

8.3 Nanotechnologies for creating innovative textile materials with special properties

8.3.1 Методи поверхневої нанообробки текстильних матеріалів

Основним напрямом розширення та поліпшення асортименту хімічних текстильних матеріалів є не скільки розробка нових видів полімерів, скільки модифікація вже існуючих текстильних волокон з метою надання їм нових, не характерних для вихідних матеріалів, властивостей [377–380].

Модифікація – це спрямована зміна текстильних волокон та ниток з метою надання їм нових наперед заданих властивостей. Усі методи модифікації можна поділити на кілька основних груп:

- фізична модифікація полягає у спрямованій зміні надмолекулярної будови, форми та зовнішньої поверхні ниток (без зміни хімічного складу). Фізичні методи використовуються на стадії формування та/або подальшої обробки волокон;

- композитна модифікація полягає у додаванні до основного волокноутворюючого полімеру дрібнодисперсних або розчинних компонентів – носіїв нових властивостей. Модифікація шляхом залучення добавок здійснюється на стадії підготовки вихідного розплаву (розчину) до формування або безпосередньо перед формуванням волокон [378];

- хімічна модифікація полягає у спрямованій зміні хімічного складу волокноутворюючого полімеру, при якій відбувається або зміна хімічної будови волокноутворюючих полімерів шляхом введення функціональних груп у вихідний полімер, або при обробці готових волокон до їх переробки у вироби, а також при обробці готових текстильних матеріалів або виробів.

Розглядаючи проблему хімічної модифікації волокон, слід виділити два основні напрямки:

- обмежена модифікація з метою поліпшення окремих функціональних властивостей при незначному зниженні фізико-механічних властивостей або навіть їх збереженні практично незмінними;

- "глибока" модифікація з метою зміни всього комплексу функціональних властивостей волокон або надання їм принципово нових специфічних властивостей. При цьому багато фізико-механічних характеристик волокон змінюються дуже істотно, по суті, утворюються нові волокна [380].

Можливе застосування комбінованих методів модифікації. Часто використовується поєднання фізичного з композитною чи хімічною модифікацією. Комбінація методів композитної та хімічної модифікації застосовується рідко, тому що в обох методах змінюється хімічний (або композитний) склад волокон.

Хімічні обробки свіжосформованих та готових багатотоннажних видів волокон текстильного та технічного призначення застосовуються відносно мало, тому що при цьому суттєво ускладнюється технологія їх виробництва. В даному випадку, як правило, потрібна установка додаткового обладнання, виникає необхідність у процесах промивання та рециклінгу робочих розчинів, утворюються небажані викиди – стічні води, що в сукупності в умовах багатотоннажних виробництв призводить до складних технологічних та екологічних проблем. Необхідно зауважити, що методи хімічного модифікування (полімер аналогічних перетворень, процесів полімеризації) для повноти перебігу реакцій вимагають значного часу, що також ускладнює їх включення в технологічний процес.

З вищевказаних причин проведення хімічної модифікації часто є кращим на стадії обробки текстильних полотен. Хімічна модифікація полотен широко використовується практично як для полотен на основі хімічних волокон, так і з природних волокон або їх сумішей. Воно проводиться із застосуванням різних реагентів і методів [377–387].

В даний час у текстильній промисловості впроваджується заключне оздоблення текстильних виробів з використанням нанотехнологій. При заключній обробці використовують наночастинки різних речовин у вигляді наноемульсій і нанодисперсій. Нанотехнологічний вплив не зачіпає макроструктури і нові властивості з'являються на мікрорівні. Нанотехнології

передбачають використання частинок речовини або структур речовини, що мають розміри менше 100 нм і суттєво впливають на ефективність одержуваних результатів.

Актуальні області застосування нанотехнологій в текстильній промисловості можна розділити на три групи: поліпшення властивостей матеріалів за допомогою нанопрепаратів і нанопокриттів [377, 378], фізична та хімічна модифікація поверхні текстильних матеріалів [378, 379], вбудовування в них електронних компонентів та мікроелектромеханічних систем [380].

Застосування нанотехнологій у текстильній галузі базується на їх ефективному впровадженні у: виробництві нановолокон [382, 383] та нанообробці, що дозволяє текстильним матеріалам ставати багатофункціональними та отримувати якісно нові властивості [385–388].

У структуру будь-якого хімічного волокна на стадії приготування розчину або розплаву волокноутворюючого полімеру вводять частинки наповнювача, що мають розміри в нанометровому діапазоні (рис. 1).

Перспективним напрямком в області нанотехнологій є технологія електроформування нановолокон з розчинів полімерів [386–391]. Електроформування волокон – безфільєрний сухий метод, в якому всі процеси формування волокнистого шару здійснюються виключно за допомогою електростатичних сил.

У залежності від хімічної природи наночастинок наповнювача, можна отримувати волокна з різними функціональними властивостями [392–396] (висока механічна міцність, електропровідність, фотоактивність, антимікробні, сенсорні властивості, чутливість до зміни температури і т. д). На основі цього визначаються і потенційні сфери застосування: потреби силових структур, спорт, медицина, домашній текстиль, одяг.



Рисунок 1. Нанооб'єкти нанотехнологій – наночастинки, нановолокна, нанопласти. Нанорозмір: від 1 до 100 нм [396].

Крім цього, надання текстильним матеріалам спеціальних властивостей може здійснюватися шляхом нанесення нанопрепаратів або нанопокриттів на поверхню матеріалів. Тому справедливо вважати, що колорування та заключне опорядження текстильних матеріалів є важливими областями використання нанотехнологій в текстильній промисловості [397–401].

Нові методи поверхневої нанообробки тканин дозволяють покращити функціональність матеріалів і підвищити довговічність покриття у порівнянні з традиційними способами обробки. Ці методи включають в себе іммобілізацію функціональних речовин [402], технологію «Layer-by-Layer» (LbL) (метод пошарової самозбірки) [403], нанопокриття [378], мікрокапсулювання [404] і використання високовартісної плазми для осадження функціональних молекул [405]. Перелічені методи відрізняються від звичайних покриттів тим, що надають особливі функціональні можливості текстильним поверхням шляхом досягнення змін в мікро- або нанорівні, не змінюючи об'ємні властивості, покращуючи функціональність з мінімальним впливом на фізико-механічні властивості текстильних матеріалів.

Поліелектролітні багатопшарові покриття, що стали новим способом функціоналізації поверхні із використанням методу «Layer-by-Layer», підходять для поверхневої обробки багатьох видів текстильних матеріалів. Механізм

отримання поліелектролітної плівки заснований на адсорбції протилежно заряджених поліелектролітів на поверхні матеріалу, шляхом занурення матеріалу в розчини поліелектролітів (рис. 2) [406]. Мікрокапсулювання – це сучасний технологічний процес, який широко використовується в різних промислових і наукових областях. Сутність мікрокапсулювання полягає в «оточенні» активної речовини (наприклад, репелента барвника, ароматизатора, протимікробного засобу, ферменту, антипирену) оболонкою для його стабілізації, довговічності, для захисту від впливу від навколишнього середовища, світла, кисню або інших реагентів [406]. У текстильній промисловості, цей економічно ефективний спосіб можна використовувати для нанесення різних функціональних агентів на тканину і досягти більш високої ефективності активних речовин для продовження терміну служби ароматів, збільшення часу захисного ефекту антимікробної обробки [406].

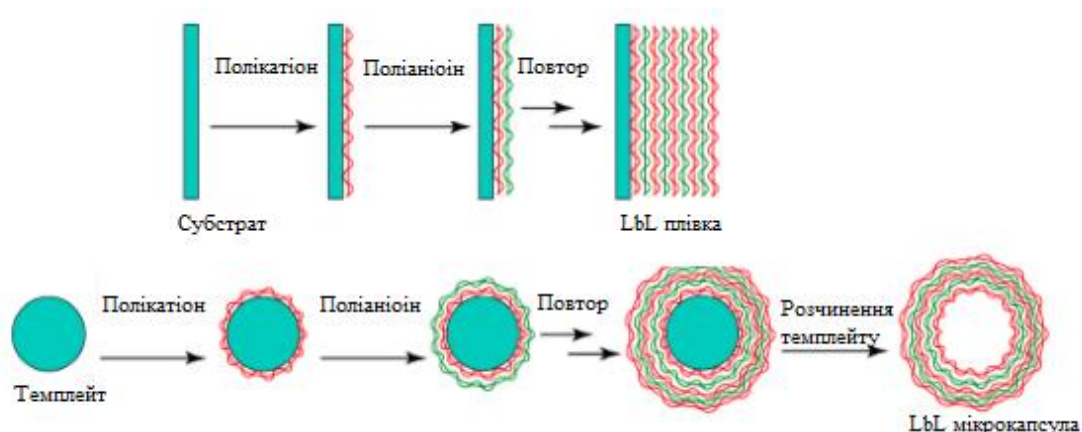


Рисунок 2. Схематичне отримання плівок та мікрокапсул із використанням методу «Layer-by-Layer».

У роботі [404] представлено екологічно безпечний спосіб репелентної обробки текстильних матеріалів, заснований на поєднанні прийомів методу «Layer-by-Layer» і мікроемульсійного капсулювання для іммобілізації акарицидно-репелентних речовин в структуру текстильного матеріалу, з метою отримання пролонгованого ефекту для захисту від комах, що характеризується великим числом стадій і тому програє за продуктивністю іншим, добре розробленим методам.

Нанесення різних функціональних наночастинок металів та їх оксидів на текстильні матеріали різного походження для надання спеціальних властивостей здійснюють різними методами [407–410]: методом аппретування з подальшою сушкою та термофіксацією (рис. 3), ультразвуковим напиленням, методом електростатичної самозбірки (electrostatic self-assembly), за допомогою сітчастих шаблонів, прямим просочуванням, із застосуванням фотонних технологій, УФ-, ІЧ-, лазерної обробки, магнітним розпиленням, а також технікою Ленгмюра-Блоджет (формування моно- та мультимолекулярних плівок на поверхні твердої підложки).



Рисунок 3. Технологічна схема антимікробної обробки бавовняної тканини композицією на основі наночастинок міді та заліза [410].

Відома обробка волокон плазмовим розрядом [411], що призводить до щеплення функціональних груп на полімері. Дані методи відкривають великі можливості у модифікації текстильних матеріалів, але їх істотним недоліком є високі витрати, оскільки такі процеси вимагають спеціального дорогого обладнання та мають специфічні обмеження.

Розробка принципово нових підходів для створення покриттів, плівок є досить важливим і актуальним завданням. На даний момент на основі аналізу літературних даних перспективним методом отримання покриттів можна визнати золь-гель технологію [412, 413], що дозволяє створювати відтворювану, контрольовану і впорядковану структуру таких покриттів. Покриття нанорозчином дозволяє здійснювати модифікацію великого асортименту матеріалів з різною поверхнею. За рахунок такої обробки текстильних матеріалів, зокрема бавовняних, з використанням наночастинок металів, можливо надавати їм необхідних технічно цінних властивостей.

Способи отримання наночастинок металів сьогодні продовжують інтенсивно розвиватися. У даний час відомі два основних способи отримання нанорозмірних частинок [414–416]: 1) фізичний, який включає термічне випаровування наночастинок при обробці плазмою, лазером, електричною дугою; конденсацію вихідного матеріалу в вакуумі, механохімічне диспергування, електроерозію, літографію; 2) хімічний, який полягає в отриманні наночастинок металів методами термічного або радіаційного відновлення металомістких сполук, розкладання під впливом УФ, температури або синтезу в зворотних міцелах, на межі поділу фаз або золь-гель методом, стабілізацією у колоїдних нанореакторах, у якості яких використовують зворотні міцели, рідкі кристали, адсорбційні шари, плівки Ленгмюра-Блоджет, мікроемульсії (рис. 4).

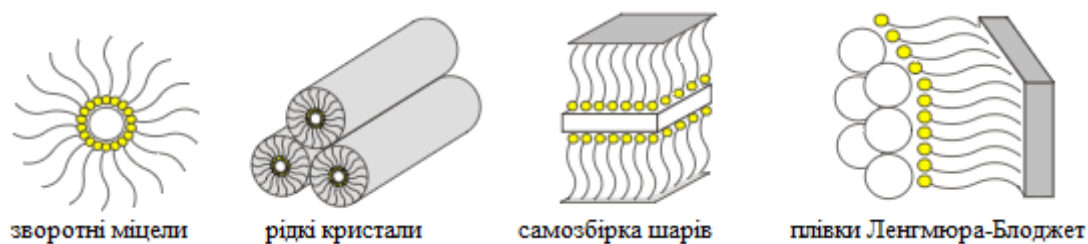


Рисунок 4. Види найбільш вживаних нанореакторів [414].

Структура наночастинок металів у значній мірі визначається методом їх отримання. За просторовою будовою відомі три основні класи наночастинок: тривимірні частинки, які одержують вибухом провідників, плазмовим синтезом, відновленням тонких плівок; двовимірні об'єкти – плівки, що отримуються методами молекулярного нашарування, методом іонного нашарування; одномірні об'єкти – нанотрубки, нановолокна, які отримують методом молекулярного нашарування, введенням речовин в циліндричні мікропори. Також існують нанокомпозити – матеріали, одержані введенням наночастинок у будь-які матриці. Наночастинки металів бувають різноманітної форми. У більшості випадків вони мають кристалічну структуру. Відкриття останнього десятиліття показали, що оптичні, каталітичні та антибактеріальні властивості наночастинок залежать від їх геометричної структури та морфології [415].

Ретельний контроль параметрів реакції, таких як час, температура процесу, швидкість перемішування, концентрація реагентів і стабілізуючих добавок дозволяють звузити розподіл частинок за розмірами [415]. Тому методи отримання наночастинок не можна відокремлювати від методів їх стабілізації. Один з найбільш перспективних методів отримання наноматеріалів зі стабільними властивостями є введення наночастинок в матриці різних типів [414, 415], у тому числі і на текстильній основі [416, 417].

Таким чином, створення наукомістких, ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій обробки на основі нанотехнологій є актуальною науковою задачею, вирішення якої має велике практичне значення. У зв'язку з появою нанорозмірних препаратів і унікальних наночастинок з особливими будовою та властивостями стає можливим вирішення актуальної проблеми – розроблення функціонального трикотажу із застосуванням нанообробки та поверхневої модифікації.

8.3.2 Технології отримання текстильних матеріалів з електропровідними характеристиками

На сучасному етапі розвитку текстильної промисловості кількісне зростання випуску продукції вже не є вичерпною характеристикою розвитку галузі. Основне завдання текстильного виробництва сьогодні – виробити більше продукції кращої якості з меншими витратами, освоїти виробництво нових видів текстильних матеріалів, зокрема, технічного призначення.

Оскільки важливою ланкою в технологічному процесі переробки волокон є опоряджувальне виробництво, то виникає необхідність створення прогресивної технології обробки, а також розробка принципово нових високопродуктивних технологічних процесів. Така постановка завдання пов'язана з тим, що хімічні волокна дуже неоднорідні за структурою і недостатньо гідрофільні, внаслідок чого виникає ряд проблем, пов'язаних з обробкою, як волокон, так і готових виробів. Крім того, якщо споживача більше турбує якість готових виробів, то виробник враховує ще й збільшення продуктивності, зменшення матеріало-,

енергомісткості технологій, що застосовуються, і, як результат, зниження собівартості виробів з подальшим отриманням більшого прибутку. Це дозволить останньому виробляти більш конкурентоспроможну продукцію на світовому ринку.

Використання функціональних наночастинок на стадії виробництва хімічних волокон досить популярне, оскільки дозволяє отримувати хімічні волокна вже з біоцидними властивостями під замовлення для відповідного асортименту виробів. Але ця технологія, як і у випадку фарбування в масі і надання інших властивостей хімічних волокон на стадії їх виробництва, має свої обмеження і недоліки: при виробництві великих партій хімічних волокон з спеціальними властивостями у споживачів звужуються можливості їх споживання і використання; технологія виробництва хімічних волокон з розчинів і розплавів вимагає стабільності будь-яких препаратів, що вводяться, до температури (розплав) або хімічних реагентів (розчин).

З огляду на ряд недоліків (сильна усадка, низька стійкість до дії світла і мікроорганізмів, бляклість отримуваних забарвлень), перед виробником виникає безліч проблем, вирішення яких на сьогоднішній день є актуальним у світі. Широко поширені текстильні вироби з натуральних волокон та їх сумішей із синтетичними волокнами: у даному випадку без поверхневого фарбування не обійтися. Розширення сфер застосування традиційних хімічних волокон здійснюється шляхом їх модифікації. Деякі методи модифікації хімічних волокон вирішуються хімічною технологією текстильних матеріалів. У даний час набуває широкого застосування "технічний текстиль" для вирішення ряду технічних проблем.

Електропровідні волокнисті матеріали, які є технічним текстилем, отримують методом модифікації хімічних волокон, наприклад, карбонізацією віскозних або поліакрилонітрильних волокон. У залежності від здатності проводити, передавати та відводити електричний струм, хімічні волокна можуть бути діелектриками з питомою провідністю менше – $1 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, напівпровідниками з питомою провідністю в межах – $1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, і

провідниками з питомою провідністю від $1 \cdot 10^2$ до $1 \cdot 10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ і більше [423, 424]. Серед широкого асортименту електропровідних хімічних волокнистих матеріалів (рис. 6) на особливу увагу заслуговують вуглецеві волокнисті матеріали (ВВМ), що мають унікальні фізико-механічні та електрофізичні властивості.

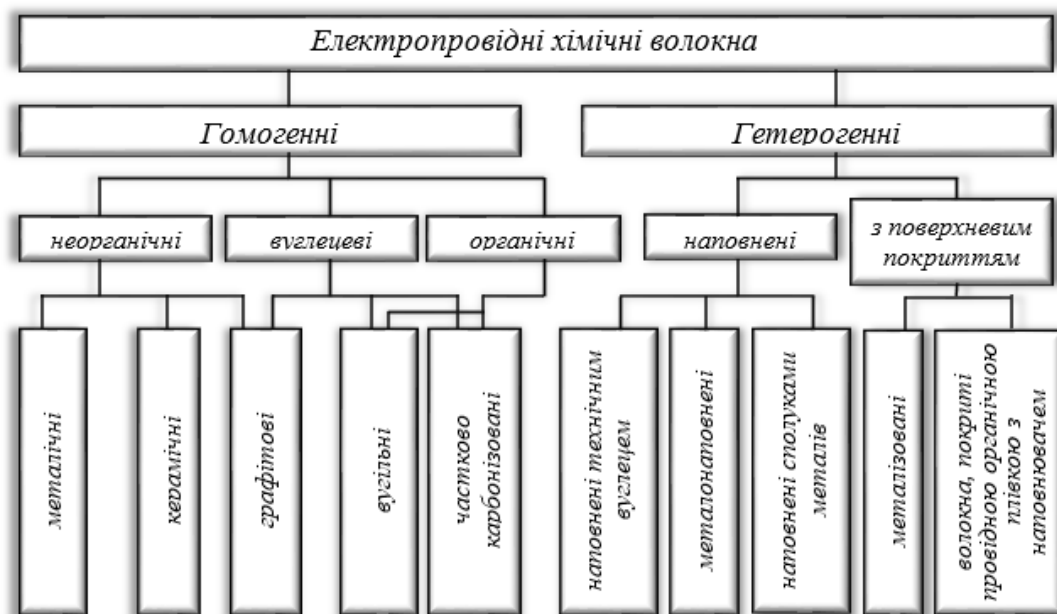


Рисунок 6. Класифікація електропровідних хімічних волокон [422].

Створені на зламі 50 – 60-х років минулого століття як матеріали майбутнього, вуглецеві волокна (ВВ) не втратили цього визначення і сьогодні. Виявляючи унікальні споживні властивості, вони знаходять застосування в найрізноманітніших галузях промисловості, техніки і науки. Усі вуглецеві волокна, без винятку, можна віднести до високотехнологічних матеріалів, що вимагають: 1) наукомісткої технології отримання; 2) значних обсягів фінансування розробки нових типів ВВ; 3) ретельного підбору, підготовки та контролю сировини; 4) застосування спеціальних технологічних прийомів і добавок на всіх стадіях процесу отримання і використання прогресивного обладнання, в якому розвиваються температури до 3000 °С.

Вуглецеві волокна є продуктами з «надвластивостями». Це високочисті матеріали з вмістом вуглецю до 99,9 %, модулем пружності при розтягуванні до 450 ГПа (для волокон на основі рідкокристалічних пеків до 690 ГПа), міцністю

при розтягуванні до 4 ГПа, від'ємним коефіцієнтом термічного лінійного розширення, низькою щільністю (1,7 – 2,0 г/см), що володіють як напівпровідниковою, так і металевою провідністю, здатні експлуатуватися в окислювальній атмосфері при високих температурах [422, 423].

Вуглецеві волокна отримують на основі віскозних і поліакрилонітрильних волокон. При високотемпературних обробках цих волокон відбувається повна зміна структури полімеру. Використовуючи вихідні волокна з різною структурою і властивостями отримують різні види вуглецевих карбонізованих і графітованих волокон: електропровідних, термо- і жаростійких стійких [422, 423].

Технологічний процес отримання ВВМ включає формування вихідних волокон на основі гідратцеллюлози та сополімерів акрилонітрилу, їх підготовку, обробку і три стадії термічної обробки (рис. 7) [422, 423].

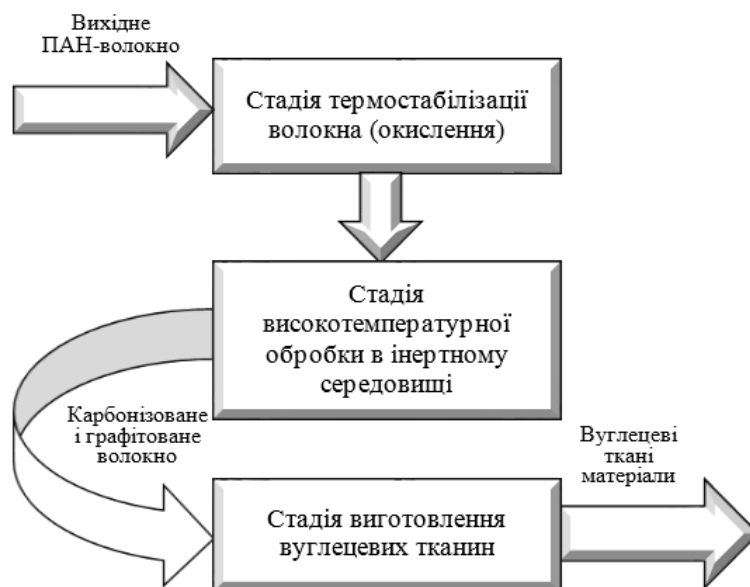


Рисунок 7. Принципова схема виробництва ВВМ.

Нові напрямки при отриманні ВВ в країнах СНД тісно пов'язані з шляхами зниження їх собівартості. У країнах Європи з добре розвиненою ринковою економікою висока технічна і соціальна ефективність застосування вуглецевих волокон перекидає зростання витрат на їх виробництво. Незважаючи на цінні

властивості, поширення вуглецевих волокон стримується саме їх високою вартістю [422].

Ведеться розробка технологій і обладнання для виробництва вуглецевих волокнистих нетканих матеріалів (ВВНМ) і вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів (ВВКМ) (рис. 8) багатофункціонального призначення за багат шаровим способом отримання на основі гідратцелюлозного волокна (ГЦВ) [424, 425].

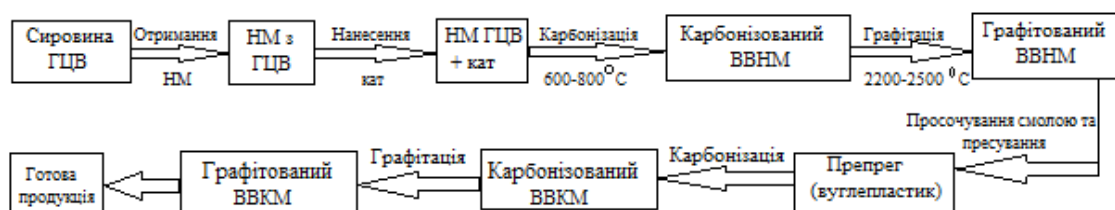


Рисунок 8. Принципова технологічна схема виготовлення ВВКМ за [425].

Найбільш перспективною щодо відповідності усім критеріям для композитів теплозахисної спрямованості була обрана вуглецева група, а саме вуглець-вуглецеві композиційні матеріали. У якості сировини використовувалися вуглецевий нетканий матеріал (НМ) (питомий поверхневий електричний опір становить не більше 1000 Ом), і тканини вуглецеві технічні виробництва ВАТ «Світлогорськ-Хімволокно» (питомий поверхневий опір яких становить не більше 0,3 Ом).

У промисловому виробництві ВВКМ особливого значення набувають такі параметри як базова функціональність, час, температурні режими (графітація при 600 – 800 °C, карбонізація при 2200 – 2500 °C) та інші ресурси, витрачені на створення готової продукції. На підставі наведених даних собівартість і ринкова вартість ВВКМ як споживчого продукту становить від 3200 до 9800 умовних одиниць за 1 кг ВВКМ.

Широко застосованими електропровідними матеріалами є матеріали з струмопровідними наповнювачами. Серед електропровідних наповнювачів переважають вуглецеві матеріали: технічний вуглець, графіт і вуглецеві волокна,

які давно відомі і застосовуються у якості електропровідних наповнювачів для полімерної матриці текстильних волокон [426, 427]. У якості синтетичних волокнистих матеріалів, в основному, викокристовуються поліпропіленові волокна. Такі цінні якості поліпропіленових волокон, наповнених електропровідними частинками вуглецю, як мала їх густина, хімічна стійкість, еластичність і можливість регулювання електричного опору в широких діапазонах (від 10 до 0,1 Ом/м) дозволить їм успішно конкурувати з металевими провідниками електричного струму. Електропровідність одержуваних таким чином електропровідних композиційних волокон визначається структурою полімеру, електричними властивостями, концентрацією і дисперсністю наповнювача, способом його введення в полімер [427]. Введення значної кількості наповнювача призводить до погіршення фізико-механічних властивостей волокна, тому важливим є досягнення високої провідності при мінімальному вмісті наповнювача. У разі використання порошків металів необхідні їх високий вміст у полімері і спеціальні прийоми для забезпечення антистатичних властивостей матеріалу [427].

Особливий інтерес для виготовлення електропровідних виробів представляють металізовані волокна, що мають на поверхні тонкий (до 1 мкм) шар металу (Сi, Ni, Fe). Ці волокна володіють круговим покриттям по діаметру волокна, однорідністю, суцільністю покриття і мають гарну адгезію до підкладки [428, 429]. Таким вимогам можуть відповідати металізовані тонкі (7 – 10 мкм) скляні волокна. Проте у даний час промисловістю випускаються тільки алюмінієві скляні волокна (10 – 20 мкм), на основі яких виготовляють дипольні відбивачі. З усіх відомих фізичних і хімічних способів отримання металізованих волокон найбільш вживаним є метод осадження металу з розчинів (хімічна металізація), що широко застосовується для металізації пластмас, проте, для створення тонкого шару міді на поверхні скляних волокон, необхідним є введення спеціальних добавок в розчини металізації [428].

Розглядаються можливості створення металізованих покриттів на натуральних текстильних матеріалах з використанням вакуумного осадження з

утворенням електропровідного шару на гладкій поверхні (рис. 9) [429], що вимагає спеціального апаратурного оформлення.

Таким чином, надзвичайно складна технологія отримання та висока собівартість вуглецевих та металізованих волокон стимулює до пошуку принципів і шляхів створення нових текстильних матеріалів.

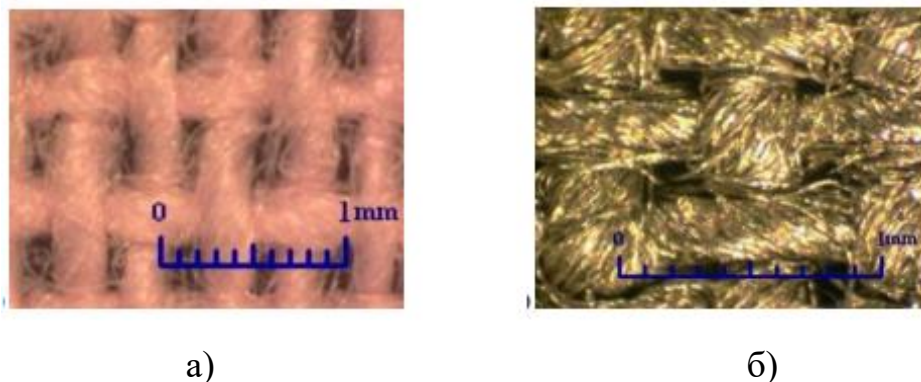


Рисунок 9. Текстильний матеріал на основі бавовняних волокон без покриття (а), пряжа бавовняна з металізованим покриттям (б).

У даний час великий інтерес представляють полімерні барвники зі спряженими подвійними зв'язками. До таких полімерів прикута велика увага, що пов'язано з їх фізико-хімічними властивостями і перспективами практичного використання [430, 431]. У роботі [431], що при певних умовах спряжені полімери можуть мати провідність, близьку до металевої, унікальні магнітні та оптичні властивості.

Перспективним є створення електропровідних композитів на основі провідних полімерів і попередньо сформованих неструмопровідних полімерних матриць (плівок, волокон) [432, 433]. Основним напрямом отримання електропровідних текстильних матеріалів за рахунок використання полімерів зі спряженими подвійними зв'язками є формування нанорозмірних частинок поліаніліну, при осадженні яких на поверхні текстильного матеріалу, утворюються наноструктури електропровідного шару, стійкі до дії зовнішніх впливів. У роботах [58–60] обґрунтовано використання гетерокоагуляційного механізму обробки текстильних матеріалів при синтезі наночастинок поліаніліну в присутності поверхнево-активних речовин (ПАР).

Таким чином, існує гостра необхідність у створенні текстильних матеріалів спеціального призначення за розробленими економічно-вигідними, ресурсощадними та екологічно-безпечними технологіями виробництва на Вітчизняних текстильних підприємствах, забезпечуючи потреби споживачів якісними товарами технічного асортименту.

8.3.3 Нанообробка текстильних матеріалів, модифікованих функціональними наночастинками, із застосуванням золь-гель технології

Перспективними дослідженнями в області хімічної модифікації властивостей є розробка нанотехнологій створення нових функціональних текстильних матеріалів спеціального призначення, що можуть використовуватися для засобів індивідуального захисту військовослужбовців, цивільного населення, для спеціального одягу, стійкого до агресивних середовищ та інше.

Останнім часом для надання спеціальних властивостей текстильним матеріалам різного сировинного складу використовуються фотонні технології, УФ-, ІЧ-, лазерна обробка, обробка плазмовим розрядом. Перелічені методи відкривають великі можливості у модифікації текстильних матеріалів, але їх значним і суттєвим недоліком є високі витрати, оскільки такі процеси вимагають високовартісного устаткування і мають специфічні обмеження. Виходячи з цього, актуальним є вирішення важливого наукового завдання – розробка нанотехнології отримання недорогих, але ефективних і зручних при використанні текстильних матеріалів зі спеціальними властивостями. Перспективним методом нанообробки текстильних матеріалів, модифікованих функціональними наночастинками, є золь-гель технологія [437, 438]. Запропонована технологія являє собою новий спосіб нанообробки – поверхневу модифікацію текстильних матеріалів шляхом обробки в рідкофазних системах – золях, що сприяє закріпленню й фіксації наночастинок на їх поверхні з отриманням покриттів, стійких до зовнішніх впливів.

Розміри частинок на поверхні текстильного матеріалу, а також морфологію зразків характеризували за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM) на растровому електронному мікроскопі «MIRA 3 LMU, Tescan» з дозволом ± 1 нм і енергодисперсійної спектроскопії (EDX) з хімічним аналізом Oxford X - MAX 80 мм² з невизначеністю приладу $\pm 1\%$. Для нанобробки трикотажних полотен застосовували класичні методи опорядження текстильних матеріалів. В якості текстильних матеріалів використовували целюлозні текстильні матеріали у вигляді трикотажних полотен з переплетенням гладь, що отримані на основі бавовняної нитки.

У роботі застосовано новий підхід нанобробки текстильних матеріалів – створення магнітних покриттів шляхом поверхневої модифікації на основі золь-гель методу з високоефективним захистом від електромагнітного випромінювання. Для модифікування целюлозних текстильних матеріалів, були розроблені різні оброблювальні склади, що містять водні розчини залізо-оксидних сполук з різними концентраціями сульфату та хлориду заліза: склад № 1 – 20 г/л, склад № 2 – 30 г/л, склад № 3 – 40 г/л, склад № 4 – 50 г/л, склад № 5 – 60 г/л, склад № 6 – 70 г/л. Нанобробку текстильних матеріалів неорганічними наночастинками проводили звичайним зануренням бавовняних трикотажних полотен в залізо-оксидний золь з наступною термофіксацією при підвищеній температурі. Обробку зразків бавовняних трикотажних полотен золь-гель композицією здійснювали на лабораторній двохвальній плюсовці з 90 % віджимом, потім висушували при 80 – 90 °С впродовж 8 – 10 хвилин. Термообробка оброблених зразків відбувалася при 100, 125, 150 °С по 2 хвилини. Після сушіння і термообробки оброблені зразки промивали в дистильованій воді і знову висушували при кімнатній температурі.

Збільшення вмісту наноструктурного магнетиту в золь-гель розчинах різного складу сприяло появі і підвищенню намагніченості насичення, що характеризує набуття магнітних властивостей текстильними матеріалами від 4 до 12 А·м²/кг. Отримані нанозольні покриття з частинками залізо-оксидних сполук розміром менше 100 нм. Запропонований золь-гель метод для

опорядження текстильних матеріалів забезпечує формування частинок малого розміру (65 ± 12 нм) з товщиною шару покриття близько 90 нм. Дослідження елементного складу і структури поверхні обробленого бавовняного трикотажного полотна показало, що зразок має гладку поверхню і відрізняється однорідною структурою, а сам текстильний матеріал містить основні елементи молекули целюлози.

За рахунок такого технічного рішення можливою є розробка функціонального трикотажу, суттєво покращуються техніко-економічні показники готової продукції, а також знижуються технологічні витрати та собівартість текстильного матеріалу спеціального призначення. Переваги розробленого способу полягають у його універсальності, доступності і простоті виконанні з одночасним забезпеченням спеціальних властивостей текстильному матеріалу, що не вимагає додаткових обробок плазмою, проведення попередніх модифікацій поверхні текстильного матеріалу та наявності спеціального обладнання опоряджувального виробництва у процесі виготовлення.

Таким чином, розроблено функціональний трикотаж з використанням нанообробки та поверхневої модифікації на основі золь-гель синтезу залізо-оксидних сполук, що забезпечують рівномірний розподіл і стійке покриття із частинок наномангнетиту на поверхні целюлозного трикотажного полотна, розмір яких варіюється в межах до 100 нм. Із застосуванням СЕМ проведено аналіз елементного складу і досліджена морфологія утворених покриттів. Встановлено, що використання різного співвідношення солей заліза в нанозолі впливає на різне закріплення частинок залізооксидних сполук на поверхні трикотажу і, як наслідок, на зміну намагніченості насичення від 4 до 12 А·м²/кг.

Передбачається ефективність застосування оброблених зразків в якості текстильного екрану для захисту від електромагнітного випромінювання. Механізм втрати мікрохвильової енергії в матеріалі є результатом його діелектричних та магнітних властивостей, що залежить від уявної частини комплексної проникності та комплексної проникності. Тому необхідно вивчати складну діелектричну проникність та комплексну проникність. Як відомо,

реальна (ϵ' , μ') та уявна (ϵ'' , μ'') частини складної проникності та складної проникності характеризують ємність зберігання та втрати електричної та магнітної енергії матеріалу відповідно. Діелектричну проникність визначали методом стоячої лінії. Товщина зразка становила 0,5 мм. Відомо, що ослаблення електромагнітного поля для чистого магнетиту нанорозміром становить приблизно -32 дБ -40 дБ в діапазоні від 2 до 4 ГГц. Релаксація електромагнітного поля створеним текстильним матеріалом, що містить наночастинки магнетиту, становить до -5 дБ в діапазоні 2 – 4 ГГц.

Запропоновано використання текстильного матеріалу з магнітними властивостями як текстильного екрану для захисту від електромагнітного випромінювання у надвисокочастотному діапазоні. У виробництві екранів з текстильних матеріалів із застосуванням нанотехнологій безсумнівною перевагою є високий технологічний рівень такої продукції, що поряд з високим виробництвом сучасного обладнання та відносно низькою вартістю сировини та технологічного процесу викликає перспективи з використанням технології одержання текстильних матеріалів з магнітними властивостями для створення гнучких конструкцій екранів та поглиначів електромагнітного випромінювання.