

УДК 535.8:677.017.333:620.163.082.5

**ОПТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
СТРОЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО  
ТКАНОГО МАТЕРИАЛА**

*П.Г. ШЛЯХТЕНКО, Н.Г. МАРИЕВА*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Для решения задачи реализации текущего неразрушающего контроля структурных параметров светопропускающих материалов наиболее пригодны оптические методы. Из них наиболее перспективными являются дифракционные методы, основанные на освещении исследуемого участка материала монохроматическим световым пучком и исследовании Фраунгоферовой дифракционной картины на экране, помещенном за исследуемым материалом в фокальной плоскости объектива [1].

Вопросам исследования строения ткани на основе изучения подобных дифракционных картин при нормальном освещении исследуемого материала посвящены работы [2...5]. В [6] исследована Фраунгоферова дифракция в зависимости от угла падения света He-Ne лазера на образцы тканых сеток ( $\alpha$ ). В дифракционных картинах, наблюдаемых от простого полотняного переплетения, отмечено появление симметричных относительно координат дополнительных линий максимумов, пересекающихся в центре картины под углом  $2\varphi$  друг к другу.

На основании проведенных измерений и теоретической модели предложен метод неразрушающего дистанционного контроля изгиба нити, позволяющий по измеренному в дифракционной картине углу  $\varphi$  и углу  $\alpha$  рассчитывать величину изгиба нити  $\delta$  в исследуемом полотне по формуле

$$\delta = \frac{2T_0 \operatorname{tg} \varphi}{\pi \sin \alpha}, \quad (1)$$

где  $T_0$  – период расположения нитей в ткани, обвиваемых исследуемой нитью.

В [6] в дифракционных картинах отмечено появление особенностей, позволяющих отличать полотняное переплетение от саржевого и устанавливать тип освещаемой поверхности саржи (лицевая или изнаночная).

Настоящая работа посвящена оптическому исследованию методами [6] анизотропно-теплопроводящего композитного материала специального назначения.

В качестве базовой структуры материал включает тканую полотняную матрицу, основа которой состоит из медной проволоки, а уток из комплексных химических нитей. Плотность по основе медной проволоки 360 нитей/дм, ее диаметр 0,15 мм. Медная проволока пробрана 3 нити в зуб берда (№ берда 120), между группами по 3 нити имеются зазоры, исключаящие контакты групп между собой и не допускающие тем самым рассеивания тепла. В качестве утка взята пропускающая свет в видимой области спектра комплексная химическая нить, уплотняющаяся в процессе ткачества. Эта нить, с одной стороны, разделяет группы нитей, с другой – обеспечивает минимальную толщину ткани. Плотность ткани по утку 100 нитей/дм. Сотканый материал под давлением заливался светопропускающим пластиком с целью фиксации в ткани основы и утка.

Оптические исследования проводили в тождественных экспериментальных усло-

виях на двух стадиях процесса – тканой матрицы ( до ее заливки пластиком) и конечного композитного материала (после заливки полимером под давлением).

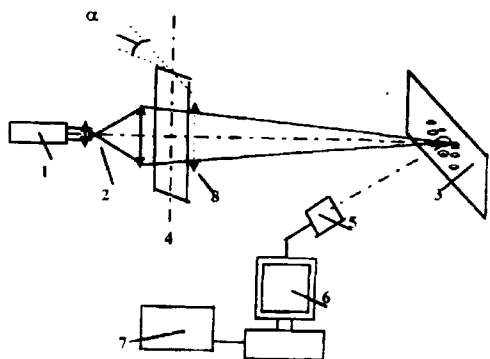


Рис. 1

На рис. 1 изображена схема экспериментальной установки. Свет от малоомощного He-Ne лазера 1 падает на телескопический объектив 2, который фокусирует свет в центре экрана 3. Непосредственно за объективом установлен держатель с исследуемой тканью 4, который можно поворачивать и устанавливать под любым углом падения света на образец  $\alpha$ . Дифракционная картина на экране с помощью камеры машинного зрения 5 выводится на дисплей компьютера 6 и распечатывается на принтере 7. Стандартные программы, заложенные в компьютере, позволяют обрабатывать изображение (инверсия, изменение контраста изображения и его яркости). Расстояние от образца до экрана во всех измерениях было одинаковым. С помощью линзы 8, устанавливаемой в определенное положение так, что действительное изображение исследуемого материала находилось на экране, вместо дифракционной картины на экран дисплея можно было вывести увеличенное изображение освещенной его части. Во всех случаях образец ориентировался так, что нити утка располагались в горизонтальной плоскости, а поворот образца производился на угол  $\alpha$  вокруг вертикальной оси, совпадающей с направлением медных нитей основы.

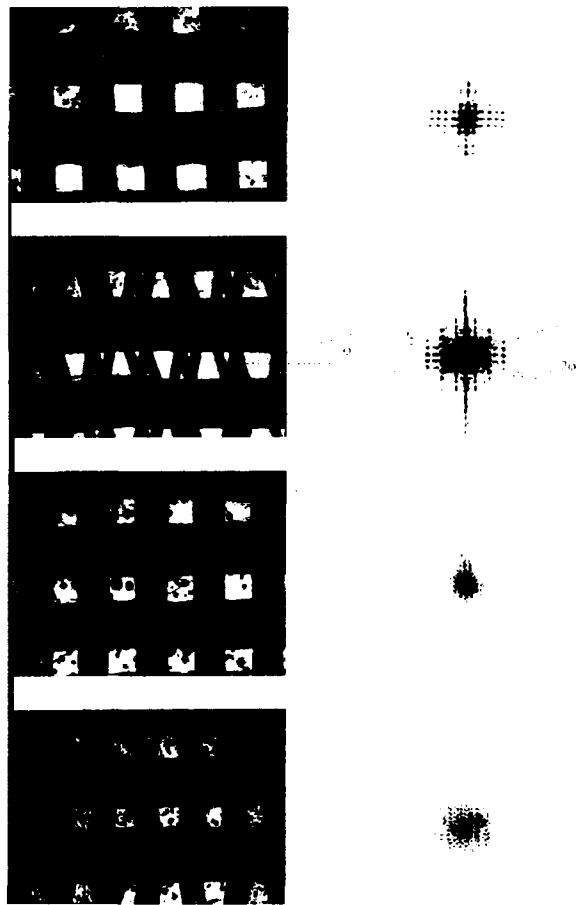


Рис. 2

На рис. 2-a, b, c, d приведены компьютерные микроизображения исследуемых участков материала (слева) и соответствующих дифракционных картин (справа) для следующих случаев: рис. 2-a – свет падает нормально на поверхность тканой матрицы, то есть  $\alpha=0$ ; рис. 2-b – тот же образец матрицы при освещении под углом  $\alpha=45^\circ$ ; рис. 2-c – образец готового материала после заливки,  $\alpha=0$ ; рис. 2-d – тот же образец при  $\alpha=45^\circ$ .

На основе анализа результатов рис. 2 заключаем следующее.

1. Расположение основных максимумов в дифракционной картине на рис.2-a (справа) соответствует структуре исследуемого полотняного переплетения, представленного на этом рисунке слева, и в соответствии с [2...4] может быть использовано для неразрушающей оценки средней величины абсолютной плотности ткани по уточной и основной нитям по формулам:

$$P_y = 1/T_y = \Delta y / (L\lambda), \quad (2)$$

$$P_o = 1/T_o = \Delta x / (L\lambda), \quad (3)$$

где  $\Delta y$  и  $\Delta x$  – расстояния между соответственно соседними рядами горизонтальных и вертикальных линий основных максимумов, которые измеряются в дифракционной картине на экране. В [4] показано, что совершаемая при этом ошибка не превышает 10%.

Безусловно, эта же величина может быть получена при измерениях по микроизображению, представленному на рис. 1-а (слева). Однако в этом случае для оценки с приемлемой точностью потребуется значительно большее время, так как необходимо будет обработать весь статистический ансамбль освещенных волокон, часть из которых представлена в левой половине этого рисунка.

Преимущество расчетов по формулам (2) и (3) состоит не только в том, что дифракционная картина уже содержит усредненную информацию по всему ансамблю освещенных волокон, а также и в том, что положение основных максимумов в дифракционной картине практически не зависит от скорости движения исследуемого объекта [6], что позволяет использовать дифракционный метод для текущего контроля этих параметров ткани.

2. В дифракционной картине на рис. 2-в (справа) появляются дополнительные линии максимумов, пересекающие центр дифракционной картины под углом  $2\varphi$  друг к другу. При этом видно, что линии дополнительных дифракционных максимумов идут в направлении, перпендикулярном направлениям изгиба нитей основы (левая часть рисунка), и под тем же углом  $\varphi$  к направлению нити утка, что коррелирует с измерениями, проведенными для простых полотняных сеток, выполненных из металлических и синтетических моноплетей. Это дает основания воспользоваться формулой (1) для оценки величины изгиба нитей основы в тканой матрице по измеренному значению этого угла. Вместе с тем на рис. 2-в в микроизображении исследуемой мат-

рицы (левая часть рисунка) наблюдается статистический разброс в значениях угла  $\varphi$ , который, как видно из этого же рисунка, а также из рис. 2-а, связан с изгибами уточной нити в плоскости ткани. В свете теоретической модели [6] это должно приводить к расширению X-образных полос, наблюдаемых в дифракционной картине на рис. 2-в справа.

3. Анализируя результаты рис. 2-с, d делаем вывод, что дифракционные картины для этих случаев смазаны и при работе с неподвижным образцом не позволяют проводить точные расчеты параметров исследуемого композитного материала. Изображения исследуемого материала, расположенные слева, свидетельствуют, что это обусловлено хаотическим распределением пузырьков воздуха, зафиксированных в материале при заливке матрицы полимером под давлением. Оценку величины изгиба нити основы в конечном материале можно провести по той же формуле (1), подставляя в нее среднее значение угла  $\varphi$ , измеренного по микроизображению материала на рис. 2-d [6].

Имеются все основания полагать, что при текущих измерениях эти случайные помехи могут быть отфильтрованы с помощью известных накопительных устройств, включающих синхронное детектирование.

Следует отметить, что отличия в дифракционных изображениях на рис. 2-а, в и рис. 2-с, d могут служить для оценки количества этих пузырьков в освещенной области исследуемого материала.

4. Сравнивая микроизображения на рис. 2, видим: уточная нить в конечном материале (рис. 2-с, d) уплощается, а ее изгиб уменьшается по сравнению с данными рис. 2-а, в, что, очевидно, является результатом механического давления, используемого в технологическом процессе его изготовления.

Из формул (2) и (3) следует, что

$$P_o P_y = T_y T_o = \Delta x / \Delta y. \quad (4)$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_o/P_y$	$\Delta(P_o/P_y)$	$\Delta x/\Delta y$	$\Delta(\Delta x/\Delta y)$	$\delta_0$ мм	$\Delta\delta_0$ мм	$(\delta_0)_T$ мм	$\Delta(\delta_0)_T$ мм	$(\delta_{0K})_T$ мм	$\Delta(\delta_{0K})_T$ мм
1.18	0.06	1.19	0.04	0.27	0.03	0.28	0.04	0.17	0.04

В табл. 1 приведены значения отношений плотностей по основной и уточной нитям (4), найденные по отношению периодов уточной и основной нитей, полученных при микроскопических измерениях: рис. 2-а (колонка 1); отношения  $\Delta x/\Delta y$ , найденные из обработки соответствующей дифракционной картины (колонка 3); величина изгиба  $\delta_0$  основной проволоочной нити, измеренная после ее извлечения из матрицы под микроскопом (колонка 5); величина изгиба основной нити  $(\delta_0)_T$  для этой матрицы, рассчитанная по формуле (1) (колонка 7); величина изгиба основной нити в готовом композитном материале  $(\delta_{0K})_T$ , рассчитанная по этой же формуле (колонка 9), а также величины абсолютных погрешностей соответствующих величин. Сравнивая полученные результаты, приходим к выводу, что для исследованного материала экспериментальные и теоретические значения измеренных параметров в пределах ошибки измерения совпадают. Это свидетельствует о правомочности использования формул (1), (2) и (3).

Учитывая механические свойства медной проволоки и технологические условия заливки под давлением, в первом приближении считаем, что величина изгиба основных нитей в готовом композите примерно равна толщине материала. Измерения этой величины штангенциркулем дали значение  $0,20 \pm 0,05$  мм, которое также находится в удовлетворительном соответствии с теоретическим значением величины  $(\delta_{0K})_T$ , рассчитанным по формуле (1).

## ВЫВОДЫ

1. В идентичных экспериментальных условиях проведено сравнительное исследование компьютерных микроизображений и дифракционных картин от образцов специального композитного материала с анизотропной теплопроводностью на стадии тканой матрицы, до ее заполнения под давлением светопропускающим полимером, и после, для готового композита.

2. Показано, что разработанный ранее дифракционный метод неразрушающего контроля величины плотности ткани по уточной и основной нитям, а также величины изгиба нити можно успешно использовать при количественном анализе исследуемого материала на стадии получения тканой матрицы до ее заливки светопропускающим полимером или на стадии конечного продукта при анализе количества случайных неоднородностей (пузырьков воздуха), остающихся в материале после заливки.

3. Доказано, что по предложенной ранее формуле можно рассчитать величину изгиба нити для готового композита, если необходимое среднее значение угла  $\varphi$  найдено из компьютерного микроизображения исследуемого участка композита, а не из его компьютерной дифракционной картины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. С. 352.

2. Сухарев М.И. и др. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1978, № 5. С. 12...16.

3. Раздвильчук Л.И., Дружинин Н.Г. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1990, № 2. С. 9...12.

4. Шляхтенко П.Г. и др. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998, № 4. С. 45...49.

5. Грановский Т.С., Мшвениерадзе А.П. Структура и анализ тканей. – М.: Легпромбытиздат, 1988. С. 95.

6. Шляхтенко П.Г. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001, № 1. С. 6...10.

Рекомендована кафедрой физики. Поступила 22.11.00.

---