

## THE PROMISING MATERIALS FOR THE FILTRATION MEMBRANES OF THE FOOD INDUSTRY

**B. Pashchenko, O. Lytvynenko, E. Shtefan**  
*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

the filter membrane elements, ceramic materials, durability

**Article history:**

Received 10.10.2016  
Received in revised form 15.10.2016  
Accepted 14.11.2016

**Corresponding author:**  
hoykke@gmail.com

---

**ABSTRACT**

The results of experimental research of the wear resistance of ceramic materials for the manufacture of membranes for food and processing industry are present in the article. The authors are considered advantages of ceramic elements in comparing with polymer and also methods of their manufacturing. Experiments for determining of the mechanical stability of the perspective construction materials for the manufacture of the membrane filter elements are conducted. High strength indicators of the technical ceramics which are depending on the content of the base component are proven, especially materials based on aluminum oxide for the manufacturing the membrane filter elements, which providing conditions hygienic design of the technological equipment. It is found that the high strength characteristics are providing a dynamic stability of membrane and long term of their exploitation.

---

## ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ МЕМБРАН ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

**Б.С. Пащенко,**  
**О.А. Литвиненко, д-р техн. наук,**  
**Є.В. Штефан, д-р техн. наук**  
*Національний університет харчових технологій*

*У статті наведено результати експериментальних досліджень зносостійкості керамічних матеріалів для виготовлення мембран для харчової та переробної промисловості. Проведено експерименти з визначення механічної стійкості перспективних конструкційних матеріалів для виготовлення мембранних фільтрувальних елементів. Встановлено, що високі міцнісні характеристики забезпечують динамічну стійкість мембран і тривалий термін їх експлуатації. **Ключові слова:** фільтраційні мембранні елементи, керамічні матеріали, зносостійкість.*

**Постановка проблеми.** Одним із пріоритетних науково-технологічних напрямків розвитку харчової промисловості є впровадження сучасних мембранних технологій, що забезпечує енергетично- та екологічно раціональні варіанти реалізації процесів розділення та концентрування різноманітних рідинних середо-

вищ шляхом фільтрації із використанням установок з мембранними фільтрувальними елементами [1].

У цих мембранних елементах використаний принцип тангенційної (перехресної, динамічної) фільтрації (рис. 1.), при якій потік оброблюваної рідини рухається паралельно фільтрувальній поверхні, а рух крізь саму мембрану відбувається не тільки за рахунок перепаду тисків на мембрані, але й унаслідок броунівського руху частинок і турбулентного переміщення потоку.

У процесі фільтрації рідина протікає крізь канали мембрани, а частинки з розмірами, меншими за розмір пор мембрани, проникають крізь мембрану, утворюючи очищену рідину — пермеат [2].

Частинки, розміри яких більші за розмір пор, відносяться потоком рідини з поверхні мембрани, утворюючи концентрат.

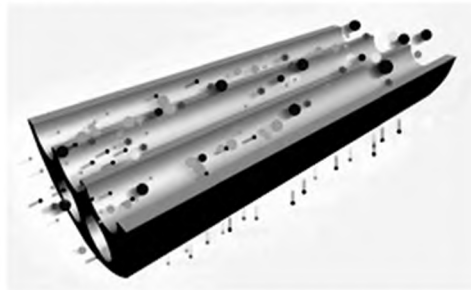


Рис. 1. Тангенційна (перехресна або динамічна) фільтрація крізь мембрану

Особливо ефективною в процесі розділення є тангенційна (перехресна, динамічна) фільтрація, що характеризується високими фільтраційними швидкостями і продуктивністю технологічних установок, але вона вимагає багаторазової циркуляції оброблюваної рідини крізь мембранні фільтраційні елементи (МФЕ).

Однак при реалізації такого типу фільтрації поступово знижується продуктивність МФЕ, що обумовлюється забиванням пор частинками з концентрату. Для відновлення фільтраційної здатності МФЕ використовується регенерація (промивання). Промивання МФЕ проводиться при збільшених швидкостях руху промивної рідиною крізь канали МФЕ, чим забезпечується «вимивання» частинок концентрату з пор і їх видалення з каналу МФЕ, можливе використання «зворотного» промивання з використанням хімічних розчинів. Унаслідок цього мембрани можуть змінювати як свої фізико-механічні властивості, так і експлуатаційні, зокрема селективність [3—5].

У харчовій і переробній промисловості важливим напрямом є вибір перспективних матеріалів, які є нетоксичними, інерційними до складників харчових продуктів, мийних розчинів тощо. Водночас, вони мають бути стійкими до особливих умов експлуатації та не забруднювати оброблюваний продукт.

Отже, вибір хімічно-стійких експлуатаційно надійних матеріалів для виготовлення МФЕ є актуальним.

**Метою дослідження** є визначення механічної зносостійкості перспективних пористих конструкційних матеріалів для виготовлення МФЕ, що дозволить

спрогнозувати експлуатаційну надійність мембранних елементів для розділення рідкофазних середовищ.

**Матеріали і методи.** Заслугує на увагу використання керамічних матеріалів, в т.ч. на основі оксиду алюмінію ( $Al_2O_3$ ). Вони відзначаються високою твердістю і корозійною стійкістю в різноманітних технологічних середовищах. Наприклад, для харчової промисловості фірма «Сегабар» (Німеччина) виготовляє деталі різноманітного технологічного призначення з практично чистого  $Al_2O_3$ . Їх використання, крім високих технологічних показників, забезпечує високий рівень санітарно-гігієнічного стану обладнання [6]. Завдяки своїм фізико-механічним властивостям кераміка є перспективним конструкційним матеріалом для виготовлення робочих елементів технологічного обладнання, зокрема МФЕ.

У науково-технічній літературі дані про механічну стійкість зазначених матеріалів обмежені або суперечливі.

Встановлено, що в керамічних матеріалах унаслідок механічної дії виникають пружні деформації, які спричиняють виникнення поверхневих тріщин та їх поступове руйнування. Експериментальні дослідження механічного руйнування зразків з керамічних матеріалів показують, що за зносостійкістю вони не поступаються традиційним конструкційним матеріалам. Найбільшу зносостійкість мають керамічні матеріали на основі карбіду бора, дещо меншу — на основі оксиду алюмінію  $Al_2O_3$  [6].

Таким чином, фізико-механічні, хімічні та експлуатаційні властивості технічної кераміки на основі оксиду алюмінію визначаються вмістом  $Al_2O_3$ , співвідношенням фазових складових, домішок і зв'язувальних компонентів, залежністю визначальних кристалічних фаз — мулітової, корундової та склоподібної, розміром, формою й характером розподілу фазових складових, структурою та пористістю зразка (зі збільшенням пористості характеристики міцності зменшуються), величиною і щільністю розподілу пор, їх формою та розміщенням, природою і властивостями й температурою оточуючого середовища.

**Результати досліджень.** Авторами досліджувалась механічна стійкість зразків керамічних матеріалів з різним вмістом оксиду алюмінію, зокрема технічного фарфору (УФ 53) та корундової кераміки (рис. 2.). Інтенсивність зношування визначали за втратою маси зразками ваговим методом.

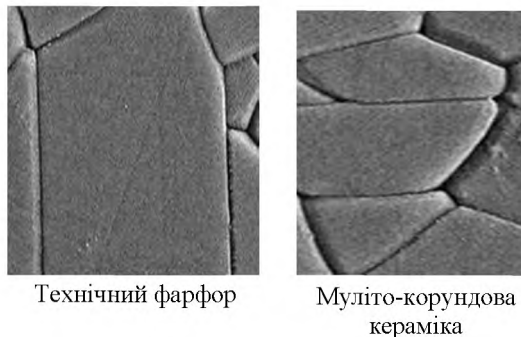


Рис. 2. Мікрофотографія зразка досліджуваної кераміки (x5000)

Механічну зносостійкість технічної кераміки досліджували під дією ультразвукової кавітації на установці з магнітострикційним вібратором УЗДН-2Т, що надає можливість визначити зносостійкість матеріалів у досить «жорстких» умовах. Механізм дії ультразвукової кавітації подібний гідродинамічній, що дає змогу одержати порівняльні результати зносостійкості за нетривалий період. Досліджувані зразки у вигляді циліндрів одержували з попередньо помеленого технічного глинозему, що є сумішшю оксиду алюмінію різних модифікацій. Вихідний матеріал подрібнювали до 15...30 мкм на вібраторній, просіювали, змішували з пластифікатором ПВС (полівініловий спирт), піддавали пресуванню та подальшому спіканню.

Температура спікання дозволила перевести глинозем в  $\alpha$ -форму, внаслідок чого відбулась його усадка та збільшився вміст дрібних складових, що підвищує фізико-механічні властивості зразків.

Аналіз одержаних результатів у вигляді залежності швидкості втрати маси зразками за час досліджень (рис. 4, 3) показує, що характер зношування обох зразків при частоті коливань магнітострикційного вібратора 22 кГц має однаковий характер, але загальна втрата маси зразком з технічного фарфору суттєво більша, ніж для зразка з корундової кераміки. Це можна пояснити підвищеним вмістом оксиду алюмінію у зразку з корундової кераміки і показником ударної в'язкості, який можна вважати подібним в'язкості руйнування.

Відомо, що матеріали з слабкими границями зерен, зокрема з підвищеним вмістом склофаз, руйнуються міжзасеренно.

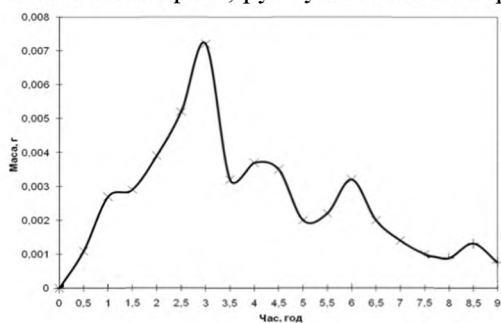


Рис. 3. Залежність швидкості втрати маси зразків з технічного фарфору від часу досліджень

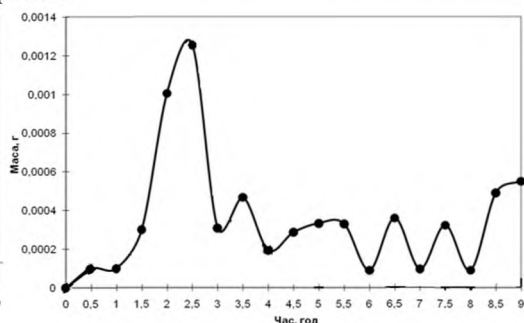


Рис. 4. Залежність швидкості втрати маси зразків з корундової кераміки від часу досліджень

Мікроскопічний аналіз показав, що руйнування зразків здійснюється переважно по склоподібній фазі, яка міститься по границям зерен оксиду алюмінію.

Наведені залежності підтверджують, що характер зношування полягає в поступовому накопиченні енергії напруження на поверхні зразка і стрибкоподібне її вивільнення з руйнуванням матеріалу. Зношувана поверхня поступово оновлюється за рахунок підповерхневих об'ємів, які менше піддаються руйнуванню.

Для зразків з технічного фарфору і корундової кераміки встановлено циклічний характер зміни швидкості зношування протягом тривалості випробувань. У

керамічних матеріалах виникають дефекти структури — пори, тріщини, що визначається складом і технологією їх виготовлення. Зокрема, більша частина дефектів, переважно у вигляді мікротріщин, виникає саме під час спікання та подальшого охолодження зразків. Ці мікротріщини будуть збільшуватись навіть при незначних навантаженнях і за теорією А. Гриффітса їх наявність як на зовнішній поверхні, так і в середині зразка сприяє накопиченню концентрацій напружень, що призводить до збільшення розмірів тріщин і подальшого руйнування зразка.

Крім того, керамічні мембрани відрізняються високою хімічною і температурною стійкістю. Вони мають багатошарову структуру, що складається з високопористої матриці з нанесеними на її поверхню внутрішніми каналами у вигляді розділювальних шарів. Такі мембранні елементи можуть бути у вигляді одно- та багатоканальних циліндричних елементів і застосовуються для мікрофільтрації та ультрафільтрації середовищ з розмірами часточок від 0,5 до 0,01 мкм.

Керамічні мембрани полегшують умови реалізації процесу фільтрації. Крім того, вони порівняно з полімерними, забезпечують краще безрозбірне миття установок, більш якісно регенеруються в процесі мийки, мають більш високу продуктивність.

Перевагами керамічних мембран є приблизно однакові розміри пор; високий коефіцієнт пористості; висока продуктивність; можливість відновлення фільтраційних властивостей при регенерації мембрани, в тому числі способом зворотного промивання; можливість багаторазової стерилізації паром або хімічними реагентами; можливість фільтрування високов'язких середовищ; висока температура експлуатації до 400 °С; стійкість в агресивних середовищах і в ерозійних потоках зі швидкостями 5—10 м/с; можливість експлуатації при високих перепадах тиску (1—1,5 МПа) при фільтруванні і зворотному промиванні; висока (90—95%) пористість і тріщиностійкість [7].

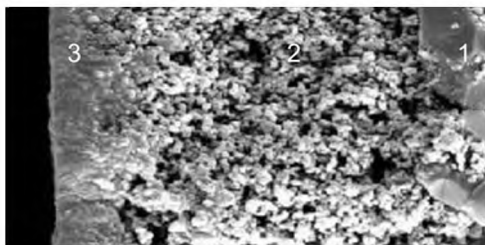
Виробництво керамічних мембран ґрунтується на послідовному отриманні пористої керамічної заготовки з нанесенням на неї тонкого розділювального шару, який відрізняється мінімальними розмірами не менше 0,1 мкм (диспергованих частинок) для утворення пор розміром до 0,05 мкм.

Керамічна основа формується шляхом екструзії формувальної маси, в яку введено пластифікатор (масло, гліцерин тощо) і випалювані добавки (тирса, вугілля, торф тощо). В результаті утворюється твердий пористий керамічний матеріал, частинки якого сполучені хімічними зв'язками.

Проміжний шар, який заповнює пори заготовки (підкладки), наноситься шляхом фільтрації суспензії дрібнодисперсного матеріалу. Після формування шару проводиться випалювання добавок для утворення пор (рис. 5).

Існують два варіанти нанесення селективних шарів на керамічні трубчасті мембрани: нанесення селективного шару на зовнішню поверхню трубчастої підкладки або нанесення селективного шару на внутрішню поверхню.

Такі мембрани призначені для роботи в режимі тангенційної фільтрації, регенеруються зворотним промиванням фільтратом і очищенням висококонцентрованими кислотами й лугами.



**Рис. 5. Мікрофотографія шарів керамічної мембрани (x2500):**  
1 — фільтруючий; 2 — проміжний; 3 — опорний

Технологічні властивості керамічних мембран суттєво залежать від технології виготовлення й матеріалу, який використовується. На думку авторів, найбільш перспективним методом виготовлення керамічних фільтрувальних елементів є технологія пресування із подальшим спіканням. Відмітимо, що цей спосіб отримання дисперсних матеріалів достатньо розповсюджений у сучасних технологіях виготовлення елементів різноманітного технологічного обладнання. При цьому властивості кінцевого виробу можуть бути різними. Зокрема, регулюючи зусилля пресування, можливо задати для елемента, який виготовляється, різні види і розміри пор, що є необхідним при виробництві керамічних мембран.

Відомо, що керамічні мембранні елементи ефективні при очищенні природної води, обробленні плодоягідних соків у харчовій і переробній промисловості, вилученні амінокислот, цукрів та інших високомолекулярних сполук у фармацевтичній промисловості тощо. Серед перспективних напрямків застосування треба зазначити молочну промисловість, де керамічні мембрани можуть використовуватись при вилученні білків з продуктів переробки сировини. Це підвищить не лише ефективність процесу, але й забезпечить найбільш високі санітарно-гігієнічні вимоги до виробництва.

**Висновки.** Встановлено, що керамічні матеріали на основі оксиду алюмінію для виготовлення мембранних фільтрувальних елементів забезпечують умови гігієнічного проектування технологічного обладнання. Експериментально доведені високі міцності показники технічної кераміки залежно від вмісту базового компонента. Показано, що використання керамічних мембран має широкі перспективи застосування навіть при ускладнених умовах експлуатації.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Опыт использования мембранных технологий для очистки и опреснения воды / [Десятов А.В., Баранов А.Е., Баранов Е.А. и др.]. — М.: Химия, 2008. — 240 с.
2. Змієвський, Ю.Г. Визначення основних характеристик гідрофобної мікрофільтраційної мембрани марки МФФК-3 при мембранній дистиляції / Ю.Г. Змієвський, В.Г. Мирончук, Л.В. Цюпка, Д.Д. Кучерук // Харчова промисловість. — 2010. — № 10. — С. 90—94.
3. Milić, J.K. Ultrafiltration of oil-in-water emulsion by using ceramic membrane: Taguchi experimental design approach / J. K. Milić, I. Petričić, A. Goršek, M. Simonić // Central European Journal of Chemistry. — 2014. — № 12(2). — P. 242—249.
4. Jedidi, I. New ceramic microfiltration membranes from mineral coal fly ash / I. Jedidi, S. Saidi, S. Khmakem // Arabian Journal of Chemistry. — 2009. — № 2. — P. 31—39.

5. Брык, М.Т. Энциклопедия мембран / М.Т. Брык. — К.: Киево-Могилянская академия, 2005. — 660 с.

6. Nekoz, A. Predicting of durability of ceramic working cavitation devices / A. Nekoz, A. Litvinenko, S. Jastreba // *British Journal of Science, Education and Culture*. — 2014. — № 2(6). — Vol. I. — 174—178.

7. Pérez-Gálvez, R. Operation and cleaning of ceramic membranes for the filtration of fish press liquor / R. Pérez-Gálvez, E. M. Guadix, J. P. Bergé // *Journal of Membrane Science*. — 2011. — Vol. 384(1—2). — 142—148.

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Б.С. Пашенко, А.А. Литвиненко, Є.В. Штефан**  
*Национальный университет пищевых технологий*

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований износостойкости керамических материалов для изготовления мембран для пищевой и перерабатывающей промышленности. Проведены эксперименты по определению механической устойчивости перспективных конструкционных материалов для изготовления мембранных фильтрующих элементов. Установлено, что высокие прочностные характеристики обеспечивают динамическую устойчивость мембран и длительный срок их эксплуатации.*

**Ключевые слова:** *фильтрационные мембранные элементы, керамические материалы, износостойкость.*