

**СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ
3D-ОРТОГОНАЛЬНОГО ТКАНОГО ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА**

**A METHOD OF FORMING
A 3D-ORTHOGONAL WOVEN FIBROUS MATERIAL**

А.П. ГРЕЧУХИН, С.Н. УШАКОВ, Д.В. ЗАЙЦЕВ, Л.А. ТИХОМИРОВ
A.P. GRECHUKHIN, S.N. USHAKOV, D.V. ZAITSEV, L.A. TICHOMIROV

(Костромской государственный университет)
(Kostroma State University)
E-mail: niskstu@yandex.ru

В статье рассматривается новый способ формирования трехмерных ортогональных тканей, которые используются в качестве армирующего наполнителя для композиционных материалов. Способ позволяет вырабатывать трехмерные ортогональные ткани с изменяемым профилем в нескольких плоскостях, что значительно расширяет область их применения и позволяет значительно снижать расход сырья.

The article considers a new method of forming a three-dimensional orthogonal fabric used as a reinforcing filler for composite materials. The method allows to produce three-dimensional orthogonal fabric with a variable profile in several planes, which greatly expands their range of application and significantly reduces the consumption of raw materials.

Ключевые слова: 3D-ортогональная ткань, цикл формирования, структура ткани.

Keywords: 3D-orthogonal fabric, loop formation, fabric structure.

По сравнению со слоистыми композиционными материалами и прочими композитами на базе трехмерных волокнистых материалов [1], [2] композиты на базе трехмерных ортогональных тканей имеют лучшую стойкость к механическим воздействиям вдоль основных, уточных и дополнительных систем нитей из-за отсутствия изгиба нитей в слоях ткани. Такая особен-

ность строения предполагает высокую скорость распространения ударной волны в материале [3]. Энергия удара может распространяться на большую площадь. Кроме того, наличие дополнительных систем нитей позволяет снизить расслаивание композита [4]. Такое строение материала позволяет говорить о большом потенциале его использования в конструкциях летатель-

ных аппаратов, военной и специальной технике. Широкое распространение трехмерные ортогональные ткани получили в качестве средств защиты от пуль [3...7]. Также существуют дополнительные области применения, например антенны, интегрированные в 3D-волокнистый материал [8]. В последнее время активно развивается направление создания мультиаксиальных тканых материалов, в том числе и на основе трехмерных ортогональных тканей [8], [9].

Однако существующие способы формирования трехмерных ортогональных тканей обладают определенными недостатками.

Известен способ формирования трехмерной ткани [11]. При этом для перемещения вертикальной системы нитей используется устройство, расположенное между распределительным бердом и зоной формирования ткани. Недостатком данного способа формирования трехмерной ортогональной ткани является отсутствие подвижного берда для прибора уточной нити, так как образуется рыхлая структура ткани и вырабатывать ткани сложной формы становится невозможно из-за наличия перемещающихся механизмов в рабочей зоне станка. В устройстве [12] недостатком является сложная реализация устройства для связки слоев уточных нитей, а также ограничения при производстве ткани с переменным профилем. В способе [13] недостаток заключается в различных условиях натяжения нитей основы в зонах ткани, имеющих различную форму, а значит и различное внутреннее строение самой ткани. Натяжение вертикальных систем нитей не позволяет осуществлять плотную укладку вертикальных слоев нитей в ткани. В способе [14] осуществлена возможность выработки ткани с переменным сечением вдоль образца. Однако использование галев и ремиз не позволит осуществить плотную укладку вертикальных слоев нитей. Представленные способы и устройства [11...14] предполагают наличие системы основных нитей, системы уточных нитей и системы вертикальных нитей.

С точки зрения технологии производства 3D-ортогональных тканых волокнистых ма-

териалов (далее в статье 3D-ОТВМ) для композитов важно обеспечить возможность производства материала со сложным профилем в одном или нескольких направлениях. Изменение профиля вдоль образца (вдоль нитей основы) представляет наибольшую сложность для технологии 3D-ОТВМ, так как все нити основы, участвующие в заправке, определяют профиль изделия и вывести их полностью из зоны формирования не представляется возможным. Этот недостаток можно только минимизировать, исключив взаимодействие нитей основы с другими системами нитей для сокращения расхода дорогостоящего материала. Кроме того, можно добиться более плотной укладки вертикальных слоев нитей и создания переменного сечения вдоль образца ткани, а также повысить производительность оборудования. Более плотная укладка слоев возможна при наличии рапир для прокладывания вертикальных систем нитей в зоне бердо – опушка ткани, а не за бердом, так как это позволит максимально снизить растаскивание структуры ткани за счет снижения горизонтальной составляющей натяжения вертикальной системы нитей.

В статье нами излагается способ формирования трехмерных ортогональных тканей, позволяющий вырабатывать изделия с переменным профилем в нескольких направлениях с возможностью более плотной укладки вертикальных слоев нитей.

Для реализации этого способа необходимо, чтобы после прокладывания нитей утка вертикальные нити перемещались в системе рапир, а перемещение указанных рапир возможно осуществлять на различную высоту, в том числе каждой по отдельности, при создании изделия со сложным профилем. Для повышения производительности прибором можно осуществлять после прокладывания уточной и вертикальной системы нитей. Пример реализации предложенного способа представлен на рис. 1 (схема формирования трехмерной ортогональной ткани).

Цикл формирования ткани состоит из восьми этапов, начинается с положения I на рис. 1.

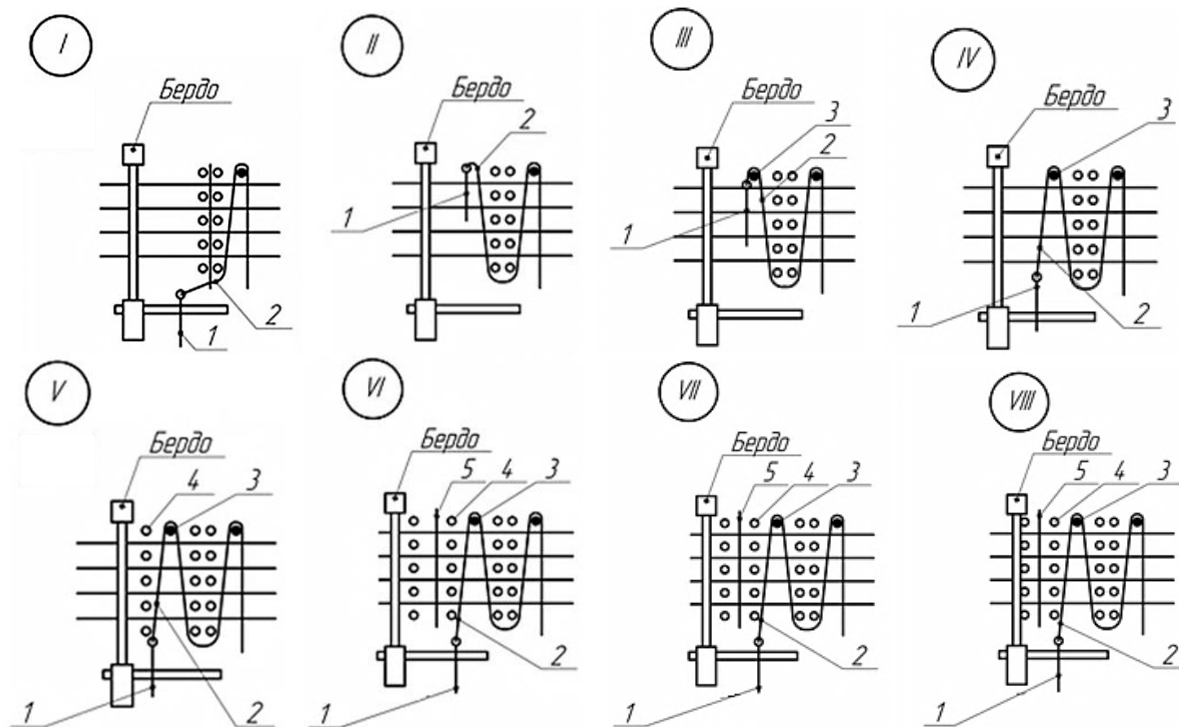


Рис. 1

Рапира 1 перемещает нити вертикальной системы 2 в верхнее положение (положение II). Затем, например, с помощью крючка, прокладывается кромочная нить 3, фиксирующая вертикальную систему нитей (положение III). Далее нити вертикальной системы 2 возвращаются в исходное состояние (положение IV). После этого прокладываются нити утка 4 (положение V). Далее нити утка фиксируются кромочной нитью 5, которая также может быть проложена с помощью крючка (положение VI). Затем нити утка возвращаются в исходное положение (положение VII), и после этого происходит перемещение нитей к опушке ткани (положение VIII).

Перемещение вертикальных нитей 2 и уточных нитей 4 на различное расстояние в сторону основных нитей позволит вырабатывать ортогональные ткани с переменным профилем в направлении нитей основы и нитей утка.

Трехмерная модель ткани, сформированная по предложенному способу, представлена на рис. 2.

Использование системы рапир для вертикальной системы нитей в зоне между бер-

дом и опушкой ткани необходимо для обеспечения равномерного заполнения волокнистым материалом трехмерной ортогональной ткани при формировании ткани с переменным профилем за счет того, что горизонтальная составляющая натяжения вертикальной системы нитей практически отсутствует, что снижает эффект растаскивания ткани. Это дает возможность также создавать более плотные структуры тканей.

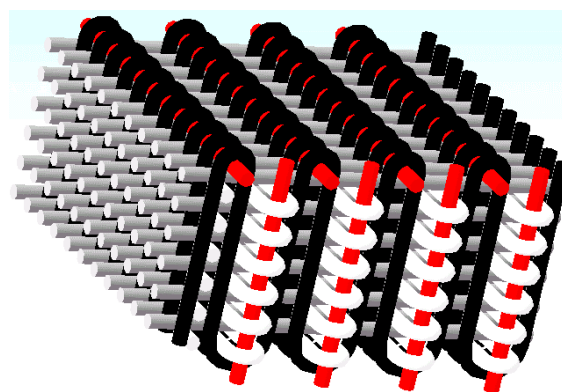


Рис. 2

Переменный ход рапир вертикальной и уточных систем нитей позволяет вырабатывать ткани с заданным переменным профи-

лем, а цикл прибора через две прокидки позволяет повысить производительность оборудования и реализовать выработку переменного профиля ткани. Следует отметить, что в рамках предложенного способа возможно использование только одной системы вертикальных нитей, что приведет к упрощению конструкции оборудования для реализации предложенного способа.

ВЫВОДЫ

Разработан способ формирования трехмерных ортогональных тканей, позволяющий вырабатывать изделия с переменным профилем в двух направлениях и с возможностью более плотной укладки вертикальных слоев нитей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селиверстов В.Ю. Перспективные объемные текстильные изделия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 5. С. 105...108.
2. Селиверстов В.Ю., Петров И.Н., Черкасов К.С. Механизм прокладывания утка для получения трехмерных текстильных изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 1. С. 66...70.
3. Huang G. and Zhong Z.L. Tensile behavior of 3D-woven composites by using different fabric structures. *Mater Des.* – 23(7), 2002. P. 671...674.
4. Xiwen Jia, Baozhong Sun, Bohong Gu. Ballistic penetration of conically cylindrical steel projectile into 3D-orthogonal woven composite: a finite element study at microstructure level // *Journal of Composite Materials.* – 45(9), 2010. P. 965...987. DOI: 10.1177/0021998310381150.
5. Xiwen Jia, Baozhong Sun, Bohong Gu. Ballistic penetration of conically cylindrical steel projectile into 3D-orthogonal woven composite: a finite element study at microstructure level // *International Journal of Damage Mechanics.* – Vol. 21, March 2012. DOI: 10.1177/1056789510397078.
6. Lihua Lv, And Bohong Gu Transverse Impact Damage and Energy Absorption of Three-Dimensional Orthogonal Hybrid Woven Composite: Experimental and FEM Simulation // *Journal of Composite Materials.* – Vol. 42, №17/2008. DOI: 10.1177/0021998308093718.
7. Kadir Bilisik, Mansour H. Mohamed. Experimental determination of ballistic performance of newly developed multiaxis non-interlaced/non-Z E-glass/polyester and 3D-woven carbon/epoxy composites with soft backing aramid fabric structures // *Textile Research Journal.* – 81(5), 2010. P. 520...537. DOI: 10.1177/0040517510383613.

8. Xin Wang, Lan Yao, Fujun Xu, Dongchun Zhou, Yiping Qiu. Design and Characterization of Conformal Microstrip Antennas Integrated into 3D-orthogonal Woven Fabrics // *Journal of Engineered Fibers and Fabrics.* – Vol. 7, Issue 2, 2012.

9. Kadir Bilisik, Mansour H. Mohamed. Multi-axis Three-dimensional Flat Woven Preform (Tube Ravier Weaving) and Circular Woven Preform (Radial Crossing Weaving) // *Textile Research Journal.* – Vol. 79(12), 2009. P. 1067...1084. DOI: 10.1177/0040517508099395.

10. Kadir Bilisik, Mansour H. Mohamed. Multi-axis Three-Dimensional Flat Woven Preforms – Tube Carrier Weaving // *Textile Research Journal.* – Vol. 80(8), 2010. P. 696...711. DOI: 10.1177/0040517509340602.

11. US Patent № US3834424. Three-dimensional fabric, and method and loom construction for the production thereof/ Fukuta K; Miyashita R; Sekiguti J; Nagatsuka Y; Tsuburaya S; Aoki E; Sasahara M. – 10.09.1974.

12. US Patent № US4526026. Method and apparatus of producing continuous three-dimensional fabrics / Krauland Jr Konrad – 02.07.1985.

13. US Patent № US5085252. Method of forming variable cross-sectional shaped three-dimensional fabrics / Mohamed Mansour H [US], Zhang Zhong-Huai [CN] – 04.02.1992.

14. Patent WO2013179037. Method And Apparatus For Weaving A Three-Dimensional Fabric / Potluri [Gb]; Prasad [Gb]; Jetavat Dhavalsinh [Gb] Sharma Sandeep. – 2013-12-05.

15. Заявка № 2016133672 от 16.08.2016 на патент на изобретение. Способ формирования трехмерной ортогональной ткани.

REFERENCES

1. Seliverstov V.Ju. Perspektivnye ob'emnye tekstil'nye izdelija // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* – 2015, № 5. S. 105...108.
2. Seliverstov V.Ju., Petrov I.N., Cherkasov K.S. Mehanizm prokladyvaniya utka dlja poluchenija trehmernyh tekstil'nyh izdelij // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* – 2013, № 1. S. 66...70.
3. Huang G. and Zhong Z.L. Tensile behavior of 3D-woven composites by using different fabric structures. *Mater Des.* – 23(7), 2002. P. 671...674.
4. Xiwen Jia, Baozhong Sun, Bohong Gu. Ballistic penetration of conically cylindrical steel projectile into 3D-orthogonal woven composite: a finite element study at microstructure level // *Journal of Composite Materials.* – 45(9), 2010. P. 965...987. DOI: 10.1177/0021998310381150.
5. Xiwen Jia, Baozhong Sun, Bohong Gu. Ballistic penetration of conically cylindrical steel projectile into 3D-orthogonal woven composite: a finite element study at microstructure level // *International Journal of Damage Mechanics.* – Vol. 21, March 2012. DOI: 10.1177/1056789510397078.

6. Lihua Lv, And Bohong Gu Transverse Impact Damage and Energy Absorption of Three-Dimensional Orthogonal Hybrid Woven Composite: Experimental and FEM Simulation // Journal of Composite Materials. – Vol. 42, №17/2008. DOI: 10.1177/0021998308093718.

7. Kadir Bilisik, Mansour H. Mohamed. Experimental determination of ballistic performance of newly developed multi-axis non-interlaced/non-Z E-glass/polyester and 3D-woven carbon/epoxy composites with soft backing aramid fabric structures // Textile Research Journal. – 81(5), 2010. P. 520...537. DOI: 10.1177/0040517510383613.

8. Xin Wang, Lan Yao, Fujun Xu, Dongchun Zhou¹, Yiping Qiu. Design and Characterization of Conformal Microstrip Antennas Integrated into 3D-Orthogonal woven Fabrics // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – Vol. 7, Issue 2, 2012.

9. Kadir Bilisik, Mansour H. Mohamed. Multi-axis Three-dimensional Flat Woven Preform (Tube Ravier Weaving) and Circular Woven Preform (Radial Crossing Weaving) // Textile Research Journal. – Vol. 79(12), 2009. P. 1067...1084. DOI: 10.1177/0040517508099395.

10. Kadir Bilisik, Mansour H. Mohamed. Multi-axis Three-Dimensional Flat Woven Preforms – Tube

Carrier Weaving // Textile Research Journal. – Vol. 80(8), 2010. P. 696...711. DOI: 10.1177/0040517509340602.

11. US Patent № US3834424. Three-dimensional fabric, and method and loom construction for the production thereof/ Fukuta K; Miyashita R; Sekiguti J; Nagatsuka Y; Tsuburaya S; Aoki E; Sasahara M. – 10.09.1974.

12. US Patent № US4526026. Method and apparatus of producing continuous three-dimensional fabrics / Krauland Jr Konrad – 02.07.1985.

13. US Patent № US5085252. Method of forming variable cross-sectional shaped three-dimensional fabrics / Mohamed Mansour H [US], Zhang Zhong-Huai [CN] – 04.02.1992.

14. Patent WO2013179037. Method And Apparatus For Weaving A Three-Dimensional Fabric / Potluri [Gb]; Prasad [Gb]; Jetavat Dhavalsinh [Gb] Sharma Sandeep. – 2013-12-05.

15. Заявка № 2016133672 от 16.08.2016 на патент на изобретение. Способ формования трехмерной ортогональной ткани.

Рекомендована кафедрой технологии проектирования ткани и трикотажа. Поступила 02.06.16.