

Для перевірки адекватності розробленої комп'ютерної моделі було проведено також експериментальне визначення моменту інерції, приведень до головного валу, резонансним методом на спеціальній експериментальній установці, створеній на кафедрі механічної інженерії КНУТД [2].

Порівняння отриманих результатів показали, що максимальна похибка даних, отриманих комп'ютерним моделюванням та експериментально, не перевищує 5%.

Висновки: 1. Врахування динамічних характеристик головки швейної машини при підбиранні чи проектуванні її електропривода буде сприяти подальшому збільшенню енергоефективності цієї мехатронної системи.

2. Експериментальне підтвердження адекватності результатів динамічних характеристик головки швейної машини, отриманих методом комп'ютерного моделювання, доводить його ефективність..

ЛІТЕРАТУРА

1. Nemeša I. Energy saving motors for sewing machines // Tekstilna industrija. – 2023. – Vol. 70, № 1. – С. 39-43.
- Дзюба В. І., Орловський Б. В., Куришко І. І. Спосіб визначення моменту інерції механізму швейної машини, приведенного до головного вала : авторське свідоцтво № 1666929 А1. – Опубл. 30 липня 1991 р. – Бюл. № 28.

УДК 687.05:678.067

ДО ПИТАННЯ НАСКРІЗНОГО АРМУВАННЯ БАГАТОШАРОВИХ ТЕКСТИЛЬНИХ ПРЕФОРМ: ШВЕЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЗАСІБ ЗАПОБІГАННЯ ДЕЛАМІНАЦІЇ

Манойленко О.П., Безуглий Д.М.
Київський національний університет технологій та дизайну

У сучасних технологічно розвинених галузях дедалі ширше впроваджуються тривимірні (3D) каркасні текстильні матеріали, що забезпечують новий рівень міцності, жорсткості та стійкості до пошкоджень; їх застосовують у текстильній, авіаційній, космічній, автомобільній і суднобудівній промисловості, а також у засобах індивідуального захисту та БпЛА [1].

Ключова перевага – можливість формувати композиційні структури з підвищеними характеристиками завдяки об'ємній архітектурі волокон у трьох ортогональних напрямках, що підвищує стійкість до розшарування. На цьому тлі актуалізується наскрізне швейне армування як технологічно доступний та гнучкий інструмент локального підсилення під час допрацювання преформ у зонах концентрації міжшарових напружень (вигини, переходи шарів, отвори, крайові ділянки, стири) (рис. 1) [2-6].

Літературні дані свідчать, що наскрізне прошивання адресно вирівнює розподіл напружень по товщині та обмежує розвиток деламінацій [7-9], однак потребує параметризації процесу: тип стібка (301, 101, 401), довжина стібка - t , товщина пакета - m , натяг/подача нитки. Показано, що зменшення t частково нівелює пошкодження шару, спричинені проколом, але потребує контролю [10-12]; окремі прошиті 3D-композити демонструють зменшення міцності при згині (~22 %) і жорсткості (~19 %) порівняно з 2D-ламінатами [9], водночас зберігаючи високу міжшарову тріщиностійкість [7, 8].

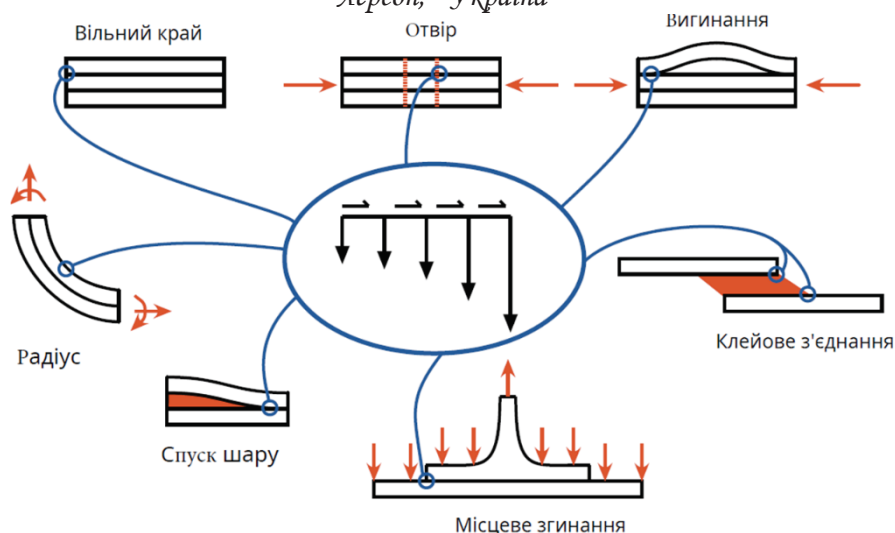


Рисунок 1 – Проблеми, які вирішують швейні технології при армуванні елементів преформ [2]

Огляд [13] систематизує 3D-тканини та швейні способи їх формування, однак брак кількісної й якісної оцінки ускладнює практичну верифікацію; у [14] подано схему механізму розшарування і варіанти стібків (301, 101, 401), але без порівняння ефективності ниткових з'єднань. Для подальшої параметризації та аналізу доцільно спиратися на МСЕ/мікромеханіку [15], об'єктно-орієнтоване проєктування швейних машин [16, 17], топологію машинних стібків [18] як основу каркасних структур, диференціально-геометричні моделі формоутворення з урахуванням релаксації й ковзання ниток [19, 20], моделі тертя у зонах з'єднання [21, 22], поєднання експерименту з МСЕ [23] та мікромеханічне моделювання 3D-структур із повторюваною геометрією волокон [24], а також урахування в'язко-пружних властивостей тканин при циклічних навантаженнях. Практично досяжні межі: локальне підсилення рельєфних поверхонь малої товщини (~0–8 мм) на типових машинах із застосуванням ланцюгових (зокрема одноститкового типу 101), або модифікованих човникових стібків, а робота з більшими товщинами – на спеціалізованому обладнанні.

Для впровадження у виробництво доцільно дотримуватися такої послідовності: попередньо оцінити напружено-деформований стан конструкції (МСЕ/експерименти), визначити зони підсилення, обрати класифікаційний тип стібка (ISO 4915) та налаштувати довжину стібка t і натяг нитки, виконати верифікаційні випробування на зразках з обов'язковою фіксацією параметрів шва; далі – уніфікувати критерії сумісності «преформа — стібок» для серійного застосування.

Висновки. Локальне наскрізне швейне армування преформ у зонах концентрації міжшарових напружень є доцільним для запобігання деламінації та забезпечення цілісності композитних виробів. Ефективність підсилення та технологічність процесу визначаються класифікаційним типом стібка (ISO 4915: 101/301/401), довжиною стібка t , товщиною пакета m та величиною зусилля натягу нитки. Зменшення довжини стібка за умови контрольованого натягу сприяє зростанню опору деламінації без надмірного пошкодження матеріальних шарів. Для тонких пакетів (до ~8 мм) доцільним є використання човникових або ланцюгових стібків, тоді як для більших товщин необхідне спеціалізоване прошивне обладнання. Практична реалізація швейних технологій можлива на промислових машинах важкого типу або вишивальних автоматах – за умови роботи з порівняно невеликими товщинами пакетів матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вишняков Л. Р. Композиційні матеріали / Л. Р. Вишняков // Енциклопедія сучасної України : [Електрон. ресурс] / редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський,

- М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. - Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2014. - Режим доступу: URL: <https://esu.com.ua/article-4385>.
2. Stig F., Hallström S. A modelling framework for composites containing 3D reinforcement // *Composite Structures*. - 2012. - Vol. 94, Iss. 9. - P. 2895-2901. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.03.009>.
 3. Cox B. N., Flanagan G. Handbook of Analytical Methods for Textile Composites: [Електрон. ресурс] / B. N. Cox, G. Flanagan. - Hampton, VA : NASA Langley Research Center, 1997. - 176 p. - (NASA Contractor Report ; NASA-CR-4750). - Режим доступу: URL: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19970017583>.
 4. Abeysooriya R. P., Wickramasinghe G. L. D. Regression model to predict thread consumption incorporating thread-tension constraint: study on lock-stitch 301 and chain-stitch 401 // *Fashion and Textiles*. - 2014. - Vol. 1, No. 1. - Art. 14. - DOI: <https://doi.org/10.1186/s40691-014-0014-5>.
 5. Rasheed A., Sheraz A., Nauman A. et al. Geometrical model to calculate the consumption of sewing thread for 504 over-edge stitch // *Journal of the Textile Institute*. - 2018. - Vol. 109, No. 11. - P. 1418-1423. - DOI: <https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1423902>.
 6. Reis L. M. M., Ribeiro M. L., Madureira F. et al. Mechanical properties and failure mode of 3D stitched composites // *Journal of Materials Research and Technology*. - 2024. - Vol. 29. - P. 90-100. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.12.283>.
 7. Plain K. P., Tong L. Mode I and II fracture toughness of laminates stitched with a one-sided stitching technique // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. - 2011. - Vol. 42, No. 2. - P. 203-210. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.11.006>.
 8. Mouritz A. P. Flexural properties of stitched GRP laminates // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. - 1996. - Vol. 27, No. 7. - P. 525-530. - DOI: [https://doi.org/10.1016/1359-835X\(96\)00010-3](https://doi.org/10.1016/1359-835X(96)00010-3).
 9. Fristedt T. Novel fiber placement technologies for composite applications // *Tailored Fiber Placement*. - 2012. - Режим доступу: URL: <https://www.tailoredfiberplacement.com/laystitch-acce-2012.pdf>.
 10. Wang P., Legrand X., Soulat D. et al. Experimental and numerical analyses of manufacturing process of a composite square box part: comparison between textile reinforcement forming and surface 3D weaving // *Composites Part B: Engineering*. - 2015. - Vol. 78. - P. 26-34.
 11. Nie J., Xu Y., Zhang L. et al. Effect of stitch spacing on mechanical properties of carbon/silicon-carbide composites // *Composites Science and Technology*. - 2008. - Vol. 68, No. 12. - P. 2425-2432. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.04.012>.
 12. Kaya G., Soutis C., Potluri P. Flexural behaviour of unreinforced and Z-fibre-reinforced 3D carbon/epoxy composites // *Applied Composite Materials*. - 2021. - DOI: <https://doi.org/10.1007/s10443-021-09949-0>.
 13. Malik T., Parmar S. 3-D fabrics - an overview. - 2007. - Режим доступу: URL: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/1715/3-d-fabrics-an-overview>.
 14. Orlovsky B. V. Analysis of the use of machine stitches for creating 3D structures from polymer composite interior materials in aircraft construction // *Problems of Friction and Wear*. - 2019. - No. 4 (85). - P. 117-122. - DOI: [https://doi.org/10.18372/0370-2197.4\(85\).13881](https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(85).13881).
 15. Karvatskii A. Ya. Finite element method in problems of mechanics of continuous media. Laboratory practicum (Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ) : навч. посіб. - Київ : NTUU "Igor Sikorsky KPI", 2020. - 428 с.
 16. Dzyuba V. I. Scientific basis of automated design of working processes of knitting machines. Object-oriented approach (Наукові основи автоматизованого проектування робочих процесів трикотажних машин. Об'єктно-орієнтований підхід). - Київ : KDUTD, 2000. - 185 с.

17. Orlovsky B. V., Tropsha D. A. Basic principles of object-oriented design of work processes and machines of light industry // Visnyk DALPU. - 2000. - No. 2. - P. 44-51.
 18. Manoilenko O. Topological analysis and synthesis of machine chain stitches // Vlákna a textil (Fibres and Textiles). - 2020. - Vol. 27, No. 4. - P. 58-69. - Режим доступу: URL: http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_8.pdf.
 19. Guyader G., Gabor A., Hamelin P. Analysis of 2D and 3D circular braiding processes: modeling the interaction between the process parameters and the pre-form architecture // Mechanism and Machine Theory. - 2013. - Vol. 69. - P. 90-104.
 20. Kessels J. F. A., Akkerman R. Prediction of the yarn trajectories on complex braided preforms // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. - 2002. - Vol. 33, No. 8. - P. 1073-1081.
 21. Zhang Q., Beale D., Broughton R. M. Analysis of circular braiding process. Part 2: mechanics analysis // Journal of Manufacturing Science and Engineering. - 1999. - Vol. 121, No. 3. - P. 351-359.
 22. Zhang Q., Beale D., Broughton R. M. Analysis of circular braiding process. Part 1: theoretical investigation of kinematics // Journal of Manufacturing Science and Engineering. - 1999. - Vol. 121, No. 3. - P. 345-350.
 23. Rawal A., Potluri P., Steele C. Prediction of yarn paths in braided structures formed on a square pyramid // Journal of Industrial Textiles. - 2005. - Vol. 35, No. 2. - P. 115-135.
- Potluri P., Manan A. Mechanics of non-orthogonally interlaced textile composites // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. - 2003. - Vol. 34. - P. 481-492.

УДК 687.05:531.78

ДОСЛІДЖЕННЯ НАТЯГУ НИТКИ В ПРОЦЕСІ УТВОРЕННЯ СТІБКА ТИПУ 101

Безуглий Д.М., Манойленко О.П.

Київський національний університет технологій та дизайну

Сфера застосування швейних технологій виходить далеко за межі традиційного виробництва одягу чи галантереї. Сьогодні вони активно інтегруються у виготовлення технічного текстилю та пакувальних матеріалів, зокрема у процеси з'єднання паперових мішків чи формування армуючих текстильних преформ для композитних виробів.

Особливу увагу привертають машини ланцюгового стібка, які завдяки простішій конструкції та безперервній дії забезпечують економне використання нитки.

При зшиванні матеріалів різної товщини втрачається якість та стабільність стібка, що спричинено зміною зусилля натягу нитки на ділянках змінної товщиною.

Необхідність забезпечення якісного шва, що виключає розшарування матеріалів і гарантує правильне формування структури стібка типу 101 [1, 2]. Якість з'єднання визначається відповідністю дійсної подачі нитки $P(\varphi)$ необхідній $P'(\varphi)$, адже відхилення між ними змінюють зусилля натягу й погіршують структуру шва [3-7].

Дослідження [7] показало що вплив довжини стібка та товщини матеріалу на $P'(\varphi)$, але виявили відсутність механізмів регулювання дійсної подачі, що спричиняє розбіжності до 64 %. Це компенсують лише регулятори натягу, проте їхня ефективність обмежена. Значний масив робіт присвячено аналізу $P(\varphi)$ і $P'(\varphi)$ у човникових та багатониткових стібках [3, 4], але для стібка 101 комплексних досліджень бракує.

Таким чином, відсутність комплексних досліджень подачі нитки у стібку 101, що враховували б взаємозв'язок $P(\varphi)$ і $P'(\varphi)$, зусилля натягу, товщину матеріалу й якість шва, визначає наукову проблему. Потрібні експериментальні дослідження закономірностей