

Министерство образования и науки Украины  
Национальное агентство аккредитации Украины  
Национальная металлургическая академия Украины /НМетАУ/  
Технический университет – Варна  
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины  
Институт интегрированных форм обучения НМетАУ /ИНИФН/  
Дніпровський освітній центр  
Харківський торговельно-економічний інститут  
Київського національного торговельно-економічного університету

---

Ministry of Education and Sciences of Ukraine  
National Accreditation Agency of Ukraine  
National Metallurgical Academy of Ukraine /NMetAU/  
Technical University – Varna  
Physico-Technological Institute of Metals and Alloys,  
National Academy of Sciences of Ukraine  
Institute of Integrated Education /InIE/  
Dnipropetrovsk Education Center  
Kharkiv Trade and Economics Institute of Kyiv National University of Trade and Economics

*XII Международная конференция*  
**«Стратегия качества  
в промышленности и образовании»**  
30 мая – 2 июня 2016 г., Варна, Болгария

**МАТЕРИАЛЫ**

*XII International Conference*  
**«Strategy of Quality in Industry and Education»**  
May 30 - June 2 2016, Varna, Bulgaria

**PROCEEDINGS**

Международный научный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus  
Специальный выпуск  
International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus  
Special number

Дніпропетровськ  
Варна  
2016

УДК 378.14  
ББК 74.58  
М34

**Одобрено Ученым советом технического университета - Варна,  
Ученым советом Института интегрированных форм обучения НМетАУ,  
редакционным советом международного научного журнала  
Acta Universitatis Pontica Euxinus  
и редакционным советом конференции**

**Составители: Т.С. Хохлова, В.А. Хохлов, Т.В. Кимстач**

Сборник материалов XII Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании» (30 мая - 2 июня 2016 г., Варна, Болгария) **издан в одном томе**. В сборник вошли 192 докладов (статьи, тезисы), поступивших в оргкомитет и принятых к опубликованию.

В соответствии с соглашением между НМетАУ и Техническим университетом г. Варна сборник публикуется как специальный выпуск международного научного журнала Acta Universitatis Pontica Euxinus.

Proceeding of XII International conference «Strategy of quality in industry and education» (May 30 - June 2, 2016, Varna, Bulgaria) **is issued in one volumes**. The first volume included 192 reports (articles, theses) arrived to organizing committee and accepted for publication.

According to the agreement between NMetAU and Technical university - Varna it is published as the special number of International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus.

**Верстка сборника осуществлена с оригиналов,  
предоставленных авторами в электронном виде.**

**Тексты докладов /статей, тезисов/ и их названия в содержании воспроизведены  
на языке оригинала, в редакции, предоставленной авторами.**

**Ответственность за содержание докладов, а также качество иллюстраций,  
выполненных с отклонениями от требований, несут авторы докладов.**

ISBN 978-966-2752-71-7

©НМетАУ, 2016  
© ІнІФН, 2016  
© ТУ-Варна, 2016  
© Хохлова Т.С., Хохлов В.О.,  
Кімстач Т.В., упорядкування, 2016

## РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ КЕРАМІЧНИХ МЕМБРАН ДЛЯ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК

*Проф., докт. техн. наук Є.В. Штефан, аспірант Б.С. Пащенко  
Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна  
Керівник 41 відділу, докт. техн. наук М.Б. Штерн, ст. наук співроб.,  
докт. техн. наук О.В. Михайлов*

*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, Україна*

Одним із пріоритетних науково-технологічних напрямків розвитку харчової промисловості є впровадження сучасних мембранних технологій, що забезпечують енергетично та екологічно оптимальні варіанти процесів розділення та концентрування різноманітних газорідних середовищ. За даними Європейського мембранного центру обсяг продажів мембранного обладнання і процесів починаючи з 1995 р. перевищив 6 млрд., а приріст обсягу реалізації мембран і мембранної техніки збільшився на 20-30%, при кінцевій вартості продукції не більше 10-15%. При цьому даному типу технологій та процесів в Україні приділено зовсім мало уваги, незважаючи на те, що в сучасний стан економіки та ринку потребує нових енергозберігаючих та економічно-ефективних технологій.

Важливу частину у даній сфері займає розділення та концентрування різноманітних газорідних середовищ шляхом ультрафільтрації із використанням установок з керамічними та полімерними фільтрувальними елементами.

Керамічні мембрани відрізняються особливо високою хімічною і температурною стійкістю. Вони мають багатопорову структуру, що складається з високопористої матриці з нанесеними на поверхню її внутрішніх каналів розділовими шарами [1]. Такі мембранні елементи випускаються різних типів (рис.1):

- одноканальний циліндричний елемент, зовнішній діаметр – 9,5 мм, внутрішній діаметр – 5,0 мм., довжина – 830 мм., розміри пір селективного шару – 0,2-0,4 мкм.; продуктивність по дистильованій воді – 400-1000 л/(м<sup>2</sup>·год);

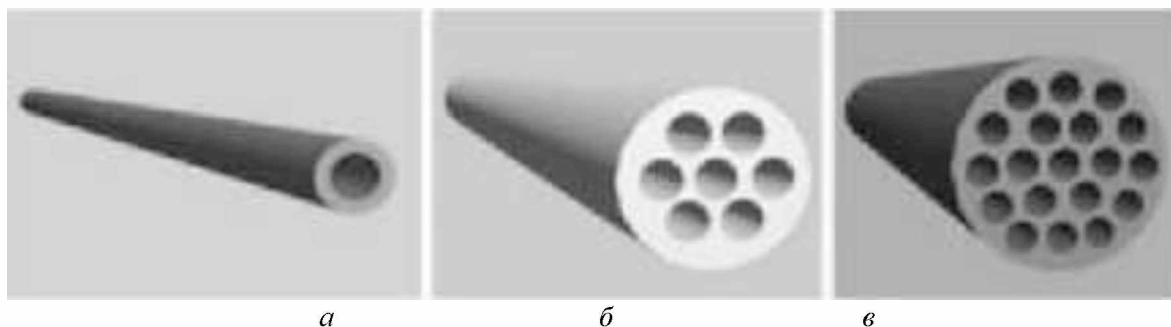
- семиканальний циліндричний елемент. Діаметр – 23,5 мм., діаметр каналів – 3,6- 4,0 мм., довжина – 830 мм., розміри пір селективного шару – 5-7; 1,0-2,5; 0,2-0,5 мкм.; продуктивність по дистильованій воді – 300-900 л/( м<sup>2</sup>·год).

- дев'ятнадцатиканальний шестигранний елемент. Шестигранник – 34 мм., діаметр каналів – 5 мм. (1 шт.), 4,5 мм. (6 шт.), 3,4 4,0 мм. (12 шт.), довжина – 830 мм., розміри пір селективного шару – 5-7; 1,0-2,5; 0,2-0,5 мкм., продуктивність по дистильованій воді – 200-800 л/(м<sup>2</sup>·год).

З появою керамічних мембран процес ультрафільтрації у харчовій промисловості значно полегшився – вони в порівнянні з полімерними забезпечують кращу дезінфекцію установки і легше регенеруються в процесі мийки, мають більш високу продуктивність.

Переваги керамічних мембран перед полімерними:

- висока термічна стійкість, температура експлуатації до 400 °С;
- стійкість в агресивних середовищах з рН 0-13;
- стійкість в ерозійних потоках зі швидкостями 5-10 м/с;
- можливість експлуатації при високих перепадах тиску (10-15 атм) при фільтруванні і зворотному промиванні;
- висока (90-95%) пористість і тріщиностійкість мембран.



**Рис. 1. Зовнішній вигляд керамічних мембран:**

*а* - одноканальний, *б* – семиканальний, *в* – дев'ятнадцатиканальний елементи.

Виробництво керамічних мембран ґрунтується на послідовному отриманні пористої керамічної заготовки з нанесенням на неї тонкого розділового шару, який відрізняється мінімальними розмірами диспергованих частинок. Для утворення пор розміром 0,05 мкм. частинки повинні бути не менше 0,1 мкм. Після нанесення шару шляхом фільтрації проводиться остаточний випал виробу.

Як правило, керамічна основа формується шляхом екструзії формувальної маси, в яку введено пластифікатор (масло, гліцерин і т.п.) і вигоряючі добавки (тирса, вугілля, торф тощо). В результаті утворюється твердий пористий керамічний матеріал, частинки якого об'єднані хімічними зв'язками.

Проміжний шар, який заповнює пори підкладки, наноситься шляхом фільтрації суспензії дрібнодисперсного матеріалу [2]. Після формування шару проводиться випалення (рис. 2).

Існують два варіанти нанесення селективних шарів на керамічні трубчасті мембрани:

- нанесення селективного шару на зовнішню поверхню трубчастої підкладки;
- нанесення селективного шару на внутрішню поверхню трубчастої підкладки.

Такі мембрани призначені для роботи в режимі тангенціальної фільтрації, але допускають зворотні промивання фільтратом і чистка висококонцентрованими кислотами і лугами.

Недоліком керамічних мембран є їх мала питома поверхня.

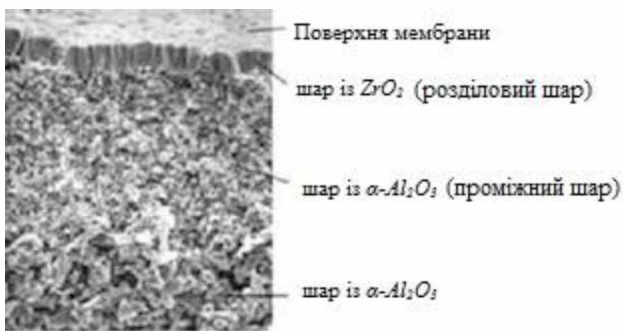


Рис. 2. Структура багатозарової керамічної мембрани

Слід відмітити, що технологічні властивості мембран у значній мірі залежать від процесу виготовлення. Тому потрібно досліджувати і покращувати способи їх виробництва. На нашу думку, одним з перспективних методів виготовлення керамічних фільтрувальних елементів є технологія пресування. Відмітимо, що цей спосіб отримання дисперсних матеріалів достатньо розповсюджений у сучасних технологіях порошкових металів. При цьому властивості пресованих порошків можуть бути різними. Зокрема, пресований виріб може мати пори різного виду і розмірів, що є необхідним при виробництві керамічних мембран.

Розглянемо пресування біпористого порошкового матеріалу. Порошок 4 засипається в порожнину, утворену матрицею 3 і нерухомим нижнім пуансоном 2. Ущільнення матеріалу відбувається під дією верхнього пуансона 1, що рухається вниз (рис. 3). Площини верхнього і нижнього пуансонів мають однаковий нахил відносно горизонтальної площини (кут  $\alpha$ ).

Розглянута схема пресування дозволяє отримувати вироби, які можуть мати різну конфігурацію.

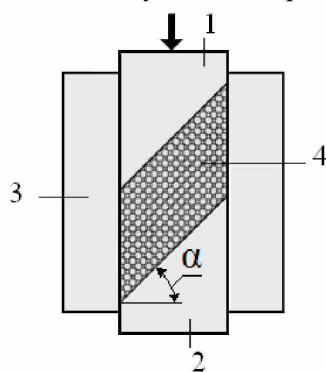
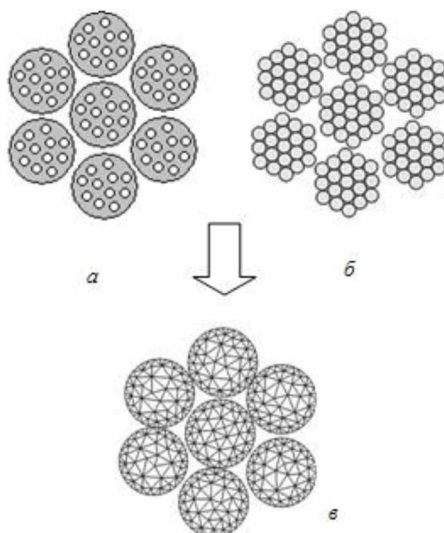


Рис. 3. Схема пресування:  
1 - верхній пуансон;  
2 - нижній пуансон;  
3 - матриця;  
4 - пресування.

Для визначення особливостей деформування пористих частинок в різних зонах пресованих виробів, а також – розподілу таких параметрів матеріалу, як пористість і накопичена пластична деформація, проводиться обчислювальний експеримент.

При моделюванні процесу ущільнення пористого матеріалу використаний метод моделювання, що поєднує континуальний і дискретний підходи. Поведінка порошку досліджується на двох масштабних рівнях. Деформування кожної пористої частинки розглядається в рамках континуального підходу. Використовуються співвідношення теорії пластичності пористого тіла і метод кінцевих елементів. При цьому кожна пориста частка замінюється її кінцево-елементною моделлю. Порошкове тіло в цілому розглядається як сукупність великої кількості таких об'єктів, що контактують один з одним і робочим інструментом при наявності контактної тертя. Застосування такого підходу можливо в зв'язку з тим, що розмір агломератів (~ 100 нм) малий в порівнянні з тілом, що ущільнюється і в той же час великий порівняно з частками нанопорошків.

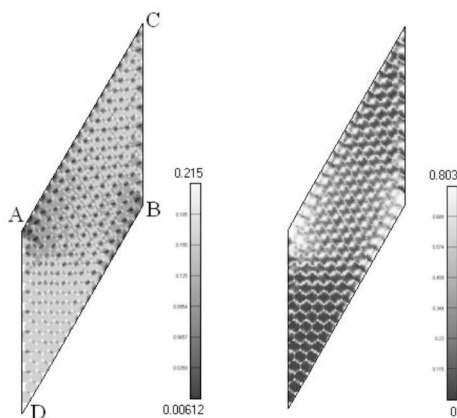


**Рис. 4. Побудова моделі пористого матеріалу:**

а – частинки порошку, що містять пори; б – агломерати наночастинок; в – уявлення частинок у вигляді сукупності контактують кінцево-елементних моделей.

Розподіл внутрішньої пористості частинок і величини накопиченої пластичної деформації матеріалу основи частинок за об'ємом виробу є нерівномірним. Найбільш інтенсивно ущільнення відбувається в області тупих кутів і менш інтенсивно - в області гострих кутів. У верхній частині тіла, що ущільнюється щільність частинок вище, ніж в нижній його частині. Ця різниця зумовлена впливом контактної тертя між порошком і інструментом [3].

Розподіл внутрішньої пористості частинок і величини накопиченої пластичної деформації матеріалу основи частинок за об'ємом виробу наведено на рис.5. Найбільш інтенсивно ущільнення відбувається в області АВ (рис.5) і менш інтенсивно - в області CD. У верхній частині тіла, що ущільнюється щільність частинок вище, ніж в нижній його частині. Ця різниця зумовлена впливом контактної тертя між порошком і інструментом.



**Рис. 5. Розподіл пористості (а) і накопиченої пластичної деформації матеріалу твердої фази частинок (б).**

Наведемо декілька простих схем ультрафільтраційних установок з використанням керамічних мембранних елементів виготовлених методом пресування [4].

Перша конструкція установки ультрафільтрації приведена на рисунку 6. Вона включає відцентровий насос (поз. 1) потужністю 0,68 кВт., максимальним напором 48 м. і витратою 2,5 м<sup>3</sup>/год, трубчасті ультрафільтри (фторопластові та керамічні) - поз. 2, ємності для ретантата (поз. 3) обсягом 15 л. з рубашкою охолодження, що забезпечує регулювання температури середовища, манометрів (поз. 4) з діапазоном вимірювання 0...10 атм., запірнорегулюючої арматури (поз. 5) у вигляді кульових кранів, а також системи трубопроводів. Установка, трубопровід і всі деталі насоса виконані з нержавіючої сталі.

Керамічні ультрафільтри є моноканалом довжиною 0,25 м. з поверхнею фільтрації 0,0055 м<sup>2</sup>. Корпус моноканалу виготовлений з α-оксиду алюмінію. Розмір пор мембрани 100 нм. Згідно паспорту, керамічна підкладка і мембрана хімічно стійкі в діапазоні рН від 0 до 14, витримують температуру робочих середовищ до 1000 °С і тиск до 1 МПа. Дані ультрафільтри призначені для концентрування і очищення золів з розмірами частинок менше 1 мкм.

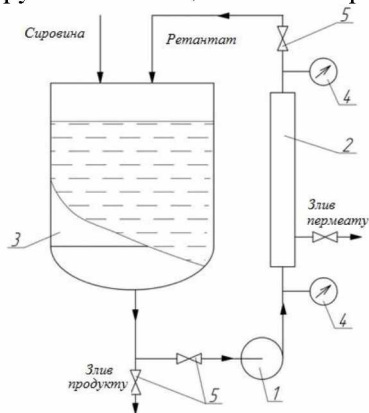


Рис. 6. Блок-схема ультрафільтраційної установки

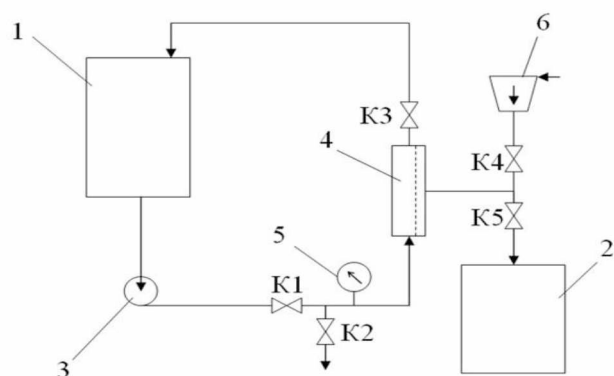


Рис. 7. Схема ультрафільтраційної установки з використанням керамічних трубчастих мембран

Для інтенсифікації процесу фільтрації і зниження поляризації в даній конструкції використана вставка з турбулізуючим ефектом, виконана у вигляді склопластикового стрижня з насадженими циліндричними дисками діаметром 8 мм., яка міститься в каналі фільтру.

Наступна конструкція зображена на рис.7. По напірному трубопроводу з ємності з вихідним розчином (поз. 1) вода насосом (поз. 3) подається в керамічний мембранний фільтр (поз. 4). Тиск в осередку вимірюється манометром (поз. 5). Вентиль (поз. К3) дозволяє вибрати режим роботи апарату - тупиковий або проточний. Фільтрат після очищення збирається в ємність (поз. 2). При регенерації подача повітря в керамічний мембранний фільтр здійснюється за допомогою повітряного компресора (поз. 6). На трубопроводі подачі газу розташований регулюючий вентиль (поз. К4).

У даній статті розглянуті керамічні фільтрувальні елементи, які є одним із переважуючих засобів, що забезпечують високі експлуатаційні показники роботи сучасних баромембранних установок у харчовій промисловості. Описано метод пресування порошкового матеріалу, що є основою для виготовлення даних елементів, їх переваги та недоліки. Розглянуто процес математичного моделювання з урахуванням аспектів виготовлення керамічних мембран. Наведені конструкції обладнання, у яких доцільно використовувати дані елементи. Таким чином, з вище сказаного випливає, що встановлені особливості деформування частинок порошку і закономірності розподілу властивостей можуть бути використані при оптимізації процесів виготовлення пресуванням фільтрувальних елементів розглянутого типу з можливістю послідовного впровадження їх у технологічні процеси харчових виробництв.

#### Посилання

1. Свитцов А. А. Введение в мембранные технологии / А. А. Свитцов. – М. : ДеЛи принт, 2007. – 208 с.
2. Дытнерский Ю. И. Баромембранные процессы. Теория и расчет. / Ю. И. Дытнерский. – М. : Химия, 1986. – 272 с.
3. О.В. Михайлов Моделирование уплотнения бипористых порошковых изделий, ограниченных наклонными к направлению прессования поверхностями / Олег Владимирович Михайлов // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении: Труды Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, серия "Моделирование в материаловедении". – К., 2011. – Выпуск 13. – 90-95 с.
4. Аверина Ю. М. Интенсификация процесса аэрации при удалении ионов железа из воды: дис. канд. техн. наук: 05.17.01 / Аверина Юлия Михайловна. – М., 2015. – 157 с.