

УДК 677.019

**МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРОВ-РАСПОЗНАВАТЕЛЕЙ
ПРИ АНАЛИЗЕ СТРУКТУРЫ ТРЕХМЕРНОЙ ТКАНИ**

**TECHNIQUE OF USE OF FILTERS-RECOGNIZERS
IN THE ANALYSIS OF STRUCTURE OF THREE-DIMENSIONAL FABRIC**

В.А. ИВАНОВСКИЙ, С.Н. ТИТОВ
V.A. IVANOVSKY, S.N. TITOV

(Костромской государственной технологической университет)
(Kostroma State Technological University)
E-mail: info@kstu.edu.ru

Работа посвящена распознаванию структуры трехмерной армирующей ткани, используемой при производстве изделий из композитных материалов. Предложена методика, основанная на применении совокупности фильтров-распознавателей для определения центральных точек нитей.

Work is devoted to recognition of structure of the three-dimensional reinforcing fabric which is used by production of products from composite materials. The technique based on use of set of filters-recognizers for definition of the central points of threads is offered.

Ключевые слова: распознавание структуры трехмерной ткани, компьютерная томография, композитные материалы.

Keywords: recognition of structure of three-dimensional fabric, computer tomography, composite materials.

На сегодняшний день применение трехмерных цельнотканых армирующих структур при производстве композитных

материалов становится все более широким [1], [2]. Изготовление композитных изделий аэрокосмического назначения не-

допустимо без тщательного контроля качества. Анализ геометрического расположения структуры тканого армирующего наполнителя является важным этапом контроля изделия [3], [4]. Контроль внутренней структуры полуфабриката возможен при использовании высокоинформативных средств неразрушающего контроля. Исследование неразрушающих методов контроля показало, что наиболее эффективным средством получения информации о внутренней структуре является применение компьютерного томографа [5...7]. В то же время с развитием современной вычислительной техники стало возможным автоматизировать распознавание и анализ тканой структуры [8], [9]. Таким образом, данная работа посвящена разработке мето-

дики компьютерного анализа структуры трехмерной ткани.

Основной идеей анализа геометрического расположения структуры ткани является распознавание центральных точек нитей и сравнение их расположения с расположением в эталонной компьютерной модели [5]. Настоящая работа посвящена первому этапу – определению центральных точек нитей.

Предлагаемая методика заключается в определении данных точек путем распознавания линий центров следов нитей различными фильтрами-распознавателями в плоскостях, параллельных декартовым, и выборе точек, в которых поверхности, образованные найденными линиями, пересекаются (рис. 1).

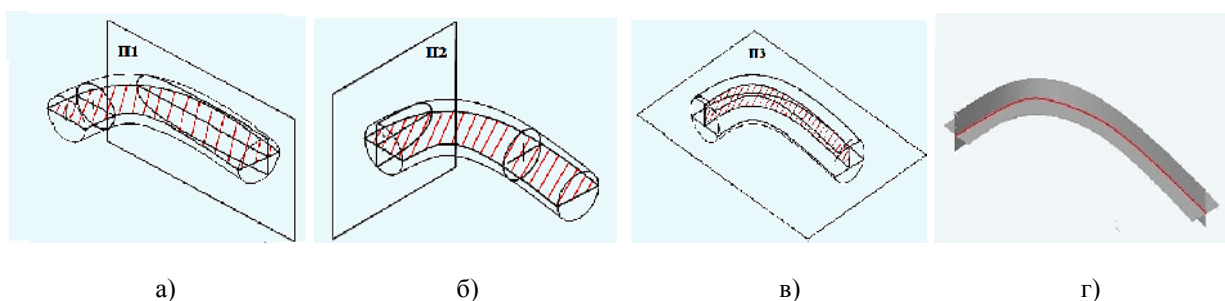


Рис. 1

На рис. 1-а, б, в изображено определение поверхностей, образуемых линиями центров распознанных образов на плоскостях, параллельных плоскостям П1, П2, П3. Данные поверхности заштрихованы. На рис. 1-г обозначена линия пересечения данных поверхностей, которая и является центральной линией нити.

Основной проблемой при этом является сложное пространственное расположение

нитей, соответственно поперечные срезы нитей в общем случае могут находиться на разных уровнях и в различных плоскостях изделия, и, следовательно, следы нитей, хотя бы в одной из плоскостей, будут иметь различные формы, отличающиеся от исходной.

Рассмотрим фрагменты томограмм трехмерной ткани (рис. 2).

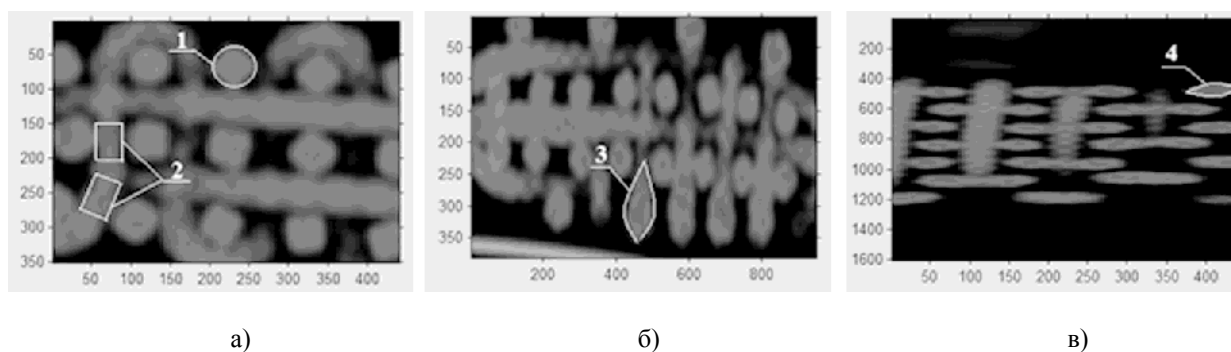


Рис. 2

Из рис. 2-а видно, что основными фигурами, подлежащими распознаванию, являются фигуры в виде кругов (фигура № 1) и прямоугольников (фигуры № 2, в случае деления изображения на небольшие участки следы прямых и изогнутых нитей могут быть представлены в виде совокупности прямоугольников). Из рис. 2-б и 2-в видно, что могут присутствовать различные фигуры неправильной формы в виде чечевицы (фигуры № 3, № 4), которые при математической обработке мы аппроксимируем эллипсами. Кроме того, любые фигуры могут находиться под разными углами к плоскости среза, что также существенно усложняет задачу их распознавания.

Для решения задачи определения линий центров всех следов нитей на всех плоскостях предлагается методика распознавания, основанная на применении фильтров-распознавателей, общая схема которой представлена на рис. 3.

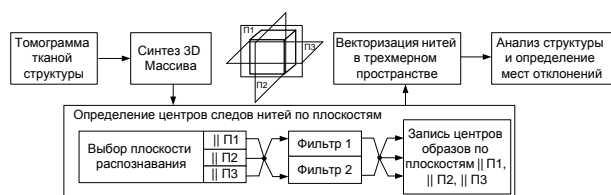


Рис. 3

На первом этапе из томограмм синтезируется трехмерный пиксельный массив. Далее, по плоскостям, параллельным плоскостям Π_1 , Π_2 и Π_3 , распознаются следы нитей и определяются их центры. Данная информация записывается в отдельные структурные массивы M_1 , M_2 и M_3 , соответствующие направлению плоскостей. После этого они объединяются по условию равенства координат:

$$\begin{cases} X_{M1} = X_{M2} = X_{M3}, \\ Y_{M1} = Y_{M2} = Y_{M3}, \\ Z_{M1} = Z_{M2} = Z_{M3}. \end{cases} \quad (1)$$

Точки, удовлетворяющие данному условию, являются центрами поперечных сечений нитей.

Ввиду того, что на каждой исследуемой плоскости присутствуют различные обра-

зы следов нитей, то их распознавание и определение их центральных точек предлагается осуществлять фильтрами, основанными на различных методиках. Так, например, распознавание круглых следов удобно проводить фильтром на основе двумерного вейвлет-преобразования, описанного в работе [10], анализируя изображение по формуле:

$$W(x, y) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} \psi(x, y) f(x, y), \quad (2)$$

где $f(x, y)$ – двумерная матрица единичного обрабатываемого фрагмента; $\psi(x, y)$ – двумерный вейвлет, конструируемый путем вращения вейвлета ФНАТ вокруг своей оси.

Из совокупности значений $W(x, y)$ выбираются максимальные, которые являются центрами исследуемых фигур.

При этом распознавание центров круглых форм необходимо проводить в первую очередь, и далее удалять данные образы из изображения для того, чтобы они не мешали распознаванию других фигур.

Распознавание других следов нитей удобно проводить при помощи совокупности преобразования Радона и одномерного вейвлет-преобразования [11], разделяя изображение на фрагменты. В этом случае применение метода Радона дает возможность преобразовать единичный фрагмент изображения в функциональную зависимость проекции яркости изображения от ее угла наклона:

$$R(t, \alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t \cos \alpha - y' \sin \alpha, t \sin \alpha + y' \cos \alpha) dy', \quad (3)$$

где t – расстояние от начала координат до прямой, вдоль которой суммируются яркости; α – угол наклона проекции.

Далее определяется максимальное значение результата преобразования Радона при помощи вейвлет-анализа:

$$S(a, b) = \langle R(t, \alpha), \psi(t, a, b) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} R(t, \alpha) \psi(t, a, b) dt, \quad (4)$$

где $R(t, \alpha)$ – результат преобразования Радона, вычисленного по формуле (3);

$\psi(t, a, b)$ – масштабированные и сдвинутые копии базисного вейвлета МНАТ; a – параметр масштаба вейвлета; b – параметр сдвига вейвлета.

Определенное таким образом максимальное значение является центром проекции образа, а угол соответствующей проекции является углом наклона распознаваемой фигуры. Отсюда вычисляется требуемая осевая линия фигуры.

ВЫВОДЫ

Применение методики, основанной на использовании совокупности фильтров-распознавателей центров следов нитей и объединении результатов распознавания, позволяет определить центральные точки нитей трехмерной тканой структуры, что в свою очередь дает возможность анализировать отклонения в геометрическом расположении армирующей структуры при существенном увеличении скорости анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бенецкая В.В., Селиверстов В.Ю., Киселев А.М., Рудовский П.Н., Киселев М.В.* Моделирование структуры тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 3. С. 23...28.
2. *Селиверстов В. Ю., Петров И. Н., Черкасов К. А.* Механизм прокладывания утка для получения трехмерных текстильных изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 1. С. 66...69.
3. *Жигун Е.Г.* Влияние искривления волокон на жесткость и прочность композитных материалов: Дис.... канд. техн. наук. – Рига, 1969.
4. *Павлихина И. Ю., Сумарукова Р. И.* Исследование расположения нитей в многослойной ткани облегченного типа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 4. С. 28...31.
5. *Ивановский В. А.* Развитие систем неразрушающего контроля армирующих тканых структур // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 1. С. 151...155.
6. *Ивановский В. А.* Диагностика армирующих тканых структур при производстве композитных материалов // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2013, № 1 (30). С. 47...49.
7. *Некрасова Н. П.* Анализ существующих методов неразрушающего контроля параметров

строения ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 4. С. 54...56.

8. *Волгин А. Б., Рудовский П. Н.* Обработка и распознавание цифрового изображения самокрученных нитей с целью определения значения и направления крутки // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2012, № 2. С. 37...38.

9. *Ивановский В. А.* Распознавание нити в структуре трехмерной ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, № 5. С. 15...18.

10. *Ивановский В. А.* Применение вейвлет-преобразования при определении поперечного профиля нити в структуре трехмерной ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 3.

11. *Ивановский В. А.* Применение вейвлет-анализа при распознавании дефектов ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 5. С. 124...126.

REFERENCES

1. *Beneckaja V.V., Seliverstov V.Ju., Kiselev A.M., Rudovskij P.N., Kiselev M.V.* Modelirovanie struktury tkanej // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 3. S. 23...28.
2. *Seliverstov V. Ju., Petrov I. N., Cherkasov K. A.* Mehanizm prokladyvanija utka dlja poluchenija trehmernyh tekstil'nyh izdelij // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 1. S. 66...69.
3. *Zhigun E. G.* Vlijanie iskrivlenija volokon na zhestkost' i prochnost' kompozitnyh materialov: Dis.... kand. tehn. nauk. – Riga, 1969.
4. *Pavlihina I. Ju., Sumarukova R. I.* Issledovanie raspolozhenija nitej v mnogoslujnoj tkani oblegchenogo tipa // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, № 4. S. 28...31.
5. *Ivanovskij V. A.* Razvitie sistem nerazrushajushhego kontrolja armirujushhh tkanyh struktur // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 1. S. 151...155.
6. *Ivanovskij V. A.* Diagnostika armirujushhh tkanyh struktur pri proizvodstve kompozitnyh materialov // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. – 2013, № 1 (30). S. 47...49.
7. *Nekrasova N. P.* Analiz sushhestvujushhh metodov nerazrushajushhego kontrolja parametrov stroenija tkani // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, № 4. S. 54...56.
8. *Volgin A. B., Rudovskij P. N.* Obrabotka i raspoznavanie cifrovogo izobrazhenija samokručennyh nitej s cel'ju opredelenija znachenija i napravlenija krutki // Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. – 2012, № 2. S. 37...38.
9. *Ivanovskij V. A.* Raspoznavanie niti v strukture trehmernoj tkani // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, № 5. S. 15...18.