

*Пелик Л. В.,  
д.т.н., проф., завідувач кафедри товарознавства та технології непродовольчих товарів,  
Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

*Пелех Ю. А.,  
к.т.н., доц., доцент кафедри товарознавства та технології непродовольчих товарів, Львівський торговельно-економічний університет, м. Львів*

## ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ МЕТАЛІЗАЦІЇ ТЕКСТИЛЬНИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

***Анотація.** У статті розглянуто проблеми сучасного ринку фільтрувальних матеріалів, зокрема питання їх захисту від електростатичних впливів у процесі експлуатації. В результаті дослідження запропоновано й обґрунтовано низку механізмів, запровадження яких може позитивно вплинути на розвиток фільтрувальної галузі загалом. У роботі проаналізовано способи нейтралізації електростатичних явищ, які виникають у процесі роботи рукавних фільтрів. Виділено позитивний вплив процесу металізації волокон, які використовуються для виробництва фільтрувальних матеріалів. Подальші дослідження будуть спрямовані на пошук шляхів екологізації та оптимізації процесів виготовлення металізованих волокон.*

**Ключові слова:** фільтрувальні матеріали, металізація волокон, процес фільтрування, екологічна безпека.

*Pelyk L. V.,  
Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Commodity Research and Technology of Non-food Products, Lviv University of Trade and Economics, Lviv*

*Pelekh Y. A.,  
Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Commodity Research and Technology of Non-food Products, Lviv University of Trade and Economics, Lviv*

## INNOVATIVE METHODS OF METALIZATION OF TEXTILE FILTERING MATERIALS

***Abstract.** The article presents a number of problems, determining the current state of the market of textile filter materials, particularly the question of their protection against electrostatic effects in the process of operation. As a result of research, a range of approaches that will have a positive impact on the development of the filter industry as a whole is proposed and grounded. The article focuses on finding ways how to neutralize electrostatic phenomena that occurs in the process of functioning of the sleeve filters. Positive influence of the process of fibers metalization, which are used for production of filtering materials, is highlighted. Further research should focus on finding ways of ecologization and optimization of metallized fibers production processes.*

**Key words:** filter materials, fiber metalization process, filtering process, environmental safety.

**Постановка проблеми.** На практиці волокна фільтрувальних матеріалів доволі часто мають покриття, яке виконує різні функції: захист поверхні волокон від електростатичного, хімічного чи теплового впливу потоку пило-газової суміші під час експлуатації; усунення поверхневих мікрodefektів; підвищення механічної стійкості фільтрів.

У процесі фільтрування виникає електростатична сила, яка полягає у притягуванні однієї частинки до іншої чи до поверхні, що відбувається за наявності зарядів будь-якого знака на фільтрувальних

матеріалах або частинках чи різнойменних зарядів одночасно на тих і інших. Електростатичний ефект для дрібних аерозольних часточок значно перевищує ефект зчеплення. Заряджені частинки можуть індукувати заряд у незарядженому фільтрувальному середовищі. Виникнення великої різниці потенціалів між тілами внаслідок статичної електризації може призвести до пробую повітряного прошарку між ними та появи іскрового розряду, що може стати причиною займання або вибуху сумішей парів, газів, пилу з повітрям.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Експериментально доведено, що зазвичай заряд частинок менше впливає на ефективність очищення від пилу, ніж заряд волокон. Низкою авторів, зокрема Г. М. Алієвим, О. Є. Гавриловою, Л. А. Мірашкіною, була висловлена думка про те, що взаємодія електричних зарядів частинок і волокон протилежної полярності може сприяти утриманню частинок на волокнах і тим самим утруднювати процес регенерації. Вивчення впливу електричного поля показало, що на процес фільтрування впливає його полярність і попереднє зарядження часточок, за якого середня швидкість гідравлічного опору під час фільтрування знижувалася у 15 разів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження способів захисту фільтрувальних текстильних матеріалів від електростатичних явищ у процесі їх експлуатації в промислових установках.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Серед відомих способів модифікації поверхонь фільтрувальних текстильних матеріалів з метою надання їм підвищених термозахисних властивостей перспективною є їх металізація. З широкого спектра способів отримання металізованих покриттів на фільтрувальних матеріалах використанню в умовах комплексної дії високотемпературних факторів ливарних виробництв відповідають лише деякі.

Для видалення зарядів статичної електрики фільтрувальні матеріали металізують напиленням або просоченням і виготовляють із додаванням волокон зі струмопровідних матеріалів у кількості 5–10 % загальної маси волокна [1]. Задля збереження рівня ефективності фільтрування та регенерації фільтрів волокна чи усю поверхню матеріалу металізують шляхом нанесення тонких шарів нікелю, заліза, молібдену, алюмінію, міді чи інших металів та деяких сплавів. Наявність нікелю сприяє підвищенню механічної і хімічної стійкості фільтрувальних матеріалів. Додатки молібдену, хрому і кобальту дають можливість виготовляти фільтрувальні матеріали, які добре зберігають властивості за тривалої дії високих температур. На основі титану і алюмінієвих сплавів виробляються надміцні фільтрувальні матеріали. Металевий шар істотно зменшує питомий поверхневий електричний опір, тому вони не накопичують електричний заряд.

Окрім того, металізація високомодульних волокон уповільнює деструктивні процеси під час тертя та експлуатації фільтрувальних матеріалів, водночас термоокисні процеси в самих волокнах уповільнюються. Залежність зносостійкості від ряду покривних металів набуває такого вигляду у бік зниження:  $Al > Sn > Pb > Fe > Cu$ , тобто мідь найменше гальмує термоокисні процеси.

Наслідком високої електризації під час експлуатації фільтрувального текстильного матеріалу є його налипання пилу, що знижує фільтрувальні та експлуатаційні властивості фільтру. Крім того, фільтрувальні матеріали, які легко електризуються, швидко забруднюються, спричиняють іскріння.

У порах металотканин утворюється шар, який володіє достатньо великою механічною міцністю у напрямі потоку і практично непроникний для пилу. Під час фільтрації не виникають динамічні пробої шару навіть за відносно високого гідравлічного опору – близько 2500 Па. Регенерувати високотемпературний фільтрувальний елемент важче, ніж звичайний (за температур до 300 °С), оскільки в першому випадку пиловий шар має велику міцність і сильніше пов'язаний із фільтрувальним матеріалом. Проте за зворотного продування гідравлічний опір фільтра знижується, що дає можливість підтримувати його відносну постійну пропускну спроможність газу [3].

Відомі різні способи нанесення металевих покриттів на непровідні матеріали: газотермічне напилення з подальшим магнітно-імпульсним обробленням; металізація у вакуумі з електромагнітним випромінюванням; термічний розклад металу; мікроплазмове оброблення; нанесення світлочутливих дисперсій, що каталізують подальше осадження металу хімічним шляхом. Під час вибору покриття волокон необхідно враховувати спосіб нанесення покриття і його технологічні режими, щоб матеріал волокна обмежено розчинявся в матеріалі покриття, а не навпаки.

Методи металізації текстильних матеріалів із розчинів електролітів дороговартісні (солі дорогі металів – золота, платини, паладію; реактиви, обладнання) та екологічно небезпечні, тому що після кожної технологічної операції волокна повинні промиватися, а забруднені стічні води потребують очищення та подальшої утилізації шкідливих компонентів. Текстильні матеріали, металізовані електрохімічним методом, мають поганий товарний вигляд, надмірну жорсткість, покриття володіє недостатньою адгезією, що важливо під час оцінювання фільтрувальних властивостей. Крім того, цей спосіб не дозволяє з точністю контролювати електропровідність фільтрувальної тканини та інші її властивості, які мають велике значення для подальшого застосування фільтрів.

Існує також можливість металізації фільтрувальних текстильних матеріалів методом вакуум-термічного випаровування, але цей спосіб обмежується можливістю напилення тільки тонких плівок алюмінію, що істотно обмежує його застосування. Окрім того, проблематично контролювати нанесення товщини плівки алюмінію.

Металізація фільтрувальних матеріалів проводиться також шляхом нанесення карбонілів. Недоліком способу є те, що покриття однобічне, а для досягнення необхідної температури розкладання пари карбонілу на зовнішньому боці тканини потрібно перегрівати її з боку нагрівача, що може призвести до деструкції матеріалу або його розплаву. Пари карбонілу металу (Ni, Fe, W, Mo) примусово прокачують через тканий або нетканий матеріал у неглибокому вакуумі. Вихідний матеріал нагрівають до температури початку розкладання парів, але не вище температури його деструкції, з протилежного боку від подання парів карбонілів. Завдяки цьому

металеве покриття наноситься на всю товщину об'ємного матеріалу.

Сьогодні пропонується використовувати для металізації фільтрувальних текстильних матеріалів метод магнетронного розпилення, який широко застосовується у мікроелектроніці, проте у текстильній промисловості ним не послуговувалися. Цей метод полягає у використанні аномального тліючого розряду в інертному газі з накладенням на нього кільцеподібної зони схрещених неоднорідних електричного і магнітного полів. Висока кінетична енергія частинок забезпечує хороший рівень адгезії утвореної плівки. Метод магнетронного розпилення відбувається в глибокому вакуумі та дозволяє наносити на фільтрувальні тканини тонкі плівки міді, алюмінію, титану, латуні, срібла, нержавіючої сталі, бронзи та інших металів і їх сплавів. Напилення шару металу призводить до появи у текстильному матеріалі електричної провідності. На відміну від інших способів металізації, спосіб магнетронного розпилення дозволяє регулювати товщину металевого шару.

Розроблений новий метод металізації текстильних матеріалів іонно-плазмовим розпиленням дозволяє виробляти синтетичні тканини для виготовлення спеціальних вибухобезпечних фільтрів. Процес металізації є багатостадійним, здійснюється з розчинів електролітів, що містять агресивні та токсичні речовини, які вимагають забезпечення екранувальних від електричних, електромагнітних, магнітних полів, інфрачервоних випромінювань показників поряд зі стабільними експлуатаційними характеристиками за рахунок створення певної структури текстильного матеріалу, що дозволяє наносити тонкі шари нанорозмірних частинок металу, які володіють високою міцністю зв'язку із субстратом.

Для отримання захисних ефектів від дії високо-температурного середовища все більше набуває актуальності використання вакуумного напилювання, яке створює покриття майже зі всіх видів металів та сплавів, а введення до вакуумної камери різних видів робочих газів (азоту, аргону, кисню тощо) дозволяє отримувати більш широкий спектр захисних та декоративних ефектів. Для текстильних фільтрувальних матеріалів важливим технологічним параметром у процесі напилювання є температура підкладки (основи), яка не повинна перевищувати межі її деструкції. Для дотримання цієї вимоги доцільним є застосування методу вакуумного магнетронного розпилювання з іонним бомбардуванням.

Оскільки на поверхні тканин та нетканих матеріалів для фільтрів є багато активних функціональних груп (карбонільних, карбоксильних), які несуть надлишкові негативні заряди, то іон металу досить легко адсорбується на таких ділянках. На поверхні волокна спочатку адсорбуються окремі атоми, які служать катализатором подальшого розряду іонів з розчину. На основі отриманих досліджень було запропоновано удосконалений та спрощений спосіб, що передбачає попередню хімічну активацію поверхні матеріалу та безпосередню хімічну металізацію розчином, який містить мідь сірчанокислу та гідроксид натрію. Як стабілізатор дисперсності

використовують тетраетиленгліколь, відновник – гліюксаль.

Сьогодні для захисту від впливу електромагнітних випромінювань у широкому діапазоні в текстильній промисловості використовується металізований матеріал "Нанотекс". Він виготовляється із синтетичних монофіламентних ниток діаметром 30–50 мкм зі щільністю ниток 30–160 нит/см, поверхневою щільністю 10–50 г/м<sup>2</sup>, із отворами між нитками основи й утоку, розмір яких перебуває в межах 1d–9d, де d – діаметр нитки. Після виготовлення для отримання електропровідності матеріал "Нанотекс" піддається металізації, що здійснюється способом магнетронного напилення металу у вакуумі з лицьового, виворітного або з обох його боків [5]. Результат металізації фільтрувальної тканини вакуумплазмовомагнетронним способом переважно залежить від її структури та волокнистого складу. На міцність зчеплення металевого шару з тканиною впливає багато факторів.

Гладкі синтетичні тканини забезпечують отримання більшого металевого ефекту, ніж штапельні та целюлозні. Найбільшу міцність зчеплення мають гідрофобні волокна. Пом'якшувачі, що входять до складу синтетичних волокон, мономірні та низькомолекулярні речовини у волокнах, масла та жири негативно впливають на зчеплення металевого шару з основою. Добре зчеплення гарантується із чистою поверхнею. Металеві пари досягають поверхні тканини за досить високої температури. Це може призвести до небажаних змін деяких видів волокон чи плівок (деструкції) та вплинути на механічні властивості ниток та фільтрувальних тканин загалом.

У результаті нанесення на фільтрувальну тканину металевого шару відбувається зміна низки її фізичних властивостей. Істотно змінюються відбивальні оптичні властивості тканин. Завдяки металізації збільшується здатність відбивати як світлові, так і теплові промені. Металізовані фільтрувальні тканини добре відбивають інфрачервоні промені, причому зі збільшенням довжини хвилі коефіцієнт відбивання збільшується. Незначний шар металу на тканині чудово захищає її від шкідливого фотохімічного впливу ультрафіолетових променів.

Для забезпечення необхідної якості покриття, що наноситься, та достатньої виробничої здатності процесу металізації текстильних матеріалів у вакуумі величина робочого тиску у вакуумній камері повинна постійно підтримуватись у діапазоні  $1 \times 10^{-3}$ – $1 \times 10^{-5}$  мм рт. ст. Кількість вологи в тканині перед металізацією не повинна перевищувати 2–3 %, у зв'язку з чим необхідний контроль вологомісткості тканин перед їх металізацією [2].

Для модифікації поверхні твердого тіла використовують різні режими іонноплазмової обробки. Основними етапами нанесення покриття у вакуумі є генерація потоку часток осаджуваного металу, перенесення потоку часток від джерела до підкладки, отримання покриттів. Основою осадження покриттів з плазми розряду з холодним катодом є процес генерації металевої плазми у вакуумі низьковольтним розрядом (дугою). Цей метод називається

методом конденсації металеві плазми з іонним бомбардуванням. Краплі, що видаляються катодом, додатково нагріваються за рахунок бомбардування їх поверхонь іонами та під час випаровування виконують роль основного джерела нейтрального пару в об'ємі розрядного проміжку. Введення в робочий об'єм хімічно активного газу дозволяє отримувати тугоплавкі з'єднання на основі нітридів, карбідів та окислів, що потребують тривалого часу для їх утворення під час використання традиційних методів. Основними особливостями отримання покриття з потоків металеві плазми є: висока адгезія покриття з основою, що забезпечується інтенсивним попереднім очищенням поверхні та високою енергією часток, які конденсуються; можливість регулювання температури підкладки у процесі очищення та конденсації; отримання покриттів, що мають високу щільність, позбавлені великих дефектів; можливість варіювання в широких межах складу покриттів [2]. Покриття розрізняються за складом (карбіди, нітриди, карбонітриди, боріди, силіциди, перехідні метали Ti, Cr, Mo, Zr, Ta, Hf, W), кількістю та товщиною шарів (одно-, дво-, багат шарові).

Метод магнетронного напилення дозволяє отримувати нанотонкі плівки різних металів заданої товщини і з заданим поверхневим опором, що володіють хорошим рівнем адгезії до субстрату. Отриманий текстильний матеріал відрізняється: високими показниками заданої електропровідності та поверхневого електричного опору; високою електропровідністю, що дозволяє використовувати матеріал для вирішення проблем статичної електрики; гнучкістю, легкістю, здатністю драпіруватися, повітропроникністю, тобто усіма необхідними властивостями для застосування в різних захисних конструкціях, фільтрах, спецодязі; хорошими пошивними властивостями, можливістю пайки та склеювання.

**Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі.** Отже, у статті обґрунтовано створення захисних текстильних фільтрувальних матеріалів з підвищеними термозахисними властивостями, металізованих тугоплавкими металами новими способами металізації. За теплофізичними показниками металізовані фільтрувальні матеріали більш стійкі до дії високотемпературних контактних поверхонь, ніж неметалізовані. Металізація матеріалів забезпечує зниження коефіцієнта теплопровідності. Металізовані тугоплавкими металами текстильні фільтрувальні матеріали менше піддаються впливу теплового старіння від дії опромінювання, що є визначальним для терміну експлуатації фільтрів. Подібні дослідження потребують ще досить ретельного аналізу щодо технології обробки, яка б не пошкоджувала структуру фільтрувального матеріалу разом з наданням йому захисних властивостей.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сіренко Г. О. Металізація вуглецевих волокон подвійними і потрійними мідними композиціями / Г. О. Сіренко, М. Б. Складанюк, Л. М. Солтис // Фізика і хімія твердого тіла. – 2015. – Т. 16. – № 1. – С. 185–192.
2. Івасенко М. В. Особливості технологічних процесів нанесення металічного покриття на текстильні матеріали способом іонно-плазмового вакуумного напилювання / М. В. Івасенко // Вісник КНУТД. – 2010. – № 3. – С. 115–120.
3. Пелик Л. В. Наукові основи формування асортименту та якості фільтрувальних текстильних матеріалів / Л. В. Пелик. – Львів : вид-во ЛКА, 2010. – 260 с.
4. ООО “Ивтехномаш” – производство metallized текстильных материалов [Электронный ресурс] // Complexdoc. – Режим доступа: [www.sdelaounas.complexdoc.ru](http://www.sdelaounas.complexdoc.ru).
5. Пат. 2338021 Российская Федерация, МКП 7 Н 04 В 1/38, Н 04 J13/00. Металізований матеріал “нанотекс” / В. І. Чугаєва; заявитель и патентообладатель Воронеж. науч.-исслед. ин-т связи. – № 200013/736/09; заявл. 18.12.00; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.).

## REFERENCES

1. Sirenko, H.O. Skladaniuk, M.B. and Soltys, L.M. (2015), “Metallization of carbon fibers by double and triple copper compositions”, *Fizyka i khimiia tverdoho tila*, vol. 16, no. 1, pp. 185–192.
2. Ivasenko, M.V. (2010), “Specificity of technological processes of deposition of metal coating on textiles by the method of ion-plasma vacuum filing”, *Visnyk KNUVD*, vol. 3, pp. 115–120.
3. Pelyk, L.V. (2010), *Naukovi osnovy formuvannya asortymentu ta yakosti fil'truval'nykh tekstyl'nykh materialiv* [Scientific bases of assortment and quality of filtering textile materials formation], Publishing house LCA, Lviv.
4. “ООО “Ивтехномаш” – production of metallized textile materials”, Complexdoc, available at: [www.sdelaounas.complexdoc.ru](http://www.sdelaounas.complexdoc.ru).
5. Chugaeva, V.I. “Metalizovanyy material «nanoteks»” [Metals of the “nanotex” material], Pat. 2338021 Russian Federation, INC 7 N 04 V 1/38, N 04 J13 / 00, The applicant and the patent holder Voronezh. nach.-issled. in-t svyazi, № 200013/736/09, claimed. 18.12.00, publ. 20.08.02, Bul. № 23 (II).