

**В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, В.В. Свяцький, канд. техн. наук,  
Л.П. Свяцька, інж.**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Волокнові елементи для пористих систем фільтрації агресивних середовищ

Наведено результати експериментальних випробувань волокнових свинцевих елементів для фільтрації агресивних середовищ. Висвітлені переваги таких фільтрів над металокерамічними (порошковими) фільтрами.

**свинець, фільтр, волокно, повсть, випробування, електроліт, агресивне середовище**

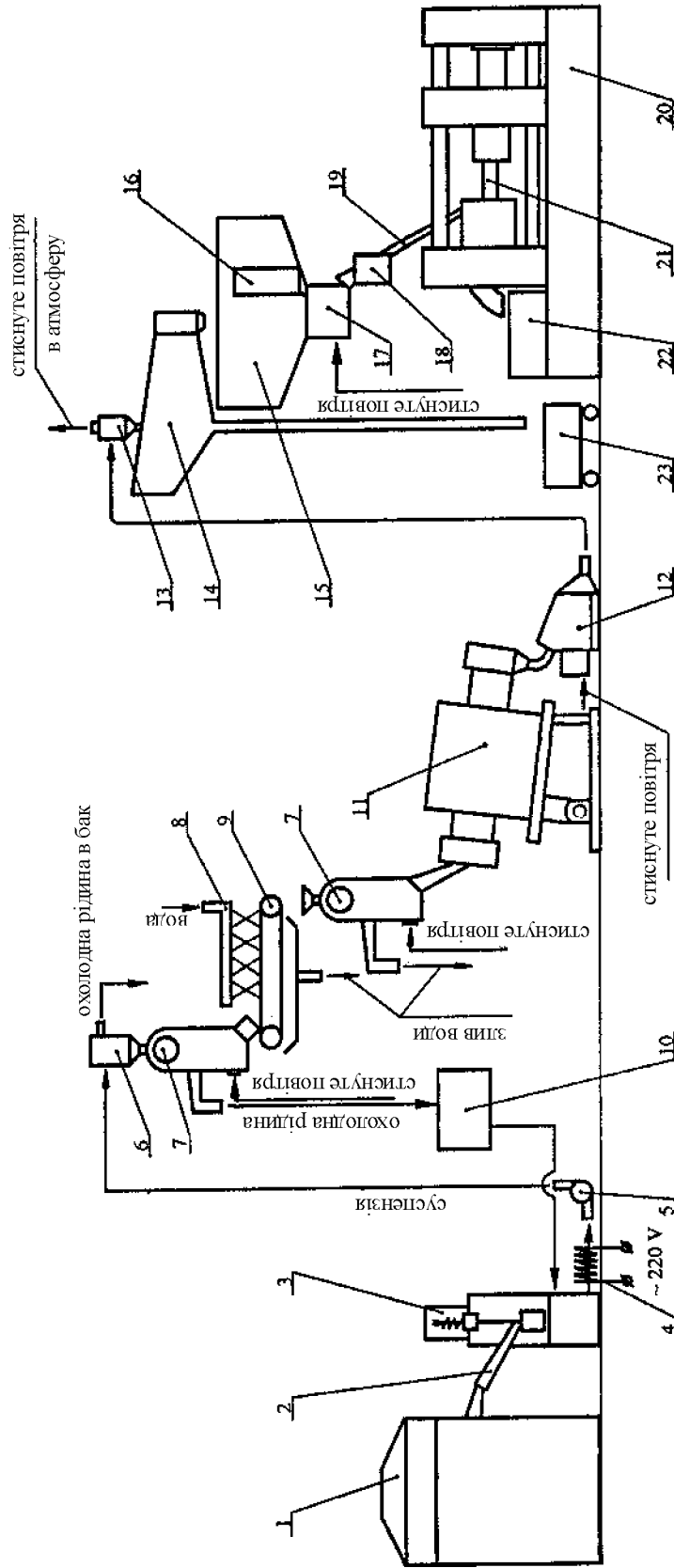
Для підвищення корозійної стійкості, зносостійкості і поліпшення декоративного виду виробів в технологічних циклах більшості машинобудівних, металообробних, приладобудівних, ремонтних і інших підприємств широко застосовують гальванічні покриття. В процесі електролітичного нанесення гальванічних покриттів водними розчинами або розчинами розплавлених солей неминуче утворюються забруднені суспензіями водні розчини, які не можна скидати без очищення у водоймища і каналізацію або запускати їх в технологічний обіг. Подібні агресивні водні розчини застосовуються не тільки в гальванічних виробництвах, але і в кольоровій металургії, нафтохімічній, хімічній, медичній, харчовій галузях промисловості і у виробництві добрив.

У всіх випадках методів обробки відпрацьованих агресивних водних розчинів обов'язковою є фільтрація. Наприклад, при виділенні цінних компонентів (кольорових металів) методом вилужнювання термообробленого гальванічного шламу з використанням сірчаної кислоти в технологічній лінії застосовуються вісім фільтрів різної пористості. Відмічено, що основні труднощі при фільтрації пульпи пов'язані з низькою стійкістю фільтруючих елементів [1].

В даний час для очищення відпрацьованих агресивних розчинів найбільш переважними є металоволокнові фільтри. Зігнута система капілярів, хаотичне переплетення волокон і їхнє механічне зчеплення, рівномірний опір крізьному потоку і можливість отримання пористості до 95% і, отже, досягнення великої робочої площі визначають їхню однозначну перевагу по відношенню до інших фільтруючих матеріалів. Проте складність отримання металевих волокон за допомогою традиційних технологій, наприклад, волочінням, екструзією розплаву, обмежують застосування пористих волокнових матеріалів в промисловості.

З метою усунення цих недоліків в Кіровоградському національному технічному університеті був розроблений принципово новий, дешевий і ефективний технологічний процес отримання металевих волокон методом пресування литих гранул. Суть способу полягає в тому, що гранули змішують з ізолюючим порошком, наприклад, графітом, і суміш піддають екструзії. Порошок, запобігаючи схоплюванню гранул при пресуванні, дозволяє деформуватися кожній гранулі окремо, внаслідок чого гранули витягуються у вигляді достатньо ізольованих ниток.

Технологічний процес отримання свинцевих волокон [2] складається з приготування розплаву, грануляції розплавленого металу, миття гранул, сушки гранул, класифікації, змішування, пресування, затарювання і контролю якості продукції (див. рис. 1).



1 – піч для приготування розплаву; 2 – жолоб; 3 – гранулятор; 4 – електродвигун; 5 – відцентровий насос; 6 – відстійник; 7 – центрифуга; 8 – мийниця; 9 – контейнер; 10 – бак для охолодної рідини; 11 – сушильна барабанна піч; 12 – пневматичний насос; 13 – циклон; 14 – сортувальне решето; 15 – віробункер для гранул; 16 – віробункер для поверхнево-активних речовин; 17 – змішувач інжекційний; 18 – дозатор; 19 – трубопровід; 20 – гідравлічний горизонтальний прес; 21 – оснащення; 22 – тара; 23 – візок для відходів

Рисунок 1 – Апаратурно-технологічна схема отримання свинцевих волокон.

Для приготування розплаву сировиною слугує свинець марки С2 ГОСТ 3778-77Е. Подача розплаву з печі здійснюється самопливом по жолобу на гранулятор [3], що забезпечує частоту коливань стакану  $n$  від 2 до 2,5 Гц і амплітуду коливань стакану  $A$  від 3,5 до 4 мм при жорсткому ударі в кінці кожного півперіоду коливання [4]. За охолодну рідину застосовується рідина на основі водного розчину рідкого мила із в'язкістю від  $42500 \cdot 10^{-5}$  до  $43500 \cdot 10^{-5}$  Па·с при температурі 35 °С.

Миття гранул виконується в дві стадії: при центрифугуванні і при остаточній промивці на конвеєрі. Транспортування гранул від гранулятора здійснюється в суспензії насосом відцентрового типу. Між гранулятором і центрифугою передбачається відбір надлишку рідини за допомогою відстійника. Остаточна промивка гранул проводиться струменями води при їхньому русі по конвеєру до центрифуги. Сушка гранул проводиться в барабанній печі, що обертається. Транспортування гранул від печі для сушки до класифікатора проводиться за допомогою стислого повітря по повітропроводу. Для запобігання прориву стислого повітря до класифікатора і роздування гранул, в кінці повітропроводу застосовується циклон.

За класифікатор гранул застосовується сортувальне решето із сітками №4 і №5 по ГОСТ 3584-73. Гранули фракції (+4) – (–5) мм по похилому жолобу поступають в пристрій для змішування (інжекційний змішувач) з поверхнево-активною речовиною (ПАР) у вигляді дрібнодисперсного порошку [5]. Після змішувача гранули поступають у вібробункер. Для засипки гранул в контейнер застосовується дозуючий пристрій, при цьому по трубопроводу гранули подаються безпосередньо до контейнера для пресування.

Режими пресування гранул на волокна [6 – 9]: коефіцієнт витяжки  $\mu$  – від 80 до 85, висота робочого поясочка матриці  $h$  не більше 1 мм, розділове середовище – суспензія графіт-гліцерин (з розрахунку від  $2 \cdot 10^{-3}$  до  $3 \cdot 10^{-3}$  кг графіту і від  $0,4 \cdot 10^{-3}$  до  $0,6 \cdot 10^{-3}$  л гліцерину на 1 кг насипної маси гранул).

Для подальшого повстювання волокна нарізували завдовжки від 20 до 30 мм. Методом осадження в гліцерині в контейнері з неіржавіючої сталі діаметром 100 мм нарізані волокна формували у вигляді металевої повсті. Після промивки гасом і сушки повсть в контейнері піддавали ущільненню до заданої пористості (20; 30; 40; 50 і 60%).

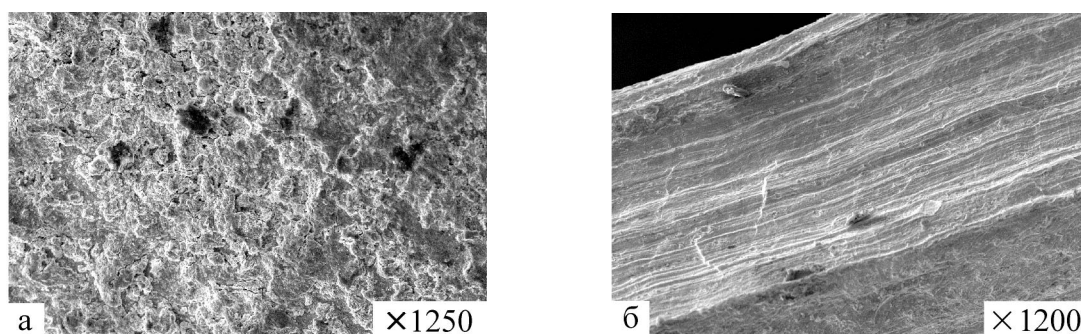


Рисунок 2 – Фрактографії поверхонь: а – литої гранули; б – волокна, отриманого при  $\mu = 81$

Аналіз виконаних металографічних досліджень [10, 11] показав, що екструдовані волокна мають шорстку розвинену поверхню і нерівноважну структуру (див. рис. 2), добре зчіплюються між собою. При цьому кожне волокно залежно від його розмірів і щільності повсті може мати до ста зв'язків із сусідніми волокнами, що в десятки разів перевищує кількість міжчасткових зв'язків у вісесиметричних частинок пористих фільтрів, які виготовлені методами порошкової металургії, навіть при їхньому ідеальному укладанні.

При дослідженні характеру розподілу пор і їхніх розмірів волокнові зразки просочували сплавом Вуда (50% Ві, 25% Рь, 13% Су, 12% Сd), робили пошарові шліфи і прорახовували зрізи. Спеціальні випробування проводили згідно ГОСТ 25277-82 на фільтрувальних установках ПО „Прогрес” (м. Бердичів), що спеціалізується на виробництві фільтрів різного призначення (ПМЖ, ПТЖ, ПТВ, ПТК); стендові випробування виконували згідно вимогам ГОСТ 2.601-95; вимірювання параметрів – по ГОСТ 17108-86. Перевірку міцності волокнових пористих зразків при максимальному перепаді тиску електроліту (0,5 МПа) визначали по ГОСТ 26070-83. Для перевірки міцності металоволокнових фільтрів при аксіальному стискаючому навантаженні використовували методику стиснення між притискними шайбами по ГОСТ 15.001-88. Пристрій для прикладання аксіального навантаження імітував умови роботи фільтроелемента. За номінальне навантаження приймали максимальну силу, яка не приводила до утворення залишкової деформації і порушення фільтруючих властивостей і видимих порушень пористої структури. Всі випробування проводили на зразках в кількості не менше трьох.

Випробування фільтрів із забрудненим відпрацьованим електролітом проводили з урахуванням вимог до фільтрації: у  $10^{-6}$  м<sup>3</sup> відпрацьованого електроліту повинне бути не більше 15 частинок забруднювача розміром, що перевищує  $10^{-12}$  м. За забруднений електроліт використовували відпрацьований електроліт для сумісного знежирення і травлення. Температура випробування складала  $(40 \pm 2)$  °С. Вміст суспензії у відпрацьованому електроліті перевищував 50 г/л.

При випробуваннях свинцевих фільтроелементів визначали характеристики структурних параметрів, гідро- і повітропроникності і механічних властивостей.

При випробуванні фільтроелементів на пористість відмічено, що при загальній пористості більше 20% практично тупикової і закритої пористості в них немає. Відмічено, що розмір пор у великій мірі залежить від щільності фільтроелементів (табл. 1). Результати розрахунку коефіцієнта звивистості пор  $\beta_{\text{пор}}$  і експериментальна перевірка показали, що при пористості від 0,20 до 0,60 коефіцієнт  $\beta_{\text{пор}}$  дорівнював від 1 до 1,5.

При випробуванні на проникність мали на увазі, що вона характеризує властивість пористого матеріалу пропускати через себе рідину під дією прикладеного градієнта тиску і визначається відношенням об'єму фільтрованої рідини до площі поверхні фільтруючої перегородки певної товщини і тривалості фільтрації при фіксованому перепаді тиску.

На рис. 3 і рис. 4 наведені результати випробувань повітро- і вологопроникності фільтроелементів різної пористості. Аналіз експериментальних даних показує, що проникність збільшується у міру зменшення щільності фільтрів, перепаду тиску і розмірів пор.

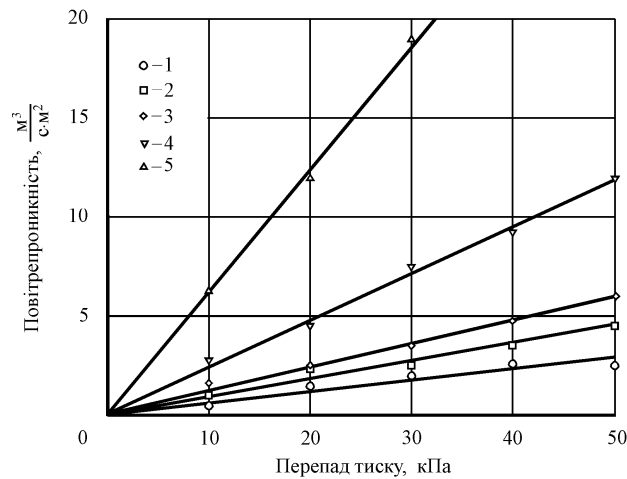
Таблиця 1 – Розмір пор залежно від щільності фільтроелементів

Пористість, %	Розмір пор, мкм
20	від 7 до 10
30	від 10 до 18
40	від 18 до 36
50	від 40 до 65
60	від 70 до 90

Регенерація фільтроелементів проводилася зворотним продуванням повітрям при тиску, що є більшим на 0,05 МПа за тиск фільтрації. Тривалість зворотного продування не перевищувала двох-трьох секунд, витрата повітря становила від 30 до 50 м<sup>3</sup>/кг. Інтервал між продуваннями складав від п'яти до шести хвилин. Результати регенерації показали, що після трьох-чотирьох продувань повітрям проникність фільтроелементів досягає початкового значення.

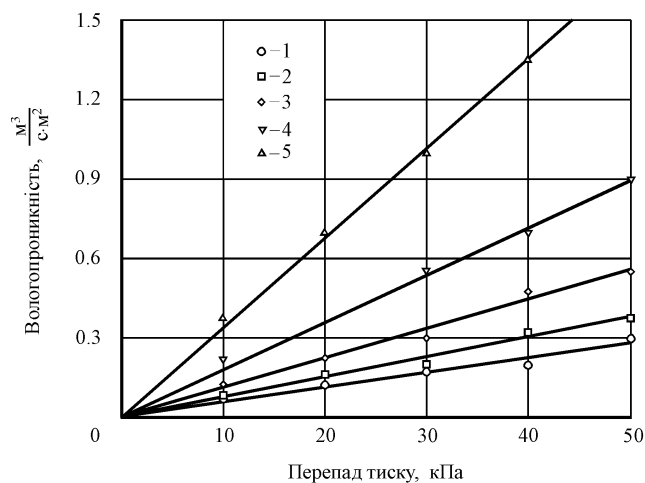
Результати дослідження показали, що дослідні фільтроелементи зі свинцевих волокон пористістю від 20% до 60% мали такі показники:

- коефіцієнт проникності, м<sup>2</sup> . . . . . від 10<sup>-9</sup> до 10<sup>-7</sup>;
- максимальний розмір пор, мкм . . . . . до 1000;
- середній розмір пір, мкм . . . . . від 10 до 300;
- питома поверхня, м<sup>2</sup>/г . . . . . від 0,01 до 800;
- розподіл локальної проникності  
(коефіцієнт варіації) . . . . . від 0 до 0,5;
- капілярний потенціал, м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup> . . . . . до 8;
- межа міцності при поперечному вигині, МПа . . . . . від 30 до 60.



Товщина фільтроелемента 10 мм.  
Пористість: 1 – 20%; 2 – 30%; 3 – 40%; 4 – 50%; 5 – 60%

Рисунок 3 – Повітропроникність фільтроелементів із свинцевих волокон



Товщина фільтроелемента 12 мм.  
Пористість: 1 – 20%; 2 – 30%; 3 – 40%; 4 – 50%; 5 – 60%

Рисунок 4 – Вологопроникність фільтроелементів із свинцевих волокон

В цілому можна зробити висновок, що свинцеві волокнисті фільтроелементи володіють низкою переваг в порівнянні з металокерамічними (порошковими) фільтрами. Вони є більш проникні, стійкі проти корозії, володіють високою пружністю, допускають легку регенерацію. Високий коефіцієнт проникності при мінімальних розмірах пор сприяє підвищенню терміну служби фільтрів, зменшенню їхніх габаритів і маси, дає можливість одержувати якісний фільтрат.

Волокнисті матеріали володіють достатньо високою технологічністю. Залежно від області застосування, експлуатаційних і конструкційних вимог волокнисті фільтроелементи можуть бути виготовлені у вигляді дисків, пластин, циліндрів, стаканів, конусів. Крім того, дані випробування на повітропроникність дають можливість стверджувати, що фільтроелементи з волокон свинцю можуть ефективно використовуватися не тільки для фільтрації агресивних розчинів, але і очищення газів в технологічних циклах хімічного, нафтохімічного, металургійного виробництва.

## Список літератури

1. Оборудование цехов электрохимических покрытий: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1987. – 210 с.
2. Шепельский Н.В., Пукалов В.В., Свяцкий В.В. Разработка технического задания на проектирование опытно-промышленной установки непрерывного получения металлических волокон // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. науково-техн. зб. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – Вип. 31. – С. 141 – 145.
3. Патент №17942 (Україна), МКВ 6 В 22 F 9/08. Пристрій для отримання металевих гранул / М.В. Шепельський, В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, В.В. Свяцький (Україна). – №96104104; Заявл. 29.10.96; Опубл. 03.06.97, Промислова власність. – 1997. – №5.
4. Шепельский Н.В., Пукалов В.В., Свяцкий В.В. Оптимизация режимов литья гранул // Зб. наук. праць КІСМ. – Кіровоград: КІСМ. – 1998. – Вип. 4. – С. 208 – 212.
5. Свяцкий В.В. Особенности технологии получения металлических волокон прессованием литых гранул // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: Збірн. науков. праць ДДМА. – Краматорськ-Хмельницький, 2002. – С. 242 – 248.
6. Шепельский Н.В., Пукалов В.В., Свяцкий В.В. Энергосиловые условия прессования волокон // Зб. наук. праць КІСМ. – Кіровоград: КІСМ. – 1998. – Вип. 4. – С. 213 – 217.
7. Патент №22770 (Україна), МКВ 6 В 22 F 3/20. Пристрій для одержання металевих волокон / М.В. Шепельський, В.П. Пукалов, В.В. Пукалов, В.В. Свяцький (Україна). – №96051780; Заявл. 06.05.96; Опубл. 30.10.98, Промислова власність. – 1998. – №4.
8. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Влияние геометрии очага деформации на процесс получения разобщенных волокон при прессовании литых гранул // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: Збірн. наук. праць ДДМА. – Краматорськ-Слов'янськ, 2000. – С. 242 – 248.
9. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Оптимизация профиля прессового инструмента при прессовании металлических волокон // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тематичн. зб. наук. праць ДДМА. – Краматорськ, 2004. – С. 212 – 216.
10. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Механизм разрушения по границам раздела деформируемых частиц при прессовании // Перспективні технології та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії: Зб. наук. праць ДДМА. – Краматорськ: ДДМА, 2000. – С. 38 – 40.
11. Свяцкий В.В., Свяцкая Л.П. Дослідження характеру руйнування поверхні контакту дискретних частинок при зсувних деформаціях // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць КДТУ. – Кіровоград: КДТУ, 2007. – Вип. 18. – С. 131 – 135.

Приведены результаты экспериментальных испытаний волокновых свинцовых элементов для фильтрации агрессивных сред. Показаны преимущества таких фильтров над металлокерамическими (порошковыми) фильтрами.

The results of experimental tests of lead fiber elements for hostile environment filtration are considered. The advantages of such filters in comparison with metal-ceramic powder filters are presented.