

УДК 677.074

РЕДЬКО Я.В., РОМАНКЕВИЧ Я.О., ЧВЕРТКА Т.А.,
ТАРАН А.О.

Київський національний університет технологій та дизайну

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СИНТЕЗУ
НАНОЧАСТИНОК *IN SITU* ДЛЯ СТВОРЕННЯ
НАНОКОМПОЗИЦІЙНОГО ТЕКСТИЛЬНОГО
МАТЕРІАЛУ**

Мета роботи полягає у теоретичному дослідженні та обґрунтуванні можливості синтезу феромагнітних наночастинок *in situ* в матриці текстильного матеріалу різного сировинного складу для створення наноконпозиційного феромісткого текстильного матеріалу.

Методика. Пропонується застосування нового методу синтезу залізо-оксидних наночастинок *in situ* з урахуванням структурних особливостей волокон та нанотехнологічних процесів.

Результати. В результаті теоретичного дослідження та аналізу надмолекулярної структури волокон очікується, що аморфні області целюлозних та синтетичних волокон можуть бути нанореакторами за рахунок їх набухання в розчинах солей заліза для синтезу феромагнітних наночастинок *in situ* в матриці текстильного матеріалу.

Наукова новизна. Вперше запропоновано застосування матриці волокнистого матеріалу у якості нанореактора, який повинен стабілізувати розміри феромагнітних наночастинок, визначатиме їх просторове розміщення та магнітні характеристики.

Практична значимість. Пошук нових підходів та методів створення текстильних матеріалів, що містять залізо-оксидні сполуки нанорозмірів пов'язаний із можливим створенням наноконпозиційного феромісткого текстильного матеріалу.

Ключові слова: наноконпозиційний текстильний матеріал, наночастинки магнетиту, нанореактор, *in situ*, матриця текстильного матеріалу.

Вступ. Головними тенденціями розвитку сучасної текстильної промисловості є розширення функціональних можливостей виробів, пов'язаних із перспективним напрямком створення текстильних матеріалів із заданими властивостями – «smart textile», для отримання яких необхідне застосування нанотехнологій [1–4].

Виклики сьогодення спонукають до пошуку нових підходів та методів створення текстильних матеріалів, що містять залізо-оксидні сполуки нанорозмірів, обумовлених здатністю магнітними наночастинами інтенсивно поглинати мікрохвилі.

Відоме отримання нанорозмірних частинок оксиду заліза на синтетичних волокнистих матеріалах в процесі їх осадження за механізмом гетерокоагуляції [1], а також нанесення магнітних рідин на натуральні волокна [2]. В даний час широко використовуються хімічні волокна, для яких характерна наявність гладкої поверхні, що ускладнює осадження на поверхні частинок окислу заліза магнетиту. Зокрема, для поліефірних і поліамідних волокон, для усунення цього недоліку при проведенні осадження наночастинок срібла, поверхню волокон заздалегідь модифікують [3]. Інший метод пов'язаний із введенням магнетиту на стадії формування волокна, наприклад, відомі целюлозні волокна, що сформовані з неводного розчину целюлози, наповненого наночастинами магнетиту [4].

Постановка завдання. Представляє інтерес дослідження можливості створення наноконпозиційних феромістких текстильних матеріалів із застосуванням нового методу синтезу залізо-оксидних наночастинок *in situ* з урахуванням структурних особливостей волокон та нанотехнологічних процесів.

Мета роботи полягає у теоретичному дослідженні та обґрунтуванні можливості синтезу феромагнітних наночастинок *in situ* в матриці текстильного матеріалу різного сировинного складу для створення наноконпозиційного феромісткого текстильного матеріалу.

Результати дослідження. Дослідженню та розробленню нанотехнологій створення нанорозмірних частинок магнетитів та маггемітів в нанореакторах різних фібрилярних матриць, передують теоретичні обґрунтування та аналіз структурних особливостей волокнистих матеріалів.

Новий метод створення наночастинок *in situ* у текстильному матеріалі передбачає розв'язання фундаментальної задачі – створення текстильних матеріалів із заданими властивостями з використанням нанотехнологій, через застосування нової ідеї – здійснення процесу синтезу наносистем *in situ* із феромагнітними наночастинами, локалізованими у нанореакторі – фібрилярній структурі матриці волокнистого матеріалу з одночасною його хімічною модифікацією шляхом відновлення іонів заліза у текстильному матеріалі. У даному випадку матриця волокнистого матеріалу виконуватиме роль нанореактора, який буде стабілізувати розміри феромагнітних наночастинок, визначатиме їх просторове розміщення та магнітні характеристики.

Основна вимога до синтетичних наномагнетитів та наномаггемітів – це достатньо високі значення намагніченості, які залежать не тільки від розміру частинок, їх фазового складу – наявності феррімагнітних фаз, а й від кількості та розміщення наночастинок у текстильному матеріалі.

Виходячи з наведеного вище, пропонується припущення про існування взаємозв'язку: сировинний склад текстильного матеріалу – його структурні особливості (співвідношення кристалічних та аморфних областей (надмолекулярна структура), їх орієнтація відносно осі волокна, капілярно-пористі характеристики) – формування наноструктур *in situ* в об'ємі волокнистої матриці, що пов'язана з кількістю локалізованих наночастинок в нанопорах фібрилярних структур – розподіл та розміщення наночастинок всередині волокна (в об'ємі матриці волокнистого матеріалу) – створення ланцюгу регулярно близько розміщених магнітних наночастинок в орієнтованому або напіворієнтованому стані (магнітна анізотропія) – величина намагніченості насичення наноконпозиційного феромісткого текстильного матеріалу – задані магнітні властивості текстильного матеріалу.

Бавовняне волокно складається з макромолекул целюлози, об'єднаних у групи – мікрофібрили [5]. Всі молекули витягнуті і утворюють пучок. Лінійний розмір мікрофібрил у поперечному перерізі становить 10 нм. По довжині мікрофібрили мають різні розміри і досягають 1000 нм. Мікрофібрили в свою чергу об'єднані в більш великі утворення – фібрили. Між фібрилами утворюється велика кількість поздовжніх тріщин і пор різних розмірів до 10 нм і навіть досить великі – до 100 нм. Чим більшою мірою орієнтовані сегменти і чим більше вони орієнтовані в одному напрямку, тим більше щільність їх упаковки, міцність і пружність волокна, і тим менше його розтяжність (рис. 1, а). Тому особливо міцні волокна отримують шляхом їх значного витягування. Орієнтовані ділянки

пучків молекул мають кристалічну будову. Ці ділянки у волокні чергуються з аморфними ділянками, де молекули розташовані хаотично (рис. 1, б). Внаслідок значної довжини макромолекула може проходити одночасно через кілька кристалічних і аморфних ділянок. Целюлозні волокна мають аморфно-кристалічну будову [5].

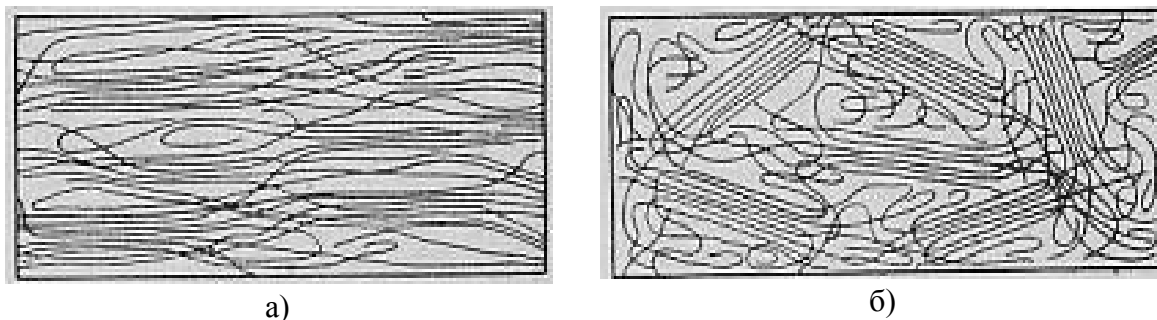


Рис. 1. Схеми розміщення сегментів макромолекул пучків молекул в волокні:
а) – орієнтовані вдовж осі волокна сегменти; б) – неорієнтовані сегменти.

Полімерні ланцюги целюлози упаковані в довгі пучки, або волокна, в яких поряд з упорядкованими, кристалічними є і менш впорядковані, аморфні ділянки (рис. 2). Визначений відсоток ступеню кристалічності залежить від типу целюлози, який за рентгенівськими даними становить від 70% (бавовна) до 30 – 40 % (віскозне волокно).



Рис. 2. Схематичне зображення надмолекулярної структури целюлози.

У зв'язку з цим, при використанні матриці целюлозного волокнистого матеріалу у якості нанореактора, синтез наночастинок *in situ* у текстильному матеріалі може розглядатися як процес аналогічний процесам сорбції води за [5] і відбуватися як з адсорбцією солей заліза на поверхні мікрофібрил, так і з абсорбцією (розчиненням) солей заліза в набухших у воді аморфних областях целюлози з їх наступним відновленням і утворенням магнітних частинок нанорозмірів.

У трьохшаровій структурі вовни наявний клітинно-мембранний комплекс, який є головним дифузійним шляхом для барвників та інших препаратів фарбувального процесу (води, поверхнево-активних речовин, солей), всередину вовняного волокна на підставі того, що він більше набухає в порівнянні з іншими морфологічними компонентами. За цими уявленнями хімічні речовини фарбувальної ванни швидко проникають через клітинно-мембранний комплекс у внутрішню частину вовняного волокна і потім повільно

розподіляються по іншим морфологічним шарам вовни (кутикула, кортекс) по мірі їх близькості і величини коефіцієнта дифузії [6].

Таким чином, при застосуванні матриці вовняного волокнистого матеріалу у якості нанореактора, синтез наночастинок *in situ* у текстильному матеріалі здійснюватиметься із сорбцією солей заліза всередину трьохшарової, рихлої структури вовни з утворенням наночастинок після їх відновлення.

У хімічних волокон (зокрема поліамідних волокон) розташування молекул може бути частково орієнтоване залежно від величини кратності орієнтаційного розтягування волокна при його виробництві. Структура поліамідів позначається і на механічних властивостях покриттів. Так, переважання кристалічної структури поліамідів обумовлює їх високу механічну міцність, жорсткість і твердість; з наявністю розвиненої аморфної структури пов'язані такі властивості полімеру, як висока питома ударна в'язкість і значно відносно подовження при розриві. Співвідношення кристалічної та аморфної фаз в деякому випадку залежить від умов термообробки і охолодження поліамідного покриття.

У процесі підготовки до процесів опорядження необхідно враховувати важливу характеристику якості поліамідних волокон, тобто їх неоднорідність хімічного складу і фізичних властивостей поліамідних волокон, що негативно впливає на рівномірність фарбування. При наявності у волокнах ділянок з різним ступенем впорядкованості макромолекул, швидкість дифузії барвника в окремі ділянки волокна буде різною. Найбільш швидко барвник дифундує в менш орієнтовані ділянки волокна, тому, коли фарбування волокна здійснюється протягом порівняно нетривалого часу, важкодоступні ділянки волокна забарвлюються менш інтенсивно.

З теорії фарбування поліамідних та поліефірних волокнистих матеріалів відомо [7], що, наприклад, дисперсні барвники розчиняються у аморфних областях капрону або в аморфних областях ацетатного волокна.

Тому, при застосуванні матриці синтетичного волокнистого матеріалу у якості нанореактора, синтез наночастинок *in situ* у текстильному матеріалі може відбуватися при розчиненні солей заліза у аморфних областях з їх наступним відновленням і утворенням магнітних частинок нанорозмірів.

Висновки. В результаті теоретичного дослідження та аналізу структури волокон очікується, що створення наночастинок магнетиту або маггеміту *in situ* у фібрилярній матриці волокнистого матеріалу може відбуватися: 1. На поверхні целюлозних мікрофібрил (бавовняні та віскозні волокнисті матеріали) та в аморфних областях целюлозних та синтетичних (поліамідних) волокон, які можуть бути нанореакторами за рахунок їх набухання в розчинах солей заліза; 2. В порах та капілярах (целюлозні волокна) – з направленим темплейтним синтезом наночастинок магнетиту або маггеміту всередині волокна; 3. У трьохшаровій, рихлій структурі матриці вовняного волокнистого матеріалу, в якій будуть відкладатися наночастинок магнетиту.

Виходячи з цього передбачається, що синтез наночастинок *in situ* у фібрилярній матриці волокнистого матеріалу різного сировинного складу позначиться на досягненні заданих властивостей, пов'язаних з розміром, розміщенням та концентрацією магнітних наночастинок у волокні. Для підтвердження наших припущень, пов'язаних із сукупністю факторів, що можуть вплинути на розроблення технологічно прийнятної методи створення наноконпозиційних феромістких текстильних матеріалів з урахуванням структурних

особливостей необхідні подальші експериментальні дослідження для того, щоб: розробити оптимальні умови відновлення іонів заліза у матриці текстильних матеріалів різного сировинного складу; визначити оптичну густину розчинів забарвлених магнітних волокнистих матеріалів (міра кількості наночастинок магнетиту та маггеміту у волокні); ідентифікувати ферромагнітну фазу, стабілізовану у фібрилярній матриці текстильного матеріалу; визначити розмір частинок залізо-оксидних сполук, що містяться у текстильному матеріалі; дослідити структуру наноконпозиційного текстильного матеріалу; визначити розміщення наночастинок в орієнтованому чи напіворієнтованому стані із проведенням оцінки магнітної анізотропії та магнітної взаємодії між індивідуальними частинками з використанням методу ФМР.

Список використаних джерел

1. Романкевич О. В. Гетерокоагуляція дисперсії магнетита на полиамидном волокнистом матеріалі / О. В. Романкевич, Я. В. Редько, А. Б. Брик // Дизайн. Матеріали. Технології. – 2012. – № 5(25). – С. 45–49.
2. Байбуртский Ф. С. Коллоидно-химические закономерности взаимодействия частиц магнитных жидкостей с поверхностями натуральных волокон: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук. / Ф. С. Байбуртский. – М., 1999. – 13 с.
3. Radetić M. Functionalization of textile materials with silver nanoparticles / M. Radetić // Journal of Materials Science. – 2013. – V. 48, issue 1. – P. 95–107.
4. Marcin Rubacha. Magnetic Textile Elements / Marcin Rubacha, Janusz Zięba // FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. – 2006. – V. 14. – No. 5(59). – P. 49–53.
5. Папков С. П. Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой / С. П. Папков, Э. З. Файнберг. – М. : [б. и.], 1976. – 231 с.
6. Шиканова И. А. Технология отделки шерстяных тканей / И. А. Шиканова. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 352 с.
7. Кричевский Г. Е. Химическая технология текстильных материалов: учеб. для вузов. В 3-х т. Т. 2 / Г. Е. Кричевский. – М. : [б. и.], 2001. – 540 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ *IN SITU* ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАНОКОМПОЗИЦИОННОГО ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

РЕДЬКО Я.В., РОМАНКЕВИЧ Я.О., ЧВЕРТКА Т.А., ТАРАН А.О.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Заключается в теоретическом исследовании и обосновании возможности синтеза ферромагнитных наночастиц *in situ* в матрице текстильного материала разного сырьевого состава для создания наноконпозиционного ферросодержащего текстильного материала.

Методика. Предлагается применение нового метода синтеза железо-оксидных наночастиц *in situ* с учетом структурных особенностей волокон и нанотехнологических процессов.

Результаты. В результате теоретического исследования и анализа надмолекулярной структуры волокон ожидается, что аморфные области целлюлозных и синтетических волокон могут быть нанореакторами за счет их набухания в растворах солей железа для синтеза ферромагнитных наночастиц *in situ* в матрице текстильного материала.

Научная новизна. Впервые предложено применение матрицы волокнистого материала в качестве нанореактора, который должен стабилизировать размеры ферромагнитных наночастиц, будет определять их пространственное размещение и магнитные характеристики.

Практическая значимость. Поиск новых подходов и методов создания текстильных материалов, которые содержат железо-оксидные соединения наноразмеров связан с возможным созданием нанокomпозиционного ферросодержащего текстильного материала.

Ключевые слова: *нанокomпозиционный текстильный материал, наночастицы магнетита, нанореактор, in situ, матрица текстильного материала.*

INVESTIGATION OF POSSIBILITIES *IN SITU* SYNTHESIS OF NANOPARTICLES FOR CREATING NANOCOMPOSITE TEXTILE MATERIALS

REDKO YA., ROMANKEVICH YA., CHVERTKA T., TARAN A.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. It consists of a theoretical study, which proves the possibility of synthesis of ferromagnetic nanoparticles *in situ* in the matrix material of various textile raw stock to create nanocomposite textile material.

Methodology. It is proposed to use a new method of synthesis of iron oxide nanoparticles-based *in situ* structural characteristics of fibers and nanotechnology processes.

Findings. As a result of theoretical research and analysis supramolecular structure of fibers is expected that the amorphous region of cellulose and synthetic fibers can be nanoreactors by their swelling in solutions of iron salts for the synthesis of ferromagnetic nanoparticles *in situ* in the matrix textile material.

Originality. The first time the use of a matrix of fibrous material as nanoreactors, which should stabilize the size of ferromagnetic nanoparticles determine their spatial distribution and magnetic properties.

Practical value. Search for new approaches and methods for creating textile materials containing iron oxide nano scale compounds associated with the possible creation of nanocomposite textile material.

Keywords: *nanocomposite textile material, nanoparticles of magnetite, nanoreactors, in situ, the matrix of textile material.*