

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН\*

А.Ф. АНДРЕЕВ, Ю.К. ЗАВАЛОВ, Н.В. ГАЛУШКИНА

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Структурный и параметрический анализ и синтез текстильных объектов – важная составляющая жизненного цикла продукции.

В трикотажной технологии результатом проектирования трикотажного полотна является некоторая геометрическая модель переплетений (как 2D- и 3D-мерного объекта), отображаемая в виде множества петельных рядов и столбиков полотна, либо экспериментальный образец.

Структурные характеристики трикотажных полотен (как и других текстильных материалов), такие как показатели удельного заполнения, пористость, светопрозрачность, площадь опорной поверхности и другие, во многих случаях коррелируются с теплофизическими свойствами, контактным давлением, радиофизическими, фрикционными и др., определяют эксплуатационные свойства и функциональную пригодность изделий.

Во многих случаях возникает задача оценки изменения структурных характеристик, если материал подвержен деформации одно- и двухосной. Типичные примеры: деформация чулочно-носочных изделий при эксплуатации, деформация трикотажного наполнителя при изготовлении композитов, деформация изделий замкнутого контура при формировании оболочек и пр.

Испытание натуральных образцов в этом случае является чрезвычайно затратной процедурой, требует применения дорогостоящих приборов, специальных условий и методов. Как правило, методы испытаний являются разрушающими.

При оценке надежности и эксплуатационных свойств актуальной также является задача оценки изменения структурных параметров материала во времени вследствие усадки, загрязнения (последствий фильтрации) или механических воздействий, включая структурные изменения нити. Часто возникают задачи сравнения структурных характеристик различных текстильных материалов (тканей, трикотажа и др.) как меры их качества и функциональной пригодности.

Текстильные материалы, включая трикотаж, имеют пористую структуру, что позволяет передавать по их толщине энергию (световую, тепловую, радиоволны) в различных средах: газовых, жидкостных, в том числе средах, содержащих различные частицы. Эти свойства позволяют не только создавать защитную одежду и регулировать процессы теплообмена, но решать специальные технические задачи, в частности, фильтрации газовых сред и жидкости, создавать светозащитные экраны, средства радиосвязи и др. Для таких изделий важными характеристиками являются пористость материала, поверхность фильтрации, светопрозрачность, диаметр волокон и нитей и их расположение, структура поверхности и пр.

Актуальными являются задачи создания трикотажных фильтров с управляемой структурой и пористостью материала, обеспечивающей циклический режим эксплуатации фильтров. В этом случае от структурных параметров материала зависят гидравлические характеристики

\* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук И.Г. Цитовича.

фильтров, эффективность фильтрации, скорость фильтрации, энергопотребление.

Оценка пористости на уровне макроструктур<sup>1</sup> текстильного материала (ткани, трикотажа), определяемых видом пересечения элементов нити в структурных ячейках материала, является важнейшей составляющей в оценке их качества.

Для оценки показателей пористости: площади пор, их расположения, эквивалентного размера их диаметра ("скважности"), удельной плотности пор и др. используют различные методы и модели. В частности, используются оптические методы; методы, основанные на прохождении жидкости и воздушных потоков; методы абсорбции, фильтрации и др. Однако их использование предусматривает наличие реальных материалов (Jakšić, 1975). Более продуктивные схемы предусматривают построение различных структурных моделей.

Для тканей такие работы были связаны с теоретическими моделями (Pierce, 1947; Womersley, 1937; Love, 1954; Kemp, 1958; Hamilton, 1964; Weiner, 1971) и экспериментальными исследованиями (Seyam and El-Shiekn, 1993; Kienbaum, 1990).

В отличие от тканей, где структурные элементы для геометрических моделей описываются относительно простыми геометрическими примитивами, в частности, пересекающимися под прямым углом прямыми [1], и являются относительно постоянными, трикотаж имеет более сложную геометрическую структуру, легко деформируемую под влиянием внешней нагрузки.

В отличие от тканей для трикотажных полотен имеет место существенная анизотропия свойств, в частности, более высокая растяжимость и низкий начальный модуль упругости в направлении петельных рядов, чем при деформации в направлении петельных столбиков [2]. Построение таких теоретических моделей для базовых переплетений, образующих однородную структуру трикотажного материала, привлекает внимание многих исследователей. Анализ и оценку различных моделей пе-

тель, отражающих взаимосвязь длины нити в петле с ее геометрическими параметрами можно найти в работах И.И. Шалова, А.И. Коблякова, Ф.А. Моисеенко, В. Корлинского и др.

Отметим, что С. Джон и Р. Постл получили решение, определяющее пространственную форму петли и ее деформационные свойства на основе рассмотрения условий механического равновесия элементов петли с учетом реальных свойств и граничных условий [3]. В [4] показано, что форма петли существенно зависит от начальных условий и изменения упругопластических свойств нити, которые во многих случаях останутся неизвестными.

Продуктивную схему геометрической визуализации ниточных структур из геометрических примитивов, включая трикотажные переплетения, предложил В.И. Дзюба [5]. Методике оценки структурных параметров трикотажа средствами оптической микроскопии и компьютерного анализа изображений посвящена работа [6].

Во многих случаях геометрические модели с достаточной точностью описывают структурные свойства и параметры основных переплетений.

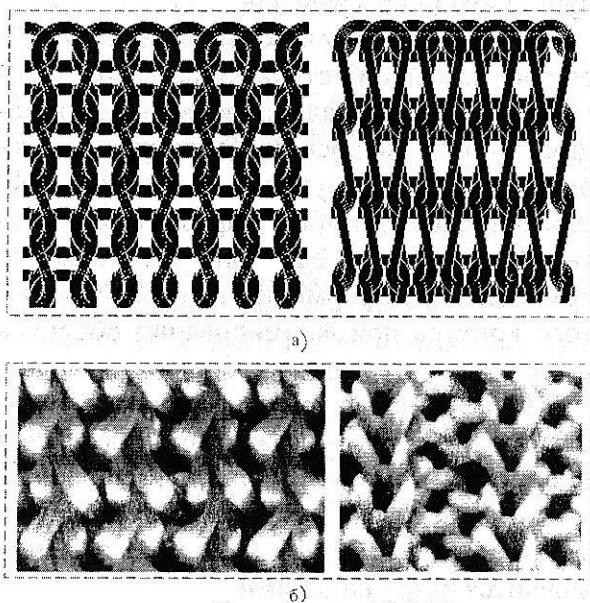


Рис. 1

<sup>1</sup> В отличие от микропор в структуре нитей и волокон.

С использованием средств компьютерной графики структуры трикотажных полотен могут быть отображены (визуализированы) в виде виртуальных моделей или реального объекта (рис. 1: слева структура трикотажа в свободном, а справа – в деформированном состояниях). На рис. 1-а представлена компьютерная визуализация геометрической модели совокупности петель в переплетении ластик. На рис. 1-б показано изображение, полученное с помощью обычного сканера (HP ScanJet). Как пример показано, что структурные параметры трикотажа существенно изменяются, при деформации. Это касается, прежде всего, пористости материала, толщины нити, геометрии сквозных отверстий (пор) и др.

Существенно, что визуализация (сканирование) реального образца обнаруживает не только относительно постоянные структурные параметры  $A$  и  $B$  полотна, но и изменения вследствие анизотропии свойств и неконтролируемой (в данном случае) деформации.

Нами разработан алгоритм и программное обеспечение решения задачи анализа изображения петельной структуры и определения структурных параметров трикотажа базовых переплетений, однородных<sup>2</sup> по своей структуре, что наиболее характерно для использования трикотажных материалов в технической сфере. Метод применим также для класса сетчатых структур (основовязанных и поперечновязанных), которые широко применяют в качестве средств радиосвязи, маскирующих покрытий, тары и других изделий. Структурные характеристики таких сетеполотен, как и вся поверхность, еще в большей степени подвергаются изменениям и требуют своей оценки.

Одно из важных свойств использования компьютерной визуализации – возможность многократного увеличения образа и возможность оценки не только макро-, но и микродисперсных характеристик (без использования дорогостоящих оптических систем) [ 7 ].

При разработке алгоритма обработки и анализа изображения возникают проблемы оценки границ различных состояний оптического образа и применения соответствующих оптических координат для расчета характеристик пористости. Такие проблемы автоматического поиска решений нами обозначены для определенных классов трикотажных материалов.

Было установлено, что оценка площади пор эквивалентной площадью круга для сложной конфигурации отверстий, например, для фильтрации частиц определенного размера, может быть в ряде случаев неэффективной. Для таких случаев может быть использован разработанный алгоритм анализа изображений для сложной конфигурации (серповидной, звездчатой).

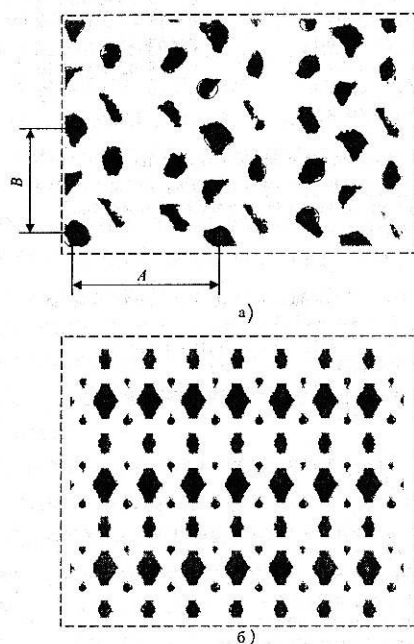


Рис. 2

Структура пористости реального объекта (на рис. 2 представлен фрагмент программного отображения структуры деформированного трикотажа) имеет существенное рассеяние (рис. 2-а), в то время как для модели она стабильна как по структурным параметрам, так и размеру пор (рис. 2-б). Это свидетельствует о том, что трикотажные полотна по своей структуре

<sup>2</sup> Имеется в виду наличие повторяющейся структурной единицы.

чрезвычайно чувствительны к деформации. Для обеспечения изотропии свойств и однородности структуры, например, при изготовлении ответственных деталей (фильтров, медицинских сосудов и пр.) требуется чрезвычайно точная процедура двуслойной деформации трикотажного полотна. Еще в большей степени это касается деформации сетеполотен.

Sp_i	Dp	Dmm	Sp_i	Dp	Dmm
00356	16.0	0.1846	01566	31.0	0.3577
00511	13.0	0.1500	01597	34.0	0.3923
00613	33.0	0.3808	01684	35.0	0.4038
00705	24.0	0.2769	01820	39.0	0.4500
00874	27.0	0.3115	01868	32.0	0.3692
01076	14.0	0.1615	01826	38.0	0.4385
01157	32.0	0.3692	01926	23.0	0.2654
01105	15.0	0.1731	02026	34.0	0.3923
01091	29.0	0.3346	02070	40.0	0.4615
01122	13.0	0.1500	02100	44.0	0.5077
01207	27.0	0.3115	02090	42.0	0.4846
01242	43.0	0.4962	02251	47.0	0.5423
01357	38.0	0.4385	02182	46.0	0.5308
01311	20.0	0.2308	02309	53.0	0.6115
01420	23.0	0.2654	02530	44.0	0.5077
01386	37.0	0.4269	02667	45.0	0.5192
01497	31.0	0.3577	02788	42.0	0.4846
01577	42.0	0.4846	03069	53.0	0.6115
01550	35.0	0.4038			

Sp\_i - площадь в пикселях i-го отверстия  
 Dp - диаметр скважности в пикселях i-го отверстия  
 Dmm - диаметр скважности в мм i-го отверстия

N(S>331) - 37 - количество отверстий площадью больше 331

Sp\_all - площадь в пикселях всего образца  
 346236( 732 x 473  
 8.45 x 5.46 (46.10)<mm> )

Sp\_d - площадь в пикселях всех диаметров  
 59506

Sp\_d / Sp\_all - удельное заполнение  
 0.172

Гистограмма распределения отверстий (пор) в пикселях  
 Statistika of S <p>

p1 - p2	Sum_p	N-%	.....1.....2.....3.....4.....5
356- 743	2185	4-0.04	*
743- 1130	5268	5-0.09	****
1130- 1517	10557	8-0.18	*****
1517- 1904	13488	8-0.23	*****
1904- 2291	14645	7-0.25	*****
2291- 2678	7506	3-0.13	*****
2678- 3065	5857	2-0.10	****

Гистограмма распределения диаметров отверстий (пор)  
 Statistika of D <p>

p1 - p2	Sum_p	N-%	.....1.....2.....3.....4.....5
13- 18	8	8-0.20	*****
18- 23	1	1-0.03	*
23- 28	5	5-0.13	*****
28- 33	5	5-0.13	*****
33- 38	6	6-0.15	*****
38- 43	7	7-0.18	*****
43- 48	8	8-0.20	*****

Рис. 3

Результатами автоматической обработки изображений являются следующие характеристики (рис. 3):

- площадь пор;
- характеристики заполнения;
- статистики распределения частот по площади и диаметру "скважности";
- плотность пор, ед./м<sup>2</sup>;
- показатели плотности петель и др.

Разработанная методология используется для оценки характеристик трикотажных фильтровальных материалов при анализе образцов различных переплетений и изучении их свойств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Dubrovcki P.D.* A Geometrical Method to Predict Macroporosity of Woven Fabrics // J. Text. Inst. - Vol. 92, Part I, №3, 2001 P. 288...291.
2. *Anand S.C. and Lawton P.J.* The Development of Knitted Structures for Filtration // J. Text. Inst. - Vol. 82, №3, 1991. P. 297...308.
3. *Jong S., Postle R.* An Energy Analysis of Mechanics of Weft - Knitting fabrics by means of Optimal - Control Theory // J. Text. Inst. - Vol. 68, №10, 1977. P. 307...329.
4. *Цитович И.Г., Козлов В.С. и др.* // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. - 1991, №4. С.88...92.
5. *Дзюба В.И.* Формализация регулярных неточных структур в САПР текстильных изделий: Монография. - Ставрополь: СевКавГТУ, 2002.
6. *Корнилова Д.И., Старкова Г.И. и др.* Методика структурного анализа высокоэластичных трикотажных полотен // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф. Ч.1. Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс-2004): - Иваново: ИГТА, 2004. С.254...255.
7. *Fazecas Z., Renyi I., and Szalai L.* Automatic Visual Assessment of Fabric Features // J. Text. Inst. - Vol. 92, Part I, №4, 2001.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 16.04.05.