

Супрун Н.П., Пожилов-Несміян Г.М., Чумак Л.Ю.

Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ ЗМОЧУВАНОСТІ НЕТКАНИХ ПОЛОТЕН

Анотація. Розроблена зручна у використанні і наочна методика оцінки змочуваності рідиною нетканих голкопробивних полотен та динаміки поведінки краплі на їх поверхні шляхом визначення крайового кута змочування та відеофіксації процесу поглинання краплі у часі з використанням електронного USB мікроскопу.

Ключові слова: неткані голкопробивні полотна; змочуваність поверхні; крайовий кут змочування.

Suprun N.P., Pozhylov-Nesmiian H.M., Chumak L.Yu.

Kyiv National University of Technologies and Design

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR EVALUATION OF WETNESS OF NONWOVENS

Abstract. An easy-to-use and visual method was developed for evaluation of liquid wettability of needle-punched nonwoven fabrics and the dynamics of droplet behavior on their surface by determining the wetting angle and video recording of the droplet absorption process over time using an electron USB microscope.

Keywords: nonwoven needle-punched fabrics; surface wettability; wetting edge angle.

Вступ. Неткані матеріали – це полотна та вироби, які виготовляють з волокон, ниток та інших видів матеріалів, не використовуючи прядіння, ткацтво та в'язання. У порівнянні з традиційними способами виробництва в текстильній промисловості виробництво нетканих матеріалів відрізняється простою технологією (в тому числі скороченням числа технологічних стадій), підвищеною продуктивністю устаткування і, отже, меншими капітальними і трудовими затратами, різноманітністю асортименту полотен, можливостями раціонального використання різної сировини, більш низькою собівартістю продукції, можливістю максимальної автоматизації виробництва, тобто створення потокових ліній і фабрик-автоматів. Застосування дешевої текстильної сировини дозволяє збільшити асортимент і обсяг випуску текстильних виробів при одночасному зниженні їх собівартості. Неткані полотна дедалі все ширше використовуються в різних галузях господарства [1–4].

Найбільшими серед вітчизняних виробників нетканих матеріалів в Україні є «Дніпропетровська фабрика нетканих матеріалів», ТОВ «Пульсар і Ко», «Альтеко», «Велам», «Неткам», «Рівненська фабрика нетканих матеріалів», «Чексил-неткані матеріали» та ін. Динаміка виробництва нетканих матеріалів в Україні за 2011–2018 рр. за даними [5], представлена на рис. 1.



Рис. 1. Динаміка виробництва нетканих матеріалів в Україні за 2011–2018 рр.

Вибір сировинного складу і структури визначає властивості полотен і області їх використання. Одним із поширених методів отримання нетканих полотен є голкопробивний спосіб. Він полягає в тому, що текстильні шари проколюються (пробиваються) спеціальними голками (рис. 2), що мають тригранну, квадратну чи ромбовидну форму леза, на ребрах якого розташовані зазубрини.

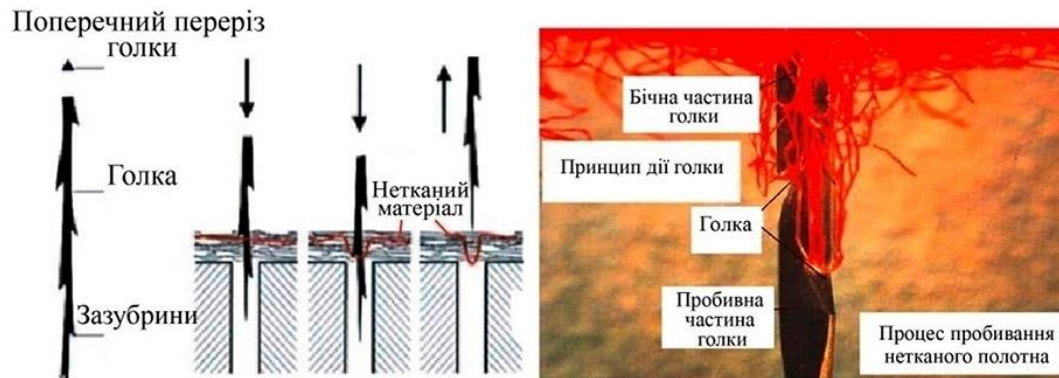


Рис. 2. Голкопробивний спосіб отримання нетканих полотен

Властивості нетканих матеріалів залежать від їх структури і способу виробництва, природи сировини. Неткані матеріали виробляють з натуральних (бавовняних, лляних, вовняних) і хімічних (віскозних, поліефірних, поліамідних, поліакрилонітрильних, поліпропіленових) волокон, а також вторинної волокнистої сировини і коротковолокнистих відходів хімічних та ін. галузей промисловості. Із синтетичних волокон найбільшого поширення набули поліамідне, поліефірне, поліакрилонітрильне, поліуретанове і поліолефінове волокна. Властивості натуральних і хімічних волокон доповнюють одного, що дає можливість отримувати з їх сумішей вироби високої якості. Для натуральних волокон характерна велика неоднорідність по фізичним і механічним властивостям, що ускладнює їх використання при виробництві нетканих матеріалів. Хімічні волокна відрізняються від натуральних чистотою, в них немає забруднень і сторонніх домішок. По ряду властивостей хімічні волокна перевершують натуральні. Завдяки цьому створюються сприятливі умови для переробки сумішей з натуральних і хімічних волокон. Неткані матеріали з натуральної сировини [8] відрізняються пластичністю, здатністю зберігати у виробі свою цілісність і структуру, вони легко моделюються на складних поверхнях тіла. Варіюючи волокнистий склад і густину, сучасним нетканим матеріалам можна надати такі необхідні гігієнічні властивості, як високе вологопоглинання, гігроскопічність, паро- та повітропроникність.

Постановка завдання. Сорбційні властивості є найважливішими гігієнічними характеристиками текстильних полотен будь-якого способу виробництва, які використовуються у виробках, що мають контакт з тілом людини [6,7]. Вони пов'язані з поглинанням пароподібної і крапельно-рідкої вологи і її віддачею у повітряне середовище зі зниженою вологістю і залежать від змочуваності матеріалу. Ступінь змочування поверхні визначається її гідрофобністю та гідрофільністю і якісно оцінюється крайовим кутом змочування (θ) і поверхневим натяг (σ), між якими існує залежність (рівняння Юнга):

$$\theta = \frac{\delta_{тг} - \delta_{тр}}{\delta_{рг}}$$

де σ – поверхневий натяг на межі розділу (тг – тверде тіло-газ, тж – тверде тіло-рідина, рг – рідина-газ).

Значення крайового кута змочування $\Theta = 0^\circ$ відповідає повній змочуваності, $\Theta = 180^\circ$ – повному відштовхуванню води від поверхні (рис. 3).

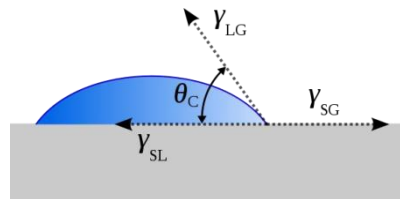


Рис. 3. Схема рівноважних значень поверхневого натягу при змочуванні

Поверхня нетканих текстильних полотен, як правило, відрізняється певною шорсткістю – сукупністю мікронерівностей, що утворюють рельє. Це збільшує площу фактичного контакту рідини з матеріалом в порівнянні з номінальною площею контакту (площею проекції краплі на гладку поверхню). Тому для шорсткої поверхні значення крайового кута змочування виражається як:

$$\theta_{ш} = k \cdot \frac{\delta_{тг} - \delta_{тр}}{\delta_{рг}}$$

де k – коефіцієнт шорсткості, що дорівнює відношенню фактичної площі поверхні контакту до номінальної площі.

Якщо вода добре змочує дану поверхню, то збільшення шорсткості призводить до посилення змочування і, навпаки, якщо вода погано змочує поверхню, то шорсткість підвищує значення крайового кута.

Значення крайових кутів змочування поверхні можуть бути визначені експериментально за допомогою різних методів (рис. 4) – за профілем краплі; по тиску газу, що компенсує капілярний тиск, за швидкістю капілярного підняття (також для пористих твердих тіл і капілярів), метод прямої пластини (метод Вільгельми), метод похилої пластини, за величиною крапель. Останній метод є найбільш простим в апаратурному оформленні, не вимагає знання поверхневого натягу рідини, однак представляє певні технічні проблеми в разі хорошого змочування (крайовий кут – менше $45-60^\circ$).

I метод		II метод		III метод	
	Проекція на екран, кут вимірюють за допомогою транспортира	Проекція на екран, лінійка	Розрахунок за формулою $\frac{2h}{L} = \text{tg} \left(\frac{\theta}{2} \right)$	За допомогою стереоскопічного мікроскопа	Розрахунок за формулою $\cos \theta = \frac{\left(\frac{d}{2} \right)^2 - h^2}{\left(\frac{d}{2} \right)^2 + h^2}$

Рис. 4. Методи визначення крайового кута змочування

Метод лежачої краплі відноситься до статичних методів визначення поверхневого натягу. Поверхня нерухома в момент вимірювання. В основі методу – визначення параметрів профілю краплі, що лежить на плоскій поверхні твердого тіла. Для цього краплю необхідно сфотографувати і по фотографії визначити необхідні для розрахунку крайового кута змочування її параметри. Найчастіше проектують бічне зображення краплі рідини, нанесеної на поверхню твердого тіла, на екран, потім окреслюють на

екрані контур краплі і через точку, в якій стикаються всі три фази, проводять дотичну до контуру краплі. По куту нахилу цієї дотичної визначають крайовий кут. Для цієї мети існують прилади, які проєктують краплі на спеціальний екран, що вже має вимірювальний пристрій. Сучасні технології дозволяють записати зображення краплі і отримати всі необхідні дані за допомогою програм. В області останніх досягнень таких розробок є прилад для вимірювання крайового кута змочування і вимірювання критичної поверхневої енергії, оснащений програмою обробки і обчислення необхідних розрахункових даних, що значно полегшує проведення експерименту. При нанесенні краплі рідини на поверхню твердого тіла можна спостерігати в часі збільшення або зменшення площі контакту краплі з поверхнею. Ця площа обмежена лінією дотику трьох фаз (рідкої, твердої і газоподібної), званої периметром змочування. Якщо площа контакту, а отже, і периметр змочування збільшуються, то говорять про розтікання рідини по поверхні. Повне розтікання краплі по поверхні, або її повне змочування стається, коли молекули води взаємодіють з молекулами твердого тіла сильніше ніж між собою. Для визначення розтікання води на поверхні матеріалів існує тестовий метод відповідно до стандарту ASTM D7024 [9].

Результати досліджень. В якості об'єктів дослідження було обрано шість зразків голкопробивних нетканних матеріалів, отриманих на технологічному обладнанні КНУТД на основі натуральних волокон бавовни та льону, із додаванням до суміші з ними поліефірних та поліуретанових волокон для покращення експлуатаційних та технологічних властивостей. Характеристики структури полотен наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Структурні характеристики нетканних полотен

№ п/п	Умовне позначення	Вміст складників сировинного складу, (%)	Товщина, (мм)	Поверхнева густина, M_s , (г/м ²)
1	НТЛП50	Льон – 50 ВПЕ – 50	1,2	138
2	НТЛП70	Льон – 70 ВПЕ – 30	1,1	193
3	НТЛЛ50	Льон – 50 ВПА – 30, ВПУ – 20	0,7	183
4	НТБП50	Бавовна-50 ВПЕ – 50	0,7	169
5	НТБП70	Бавовна-70 ВПЕ – 30	0,5	185
6	НТБЛ50	Бавовна-50 ВПА – 30, ВПУ – 20	0,5	191

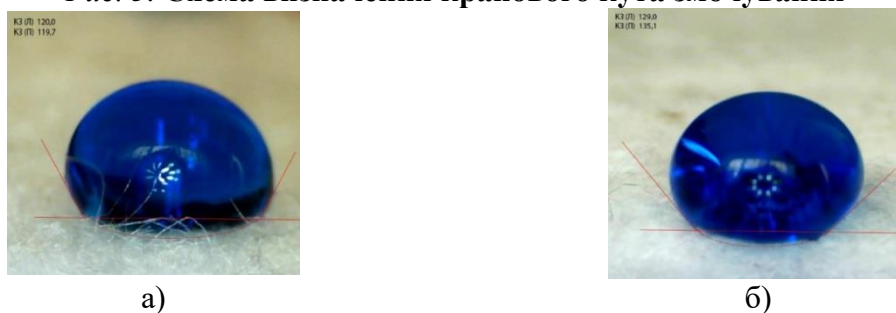
Крайовий кут змочування та зміна його значення у часі, поведінка краплі на поверхні досліджуваних зразків вимірювались за розробленою нами методикою із застосуванням електронного USB мікроскопа Digital Microscope U500X (рис. 5).

Досліджуваний зразок встановлювали на столик у нерухомому стані. Краплю підфарбованої води наносили на поверхню зразка нетканого матеріалу за допомогою пристрою формування краплі (шприца з голкою внутрішнім діаметром 0,1 мм) у стандартизованих умовах. Крапля падає на поверхню тканини, контактує з нею і досягає стану рівноваги. Кут перетину між дотичною лінією повітря-рідина та граничною лінією

поверхня-рідина називається крайовим кутом змочування. Краплю освічують та фіксують її профіль за допомогою електронного USB мікроскопа.



Рис. 5. Схема визначення крайового кута змочування



а)

б)

Рис. 6. Вимірювання крайового кута змочування поверхні зразка №6 (НТБЛ50) (а) та зразка №3 (НТЛЛ50) (б)

Результати вимірювання значення крайового кута змочування для досліджуваних зразків представлено в табл. 2.

Таблиця 2




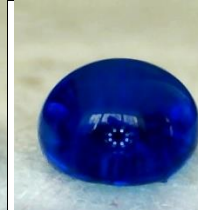
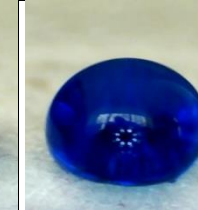



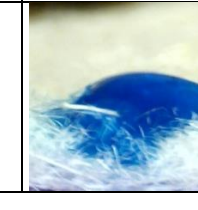
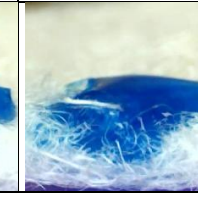
Визначення крайового кута змочування нетканних полотен

№ п/п	Умовне позначення зразка	Сировинний склад випробовуваних зразків	Крайовий кут змочування (θ), град.
1	НТЛЛ50	Льон – 50%, ВПА – 30 %, ВПУ – 20%	121
2	НТЛП70	Льон – 70%, ВПЕ – 30%	40
3	НТЛП50	Льон – 50%, ВПЕ – 50%	43
4	НТБЛ50	Бавовна – 50%, ВПА – 30 %, ВПУ – 20%	123
5	НТБП70	Бавовна – 70%, ВПЕ – 30%	117
6	НТБП50	Бавовна – 50%, ВПЕ – 50%	51

Отримані дані наявно характеризують здатність змочуватися поверхні обраних для дослідження нетканних голкопробивних полотен. Приблизно однакове (120 град), в межах похибки досліду, значення крайового кута змочування мають зразки № 1,4 та 5. Невелике значення кута θ для зразків № 2,3 та 6 свідчить про їх вкрай погану здатність змочуватися. Визначені величини крайового кута змочування корелюють з якісними показниками, отриманими шляхом фотографування динаміки поведінки краплі води у часі досліджених нетканних полотен (рис. 7).

Таблиця 3

Динаміка поведінки краплі води на досліджуваних зразках

Зразок № 2					
Час спостереження, сек	1	15	30	45	60
					
Зразок № 1					
Час спостереження, сек	1	5	7	8	9
					

Висновки. Розроблена зручна у використанні і наочна методика оцінки змочуваності рідиною нетканих голкопробивних полотен та динаміки поведінки краплі на їх поверхні шляхом визначення крайового кута змочування та відеофіксації процесу поглинання краплі у часі з використанням електронного USB мікроскопу та програмного забезпечення Micro Capture Pro.

Список використаної літератури

- Advances in Technical Nonwovens. Edited by George Kellie. Woodhead Publishing Series in Textiles. 2016. P. 528.
- Cheema, S.M., Shah, T., Anand, S.C., Soin N. (2018). Development and Characterisation of Nonwoven Fabrics for Apparel Applications. Journal of Textile Science & Engineering, Vol. 8, Issue 3.
- Пушкар Г. О. Сучасний асортимент і властивості нетканих текстильних матеріалів інтер'єрного призначення / Г. О. Пушкар, Б. Д. Семак // Вісник Львівської комерційної академії. Серія товарознавча. – 2011. – Вип. 12. – С. 15–21.
- Олійник Г. С. Якість як основа конкурентоздатності нетканих текстильних матеріалів для меблевої промисловості / Г. С. Олійник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – No. 3 (213). – С. 247–253.
- Виробництво основних видів промислової продукції [Електронний ресурс] / Сайт Державної служби статистики України. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
- Дель Р. А. Гигиена одежды / Р. А. Дель, Р. Ф. Афанасьева, З. С. Чубарова. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 160 с.
- Скляльников В. П. Гигиеническая оценка материалов для одежды: Теоретические основы разработки / В. П. Скляльников, Р. Ф. Афанасьева, Е. Н. Машкова. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 144 с.
- Калінський Є. О. Перспективи використання волокна льону олійного для виробництва нетканих матеріалів / Є. О. Калінський // Вісник ХНТУ. – 2020. – № 1 (72), Ч. 1. – С. 103–108.
- ASTM D7024-04, Standard Test Method for Steady State and Dynamic Thermal Performance of Textile Materials (Withdrawn 2013), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004. Retrieved from: www.astm.org.