

УДК 535.42; 004.94

**ДИФРАКТОМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ
МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
МИНИАТЮРНЫХ КРУЧЕННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР**

П. Я. ЧУДАКОВСКИЙ, Н. С. МАНКЕВИЧ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Крученные (спиралевидные) структуры представляют интерес во многих инженерных задачах (твистокалорическое охлаждение), в сфере текстильного производства (скрученные карбоновые нанотрубки в пряжу), медицине (искусственные мышцы) [1]. Скручивание структур (например, волокон) любой природы приводит к изменению их механических свойств. Ниже представлен способ оценки механических параметров на основе оптической дифрактометрии. Ранее в исследовании [2] на основании дифракционного интеграла Френеля – Кирхгофа было представлено аналитическое выражение для расчета двумерного распределения интенсивности светового излучения при дифракции на спиралевидной структуре (волокне), которое имеет вид:

$$I = I_0 [\sin(NY) / \sin Y]^2 \cdot [\sin(0,5\tau X / D) / (0,5\tau X / D)]^2 \cdot \{\sin^2[(Y - X) / 2] : [(Y - X) / 2]^2 + \sin^2[(Y + X) / 2] / [(Y + X) / 2]^2 - 8 \cos Y \sin[(X + Y) / 2] \times \sin[(Y - X) / 2] / [(Y - X)(Y + X)]\}. \quad (1)$$

Формула (1) используется в качестве основной теоретической модели для решения прямой оптической задачи, при дифракции оптического излучения на периодической структуре в виде миниатюрной металлической спирали (пружины), в условиях механического напряжения. На рис. 1, *а*, *б* представлены результаты компьютерного моделирования, а на рис. 1, *в* – одна из экспериментальных дифракционных картин.

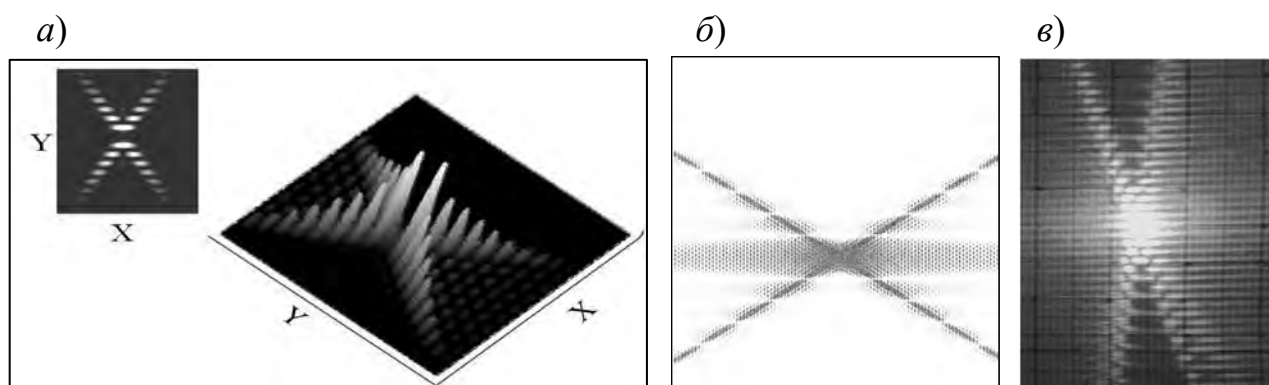


Рис. 1. Распределение интенсивности лазерного излучения при дифракции на периодической спиралевидной структуре: *а* – теоретическое трехмерное распределение (на вставке контурное представление интенсивности); *б* – виртуальная дифракционная картина; *в* – экспериментальная дифракционная картина от пружины в отсутствии внешнего механического напряжения

В выражении (1) $X = 2\pi D_x / (\lambda L)$, $Y = \pi T y / (\lambda L)$, где τ – поперечный размер спирали (толщина проволоки); D – радиус витка; T – период спирали; N – число подсвеченных периодических элементов спирали; L – расстояние от спирали до экрана; λ – длина волны излучения; I_0 – интенсивность в центре дифракционной картины; x , y – координаты точек экрана. Дифракционная картина на рис. 1, в соответствии с вольфрамовой пружиной из проволоки толщиной 0,2 мм с внешним диаметром пружины 1,8 мм. Как видно из экспериментальной зависимости, дифракционная картина представляет собой X-образную картину, с чередующимися светлыми и темными полосами интенсивности. Такая X-образная картина наблюдается и на теоретических зависимостях, что в очередной раз говорит о корректности выбранной модели (1). Из анализа выражения (1) следует связь между расстояниями соседних главных максимумов в вертикальном положении и периодом витка спирали. Эта связь и может быть использована для дистанционного контроля механических параметров миниатюрной металлической пружины, в частности, для оценки коэффициента упругости (жесткости).

Чтобы судить о корректности дифракционного подхода, предварительно необходимо оценить коэффициент жесткости цилиндрической пружины, что может быть выполнено по геометрическим параметрам пружины (толщине проволоки, диаметру витка по средней линии, числу рабочих витков), с учетом характеристик материала пружины (модуль сдвига G) и механической нагрузки P , действующей на пружину. Далее должны быть зарегистрированы дифракционные картины от пружины без механической нагрузки и в условиях механического напряжения. По расстояниям между соседними максимумами, расположенными в вертикальном направлении, восстанавливается период T витка. В качестве нагрузки P может выступать вес грузов, подвешенных к пружине. Пружина, испытывающая деформацию растяжения, вызывает изменения в положениях главных дифракционных максимумов и минимумов интенсивности света. Из условия равновесия силы упругости пружины и веса грузов коэффициент упругости теперь может быть оценен как $k = P / (n\Delta T)$, где ΔT – изменение периода пружины, $\Delta T = \lambda L (1/\Delta y - 1/\Delta y_0)$; Δy , Δy_0 – расстояния между соседними главными максимумами; n – число рабочих витков пружины.

На данном этапе исследования реализуются реальные эксперименты по оптической дифракции в соответствии с рассмотренным способом восстановления механических параметров периодических структур из различных материалов, что вносит вклад в развитие метода дифрактометрии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Power of Fiber Twist / X. Zhou [et al.] // Acc. Chem. Res. – 2021. – Vol. 54. – P. 2624–2636.
2. Shlyakhtenko, P. G. Diffraction Method for Checking Geometrical Parameters of a Spiral Fiber / P. G. Shlyakhtenko // Optics and Spectroscopy. – 2000. – Vol. 88, № 1. – P. 107–112.