

## ЛАЗЕРНЫЙ ПРОФИЛОМЕТР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

А.А. Рыжевич, С.В. Солоневич, Н.А. Хило, В.Е. Лепарский  
Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси,  
пр. Независимости, 68, 220072 Минск, Беларусь,  
тел. +375-17-2840417, факс +375-17-2949002, [tol@dragon.bas-net.by](mailto:tol@dragon.bas-net.by)

Разработан и изготовлен действующий экспериментальный макет для определения качества отражающих плоских или цилиндрических поверхностей. Предложена методика определения профиля незеркально отражающих шлифованных поверхностей на основе статистической обработки распределения интенсивности отраженного от поверхности гауссова лазерного пучка. Произведено сравнительное исследование распределений интенсивности лазерного излучения, отраженного от нескольких незеркально отражающих металлических поверхностей с различным качеством обработки. Метод позволяет определять отклонения цилиндрической либо плоской поверхности от образующей с точностью несколько микрон. Разработанное устройство пригодно для контроля качества металлических изделий и цилиндрических деталей технологического оборудования в условиях производства.

### Введение

Обычно оптическую профилометрию используют для контроля поверхностей, отполированных до оптической чистоты. В то же время, в реальном производстве настолько гладкая поверхность имеется далеко не у всех деталей или изделий, если это не производство каких-либо оптических элементов, например, зеркал. Поэтому возникла задача адаптировать известные профилометрические методы и методики к не отполированным зеркально поверхностям. Данная работа посвящена разработке методики и макета устройства, позволяющих определять оптическим способом макро-профиль отражающих шлифованных поверхностей.

### Описание метода и эксперимент

Прежде чем исследовать влияние макро-профиля поверхности материала на распределение интенсивности отраженного от него излучения, необходимо установить, какое влияние оказывает качество негладкой поверхности на распределение интенсивности в отраженном свете с учетом начальной поляризации используемого лазерного излучения. В большинстве случаев стандартных лазерных источников лазерное излучение является либо линейно поляризованным, либо неполяризованным. С помощью линейно поляризованного излучения можно составить определенную картину влияния поверхности и на поляризованное, и на неполяризованное излучение, поскольку неполяризованное излучение представляет собой суперпозицию поляризованных в различных направлениях световых волн.

Излучение, отраженное и рассеянное от неполированной поверхности металла, имеет пятнистую структуру, для которой, тем не менее, возможно достаточно точно установить местонахождение центра светового пятна и его интенсивность, воспользовавшись соответствующим регистрирующим оборудованием, статистическими методами и специальным программным обеспечением.

Нами зарегистрирована зависимость распределения интенсивности в отраженном/рассеянном поверхностью стали излучении в зависимости от ориентации плоскости поляриза-

ции лазерного излучения, падающего на поверхность стали под углом  $14^\circ$ . На рис. 1 показано распределение в отраженном пучке для угла  $0^\circ$  между направлением колебания электрического вектора и плоскостью падения пучка.

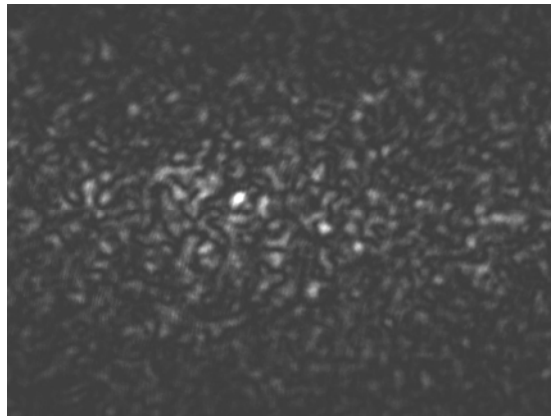


Рис. 1. Распределение интенсивности в линейно-поляризованном излучении, отраженном и рассеянном неполированной поверхностью стали

На рис. 2 представлено статистическое распределение пикселей по значениям интенсивности в поперечных распределениях интенсивности, соответствующих кадрам зарегистрированной зависимости.

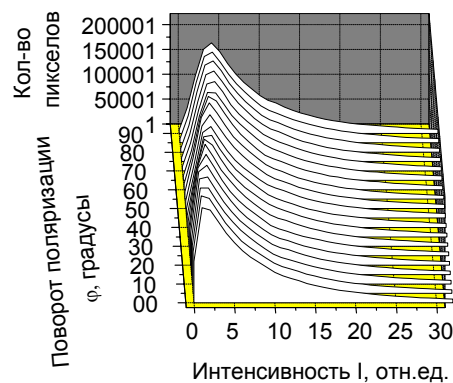


Рис. 2. Частотные гистограммы распределений интенсивности на кадрах в зависимости от ориентации плоскости поляризации падающего излучения

Значение наиболее вероятной интенсивности возрастает при увеличении угла. Однако для анализа изменений общей интенсивности излучения в кадре нужно использовать среднее значение интенсивности по каждому кадру. Благодаря статистической обработке кадров с целью определения средней интенсивности каждого кадра видно, что при увеличении угла от 0 до 90 градусов средняя интенсивность отраженного и рассеянного от поверхности излучения возрастает. Это вполне соответствует закономерности отражения линейно поляризованного света от любой полированной поверхности, в том числе металлической (s-поляризованный свет лучше отражается, чем p-поляризованный). В данном случае важно, что несмотря на отсутствие цельного светового пятна, существует техническая возможность численно и с большой точностью определить коэффициент отражения излучения. Более того, построение аппроксимирующей трехмерной функции Гаусса к «пятнистому» распределению интенсивности позволяет точно локализовать местонахождение оси отраженного пучка, что очень важно в профилометрических исследованиях. На рис. 3 для примера показано распределение интенсивности в отраженном пучке света и соответствующая ему гауссова функция с расчетом координат оси отраженного пучка.

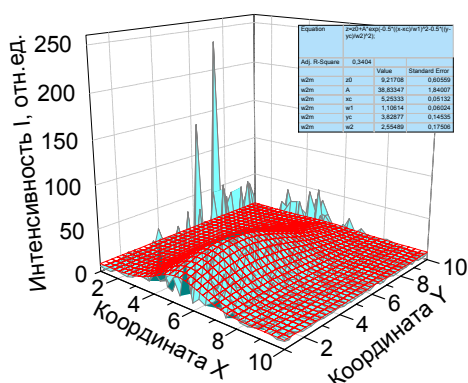


Рис. 3. Аппроксимация распределения интенсивности гауссовой функцией

На вид распределения интенсивности отраженного излучения большое влияние оказывает не только ориентация плоскости поляризации, но и наличие выделенных направлений в положении микронеровностей на металлической поверхности. Поскольку металлические листы во многих случаях изготавливаются прокатным методом, на них практически всегда имеются полосы и бороздки, направленные вдоль направления движения металлического листа. При наличии таких бороздок на поверхности свет рассеивается сильнее в стороны, перпендикулярные направлению бороздок. На рис. 4 приведены для сравнения распределения интенсивности излучения, отраженного пластинами из алюминия с продольными микробороздками при двух их взаимно перпендикулярных ориентациях.

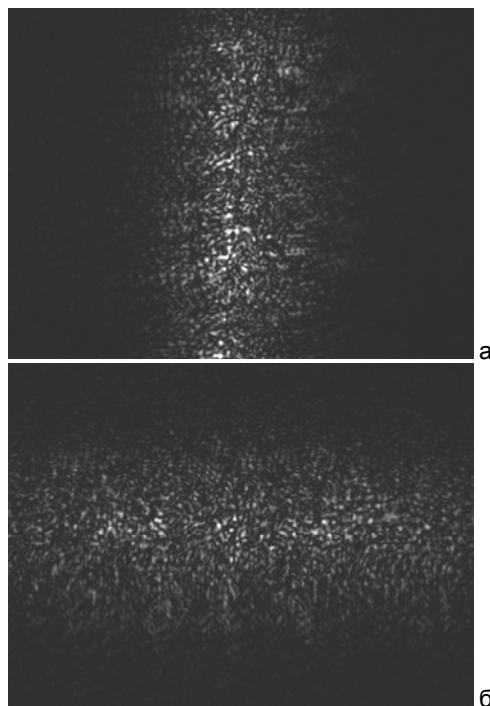


Рис. 4. Отражение поляризованного лазерного излучения от алюминиевой поверхности с горизонтальными (а) и вертикальными (б) бороздками.

Замечено, что более гладкая поверхность (бороздки менее глубокие) существенно сужает пятно в направлении вдоль бороздок. В направлении, перпендикулярном направлению бороздок, сужение пятна не так заметно, поскольку на более частых и более тонких штрихах свет дифрагирует на больший угол.

Для проверки качества металлических цилиндрических поверхностей больших размеров разработан сканирующий профилометр, схема которого показана на рис. 5.

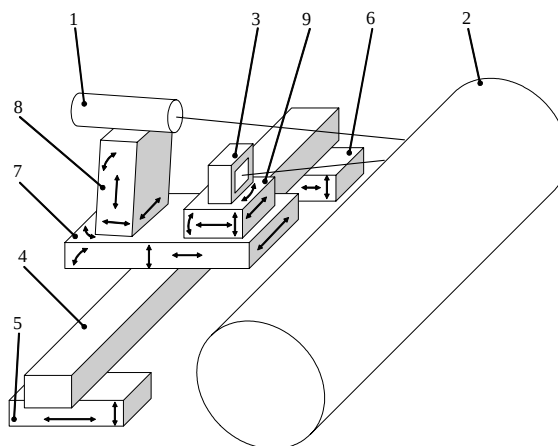


Рис. 5. Схема сканирующего профилометра для исследования профиля не отражающих зеркально поверхностей

Сканирование осуществляется линейно поляризованным излучением гелий-неонового лазера 1 типа ЛГН-207А с длиной волны 0,633 мкм и мощностью 1,4мВт. После отражения от поверхности исследуемого объекта 2 излучение попада-

ет на светочувствительный элемент CCD-камеры 3. Использовалась CCD-камера uEye UI-2250-MM производства Aegis Electronic Group, Inc (США) с разрешением 1600 x 1200 pixels (1.92 Мегapixel) со светочувствительной площадкой размером 7.04 x 5.28 mm, размером квадратного пиксела 4.4  $\mu\text{m}$ . Базой профилометра является направляющая 4 в виде жесткого стального оптического рельса длиной 2 м. С помощью юстировочных узлов 5 и 6 направляющая 4 может быть установлена параллельно оси вращения исследуемого объекта. Сканирование образца 2 осуществляется перемещением юстировочной площадки 7. Юстировочная площадка 7 служит также для одновременного юстирования лазера 1 и светочувствительного элемента CCD-камеры 3 относительно плоскости, в которой лежит горизонтальная поверхность направляющей 4. Юстировочные устройства 8 и 9 служат для юстировки лазера 1 и светочувствительного элемента CCD-камеры 3 соответственно относительно друг друга, а также относительно поверхности исследуемого объекта 2. Фотография созданного действующего макета устройства показана на рис. 6.

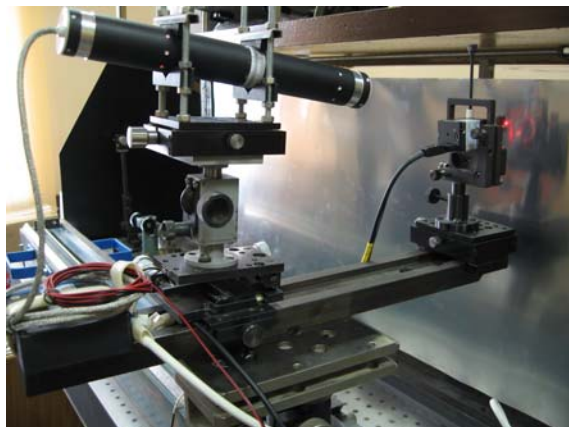


Рис. 6. Установка для исследования профиля поверхности

С помощью разработанного и созданного макета профилометра были проведены пробные исследования профиля металлической трубки с никелированной поверхностью на предмет прямолинейности образующей цилиндра, описы-

вающей ее профиль. Оптическая схема дополнена перестраиваемым аттенуатором производства «Станда» (Литва) для ослабления интенсивности лазерного пучка с целью обеспечения соответствия значения интенсивности динамическому диапазону CCD-камеры.

На рис. 7 ломаной кривой показан профиль цилиндрической поверхности изделия, измеренный вдоль рассчитанной по результатам эксперимента образующей цилиндра.

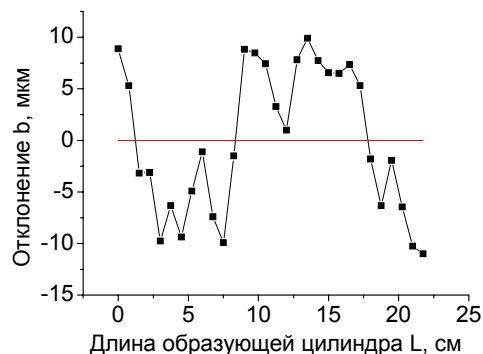


Рис. 7. Радиальное распределение интенсивности в бихроматической суперпозиции БСП

Точность измерений отклонения макропрофиля поверхности от образующей определяется размерами светочувствительного пиксела CCD-камеры и гладкостью поверхности. Чем меньше пиксели и меньше микронеровности поверхности, тем большая точность измерений достижима. При имевшихся параметрах точность измерения достигала нескольких микрометров.

### Закключение

Полученные экспериментально результаты показали применимость предложенной методики и устройства для оптического контроля качества изделий, не обладающих зеркальной поверхностью. Метод поддается полной автоматизации и может быть использован на производстве для контроля плоских и цилиндрических деталей оборудования и изделий.

## LASER PROFILOMETER FOR SURFACE QUALITY DETERMINATION

A.A. Ryzhevich, S.V. Solonevich, N.A. Khilo, V.E. Leparskii

*B.I. Stepanov Institute of Physics of NAS of Belarus, 68 Nezavisimosti ave., Minsk, 220072, Belarus,  
phone +375-17-2840417, fax +375-17-2949002, [tol@dragon.bas-net.by](mailto:tol@dragon.bas-net.by)*

We designed and made a working device model for plane or cylindrical reflecting surface quality testing. We proposed a technique for determination of non-mirror reflecting surface profile. The technique is build on the base of statistical processing the intensity distribution of a Gaussian laser beam reflected from the surface. Comparative investigation of the laser radiation reflected from several non-mirror reflecting metallic surfaces with various quality of mechanical processing is made. The method permits to find the derivation of the cylindrical or plan surface from a generatrix with the accuracy of few micrometers. The designed device is suitable for quality testing of metallic goods and technology equipment cylindrical parts in conditions of manufactory.