

КОНТРОЛЬ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА ДИФРАКЦИОННЫМ МЕТОДОМ

П.Г.ШЛЯХТЕНКО, В.А.АГАПОВ

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

В данной статье исследуется возможность применения дифракционного метода для неразрушающего контроля структурных параметров трикотажного полотна, имеющего более сложную геометрию переплетения нитей, чем полотняное – в настоящее время не существует неразрушающих методов измерения этих величин.

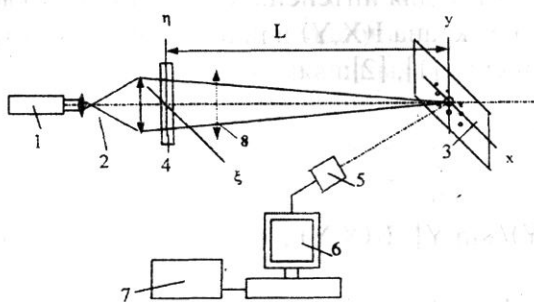


Рис. 1

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки. Свет от маломощного He-Ne лазера 1 через телескопический объектив 2, фокусирующий свет на экране 3, освещает исследуемый объект 4, закрепленный в специальном держателе, позволяющий производить контролируемое растяжение исследуемого материала. Материал установлен в плоскости, перпендикулярной оптической оси системы, непо-

средственно за объективом. Изображение дифракционной картины через камеру машинного видения 5 переносится с экрана 3 на дисплей персонального компьютера 6. Распечатка изображения производится на принтере 7. При необходимости наблюдения увеличенного изображения освещенного участка материала на экране на оптической оси в соответствующее положение устанавливалась линза 8. Расстояние L от объекта 4 до экрана составляло 5 м.

В качестве исследуемого материала использовали образец чулочного трикотажа с нитью линейной плотностью 2,2 текс (кулирная гладь, полиамидная текстурированная нить). Образец имел вид прямоугольника, стороны которого ориентированы вдоль вертикальных петельных столбиков и горизонтальных петельных рядов. Натяжение производилось в вертикальном направлении вдоль оси η (рис. 1). При этом образец закреплялся в держателе так, что это направление соответствовало либо направлению хода петельных рядов, либо направлению петельных столбиков в исследуемом трикотаже. Оси координат (x, y) на экране 3 параллельны осям η, ξ .

Представленные ниже типичные компьютерные изображения дифракционных картин предварительно обрабатывались по

стандартной программе, находящейся в памяти компьютера (инверсия и повышение контрастности изображения, удаление фона).

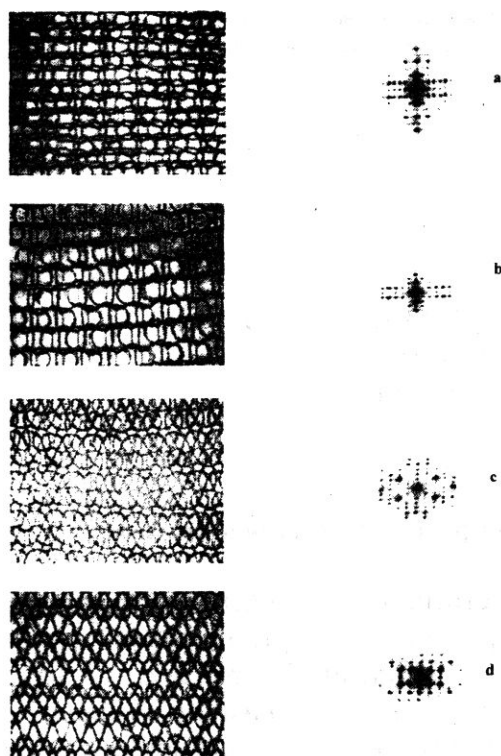


Рис. 2

На рис. 2 в левой части представлены микроизображения центральной освещенной части исследуемого материала, а в правой части – соответствующие дифракционные картины для освещаемого материала; a,b – результаты для слабого (a) и

сильного натяжения образца вдоль петельного ряда (b); c,d – то же для слабого (c) и более сильного растяжения образца вдоль направления петельных столбиков (d). В этой части эксперимента величина натяжения не контролировалась.

Из данных рис. 2 видно, что хотя координаты дифракционных максимумов, их интенсивность и взаимное расположение при растяжении материала изменяются соответственно с изменением периодов повторения петель в трикотаже (рис. 2-a,b и c,d), симметрия в расположении рядов основных дифракционных максимумов, идущих в направлениях, перпендикулярных направлению петельных рядов и столбиков, сохраняется и соответствует симметрии в расположении отверстий в материале в этих случаях.

Исследуемый образец трикотажа в держателе 4 (рис. 1) является частично пропускающей свет структурой, периодической вдоль осей ξ, η с периодами соответственно T_x и T_y , то есть в этой структуре всегда можно выделить элементарное звено, периодической трансляцией которого вдоль координат η и ξ можно получить всю структуру трикотажа в освещаемой области.

Тогда для интенсивности света в любой точке экрана $I(X,Y)$ в нашем случае можно записать [1], [2]:

$$I(X,Y) = [\sin(N_1 X) / \sin X]^2 [\sin(N_2 Y) / \sin Y]^2 I_1(X,Y), \quad (1)$$

где N_1 и N_2 – число освещенных периодических структур в направлении осей ξ, η , (x, y) соответственно; $X = \pi T_x x / (\lambda L)$; $Y = \pi T_y y / (\lambda L)$; I_1 – интенсивность света в рассматриваемой точке на экране, создаваемая одним элементарным звеном.

Из анализа первых двух сомножителей формулы (1) видно, что они принимают свое максимальное значение, равное $(N_1 N_2)^2$ при выполнении условий

$$X = \pi k_1; \quad Y = \pi k_2, \quad (2)$$

где k_1 и k_2 – целые числа, характеризующие порядок максимума в дифракционной картине, которые могут принимать значения $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Переходя к координатам x, y , из (2) получим

$$x = (\lambda L k_1) / T_x, \quad y = (\lambda L k_2) / T_y. \quad (3)$$

Для расстояний между соседними максимумами $\Delta x, \Delta y$ из (3) следуют выражения

$$\Delta x = (\lambda L)/T_x, \Delta y = (\lambda L)/T_y. \quad (4)$$

Из (4) для искомым значений параметров T_x и T_y можно записать

$$T_x = (\lambda L)/\Delta x; T_y = (\lambda L)/\Delta y. \quad (5)$$

Точное положение максимумов функции (1) определяется также видом функции $I_1(X, Y)$, которая, очевидно, зависит от геометрии элементарного звена и в общем случае может влиять на положение основных максимумов в дифракционной картине [1].

Как видно из микроизображений исследуемого трикотажа (рис. 2), для изменяющейся в зависимости от натяжения геометрии элементарного звена трудно найти общую аппроксимацию с изменяющимися значениями параметров, что позволило бы определить вид функции $I_1(X, Y)$ аналитически, как это было сделано для ткани в [2]. В то же время из сравнения соответствующих этим микроизображениям дифракционных картин на рис. 2 видно, что, хотя геометрия элементарных звеньев трикотажа во всех рассмотренных случаях претерпевает существенные изменения, общий рисунок расположения дифракционных максимумов в этих случаях остается подобным. Они расположены в виде вертикальных и горизон-

тальных рядов, где в зависимости от изменения формы элементарного звена происходит только ослабление или усиление интенсивности отдельных дифракционных максимумов [3].

Это разрешает предположить, что форма элементарного звена в нашем случае не ставит под сомнение применимость формулы (5), хотя это предположение нуждается в дополнительном экспериментальном обосновании.

Применяя (5) для случаев исходного образца ($T_{0y}, \Delta y_0$) и растянутого ($T_y, \Delta y$), получаем

$$\frac{\Delta y_0}{\Delta y} = \frac{T_y}{T_{0y}} = \frac{T_{0y} + \Delta T_y}{T_{0y}} = 1 + \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_0} \right)_y, \quad (6)$$

где $(\Delta \ell / \ell_0)_y$ – относительное удлинение образца вдоль y .

Из (6) следует

$$\frac{\Delta y_0}{\Delta y} - 1 = \left(\frac{\Delta \ell}{\ell_0} \right)_y. \quad (7)$$

В выражении (7) все величины можно измерить экспериментально, а следовательно, и проверить ее правомочность.

Таблица 1

i	0	1	2	3	4	5
$\Delta y_0/\Delta y_i$	1	1.08	1.15	1.22	1.27	1.48
$\Delta(\Delta y_0/\Delta y_i)$	0	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
$(\Delta \ell / \ell_0)_y$	0	0.07	0.13	0.21	0.26	0.48
$\Delta(\Delta \ell / \ell_0)_y$	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
$A_i, \text{мм}$	0.50	0.55	0.59	0.62	0.65	0.76
$\Delta A_i, \text{мм}$	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07
$\Pi_{Ti}, 1/\text{дм}$	200	182	170	161	154	132
$\Delta \Pi_{Ti}, 1/\text{дм}$	20	20	20	20	20	10

В табл. 1 приведены экспериментальные результаты измерений и расчетные значения величин A и Π_T при действии растягивающих сил в направлении петельного ряда. Контролировались расстояния между соседними горизонтальными рядами дифракционных максимумов Δy_i из-

мерения проводили по изображению соответствующей дифракционной картины, выведенной на экран компьютера); величины периодов $T_{yi} = A_i$ (в данном эксперименте A – размер петельного шага), рассчитанных по формуле (5); соответствующие величины относительного удлинения

образца $(\Delta l_i / l_0)_y$ (измерения проводили с помощью миллиметровой линейки) и расчетные (по формуле $\Pi_{Гi} = 1/A_i$) значения плотности петель в петельном ряду.

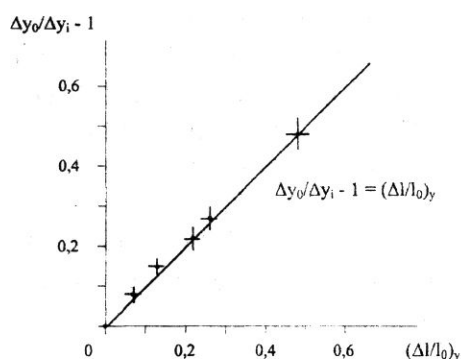


Рис. 3

На рис. 3 изображена зависимость $\Delta y_0/\Delta y_i - 1$ от $(\Delta l/l_0)_y$, построенная по данным табл. 1. Возле каждой экспериментальной точки крестиками показана величина абсолютной погрешности отдельного измерения.

Из данных рис.3 следует, что экспериментальные точки в пределах погрешности хорошо укладываются на прямую (7), что

подтверждает правомочность использования формул (5) для оценки величин основных параметров трикотажного полотна (A , B , $\Pi_{Г}$, $\Pi_{В}$, $\Delta l/l_0$) по измеренным значениям параметров дифракционной картины (Δx и Δy).

ВЫВОДЫ

Показана принципиальная возможность определения отдельных показателей структуры трикотажного полотна с использованием физического явления дифракции оптического света.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. С.352.
2. Шляхтенко П.Г. // Оптический журнал. – 2000, №12, т.67. С.21...26.
3. Шляхтенко П.Г. // Оптический журнал. – 2001, № 12.

Рекомендована кафедрой физики. Поступила 15.12.02.