

DOI 10.23859/1994-0637-2017-4-79-2
УДК 677.017.37

© Ершов С.В., Калинин Е.Н., Кузнецов В.Б., Никифорова Е.Н., 2017

Ершов Сергей Владимирович

Кандидат технических наук, доцент,
Ивановский государственный
политехнический университет
(Иваново, Россия)
E-mail: ershovsv.iv@yandex.ru

Ershov Sergey Vladimirovich

PhD (Technical Sciences), Associate Professor,
Ivanovo State Polytechnic University
(Ivanovo, Russia)
E-mail: ershovsv.iv@yandex.ru

Калинин Евгений Николаевич

Доктор технических наук, профессор,
Ивановский государственный
политехнический университет
(Иваново, Россия)
E-mail: enkalini@gmail.com

Kalinin Evgeny Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Ivanovo State Polytechnic University
(Ivanovo, Russia)
E-mail: enkalini@gmail.com

Кузнецов Виктор Борисович

Доктор технических наук, профессор,
Ивановский государственный
политехнический университет
(Иваново, Россия)
E-mail: kuznetsovtex@gmail.com

Kuznetsov Viktor Borisovich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Ivanovo State Polytechnic University
(Ivanovo, Russia)
E-mail: kuznetsovtex@gmail.com

Никифорова Елена Николаевна

Доктор технических наук, профессор,
Ивановский государственный
политехнический университет
(Иваново, Россия)
E-mail: nen07@rambler.ru

Nikiforova Elena Nikolaevna

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Ivanovo State Polytechnic University
(Ivanovo, Russia)
E-mail: nen07@rambler.ru

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА
АРМИРОВАНИЯ ПЛЕТЕННЫХ
ПРЕФОРМ МЕТОДОМ АНАЛИЗА
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**MEASUREMENT OF
REINFORCEMENT ANGLE IN
BRAIDED PREFORMS USING IMAGE
ANALYSIS**

Аннотация. Авторами разработана компьютерная система, которая позволяет определять величину угла армирования плетеных преформ. В алгоритме программы использован метод анализа изображений, основанный на преобразовании Фурье. Точность вычислений подтверждена результатами анализа изображений плетеных структур с заданными параметрами. Выполнен анализ изображений плетеной преформы из углеродных волокон с изменяющимся углом армирования, для которых определены численные значения угла армирования.

Abstract. The authors have developed a computer system that allows to determine the value of the reinforcement angle in braided preforms. The method of image analysis based on the Fourier transform is used in the algorithm of the program. The accuracy of the calculations is confirmed by the image analysis results of the braided structures with specified parameters. The image analysis of the carbon braided structures with a variable reinforcement angle is performed, for which the numerical values of the reinforcement angle are determined.

Ключевые слова: плетеная структура, угол армирования, анализ изображений, преобразование Фурье

Keywords: braided structure, reinforcement angle, image analysis, Fourier transform

Введение

Физико-механические свойства плетеных преформ и функциональные характеристики конструкционных материалов на их основе определяются природой волокна, из которого они изготовлены, и углом переплетения волокон, образующим структуру материала. Угол плетения (армирования) прежде всего зависит от таких параметров процесса, как: скорость перемещения (вытяжки) оправки плетельного устройства, скорость намотки нитей, размер и форма поперечного сечения оправки [5], настройка которых позволяет изготовить плетеные преформы с заданным углом армирования [6] (рис. 1). Однако, для обеспечения точного соответствия процесса изготовления плетеных преформ заданным требованиям, предъявляемым к готовой продукции, необходимо точное определение угла плетения.

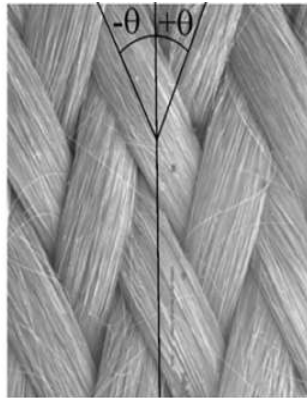


Рис. 1. Изображение плетеной структуры с углом армирования θ

Основная часть

Целью работы является определение величины угла армирования (плетения), как в процессе производства плетеных преформ, так и при анализе функциональных характеристик уже готового изделия, посредством разработанного нами программного комплекса.

Для достижения поставленной цели нами использован метод анализа изображений, в основе которого лежит преобразование Фурье. Данный метод позволяет выполнить разложение цифрового изображения плетеной структуры по частотному спектру, т.е. представить изображение в виде периодической функции, что обеспечивает высокую точность анализа волокнистой структуры изделия при наличии шума в изображениях и в ситуациях, когда отдельные участки исследуемых образцов имеют высокую плотность волокон. Математический аппарат преобразования Фурье ранее уже был использован нами для определения направленности волокон в нетканых материалах [1]–[4,] и дальнейшее совершенствование разработанного алгоритма его реализации позволило использовать этот метод для анализа волокнистой структуры плетеных преформ. Процедура обработки изображений плетеных структур и вычисление преобразования Фурье реализовано нами в разработанном программном комплексе с использованием функций в системе Matlab.

Поскольку в спектре изображения низкочастотные компоненты характеризуют области, в которых яркость практически не изменяется, а высокочастотные компоненты, наоборот, определяют ее интенсивное изменение, в случае анализа изображений плетеных структур волокна будут преимущественно расположены в направлении, перпендикулярном направлению максимального значения интенсивности частотного спектра, что позволит определить среднее значение угла плетения.

Для проверки точности вычислений разработанного нами программного комплекса при работе с изображениями плетеных преформ выполнен анализ виртуально синтезированных изображений, воспроизводящих плетеную структуру с заданным углом армирования, где волокна представлены черными линиями на белом фоне (рис. 2). Рис. 2 (a1) повторяет плетеную структуру с углом армирования $\theta = 45^\circ$, рис. 2 (б1) – плетеную структуру с углом армирования $\theta = 30^\circ$. На рис. 2 (a2, б2) представлены полученные спектры анализируемых изображений. Рис. 2 (a3, б3) показывает построенные диаграммы распределения интенсивности полученных спектров.

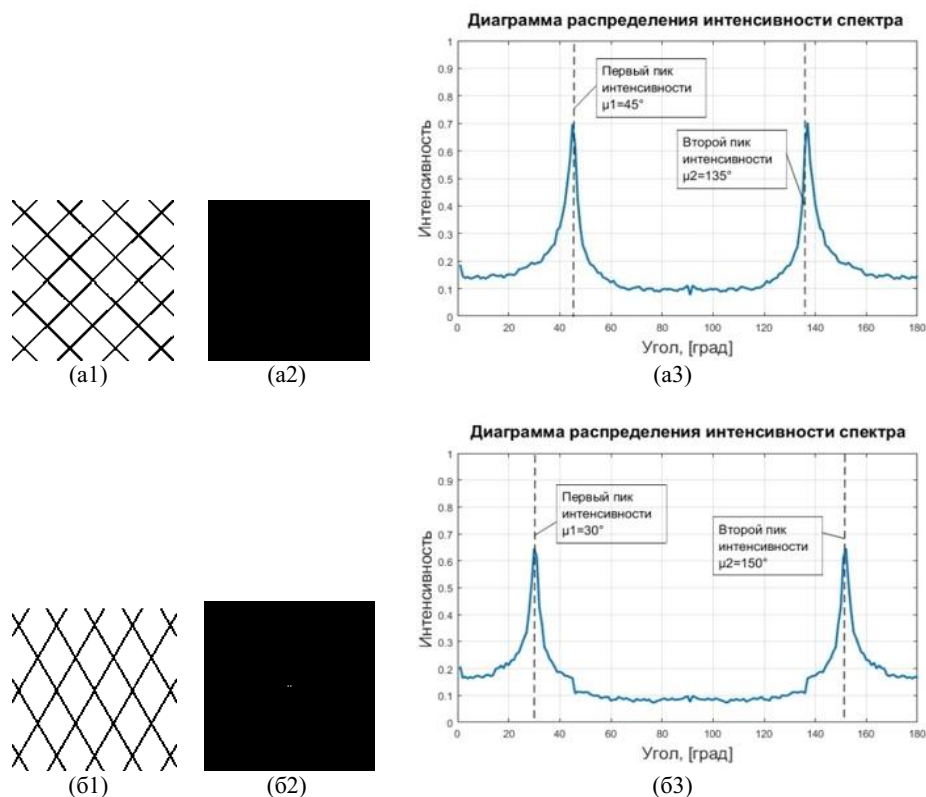


Рис. 2. Анализ виртуально синтезированных изображений плетеной структуры с заданным углом армирования: a1 – плетеная структура с углом армирования $\theta = 45^\circ$; б1 – плетеная структура с углом армирования $\theta = 30^\circ$; a2, б2 – спектры изображений; a3, б3 – диаграммы распределения интенсивности спектров

Из рис. 2 (a3, б3) следует, что при анализе изображений плетеных структур диаграмма распределения интенсивности будет иметь два ярко выраженных пика. Угол, которому соответствует каждый пик интенсивности, определяет угол укладки нити

μ , зная который, можно определить угол плетения (армирования) по следующей формуле [6]:

$$\theta = \frac{(\mu_1 + 90) - (\mu_2 - 90)}{2}. \quad (1)$$

Численные результаты анализа полученных диаграмм распределения интенсивностей для исследуемых изображений, повторяющих плетеную структуру, приведены в табл. 1. Полученные значения угла армирования θ для обоих образцов с точностью до градуса совпадают с заданными значениями, что подтверждает точность вычислений реализованного нами в программном комплексе алгоритма и достоверность получаемых результатов при анализе изображений плетеных структур.

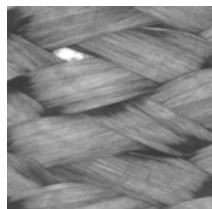
Таблица 1

Изображение	Первый пик интенсивности, μ_1 , град	Значение интенсивности для μ_1	Второй пик интенсивности, μ_2 , град.	Значение интенсивности для μ_2	Угол армирования, θ , град.
2(a1)	45	0,71	135	0,70	45
2(б1)	30	0,65	150	0,64	30

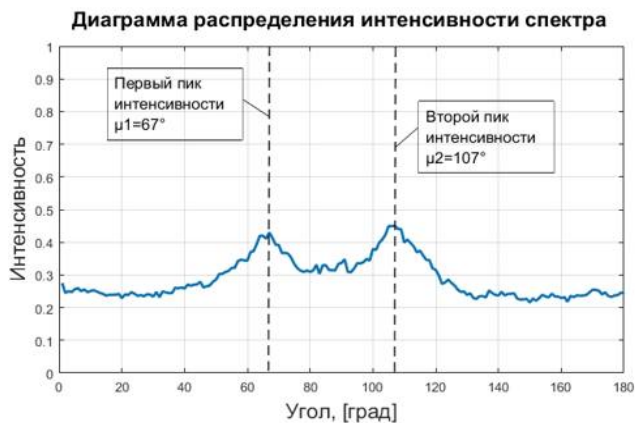
Точность результатов анализа искусственно созданных изображений плетеных структур позволила нам перейти к анализу изображений реальных образцов. Для анализа были использованы изображения плетеной структуры, изготовленной из углеродных волокон на машине радиального плетения в Институте текстильной техники Технического университета г. Ахен (Германия). В процессе изготовления исследуемой нами преформы радиальная скорость намотки нитей и сечение оправки оставались неизменными, но осевая составляющая скорости намотки равномерно изменялась в сторону увеличения, что обеспечивало заданную величину угла плетения. Изображения, полученные для разных участков поверхности преформы с разными углами армирования, были выбраны для анализа и загружены в разработанный нами программный комплекс (рис. 3).

Для более точного распознавания линий волокон в плетеной структуре их изображения были автоматически обработаны в соответствии с разработанным нами ранее алгоритмом [2], [3], после чего для каждого изображения были определены численные значения преобразования Фурье и построена диаграмма распределения интенсивности (рис. 3).

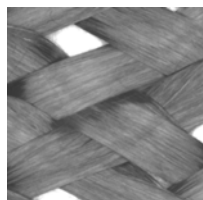
На каждой из полученных диаграмм выделены два ярко выраженных пика интенсивности μ_1 и μ_2 , которые характеризуют угол укладки нитей. Увеличение скорости вытяжки оправки приводит к уменьшению значения μ_1 и к увеличению значения μ_2 на диаграммах (рис. 3 б1–б3), что позволяет определить изменение угла плетения θ . Используя формулу (1), нами были вычислены значения углов армирования (плетения) θ для исследуемых изображений. Численные результаты анализа полученных диаграмм и значения углов армирования θ приведены в табл. 2.



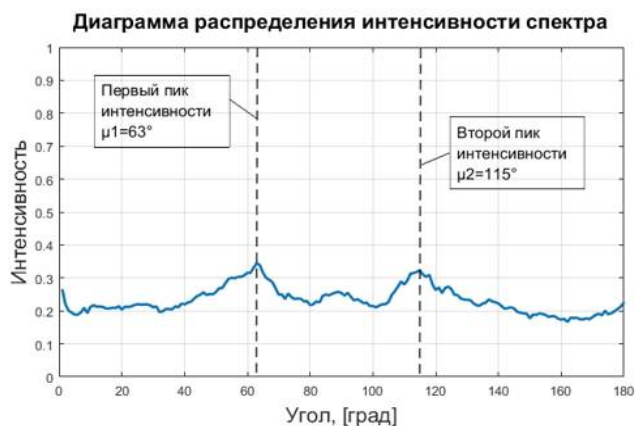
(a1)



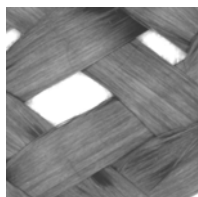
(б1)



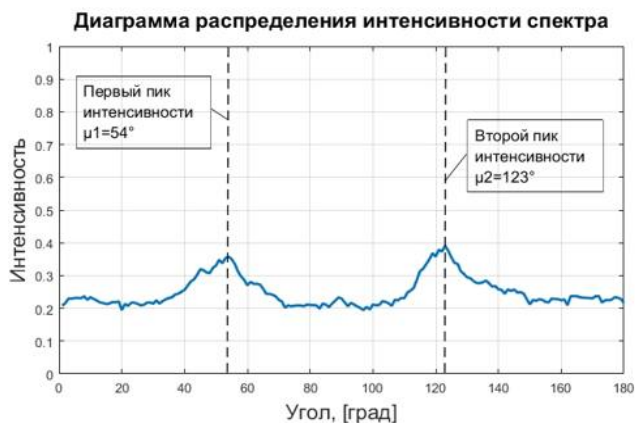
(a2)



(б2)



(a3)



(б3)

Рис. 3. a1 – a3 – изображения плетеной структуры с разными углами армирования;
(б1 – б3) Диаграммы распределения интенсивности

Таблица 2

Изображение	Первый пик интенсивности, μ_1 , град.	Значение интенсивности для μ_1	Второй пик интенсивности, μ_2 , град.	Значение интенсивности для μ_2	Угол армирования, θ , град.
3(a1)	67	0,43	107	0,45	70
3(a2)	63	0,35	115	0,32	64
3(a3)	54	0,36	123	0,39	55,5

Выводы

1. Таким образом, информация о взаимосвязи между величинами угла θ армирования и значениями интенсивности μ_1 и μ_2 , полученными из анализа изображений, сочетания которых представлены в табл. 1 и 2, может быть использована для прогнозирования физико-механических свойств плетеных преформ и для контроля технологических параметров в процессе производства плетеных структур. Результаты проведенного нами анализа изображений плетеных структур позволяют сделать вывод об эффективности применения разработанного нами программного комплекса для определения угла армирования в плетеных преформах.

2. Разработанный нами программный комплекс позволяет определить угол θ армирования с точностью до одного градуса при достигнутом нами качестве изображения исследуемой волокнистой структуры.

Литература

1. Ершов С.В., Калинин Е.Н. Влияние пиксельной характеристики цифровых изображений нетканых структур на точность результатов их компьютерного анализа // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. №6. С. 243–247.
2. Ершов С.В., Калинин Е.Н. Разработка программного комплекса для анализа направленности волокон в углеродных нетканых структурах // Вестник Череповецкого государственного университета. 2015. №1. С. 12–17.
3. Ершов С.В., Калинин Е.Н., Тидт Т. Анализ направленности углеродных волокон в реальных нетканых структурах технического назначения // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. №6. С. 189–193.
4. Ершов С.В., Калинин Е.Н., Тидт Т. Определение направленности волокон в углеродных нетканых структурах средствами преобразования Фурье // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. №6. С. 105–110.
5. Nishimoto H., Ohtani A., Nakai A., Hamada H. Prediction Method for Temporal Change in Fiber Orientation // Textile Res J. 2010. Vol. 80 (9). P. 814–821.
6. Zhenkai W., Jialu L., Braided A. Measurement Technique for Three-Dimensional Braided Composite Material Preform Using Mathematical Morphology and Image Texture // AUTEX Research Journal. 2006. Vol. 6(1). P. 30–39.

References

1. Ershov S.V., Kalinin E.N. Vliyaniye piksel'noi kharakteristiki tsifrovyykh izobrazhenii netkanykh struktur na tochnost' rezul'tatov ikh komp'yuternogo analiza [Influence of digital images pixel characteristics of nonwoven structures on the accuracy of their computer analysis results]. *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of higher educational institutions. Technology of textile industry], 2016, no. 6, pp. 243–247.

2. Ershov S.V., Kalinin E.N. Razrabotka programmnoy kompleksa dlia analiza napravlenosti volokon v uglerodnykh netkanykh strukturakh [Development of software system for analysis of fiber orientation in carbon nonwoven structures]. *Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Cherepovets State University], 2015, no. 1, pp. 12–17.

3. Ershov S.V., Kalinin E.N., Tiedt T. Analiz napravlenosti uglerodnykh volokon v real'nykh netkanykh strukturakh tekhnicheskogo naznachenii [Analysis of carbon fiber orientation in real nonwoven structures of technical purposes]. *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti* [Proceedings of higher educational institutions. Technology of textile industry], 2015, no. 6, pp. 189–193.

4. Ershov S.V., Kalinin E.N., Tiedt T. Opredelenii enappravlenosti volokon v uglerodnykh netkanykh strukturakh sredstvami preobrazovaniia Fur'ie [Measurement of fiber orientation in carbon nonwoven structures using Fourier transform]. *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti* [Proceedings of higher educational institutions. Technology of textile industry], 2014, no. 6, pp. 105–110.

5. Nishimoto H., Ohtani A., Nakai A., Hamada H. Prediction Method for Temporal Change in Fiber Orientation. *Textile Res J*, 2010, vol. 80 (9), pp. 814–821.

6. Zhenkai W., Jialu L., Braided Angle Measurement Technique for Three-Dimensional Braided Composite Material Preform Using Mathematical Morphology and Image Texture. *AUTEX Research Journal*, 2006, vol. 6(1), pp. 30–39.

Ершов С.В., Калинин Е.Н., Кузнецов В.Б., Никифорова Е.Н. Определение угла армирования плетеных преформ методом анализа изображений // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №4(79). С. 14–20.

For citation: Ershov S.V., Kalinin E.N., Kuznetsov V.B., Nikiforova E.N. Measurement of reinforcement angle in braided preforms using image analysis. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2017, no. 4 (79), pp. 14–20.