

leading branch of filament that will allow to avoid her precipice and promote the productivity of technological equipment and quality of eventual products.

**Findings.** Realization of complex theoretical and eksperimental'nyh researches of process of cooperation of the real filaments with the directing and working organs of technological equipment, taking into account multivariable dependence of this process, with the use of modern facilities and devices of registration of initial parameters, active planning of experiment, application software for computer allowed to get the optimal geometrical parameters of nitenapravitelej of machines of light and textile industry.

Originality.Got equalization for determination of pull of filament taking into account inflexibility on a bend, wrinkle and nonlinear dependence of friction properties.

**Practical Value.** The parameters of the system of nitepodači are optimized, that allowed to bring down a precipice and, as a result, promote the productivity of technological equipment and quality of products that is produced.

**Keywords:** *thread tension guide surface, an angle of, crumpling, bending stiffness.*

УДК 677.025

КИЗИМЧУК О.П., ЗДОРЕНКО В.Г., ЄРМОЛЕНКО І.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

## ТРИКОТАЖ ЯК ОСНОВА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Метою даної роботи є аналіз трикотажних матеріалів, які використовуються в якості преформ композитів.*

*Результати.* Визначено, що технологія трикотажу викликає велику зацікавленість науковців та проєктувальників через потенційну можливість виробництва сітчастих заготовок для виготовлення високоякісних текстильних конструкційних матеріалів.

*Практична значимість.* Текстиль та композиційні матеріали на текстильній основі являють собою клас сучасних матеріалів, які широко використовується в різних галузях промисловості. Успіх їх використання визначається, головним чином, потребою в легких конструкційних матеріалах, які мають високу міцність, жорсткість і надійність. Крім того, текстильна промисловість має широкі можливості для вироблення полотен та виробів заданої та близької до заданої форм з застосуванням високоефективних автоматизованих методів шиття, ткацтва, плетіння та в'язання.

*Ключові слова:* текстильна преформа, трикотажна заготовка, задана форма, стільникова структура

**Вступ.** Композиційні матеріали виготовляються як мінімум з двох компонентів: матриці та елементів армування. Елементи армування забезпечують необхідні механічні властивості композиту (міцність, жорсткість тощо), а матриця використовується для зв'язування і фіксації структур армування та забезпечує сумісну роботу всіх елементів структури. Окремою великою групою звичайно виділяють композити, в яких як елемент армування використано волокнистий матеріал – текстильні композиційні матеріали. Текстильні структури забезпечують необхідні

механічні властивості такі як тріщиностійкість та ударостійкість, смоли, що становлять матрицю даних композитів, використовуються для забезпечення сили когезії. Різноманітні текстильні матеріали та форми використовуються в якості заготовок (преформ) та арматури для композитів, а переваги текстильних композитів широко відомі і використовуються для задоволення відповідних вимог.

Найчастіше текстильні преформи класифікують за напрямком розташування армуючих волокон [1]. Загалом, одновісні і 2D (двовісні) текстильні тканини є головними структурами, які використовуються при створенні композитних матеріалів. Однак спостерігається тенденція до використання 3D текстильних структур для створення новітніх композиційних матеріалів з поліпшеними властивостями. Тривимірні полотна виробляються сьогодні різноманітними методами від ручного формування шарів волокон до автоматичних систем, за допомогою яких пряжа та волокна розташовуються в трьох напрямках для формування блочних або циліндричних структур. Після насичування смолою первинну структуру механічно вигинають для отримання необхідної форми.

Текстильна промисловість має широкі можливості для вироблення полотен та виробів заданої та близької до заданої форм з застосуванням вискоєфективних автоматизованих методів шиття, ткацтва, плетіння та в'язання. Завдяки можливості економії витрат і підвищення механічних характеристик, деякі з цих традиційних текстильних технологій застосовуються для виробництва елементів армування новітніх полімерних композиційних матеріалів.

**Постановка завдання.** Головною метою даної роботи є проаналізувати трикотажні матеріали, які використовуються в якості преформ композитів, і встановити тенденцію розвитку цього напрямку.

**Результати дослідження.** Технологію трикотажу можна використати для виготовлення композиційних матеріалів заданої форми [2], однак на сьогодні вироблені лише дослідні зразки (Т- подібні з'єднувачі, конуси, труби з інтегрованим фланцем [3, 4] і двотаврові балки, лопасті реактивних двигунів [5], наконечник обтічника для реактивного двигуна літака середнього розміру [6], а також медичні протези) для демонстрації даної можливості. Преформи з кулірного трикотажу знайшли застосування в якості імплантатів пластинчастих кісток де розширюваність заготовки використовується для адаптації її до відповідної кістки [7]. Таке в'язання можливе на плосков'язальних кулірних машинах з котролюємим відбором голок і можливістю зміни структури трикотажу за рахунок переплетень [3, 5]. Для виготовлення 3D (багатошарового) полотна заданої форми необхідні додаткові голечниці [5]. Однак дана технологія не отримала поки що широкого застосування з огляду на високу вартість обладнання та необхідності розробки відповідного програмного забезпечення.

В'язання як кулірне, так і основов'язання є альтернативою ткацтва при отриманні більш пористих та податливих (гнучких) полотен. Використання трикотажних преформ було обмежено через їх прогнозовану здатність до розширювання і нестабільність структури. Однак останнім часом їм приділяється все більше уваги завдяки їх високій пластичності і здатності до формування 3D форм [8]. Висока розширюваність, що перед цим вважалася недоліком, має переваги при

виробництві складних композитних деталей [9]. На додаток, при використанні трикотажних структур в термопластичних і термореактивних армованих жорстких композитах, такі преформи використовуються для посилення еластомерів.

Трикотажний спосіб виробництва найкраще підходить для швидкого виготовлення елементів складної форми через низький опір деформації трикотажу [10]. Крім того, існуючі в'язальні машини адаптовані для використання різних типів волокон, включаючи скляні, вуглецеві, арамідні і навіть керамічні, для виробництва як плоских тканин, так і об'ємних форм. Заготовка формується в міру необхідності і консолідується в композиційні матеріали шляхом використання відповідної рідкої формувальної смоли.

Очевидно, що використання заготовок, які вже мають відповідну форму, вигідно завдяки мінімальним втратам матеріалу і скорочення часу виробництва [3]. Однак, розробка і виготовлення трикотажної заготовки заданої форми може виявитися трудомістким і дорогим процесом, таким чином, цей варіант може виявитися економічно неефективним в цілому. У таких випадках, плоске трикотажне полотно з високим показником здатності до формування/драпірування може використовуватися для створення заготовки необхідної форми з подальшим наповненням відповідним компонентом для отримання композиційного елемента конструкції.

Незважаючи на виняткову пластичність трикотажних композиційних матеріалів, вони мають дещо нижчі показники механічних властивостей в площині в порівнянні з більш традиційними композитами і матеріалами [11]. Це є результатом обмеженого використання жорстких волокон і зменшення міцності ниток у в'язаній структурі в результаті їх значного вигину. Крім того, під час процесу в'язання нитки дещо втрачають їх якість, що також може погіршити механічні властивості полотен [12].

Механічні властивості трикотажних композитів у площині, як правило, анізотропні. Це є результатом різної відносної орієнтації волокон в структурі трикотажного полотна [13, 14], а отже залежить як від структури трикотажу [12], так і від його параметрів, таких як щільність [15]. Структуру трикотажу можна контролювати не тільки під час вибору переплетення, але також шляхом вибору способів формування та їх кількості і, таким чином, змінювати відносну орієнтацію волокон перед просочуванням смолами [16]. Аналогічним чином, властивості трикотажного композиту можна змінювати за допомогою маніпулювання такими параметрами, як довжина нитки в петлі або щільність в'язання [17, 18]. Так жорсткість при розтягуванні і міцність композитів, які армовані трикотажем переплетення міланський ластик збільшуються при деформуванні [16]. Крім того, механічні властивості при розтягуванні таких композитів покращуються зі зменшенням довжини нитки в петлі та щільності в'язання.

Комплекс властивостей структур трикотажу відображається і в негативному поведженні цих матеріалів. При розтягуванні, недолік зазвичай виникає в результаті руйнування волокна в пряжі в точках контакту двох сусідніх петель в петельному стовпчику, які, відповідно, відповідають областям високої концентрації напруг [11, 13, 16]. Під дією стискаючого навантаження пряжа втрачає міцність в області мінімального бічного опору – в площині палички трикотажні петлі. Справа в тому, що паличка петлі

дуже часто вигинається, а не прямо протидіє подальшому вигину, тим самим викликаючи передчасне руйнування волокон [11, 16]. Цей вигин, який згодом викликає порушення зчеплення волокон у матриці, спостерігається макроскопічно у вигляді паралельних рядів тріщини вздовж осі навантаження [11].

Вигнутий характер трикотажної петлі має свої переваги з огляду на механічні властивості трикотажних композитів. Петельна структура таких волокнистих матеріалів гарантує, що трикотажні полотна легко витримують значні кількісні деформації під впливом зовнішньої сили. Їх пластичність підвищує потенціал трикотажу для рентабельного виготовлення композитів складних і непередбачуваних форм. Ця перевага збільшується з можливістю утворення отворів в композиті ще в процесі в'язання або формування замість утворення їх шляхом вирізання (буріння) у готовому композиті. Напруга у безперервних нитках навколо отвору, який утворений в процесі в'язання, розповсюджується рівномірно від отвору, що призводить до зміцнення виїмки і власних властивостей [11], які вище, ніж для композитів з пробуреною свердловиною.

Тривимірний (3D) характер трикотажу також сприяє підвищенню стійкості композиційного матеріалу до утворення тріщин, яка вище ніж у скляних препрегів та тканих терморективних композитів [19]. Слід зазначити, що різниця у тріщиностійкості між трикотажними і тканими вуглецевими термопластичними композитами менш значна. Тріщино стійкість покращується з кількістю шарів тканини, які використовуються в композиційних матеріалах. Помірне поліпшення міцності і жорсткості трикотажних композиційних матеріалів можуть бути досягнуті з включенням протяжок до базової структури [20].

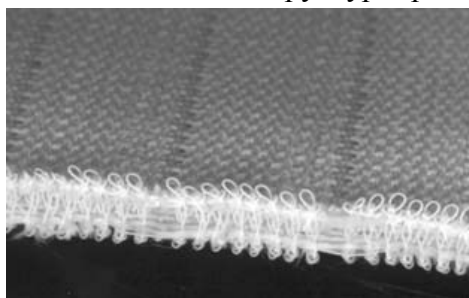
Більш ефективним способом підвищення властивостей трикотажного композитів в площині є введення практично прямих, не вигнутих ниток в структуру трикотажу [21]. Ці прямі нитки (волокна) вводяться під час в'язання як утокові в структуру кулірного або оснований'язаного трикотажу. Таким чином отримуємо матеріал, в якому забезпечується оптимальне поєднання поліпшених механічних властивостей (у зв'язку з наявністю прямих волокон) і гарної здатності до формування (за рахунок структури трикотажу). Надалі за рахунок введених ниток можна змінювати анізотропію трикотажних композитів відповідно до конкретних вимог. У той час як міцність на розрив, жорсткість, і здатність до поглинання енергії трикотажних композитів сильно залежать від вмісту волокна, встановлено [13, 14], що при постійній об'ємній частці волокна введення утокових ниток в структуру може значно поліпшити властивості матеріалів за умови, що нитки не завиті та гарно орієнтовані. При цьому оснований'язані полотна мають більшу гнучкість до використання в якості утокових різного типу та кількості ниток, які одночасно прокладаються і необхідні для отримання оптимального полотна з точки зору витрат і продуктивності. Незважаючи на те, що утокові нитки абсолютно прямі без вигинів, такі полотна все ще залишаються двомірними структурами і протистоять навантаженням лише в двох напрямках.

З іншого боку, трикотажні петлі можуть використовуватися лише для скріплення ниток (пряжі), які розташовуються під різними кутами, в результаті чого отримуємо мультиаксіальні багат шарові оснований'язані полотна [22]. Механічні

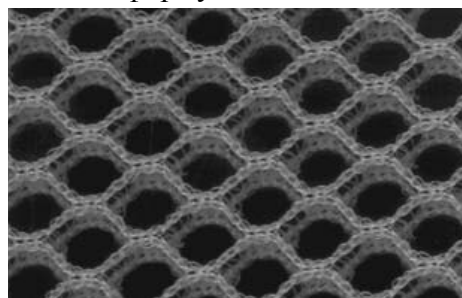
властивості таких композитів значно кращі, ніж звичайних трикотажних композитів, проте спостерігається значне зниження їх здатності до формування [23]. Основні переваги, які послужили поштовхом для розвитку мультиакіальних тканин, наступні: на відміну від багатошарових тканих заготовок, матеріал має рентабельне неаксіальне зміцнення; в той же час він дає можливість значно знизити собівартість продукції за рахунок короткострокового формування заготовки [24]. Крім того, перевага основов'язаних полотен перед тканими полягає в тому, що утокові нитки в полотні лежать рівно, а не переплетені. Таким чином, основов'язані матеріали можуть сприймати розтягуючі зусилля вже при незначних подовженнях. Розтягуючий потенціал волокон використовується відразу. Затримка сприйняття зусиль розтягування, яка існує у тканин в результаті переплетення, зводиться до мінімуму.

Окремою групою серед текстильних заготовок для композиційних матеріалів виділяють так звані сендвіч структури. Виробництво 3D трикотажних сендвіч преформ є відносно новим напрямком [25]. 3D трикотажні преформи мають два зовнішні шари, які інтегрально з'єднані між собою за допомогою додаткових ниток. Вони можуть бути як закритими, так і відкритими (рис.1) Їх застосування розширюється не тільки завдяки кращим властивостям та економічній ефективності, але і у зв'язку з кращими здатністю до формування і можливістю поглинання енергії.

Ці заготовки виробляються на подвійних машинах, на кожній з голечниць якої два зовнішні шари в'яжуться одночасно. При цьому можливо вироблення різних переплетень на різних голечницях, тобто зовнішні шари можуть мати різну структуру при необхідності. Пряжа подається в зону в'язання за допомогою двох гребінок, які періодично подають її до різних голечниць, в результаті чого зовнішні полотна з'єднуються між собою. Таким чином, ворсові волокна є частиною зовнішніх шарів, що сприяє інтегруванню властивості зовнішніх шарів у сендвіч структуру. Крім того, не потрібна додаткова фіксація цих волокон в структурі, що значно знижує загальну вартість таких сендвіч структур при високій здатності до формування.



а. закрыта



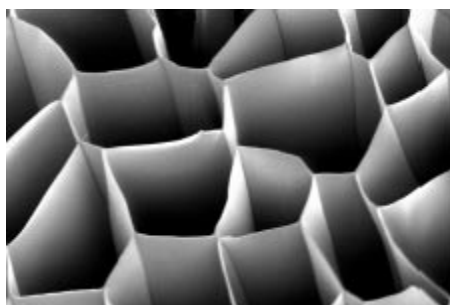
б. відкрита

Рис.1. 3D трикотажні сендвіч преформи

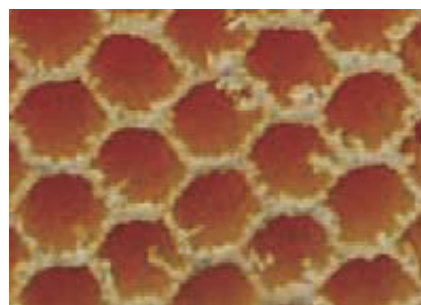
Дослідні роботи з цього напрямку показали, що властивості тиску та вигину залежать від властивостей поверхневого шару, на які, в свою чергу, впливають структура чарунок, ступінь просочення смолою і щільності ворсу [25]. На додаток, щільність композитів і орієнтація волокон, яка є функцією напрямку навантаження і яка може бути змінена шляхом деформації заготовки, впливають на міцність на вигин синтезованих композитів.

Останніми роками науковці та розробники все більше уваги приділяють 3D стільниковим конструкціям [26]. Загальна структура стільника складається з масиву гексагональних чарунок. 3D стільникові структури, мають багато особливостей, які важливі при використанні композитів в багатьох сферах. Композити, які виготовлені з текстильної арматури 3D стільникового типу, суперлегкі, об'ємні та міцні, а також мають високу енергопоглинаючу здатність [27]. Є багато природних і сконструйованих 3D стільникових структур. Відповідно до форм стільникової структури, вони можуть бути розділені (рис.2) на регулярні (де кожна клітинка є симетричною по горизонталі і вертикалі) і нерегулярні.

Стільникові конструкції можуть бути виготовлені різними способами, але перевага надається текстильним структурам завдяки їх легкій вазі і безперервності волокон протягом всієї структури [28]. Багато досліджень механічних властивості 3D стільникових конструкцій проведено останніми роками, в тому числі дослідження відновлення після стиснення і міцності структури як в площині, так і по товщині [29]. Був зроблений висновок, що найбільш важливі застосування чарункових структур, включаючи стільники, є пристрої для поглинання енергії і в якості основних сендвіч - панелей.



а. нерегулярна



б. регулярна

Рис. 2 Регулярність стільникоподібної структури

**Висновки.** Не зважаючи на те, що трикотаажні композити значно поступаються їх більш традиційним тканим аналогам щодо міцності в площині і жорсткості, вони мають значно вищі показники з точки зору поглинання енергії, несучої здатності і опору утворенню тріщин. Крім того, трикотааж має низьку стійкість до деформацій, а отже і виняткову пластичність. Варіюючи структуру та параметри трикотаажу: такі як довжини петель і щільність в'язання можна змінювати механічні властивості композиту. Це представляє деяку ступінь свободи в виборі матеріалу для композиту відповідно до конкретних вимог. Трикотаажні композити є високо рентабельним, так як для виробництва такого трикотаажу можна використовувати більшість звичайних в'язальних машин практично без модифікації.

Технологія трикотаажного виробництва пристосована до створення 3D стільникових структур. 3D стільникові текстильні матеріали є композиційними матеріалами нового типу, а отже і дослідження в цьому напрямку повинні проводитися з урахуванням нових потреб і вимог до них.

Список використаної літератури

1. P.M.Wambua, R.Anandjiwala. A Review of Preforms for Composites Industry // *Journal of Industrial Textiles*. – April 2011 – Vol.40, No.4 – P.310-333.
2. Alagirusamy, R., Fanguero, R., Ogale, V. and Padaki, N. Hybrid Yarns and Textile Preforming for Thermoplastic Composites // *Textile Progress*. – 2006 – Vol.38(4) – P.18–37.
3. Aart W. van Vuure and Frank K. Ko. Net-Shape knitting for complex composite performs // *Textile research journal*. – 2003 – vol.73(1) – P.1-10
4. Rudd CD, Long AC, Kendall KN, Mangin CGE. *Liquid moulding technologies*. – Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd. – 1997. – 270. p.
5. Gibbon J. Knitting in the third dimension. // *Textile Horizons*.– 1994.–14(6).– P.22.
6. B.Gommers, I.Verpoest, P. Van Houtte. Analysis of knitted fabric reinforced composites: Part 1. Fiber orientation distribution // *Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 1998. – Vol.29A. – P.1579–1588.
7. Savci, S., Curiskis, J.I., Pailthorpe, M.T.. A Study of the Deformation of Weft-knit Preforms for Advanced Composite Structures Part 1: Dry Preform Properties. // *Composite Science and Technology*. – 2000. – Vol.60. – P.1931–1942.
8. K.H.Leong, S.Ramakrishna, Z.M.Huang, G.A.Bibo The potential of knitting for engineering composites – a review. // *Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2000. – Vol. 31. – P.197-220.
9. Hong, H., De Araujo, M.D., Fanguero, R. and Ciobanu, O. Theoretical Analysis of Load-extension Properties of Plain Weft Knits Made from High Performance Yarns for Composite Reinforcement. // *Textile research Journal*. – 2002. – Vol.72(11). – P.991–995.
10. Hearle JWS. Textile for composites — Part I: The general scene. // *Textile Horizons*. – 1994. – Vol.14(6). – P.12.
11. Leong KH, Falzon PJ, Bannister MK, Herszberg I. An investigation of the mechanical performance of Milano-rib weft knitted glass/epoxy composites. // *Comp Sci Tech*. – 1998. – Vol.58(2). – P.239.
12. Chou S, Chen H-C, Lai C-C. The fatigue properties of weft-knit fabric reinforced epoxy resin composites. // *Comp Sci Tech*. – 1992. – Vol.45. – P.283.
13. Ramakrishna S, Hull D. Energy absorption capability of epoxy composite tubes with knitted carbon fibre fabric reinforcement. // *Comp Sci Tech*. – 1993. – Vol.49. – P.349.
14. Ramakrishna S, Hull D. Tensile behaviour of knitted carbon-fibrefabric/epoxy laminates—Part I: experimental. // *Comp Sci Tech*. – 1994. – Vol.50. – P.237.
15. Mouritz A., Bannister M., Falson P., Leong K., Review of applications for advanced three dimensional fibre textile composites. // *Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 1999. – Vol.30. – P.1445-1461.
16. Leong KH, Nguyen M, Herszberg I. The effects of deforming knitted glass preforms on the basic composite mechanical properties. // *J Mater Sci*. – 1999. – Vol.34(10). – P.2377.
17. Wu WL, Hamada H, Kotaki M, Maekawa Z. Design of knitted fabric reinforced composites. // *J Rein Plas Comp*. – 1995. – Vol.14. – P.1032.
18. Ruan X, Chou T-W. Failure behavior of knitted fabric composites. // *J Rein Plas Comp*. – 1998. – Vol.32(3). – P.198.

19. Mouritz AP, Bains C, Herszberg I. Mode I interlaminar fracture toughness properties of advanced textile fibreglass composites. // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 1999. – Vol.30(7). – P.859.
20. Rudd CD, Owen MJ, Middleton V. Mechanical properties of weft knit glass fibre/polyester laminates. // *Comp Sci Tech*. – 1990. – Vol.39. – P.261.
21. B.Gommers, I.Verpoest, P. Van Houtte. Analysis of knitted fabric reinforced composites: Part II. Stiffness and strength // *Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 1998. – Vol.29A. – P.1589-1601.
22. Ryuta Kamiya, Bryan A.Cheeseman, Peter Popper, Tsu-Wei Chou. Some recent advances in the fabrication and design of three-dimensional textile performs: a review. // *Composites science and technology*. – 2000. – Vol. 60. – P.33-47
23. Dexter HB, Hasko GH. Mechanical properties and damage tolerance of multiaxial warp-knit composites. // *Comp Sci Tech*. – 1996. – Vol.56(3). – P.367.
24. Bibo GA, Hogg PJ, Backhouse R, Mills A. Carbon-fibre non-crimp fabric laminates for cost-effective damage-tolerant structures. // *Comp Sci Tech*. – 1998. – Vol.58(1). – P.129.
25. O.Rosant, P.-E. Bourban, J.-A.E.Manson. Warp knit laminates for stampable sandwich performs. // *Composite science and technology*. – 2001. – Vol.61. – P.145-156
26. T.Bitzer. Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing. – London: Chapman and Hall. – 1997. – 233 p.
27. Xiaogang Chen, Ying Sun, Xiaozhou Gong. Design, manufacture and experimental analysis of 3D honeycomb textile composites Part 1: Design and manufacture. // *Textile research journal*. – 2008. – Vol.78(9). – P.771-781
28. Tan, X., Chen, X., Parameters Affecting Energy Absorption and Deformation in Textile Composite Cellular Structures. // *Materials & Design*. – 2005. – Vol.26(5). – P.424–438.
29. IG Masters, KE Evans. Models for the elastic deformation of honeycombs. // *Composite Structures*. – 1996. – Vol.35. – P.403-422.

Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Щербань В.Ю.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2013

## **ТРИКОТАЖ - ОСНОВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

КИЗИМЧУК Е.П., ЗДОРЕНКО В.Г., ЕРМОЛЕНКО И.В.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

Текстиль и композиционные материалы на текстильной основе представляют класс современных материалов, широко используемых в разных отраслях промышленности. Успех их применения обусловлен, в основном, потребностью в легких конструкционных материалах, имеющих высокую прочность, жесткость и надежность. При этом текстильная промышленность имеет широкие возможности для производства полотен и изделий заданной и близкой к заданной форме и использованием высокоэффективных автоматизированных методов ткачества, плетения та вязания.

**Целью** данной работы является анализ трикотажных материалов, используемых для преформ композитов.



В результаті встановлено, що технологія трикотажа привертає увагу вчених і проєктувальників із-за потенціальної можливості виробництва сітчастих заготовок для створення високоякісних текстильних конструкційних матеріалів.

**Ключові слова:** текстильна преформа, трикотажна заготовка, задана форма, ячеїста структура

## KNITTED FABRIC AS PREFORM FOR COMPOSITE MATERIALS

KYZYMCHUK O., ZDORENKO V., ERMOLENKO I.

*Kyiv national university of technologies and design*

Textiles and textile composite materials are the class of advanced materials that are widely used in different technical and medical purposes. Successful wide using of textile composites is depend on requirement of light composite materials with high strength, rigidity, formability and reliability. In this case the textile industry has biggest opportunities to produce net shape and near net shape fabrics and to use highly automatic methods of weaving, braiding and knitting.

**The purpose** of this article is to review the knitted materials potential for using as preforms for composites.

**As a result**, it has been detected that knitting technology attracts attention of scientists and designers because of wide possibility of the net structure production for creating high-quality textile composites.

**Keywords:** *textile preform, knitted preform, net shape form, net structure*

УДК 621.9.011

КАТРУК О.В., ГНАТЕЙКО Н.В., РУМБЕШТА В.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

**Мета:** підвищити якість процесу фрезерування за рахунок стабілізації динаміки процесу.

**Методика:** теорії стійкості механічних пружних систем та теорії коливань, експериментальні дослідження процесу фрезерування, методи аналізу сигналу вібрації, методи її стабілізації.

**Результати:** при фрезеруванні завжди мають місце змінні характеристики ПМО, що збурюють пружну ТОС і силу різання. До того ж сама оброблювальна система є багатомасовою, багатоеlementною, пружною системою зі своїми масами, що мають свої різні частоти власних коливань. При затупленні різального інструменту увесь частотний спектр сили різання зміщується в область низьких частот з появою резонансних явищ.

**Наукова новизна:** досліджено енергорівень резонансу та кінетична енергія руху коливань при механообробі.

**Практична значимість:** аналіз динаміки ТОС дозволить уникнути появи резонансних явищ при механообробі за рахунок її стабілізації.

**Ключові слова:** динамічні та резонансні явища, фрезерування тонкостінних деталей, сила різання