

УДК 535.8:677.017.333:620.163.082.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА ТКАНЫХ СЕТЧАТЫХ ПОЛОТНАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ ПАДЕНИЯ СВЕТА

П.Г. ШЛЯХТЕНКО

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Дифракционные методы, основанные на освещении участка материала монохроматическим световым пучком и исследовании фраунгоферовой дифракционной картины на экране, помещенном за исследуемым материалом фокальной плоскости объектива, являются наиболее перспективными для контроля геометрических параметров тканых материалов. Эти методы, неразрушающие и практически безынерционные, позволяют вести контроль параметров материала непосредственно в процессе его производства [1].

Вопросы строения ткани на основе изучения подобных дифракционных картин при нормальном освещении исследуемого материала рассмотрены в [2...4].

В настоящей работе исследована зависимость вида дифракционных картин для различных тканых сетчатых полотен от величины угла падения света на образец ткани. Необходимость ее проведения продиктована предположением, что при косом освещении образца в параметрах дифракционной картины могут найти свое отражение параметры изгиба нитей [5].

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 относительно вертикальной оси u и

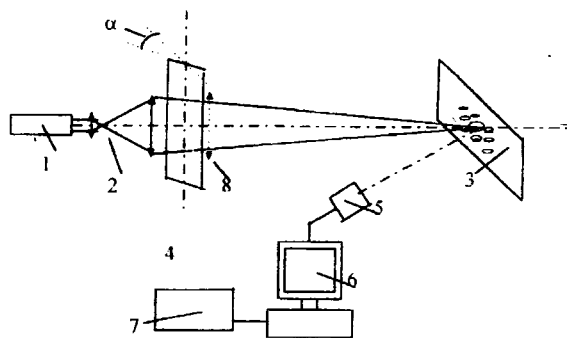


Рис. 1

устанавливать под любым углом α падения света на образец. Образец ткани перед экспериментом устанавливался в держателе так, чтобы уточная или основная нити совпадали с осью u . Дифракционная картина, наблюдаемая на экране с помощью камеры машинного зрения 5, вводилась в память компьютера 6. Стандартные программы, заложенные в компьютере, позволяли обрабатывать изображение (инверсия, изменение контраста изображения и его яркости), выводить его на дисплей и проводить распечатку изображения на принтере 7. Для реализации возможности наблюдения и регистрации увеличенного изображения исследуемого участка материала на экране в рейтер, расположенный

на оптической оси, устанавливалась собирающая линза 8.

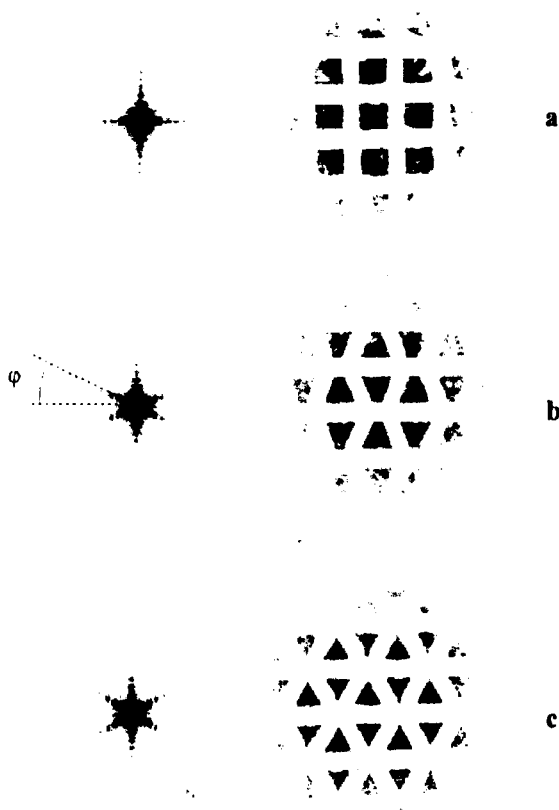


Рис. 2

На рис. 2-а, б, с представлены с левой стороны – экспериментальные компьютерные негативные изображения дифракционных картин для образца тканой металлической сетки с полотняным переплетением (диаметр уточной нити $D_y=0,36$ мм; расстояние между нитями $b_y=0,96$ мм; диаметр основной нити $D_o=0,4$ мм; $b_o=1$ мм), а с правой – соответствующие изображения освещенного участка исследуемого образца полотна. Рис. 2-а соответствует случаю нормального падения света на образец ($\alpha=0$), рис. 2-б – при $\alpha=30^\circ$, рис. 2-с – при $\alpha=45^\circ$.

Из данных рис. 2 можно сделать следующие выводы.

1. При нормальном падении света дифракционная картина (рис.2-а) обладает симметрией относительно осей x и y и аналогична картинам, исследованным ранее в [3]; при этом изображение исследуемого участка полотна представляет взаимно ортогональную наложенную друг на

друга систему уточных и основных нитей так, что светопропускающие промежутки между нитями являются прямоугольниками.

2. Дифракционные картины, полученные при косом освещении образца (рис.2-б и с), остаются симметричными, но в них вместо горизонтальной линии максимумов, идущей вдоль оси x , появляются X-образные линии максимумов, пересекающие центр картины под углами φ и $-\varphi$ относительно оси x (рис.2-б и с). Форма соответствующих светопропускающих участков полотна в его изображении при этом изменяется с ростом угла α падения света от равнобедренной трапеции (рис.2-б) к равнобедренному треугольнику (рис.2-с).

3. Из сравнения пар на рис.2-а, б и с видно, что направления линий максимумов в дифракционных картинах во всех случаях перпендикулярны направлению сторон светопропускающих прямоугольников (а), трапеций (б) или треугольников (с) в соответствующих изображениях исследуемых участков ткани.

4. Величина угла φ , под которым дополнительные линии дифракционных максимумов пересекают ось x , растет с ростом значения угла α (рис.2-б и с).

Для того, чтобы проверить, зависят ли эти результаты от природы полотняного переплетения, эксперимент повторяли для образца ($D_o=0,78$ мм; удвоенный уток $D_y=0,34$ мм; лавсановая монопить). Из всесторонних исследований, проведенных с этим видом полотна, следует, что все выводы, сделанные выше для металлического полотна, справедливы и в этом случае.

На рис.3-а, б, с и d приведены с левой стороны – экспериментальные компьютерные негативные изображения дифракционных картин для образца тканой металлической саржи 1/2 ($D_y=0,2$ мм; $b_y=0,4$ мм; $D_o=0,22$ мм; $b_o=0,56$ мм), а с правой – соответствующие изображения освещенного участка исследуемого образца полотна. Образец ткани помещался в держателе таким образом, чтобы направление вертикальной оси, вокруг которой

мог поворачиваться образец, совпадало с направлением хода уточной нити.

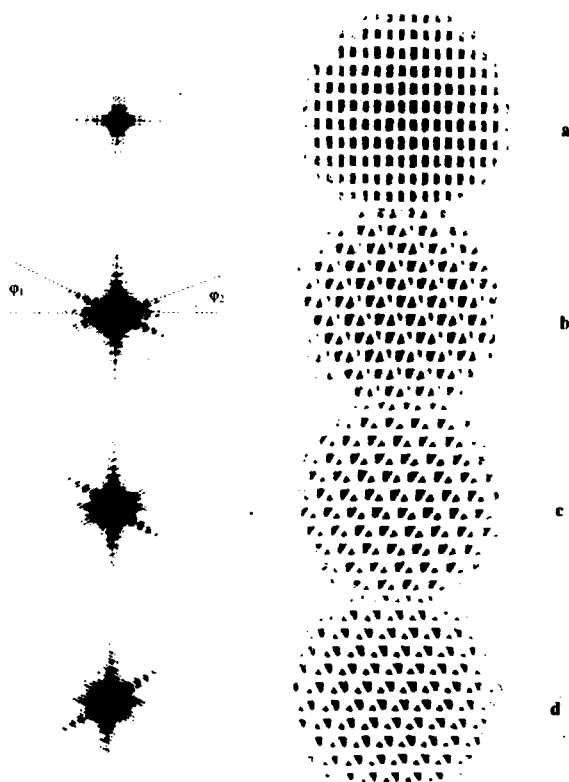


Рис. 3

Рис.3-а соответствует случаю нормального падения света на образец ($\alpha=0$), б – при $\alpha=30^\circ$, с – при $\alpha=45^\circ$, d – для того же образца саржи и в тех же условиях ($\alpha=45^\circ$), но при его освещении с противоположной стороны.

Из данных рис.3 можно заключить следующее.

1. При нормальном освещении саржи ($\alpha=0$) симметрия дифракционной картины (рис.3-а, слева) соответствует качественно симметрии картины от полотняного переплетения, рассмотренного выше.

2. Дифракционные картины, полученные при косом освещении образца (рис.3-б и с), в общем случае асимметричны и резко отличаются от соответствующих дифракционных картин, полученных ранее для ткани полотняного переплетения, тем, что в них присутствуют одновременно как горизонтальная линия максимумов, так и X-образные линии максимумов, пересе-

кающие центр картины в общем случае под разными углами φ_1 и φ_2 относительно оси x. Это обстоятельство разрешает контролировать вид переплетения (полотняное или саржевое) по типу симметрии соответствующей дифракционной картины. Форма соответствующих светопропускающих участков саржи в его изображениях (рис.3-б, с, справа) более сложная, чем для полотна (рис.2-б, с, справа), является одновременной комбинацией из прямоугольных трапеций и неравносторонних треугольников разной площади.

3. Из сравнения пар на рис.3-а, б и с видно, что, как и в случае полотняного переплетения (рис.2-а, б, с), для саржевого направления линии максимумов в дифракционных картинах во всех случаях перпендикулярны направлению сторон светопропускающих прямоугольников (рис.3-а), трапеций или треугольников (рис.3-б, с) в соответствующих изображениях исследуемых участков ткани.

4. Величины углов φ_1 , φ_2 , под которыми дополнительные линии дифракционных максимумов пересекают ось x, растут с ростом значения угла α (рис.3-б и с). При этом при больших углах падения света на образец интенсивность линии максимумов, идущих под углом φ_2 , резко уменьшается (рис.3-с), так что в дифракционной картине остаются практически только три линии максимумов – вертикальная, горизонтальная и линия, идущая под углом φ_1 .

5. Резкое различие симметрии дифракционных картин (рис.3-с и d) указывает на возможность контроля этим методом вида поверхности саржевой ткани (лицевая или изнаночная).

Аналогичные измерения проведены для синтетического образца саржи 1/2 (лавсановая мононить, $D_0=0,51$ мм; $D_y=0,44$ мм) и показано, что все основные особенности, отмеченные выше, присущи и этому образцу ткани, то есть не зависят от вида нитей.

На основе предложенной автором теоретической модели дифракции для ткани полотняного переплетения при косом освещении, связывающей наблюдаемые в дифракционных картинах особенности с

влиянием изгиба нитей и в приближении интеграла Френеля-Кирхгофа, проведен расчет для структуры, подобной на рис. 2-b справа, и получено качественное соответствие между теоретической и экспериментальной картинами. Для случая синусоидальной аппроксимации изгиба нитей в полотняном переплетении отрезками прямых, параллельных синусоиде в точках, где ее значение обращается в ноль, найдена аналитическая формула, позволяющая рассчитывать высоту волны изгиба δ нитей в ткани:

$$\delta = \frac{2l_0 \operatorname{tg} \varphi}{\pi \sin \alpha} \quad (1)$$

Из симметрии расположения нитей основы и утка в ткани полотняного переплетения следует, что формула (1) правомочна для оценки изгиба как точной, так и основной нитей.

В случае использования ткани саржевого переплетения несмотря на отсутствие теоретической модели дифракции также, видимо, возможно использование (1) для приблизительной оценки высоты волны изгиба нитей для такого переплетения. Действительно, формула (1) была получена из геометрической модели, в соответствии с которой величина высоты волны изгиба нити в полотняном переплетении определяется одним периодом синусоиды, описывающей ход нити в этом переплетении. Этот же период определяет основную составляющую высоту волны изгиба нити и в саржевом переплетении.

На рис.4-а, б приведены компьютерные негативные изображения: а – основной и б – уточной нитей для саржи, использованной в экспериментах, результаты которых представлены на рис.3. Изображения получены на той же установке (рис.1) с линзой 8, когда в качестве объекта исследования использовалась соответствующая металлическая нить, вырезанная из исследуемой саржи. Из данных рис.4 видно, что изгиб уточной нити больше, чем основной, и не описывается одной синусоидой, но может быть в первом приближении аппроксимирован как последовательное че-

редование периода синусоиды, равного расстоянию между основными нитями,

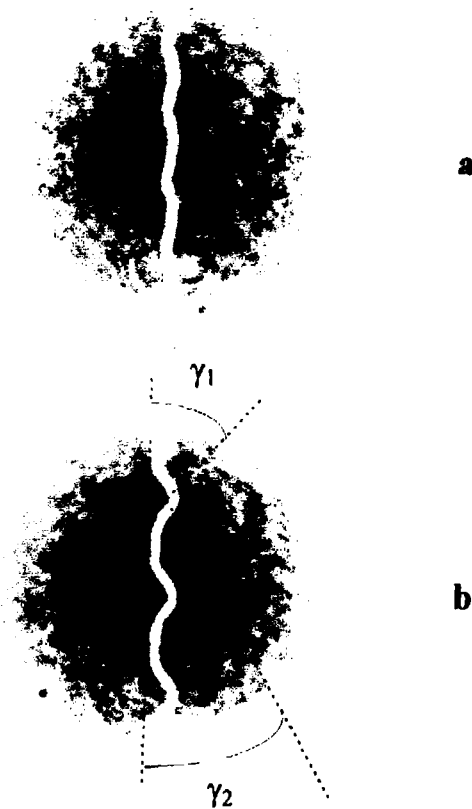


Рис. 4

разделенного прямым отрезком равной длины (рис.4-б). Наклон отрезков синусоиды и прямолинейные участки определяют величину наклона сторон трапеций и треугольников в изображениях на рис.3-б и с, а следовательно, направление и ход основных линий максимумов в соответствующих дифракционных картинах.

Различие в величине углов φ_1 и φ_2 , по мнению автора, вызвано различием в углах наклона синусоиды γ_1 и γ_2 на рис.4-б для использованного образца проволоочной сетки.

Различие в интенсивностях линий максимумов, идущих под углами φ_1 и φ_2 (рис.3-б, с и d), связано с различной длиной сторон треугольников и трапеций в соответствующих изображениях светопропускающих отверстий, перпендикулярных направлению этих линий и различной площадью этих отверстий [1].

Вид переплетения	δ_y	$\Delta\delta_y$	$\delta_{ум}$	$\Delta\delta_{ум}$	δ_o	$\Delta\delta_o$	$\delta_{ом}$	$\Delta\delta_{ом}$
Полотняное	0.51	0.03	0.52	0.04	0.15	0.03	0.20	0.04
Саржевое	0.31	0.02	0.30	0.04	0.08	0.03	0.11	0.04

Примечание. Высота волны изгиба нитей в мм.

В табл. 1 приведены результаты измерения высоты волн изгибов уточной нити (δ_y) и основной (δ_o) для образцов тканей, представленных на рис. 2 и 3, проведенные по формуле (1) при $\alpha=30^\circ$, результаты прямого измерения высоты волн изгибов нитей под микроскопом ($\delta_{ум}$, $\delta_{ом}$), а также соответствующие значения погрешностей, рассчитанных при доверительной вероятности 0,95. Для ткани саржевого переплетения в качестве угла φ в формулу (1) подставлялось значение $\varphi=(\varphi_1+\varphi_2)/2$.

Из сравнения данных табл.1 можно сделать вывод о том, что результаты прямых измерений высоты волн изгибов нитей по утку и основе в пределах ошибки практически совпадают с результатами измерений этих параметров по предлагаемому методу.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований показано, что симметрия дифракционных картин, наблюдаемых при косом освещении образцов тканей полотняного и саржевого переплетений, существенно различна, что позволяет отличать эти виды ткани по симметрии расположения линий основных максимумов в соответствующих дифракционных картинах.

2. Установлена резкая асимметрия дифракционных картин, полученных от образцов ткани саржевого переплетения при косом падении света на лицевую или изнаночную ее поверхности, что позволяет различать эти стороны по дифракционной картине.

3. На основании проведенных измерений предложен оптический дистанционный метод и аналитическая формула, позволяющие проводить численную оценку величины высоты волн изгиба основной и уточной нитей в тканях с полотняным и саржевым переплетением без разрушения ткани. На образцах тканых металлических сеток осуществлено контрольное сопоставление результатов прямых измерений этих величин, проведенных под микроскопом, с результатами измерений по предлагаемому методу. Показано, что в пределах ошибки измерений эти результаты практически совпадают. Полученные данные могут быть использованы при создании оптических систем автоматического контроля параметров тканей в процессе их производства.

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.

Рекомендована кафедрой физики. Поступила 22.11.00.