

N (%) -S (%) – Зола (%)) на основі висушеної в печі беззольної маси. Варто відзначити, що класичний метод відрізняється складністю та високою вартістю.

Досить перспективними можна вважати методи, які включають рентгенівську спектроскопію з дисперсією енергії - EDX (як частину скануючої електронної мікроскопії (SEM)) та рентгенівську фотоелектронну спектроскопію - XPS.

Для рентгенівської фотоелектронної спектроскопії елементний склад визначається шляхом інтегрування площі (при різних енергіях зв'язку), обмеженої піками на оглядовому спектрі, що генерується, коли сфокусований рентгенівський промінь збуджує внутрішні орбітальні та зв'язуючі електрони цільових зразків. Елементний склад в даному випадку, як і атомні концентрації, визначається як відсоткове відношення інтенсивності елемента до інтенсивності всього спектру та/або вимірювання.

Методи рентгенівської спектроскопії з дисперсією енергії та рентгенівської фотоелектронної спектроскопії мають помітні переваги перед класичним методом, оскільки вони можуть одночасно вимірювати інші властивості біовугілля, такі як стани зв'язування та морфологію. Позитивним також є те, що використання вказаних методів дозволяє значно знизити вартість проведення досліджень. Для проведення досліджень вказаними методами необхідно розробити математичні рівняння/моделі для калібрування за допомогою класичного методу.

#### Список посилань

1. Panchuk, M. &Kryshtopa,S.&Panchuk, A. et al. Perspectives for torrefaction technology development and using in Ukraine. *Inter J Ener Clean Env.*2019. Vol. 20. P. 113–134.

УДК 677

Безуглий Д.М., аспірант  
[bezuhlyi.dm@knutd.edu.ua](mailto:bezuhlyi.dm@knutd.edu.ua)

Манойленко О.П., канд. техн. наук, доцент

Київський національний університет технологій та дизайну, [manojlenko.op@knutd.edu.ua](mailto:manojlenko.op@knutd.edu.ua)

### РОЗРОБЛЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕКСТИЛЬНИХ АРМУЮЧИХ ПРЕФОРМ ДЛЯ КОМПОЗИТНИХ ВИРОБІВ

Використання технологій виготовлення композитних виробів, як правило передбачають застосування армуючого наповнювача, який формує каркас виробу з певними характеристиками міцності та певними властивостями. Серед багатьох наповнювачів широке застосування знайшли текстильні армуючі елементи, виготовлені бази різних технологій цієї галузі. В доступних джерелах класифікація текстильних армуючих елементів наводиться по різному, в більшості автори джерел [1-6] наводять класифікацію, щодо до виміру його форми у просторі від 1D до 3D, або відображають технології їх отримання. Крім того існують роботи, які описують технології отримання 4D армуючих елементів на базі текстильних та адитивних технологій [7].

У зв'язку з цим було запропоновано комплексну класифікацію текстильних армуючих преформ (рис. 1, 2), яка поділяє їх за наступними ознаками і критеріями:

– за типом матеріалу: скляні, вуглецеві, арамідні, базальтові, льняні, конопляні, бавовняні волокна, а також гібридні (з комбінованих волокон) [1] (рис. 1);

– за розмірністю структури:

1D – одновимірні: волокна, пряжа, нитки, ровінг;

2D – двовимірні: тканини, трикотаж, неткані полотна;

2.5D – двовимірні з частковим прошиванням або проколюванням: стібкові, прошивні матеріали;

3D – тривимірні об’ємні структури: тканини, плетені, трикотажні, неткані матеріали з армуванням у трьох напрямках;

4D – тривимірні структури з інтеграцією адитивних технологій на основі 3D-преформ;

– за орієнтацією волокон: односпрямовані, двоспрямовані, багатоспрямовані, ізотропні;

– за типом технології виготовлення: ткацтво, плетіння, в’язання, формування, зшивання, гібридні методи [4] (рис. 2).

Відповідно до цього, армуючі елементи преформ поділяють на: армовані по всій товщині, неткані, ткані, в’язані, плетені та гібридні.

Армування по всій товщині дозволяє створювати об’ємні армуючі структури за допомогою таких технологій:

– Тафтинг — виготовлення текстильних матеріалів шляхом прошивання шарів нитками, які формують петлі або ворс на поверхні. Петлі фіксуються лише завдяки силам тертя між ниткою та тканиною, без утворення вузлів чи жорсткого з’єднання [5].

– Z-pinning — технологія армування, що передбачає введення тонких армуючих стрижнів або штифтів крізь товщу армуючого елемента преформи в напрямку осі Z (перпендикулярно до площини текстильних шарів). Такий підхід суттєво підвищує міцність конструкції в напрямку товщини та запобігає розшаруванню [6].

– Швейні — застосування швейних технологій із використанням човникового стібка типу 301, який утворюється переплетенням двох ниток: верхньої (голкової) та нижньої (човникової) — у середині товщини матеріалу. Цей стібок має високу міцність і стійкість до розпускання і широко застосовується у швейній промисловості [4].

У випадках значної товщини матеріалів використовують модифікований човниковий стібок, заснований на принципі типу 301, у якому натяг ниток регулюється таким чином, щоб вузлове переплетення утворювалося на зовнішній поверхні матеріалу. Це дозволяє зменшити його деформацію та потребує меншого зусилля затягування стібка [1].

В свою чергу ланцюгові стібки типів 101 і 401 мають переваги порівняно з човниковими, зокрема можливість армування великих площ без потреби у повторному заправленні ниток [4]. Подібні властивості має потайний стібок 103 типу - призначений для створення непомітних з’єднаних деталей текстильних виробів однією ниткою.

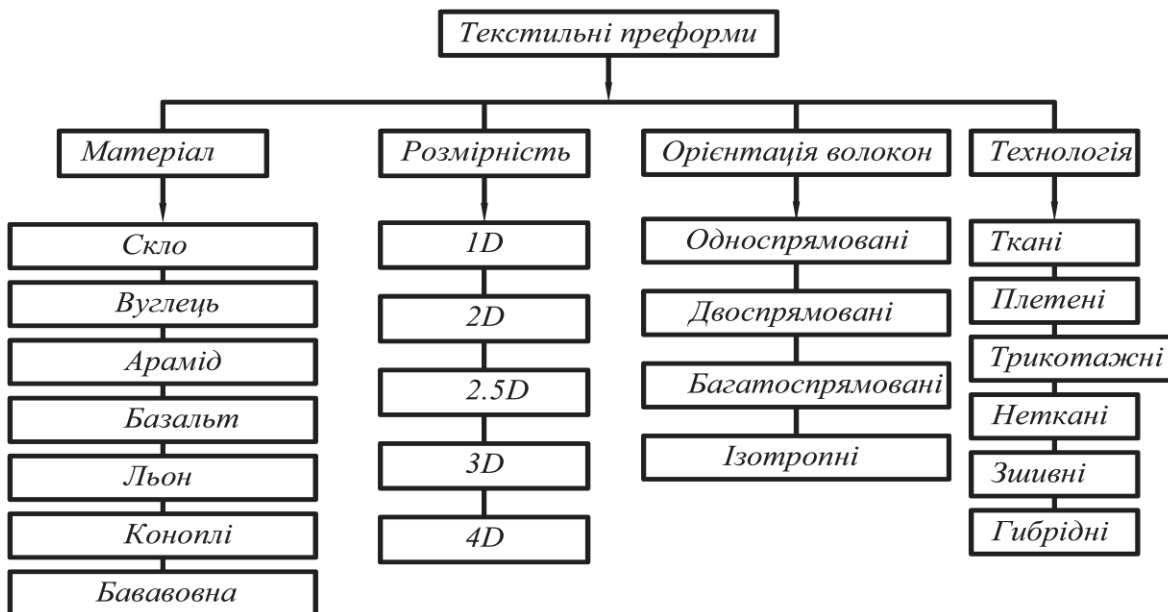


Рис. 1 – Комплексна класифікація текстильних армуючих преформ

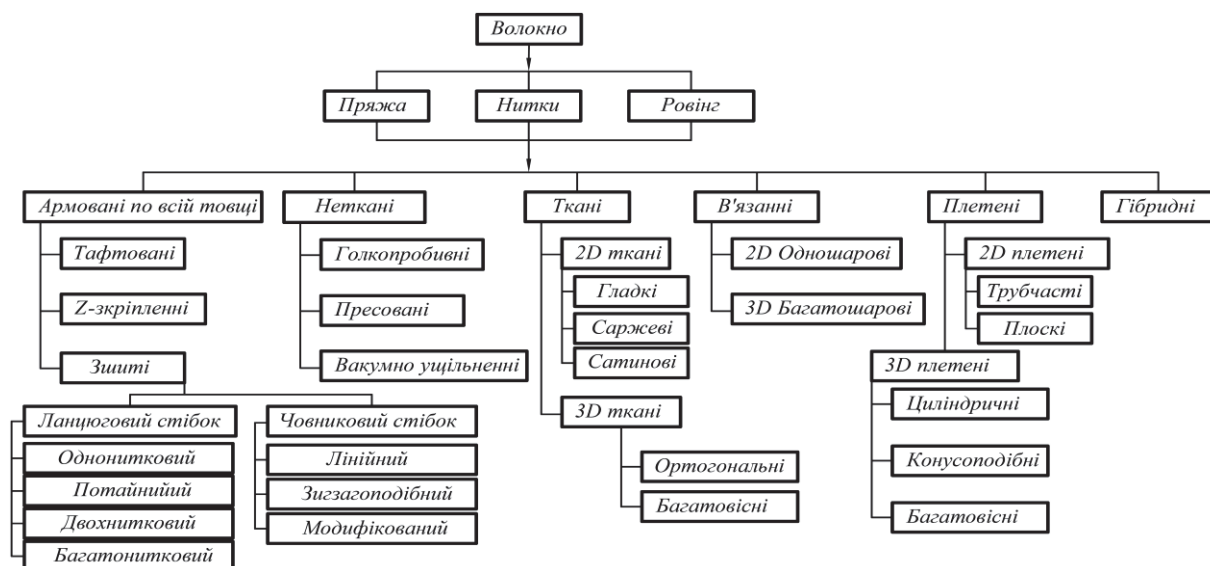


Рис. 2 – Класифікація текстильних армуючих елементів преформ за способом отримання

Запропонована узагальнена класифікація показує, які технології використовуються для формування різних армуючих структур та дозволяє систематизувати підходи до їх виготовлення.

#### Список посилань

1. Bilisik K, Karaduman NS, Bilisik NE. Fiber architectures for composite applications. In: Sohel R, Raul F. editors. *Fibrous and Textile Materials for Composite Applications*. US: Springer; 2016. p. 75-9562Chowdhury, Soumya & Tripathi, Lekhani & Behera, Bijoya. (2024). Review: impact resistance and damage tolerance of 3D woven composites. *Journal of Materials Science*. 59. 1-64. 10.1007/s10853-024-09643-z.
2. Liu, Yang & Chou, T.-W. (2020). Additive manufacturing of multidirectional preforms and composites: from three-dimensional to four-dimensional. *Materials Today Advances*. 5. 100045. 10.1016/j.mtadv.2019.100045.
3. Cox, B. & Flanagan, Gerry. (1997). *Handbook of Analytical Methods for Textile Composites*.
4. Dell'Anno G, Treiber JWG and Partridge IK. Manufacturing of composite parts reinforced through-thickness by tufting. *Robot Comput Integr Manuf* 2016; 37: 262–272.
5. Mouritz AP. Review of z-pinned composite laminates. *Composites Part A* 2007; 38:2383–2397.
6. Plain KP, Tong L. An experimental study on mode I and II fracture toughness of laminates stitched with a one-sided stitching technique. *Compos Appl Sci Manuf* 2011;42(2):203–10. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.11.006>.
7. Manaia, J.P., Cerejo, F. & Duarte, J. Revolutionising textile manufacturing: a comprehensive review on 3D and 4D printing technologies. *Fash Text* 10, 20 (2023).