

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОФИЛОМЕТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

И. В. Балыкин¹, А. А. Рыжевич^{1,2}, А. Г. Мащенко¹

¹*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь*
E-mail: tol@dragon.bas-net.by

²*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

Профилометры, в том числе оптические, применяются в машиностроении для определения профиля деталей с целью их диагностики сразу после изготовления либо в процессе эксплуатации. В настоящей работе рассмотрены направления, в которых нами ведутся работы по совершенствованию программного обеспечения (ПО) для ранее созданного нами профилометрического устройства с наклонным падением сканирующего лазерного пучка. Во-первых, нами рассчитана аппроксимирующая функция, хорошо описывающая фокусное пятно (линию) профилометра. Во-вторых, нами предложены алгоритмы, позволяющие сформировать более корректные профилограммы в случае наличия в профиле исследуемого образца участков поверхности с углом наклона большим 45° .

Ключевые слова: *профилометр, программное обеспечение, наклонное падение, профилограмма.*

ВВЕДЕНИЕ

В задачах бесконтактной оптической профилометрии различных поверхностей в качестве рабочего инструмента зачастую используются лазерные световые пучки. В работе [1] рассмотрена оригинальная конструкция профилометра, использующего сфокусированный цилиндрической линзой лазерный пучок, направленный не по нормали к приближенно плоской поверхности объекта, для исследования профиля этой поверхности. Суть предложенного в [1] профилометрического метода состоит в определении величины смещения ΔL участка поверхности объекта от прямолинейной образующей по величине поперечного смещения Δ светового пятна в виде полосы с помощью CCD-камеры, оснащенной микроскопом. Для измерения величины смещения полосы был использован алгоритм, основанный на построении аппроксимации усредненного поперечного профиля интенсивности излучения одномерной функцией Гаусса. Однако в силу того, что в используемой схеме излучение падает на поверхность под углом, профиль интенсивности световой полосы на исследуемой поверхности в общем случае отличается от симметричного гауссова, и максимум найденной аппроксимирующей симметричной функции Гаусса, по которому определяется положение полосы в [1], не совпадает с истинным максимумом профиля интенсивности, из-за чего

точность измерений уменьшается. Помимо этого, из-за наклонного падения сканирующего пучка на профилограмме возникают зоны неопределенности на тех участках образца, где из-за собственного наклона поверхность оказывается «в тени». В данной работе показано, что совершенствование ПО позволяет решить эти проблемы.

АППРОКСИМИРУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ ДЛЯ ФОКУСНОГО ПЯТНА

Нами рассчитана аппроксимирующая функция (1), более точно описывающая профиль распределения интенсивности фокусной полосы (рис. 1):

$$I(x, z_A, A, B, C, D, \theta) = A \cdot \exp\left(-\frac{2C^2 f^2}{w_i^2} \frac{((x - B) \cos \theta)^2}{1 + C^2 (z_A - (x - B) \sin \theta)^2}\right) \times \frac{\sqrt{1 + C^2 f^2}}{\sqrt{1 + C^2 (z_A - (x - B) \sin \theta)^2}} + D \quad (1)$$

где f – фокусное расстояние цилиндрической линзы, w_i – полуширина исходного пучка, падающего на линзу, θ – угол между данным участком поверхности и плоскостью, перпендикулярной направлению сканирующего пучка, z_A – расстояние вдоль оси пучка от плоскости перетяжки пучка до участка поверхности, A, B, C, D – коэффициенты. При подборе аппроксимирующей функции варьируются A, B, C, D, z_A, θ .

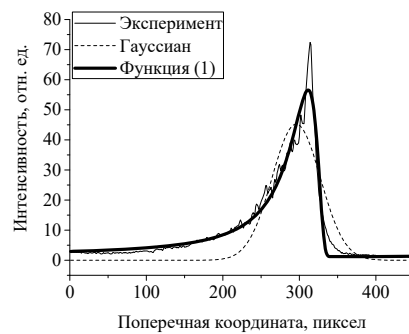
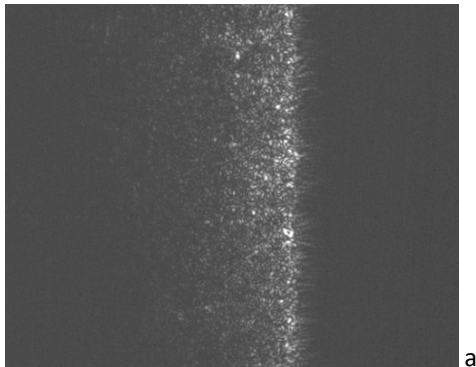


Рис. 1. Исследование профиля интенсивности светового пятна при наклонном падении сфокусированного цилиндрической линзой гауссова пучка: световое пятно на поверхности в виде полосы, полученное экспериментально (а), аппроксимация усредненного распределения интенсивности фокусного пятна гауссианом и функцией (1) (б) (500 пикселов соответствует 1 мм)

Скорректированный коэффициент детерминации R^2 для аппроксимирующей функции вида (1) при анализе усредненного экспериментального распределения интенсивности светового пятна, изображенного на ри-

сунке 2б, составил величину 0,96241, в то время как для аппроксимирующего гауссиана $R^2 = 0,79282$.

СЛУЧАИ ПАДЕНИЯ НАКЛОННОГО СКАНИРУЮЩЕГО ПУЧКА, ПОТРЕБОВАВШИЕ КОРРЕКЦИИ ПО

Всего было выявлено 5 групп случаев, потребовавших коррекции ПО: а) возникновение широкого пятна низкой интенсивности из излучения, отраженного от торца образца, б) раздвоение пучка, вызванное падением пучка на область резкого перепада глубины профиля, при этом оба пятна формируются непосредственно из падающего на поверхность излучения лазера; в) раздвоение пучка, вызванное падением пучка на область резкого перепада глубины профиля, при котором одно пятно формируется из излучения лазера, рассеянного на менее «глубокой» площадке, а второе – из вторично рассеянного более «глубокой» площадкой; г) раздвоение пучка, вызванное падением пучка на область резкого перепада глубины профиля, при котором одно пятно формируется из излучения лазера, рассеянного на «глубокой» площадке, а второе – из вторично рассеянного менее «глубокой» площадкой; д) искажение формы регистрируемого распределения интенсивности за счет артефактов, возникающих при зеркальном отражении пучка от образца на матрицу светочувствительного элемента (рис. 2).

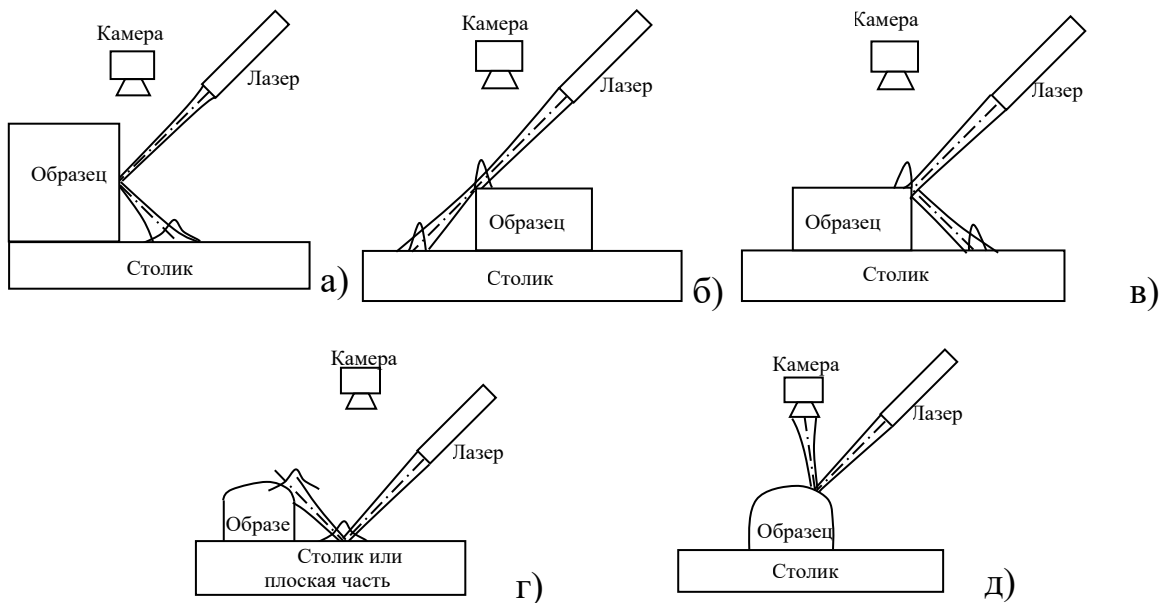


Рис. 2. Схемы случаев падения наклонного сканирующего пучка, для которых потребовалась доработка ПО

С целью коррекции ПО была предложена процедура расчета профиля поверхности, включающая следующие шаги:

1) Пороговая обработка изображения (сформировать выборку из нескольких случайных кадров исследуемого образца; оценить максимальное и среднее значение интенсивности по кадрам выборки; оценить значение порога как $\theta_I = \alpha \cdot I_{\max} + \beta \cdot I_{cp}$, где α , β – параметры, подбираемые на основе предварительного исследования типа рассматриваемой поверхности; применить бинаризацию по полученному порогу для каждого регистрируемого распределения).

2) Отсевание изображений, на которых наблюдается эффект перенасыщения сенсора (рассчитать количество пикселей, для которых интенсивность выше порога из пункта 1; в случае, если количество пикселей с высокой интенсивностью, превышающей заданный порог, больше 30% – принять решение о некорректности изображения).

3) Выделение основного пика (выявить пиковые значения распределения интенсивности поперёк фокусной полосы по заданному пороговому значению относительно максимальной интенсивности ($0,5 I_{\max}$); выделить из полученных пиков самый правый относительно сенсора; оценить начальное приближение параметров распределения интенсивности (центра, ширины) на основе метода моментов; получить более точную оценку центра распределения с использованием начального приближения и аппроксимации функцией (1); преобразовать значение положения пика на кадре в глубину профиля с использованием калибровочной кривой).

Предложенная процедура легла в основу программного модуля, написанного на языке Python 3.6, который был успешно использован в составе профилометрического устройства для обеспечения более корректной регистрации профилограмм при резких перепадах высоты профиля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усовершенствованные алгоритмы обработки данных в ПО автоматизированного профилометрического устройства с наклонным падением сканирующего лазерного пучка, учитывающие более точно профиль интенсивности наклонного пучка и наличие поверхностей с углом наклона, большим 45° , позволили скорректировать работу устройства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Рыжевич А. А., Солоневич С. В., Лепарский В. Е., Смирнов А. Г. Оптические методы определения параметров плоских и цилиндрических поверхностей различного качества // Неразрушающий контроль и диагностика. 2015. №2, спецвыпуск №2. С. 34–66.