

УДК 677.019

**РАСПОЗНАВАНИЕ НИТИ В СТРУКТУРЕ ТРЕХМЕРНОЙ ТКАНИ\***  
**THREAD RECOGNITION IN STRUCTURE OF THREE-DIMENSIONAL FABRIC**

*В.А. ИВАНОВСКИЙ*  
*V.A. IVANOVSKY*

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

*Статья посвящена разработке методики распознавания нити и ее параметров при неразрушающем контроле армирующих тканых структур в процессе изготовления композитов. Предложена структурная блок-схема алгоритма, распознающего нить.*

*Article is devoted to development of a technique of recognition of a thread and its parameters at nondestructive control of reinforcing woven structures in the course of production of composites. The structural flowchart of the algorithm distinguishing a thread is offered.*

---

\* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук С.Н.Титова.

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

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

Производство изделий из композитных материалов в настоящее время становится все более актуальным. В промышленности, в частности авиакосмической, для изготовления таких изделий появилась необходимость создания трехмерных цельнотканых армирующих структур [1]. Важнейшей задачей при этом является контроль качества структуры армирующей трехмерной ткани, в частности, контроль геометрического расположения нитей [2]. С развитием современной компьютерной техники все больше развиваются методы автоматизированного неразрушающего контроля качества тканых структур [3...7]. Основной задачей исследования является создание методики автоматизированного контроля структуры трехмерной ткани, основанного на ее сравнении с компьютерной моделью [7], [8].

Для решения обозначенной задачи выбран метод неразрушающего контроля внутренней структуры – метод компьютерной томографии [9]. Применение компьютерного томографа позволяет получить ряд томограмм, которые можно скомпоновать в один трехмерный массив цифровых значений оттенков серого цвета (рис. 1).

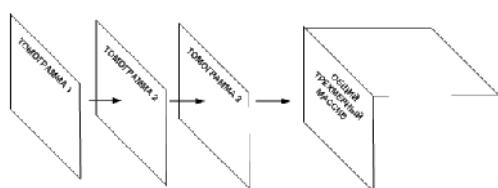


Рис. 1

Для сравнения тканого изделия с его компьютерной моделью из полученного трехмерного массива необходимо извлечь информацию о нитях, составляющих его структуру. Основной проблемой является сложное пространственное расположение нити, соответственно поперечные срезы одной нити в общем случае могут нахо-

диться на разных уровнях и в различных плоскостях изделия.

В работе [10] предлагается методика представления геометрической модели нити, в частности, для создания компьютерной модели трехмерной ткани. Для решения обратной задачи (оцифровки готового изделия и сравнения с компьютерной моделью) предлагается методика определения нити и ее параметров, основанная на корректировке угла наклона плоскости, на которой производится распознавание поперечного профиля нити, по направлению ее следования (рис. 2-а).

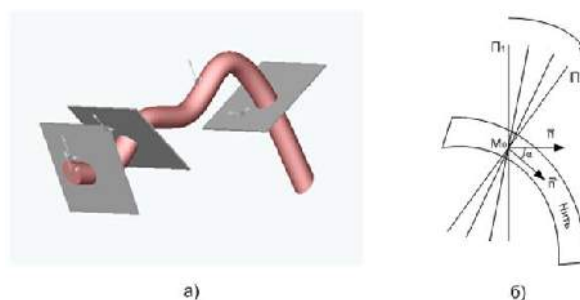


Рис. 2

В рамках данной методики угол наклона последующей плоскости должен зависеть от угла наклона плоскости распознавания на предыдущем шаге, на каждом последующем шаге плоскость должна корректироваться по направлению следования нити.

Предлагаемая методика базируется на исследовании нескольких плоскостей распознавания, проходящих через одну точку, и выборе той плоскости, на которой наиболее оптимально выражен профиль нити. Уравнение плоскости, в нашем случае, удобно задавать через точку  $M_0(x_0, y_0, z_0)$  и вектор нормали  $\vec{n}(n_1, n_2, n_3)$  к плоскости (рис. 2-б). Тогда уравнение будет иметь следующий вид:

$$n_1(x - x_0) + n_2(y - y_0) + n_3(z - z_0) = 0.$$

Изменение направления вектора вычисляем при помощи матрицы поворота для двумерного пространства:

$$M(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & \mp \sin(\alpha) \\ \pm \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix},$$

так как поворот плоскости распознавания ведется пошагово в каком-либо одном из направлений.

Распознаваемую нить можно записать следующим образом:

$$N = [S, I, P],$$

где  $S = [S_x, S_y, S_z]$  – системы нитей, расположенных вдоль соответствующих осей;  $I \in [1..n]$  – номер нити в системе;  $n$  – количество нитей в системе;  $P$  – геометрические параметры нити:

$$P = [t, L(x, y, z), D, \alpha],$$

где  $t$  – порядковый номер центра поперечника нити;  $L(x, y, z)$  – точка центра поперечника нити;  $D$  – условный диаметр поперечного сечения нити;  $\alpha$  – угол наклона нормального вектора плоскости распознавания относительно предыдущей плоскости.

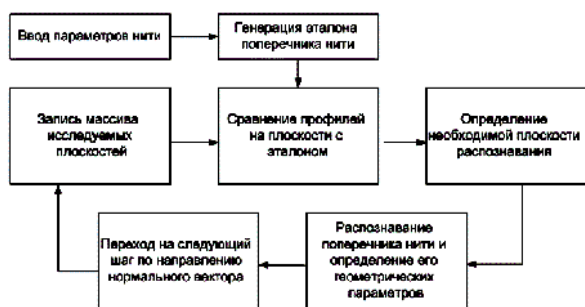


Рис. 3

Методика состоит из нескольких модулей (рис. 3).

1. Вводятся параметры используемых нитей при производстве трехмерной ткани (в частности, номер нити) для определения условного диаметра. Производится генерация эталона поперечника нити.

2. На каждом шаге вдоль следования нити для корректировки угла наклона

плоскости распознавания исследуется совокупность плоскостей, которые записываются в массив данных.

3. Записанные плоскости сравниваются со сгенерированным эталоном поперечника нити, а значение меры идентичности записывается в массив.

4. Определяется максимальное значение меры идентичности исследуемых профилей и делается вывод о наиболее подходящей плоскости распознавания.

5. Производится распознавание поперечника нити, определение координат его центра.

6. Производится переход к следующему шагу вдоль направления следования нити, то есть по направлению нормального вектора выбранной плоскости распознавания.

## ВЫВОДЫ

Разработанная методика позволяет определять координаты центров поперечных срезов каждой нити на каждом участке, что дает возможность сравнения геометрического расположения нити относительно ее эталонной компьютерной модели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Tong L., Mouritz A.P., Bannister M.K. 3DFibre Reinforced Polymer Composites //Elsevier. – 2002.
2. Павлихина И.Ю., Сумарукова Р.И. Исследование расположения нитей в многослойной ткани облегченного типа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №4. С.28...31.
3. Землякова И.В., Каминская Л.А. Неразрушающий метод определения длины нити в петле трикотажного полотна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №4. С.113...116.
4. Стенюгина О.В., Коробов Н.А., Гусев Б.Н., Алешина Д.А. Определение геометрических характеристик петлеобразования трикотажного полотна по компьютерному изображению // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №1. С.134...136.
5. Волгин А.Б., Рудовский П.Н. Обработка и распознавание цифрового изображения самокрученных нитей с целью определения значения и направления крутки // Вестник КГТУ. – 2012, №2. С.37...38.
6. Некрасова Н.П. Анализ существующих методов неразрушающего контроля параметров

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

7. *Ивановский В.А.* Развитие систем неразрушающего контроля армирующих тканых структур // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №1. С. 151...155.

8. *Ивановский В.А.* Диагностика армирующих тканых структур при производстве композитных материалов // Вестник КГТУ. – 2013, №1(30). С.47...49.

9. *Ивановский В.А.* Анализ компьютерных томографов для дефектоскопии цельнотканых арми-

рующих структур // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №3. С. 20...23.

10. *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.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 30.09.14.

---