D_u$ для фільтру з тими ж, що і у попередньому випадку, початковими параметрами. Результати порівняння

представлених на рис.6 і рис.8 залежностей свідчать про те, що в другому випадку коефіцієнт збільшення площі поверхні більший. Проте перший вид виробу технологічніший у виготовленні.

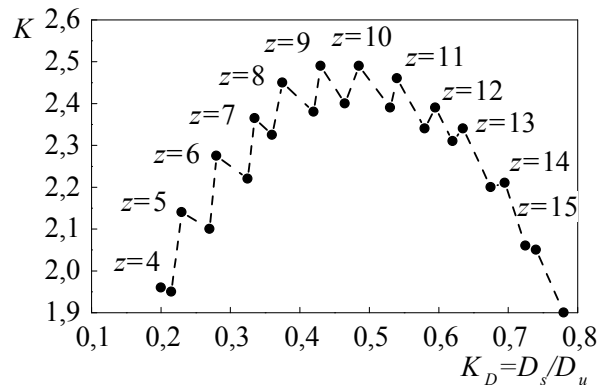


Рис.8 Залежність коефіцієнта K від відношення $K_D = D_s / D_u$ (варіант II)

Висновки.

Підвищення продуктивності даних фільтруючих елементів досягнуто шляхом збільшення робочої площі без зміни їх розмірів, що є досить актуальною задачею в сучасних умовах використання та застосування їх.

Проведені розрахунки і досвід практичного виготовлення та застосування пористих проникних виробів із складною поверхнею показали можливість і доцільність створення таких ППМ. Їх використання значно підвищує ефективність фільтруючих пристроїв, каталізаторів, глушників шуму та інших пристроїв, характеристики яких знаходяться в прямій залежності від площі робочої поверхні виробу [11].

Ребристі фільтри з порошку титану і оснащення для їх пресування представлені рис.9. Коефіцієнт збільшення площі поверхні для виробів $L=100$ мм рівний 1,45, а для виробу $L=300$ мм - 1,4. Для підвищення технологічності у виготовленні пресформи вибрана кількість ребер $z=8$.



Рис.9 Ребристі фільтри з порошку титану і оснащення для їх пресування

Перспективи та шляхи подальшого розвитку.

Для отримання широкого спектру виробів необхідні сучасні технології обробки матеріалів тиском і порошкової металургії. У багатьох випадках вони здатні забезпечити виробництво виробів із спеціальними властивостями, виготовлення яких іншими методами складно або неможливо.

Продукти з ущільнюваних матеріалів (порошкових тощо) - проникливі порошкові вироби, антифрикційні і фрикційні, магнітні, композиційні матеріали, вогнетривкі матеріали, проникливі сітчасті матеріали, конструкційні вироби, тверді сплави - знаходять широке застосування у різних галузях науки і техніки.

Прогрес в порошковій металургії і обробці матеріалів тиском значною мірою визначається вдосконаленням процесів пресування. Вони відносяться до основних етапів виробництва і визначають не лише розміри, форму, асортимент, енергосилові витрати, але й істотно впливають на ряд найважливіших властивостей готового продукту.

Розроблені технології вирішують проблему виробництва виробів складної форми – забезпечують необхідну якість, невеликі затрати праці, безпеку і культуру виробництва, можливість використання у різних галузях виробництва. При цьому можливо керувати якістю виробів, механізувати і автоматизувати процеси пресування, устаткування та інструменту.

Викладені вище теоретичні та експериментальні дослідження стали основою для створення широкої гамми технологічного устаткування, оснащення і технологічних процесів отримання ряду виробів з ущільнюваних матеріалів:

- вогнетривкі керамічні сопла для газового зварювання в захисному середовищі. Особливістю цієї технології було виготовлення методом СР-ІІ внутрішньої різьби М10 з урахуванням усадки після спікання (рис.10);



Рис.10 Вогнетривкі керамічні сопла для газового зварювання в захисному середовищі

- на Республіканському унітарному підприємстві "АДАМАС БГУ" (Республіка Білорусь) проваджено 40 штук термо- і корозійностійких керамічних тиглів, отриманих на основі мулітокорундових композиційних порошкових матеріалів із застосуванням СР-ІІІ (рис.11). Виготовлені керамічні тиглі застосовуються для термообробки діоксиду цирконію.



Рис.11 Керамічні тиглі, отримані на основі мулітокорундових композиційних порошкових матеріалів

- розроблені і впроваджені у Білоруському національному технічному університеті технологія СР-ІІІ керамічних довгомірних тонкостінних мембран (паливний елемент SOFC) у вигляді колб з сферичним дном (товщина стінки 0,4-0,6 мм), що володіють змішаною електронною провідністю і використовуваних для отримання синтез-газу (рис.12).



Рис.12 Керамічна довгомірна тонкостінна мембрана (паливний елемент SOFC) у вигляді колби з сферичним дном (товщина стінки 0,4-0,6 мм)

- розроблено і впроваджено у Луцькому національному технічному університеті технологію отримання градієнтних фільтруючих ППМ з відходів промислового виробництва, зокрема з використанням порошків сталі ШХ15

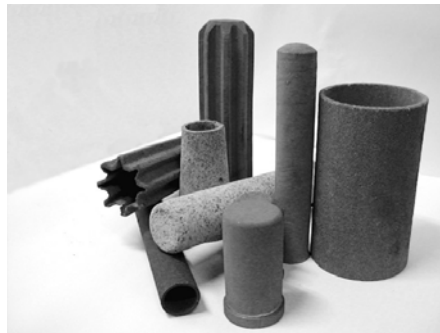


Рис.13 Багатошарові градієнтні фільтруючі пористі порошкові матеріали простої і складної форми на основі порошку ШХ15

1. Пористые проницаемые материалы: справочник / [ред. Белов С.В., Витязь П.А., Шелег В.К. и др.]. – М.: Металлургия, 1987. – 332 с.
2. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении [2-е изд., перераб. и доп.] / Белов С.В./ - М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.
3. Витязь П.А. Пористые порошковые материалы и изделия из них / Витязь П.А., Капцевич В.М., Шелег В.К.– Минск.: Вышэйшая школа, 1987. – 161 с.
4. Григорьев А.К. Порошковая металлургия композиционных материалов / Григорьев А.К., Грохопольский Б.П. – М.: Ленинздат, 1982. – 97 с.
5. Мазюк В.В. Пористые порошковые материалы с анизотропной поровой структурой для фильтрации жидкостей и газов / Мазюк В.В., Пилиневич Л.П., Рак А.Л., Савич В.В., Тумилович М.В. [под ред. Витязя П.А.]. – Минск.: Тонпик, 2005. – 251с.
6. Шибряев Б.Ф. Пористые проницаемые порошковые материалы / Шибряев Б.Ф. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
7. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: справочник / [ред. Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысльский И.Д. и др.] – К.: Наук. думка, 1985. – 624 с.
8. Реут О.П. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов / Реут О.П., Богинский Л.С., Петюшик Е.Е. – Минск: Дэбор, 1998.—258с.
9. Заболотний О.В. Розвиток процесів ізостатичного пресування ущільнювальних порошкових середовищ / Заболотний О.В., Повстяной О.Ю., Рудь В.Д. // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛДТУ, 2001. – Випуск 9. – С. 152-156.
10. Богинский Л.С. Теоретическое обоснование, разработка и внедрение новой технологии радиального прессования длинномерных пористых изделий из металлических порошков: дис. ...доктора. техн. наук: 05.16.06 / Богинский Леонид Стафанович. Минск., 1988. – 504с.
11. Патент України на винахід № 76002 С2 МПК (2006) В01D 39/00. Спосіб отримання фільтрів / О.Ю.Повстяной, В.Д.Рудь,; Заявл.16.06.04; опубл. 15.06.06. Бюл.№6, 2006 р.