

Исследование качества грубообработанной металлической поверхности с помощью лазерного излучения

С. В. Солоневич, А. А. Рыжевич, В. Е. Лепарский

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

Ключевые слова: контроль качества поверхности, профилометр, образующая.

We propose a technique for determination of non-mirror reflecting surface profile. The technique is built on the base of statistical processing of the intensity distribution of a Gaussian laser beam reflected from the surface. The technique permits to find the derivation of the cylindrical or plan surface from a generatrix with the accuracy of few micrometers. We design and make a working device model for a plane or cylindrical reflecting surface quality testing. The designed device is suitable for quality testing of metallic goods and technological equipment cylindrical parts in manufactory conditions.

Keywords: surface quality testing, profilometer, generatrix.

Введение

Механическая обработка объекта и его последующая эксплуатация образуют специфическую геометрию объекта с наличием неровностей определенных видов, и в зависимости от назначения объекта, его роли в технологическом процессе в каждом конкретном случае выставляются определенные требования к качеству поверхности объекта. Профили поверхностей деталей, как правило, имеют неровности сложного характера, оказывающие существенное влияние на эксплуатационные показатели. Различают три вида неровностей, которые характеризуются значениями отклонений шага S неровностей к их высоте h : неровности с отношением $S/h < 50$ характеризуют шероховатость поверхности, с $1000 \geq S/h \geq 50$ – волнистость и при $S/h > 1000$ – отклонения формы [1].

Оптическую профилометрию чаще всего используют для контроля поверхностей, отполированных до оптической чистоты [2–4]. В то же время, в реальном производстве настолько гладкая поверхность имеется далеко не у всех деталей или изделий. Более того, методы, предложенные в [2–4], подразумевают небольшие габариты и массу объектов, а также возможность одномоментного оптического доступа сразу ко всей исследуемой поверхности, что не всегда технически осуществимо. В [1] предложено устройство для определения шероховатости поверхности перемещаемых объектов, в том числе крупногабаритных, состоящее из позиционирующего устройства для перемещения объекта, лазерного излучателя, точечного измерителя интенсивности отраженного излучения со спекл-структурой и статистического анализатора зарегистрированного сигнала. Данное устройство не позволяет измерить макронеровности и волнистость поверхности. Профилометр в [5], состоящий из импульсного источника лазерного излучения, генерирующего тонкую протяженную полосу света на поверхность объекта, закрепленного с возможностью вращения относительно оси его симметрии, и камеры, на которую последовательно проецируются и записываются полоски света, возникающие на поверхности объекта от каждого светового импульса, позволяет определять только макронеровности, т.е. сравнительно большие отклонения поверхности от правильной геометрической формы.

В настоящей работе предложены методика и устройство для неразрушающего бесконтактного измерения всех трех видов неровностей на объектах, закрепленных с возможностью контролируемого перемещения, в том числе не дающих зеркального отражения, шероховатых, крупногабаритных, с поверхностями, имеющими в качестве образующей прямую, т.е. цилиндрическими, коническими и плоскими.

1 Особенности отражения лазерного излучения от незеркальной поверхности

В большинстве случаев лазерное излучение стандартных источников 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 излучении в зависимости от ориентации плоскости электрического вектора лазерного излучения, падающего на поверхность стали под углом 14° . На рис. 1, а показано распределение в отраженном пучке для угла $\varphi=0^\circ$ между направлением колебания электрического вектора и плоскостью падения пучка. На рис. 1, б представлено статистическое распределение пикселей по значениям интенсивности в поперечных распределениях интенсивности, соответствующих кадрам зарегистрированной зависимости при $0^\circ < \varphi < 90^\circ$.

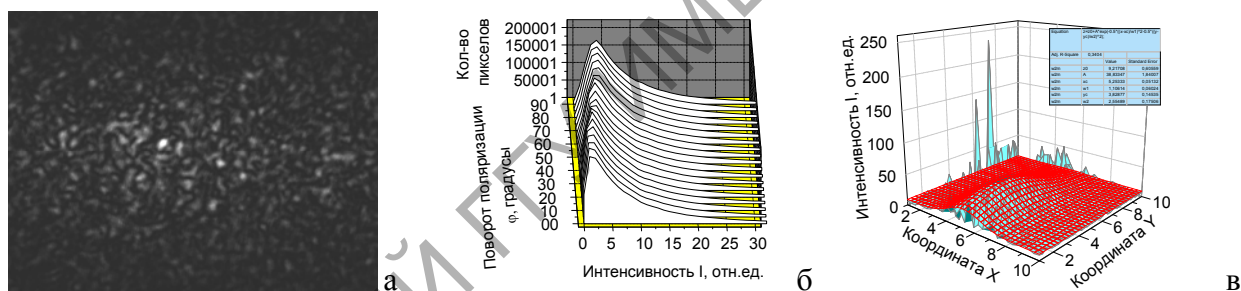


Рисунок 1 – Распределение интенсивности в линейно-поляризованном излучении, отраженном и рассеянном неполированной поверхностью стали: а – поле в поперечном сечении, б – частотные гистограммы интенсивности на кадрах в зависимости от ориентации плоскости поляризации падающего излучения, в – аппроксимация распределения интенсивности гауссовой функцией

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 (рис. 1, в).

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.

2 Устройство для определения отклонения поверхности от образующей

На рис. 2 показаны схема и фотография разработанного нами устройства для определения отклонения грубообработанной металлической поверхности от образующей прямой.

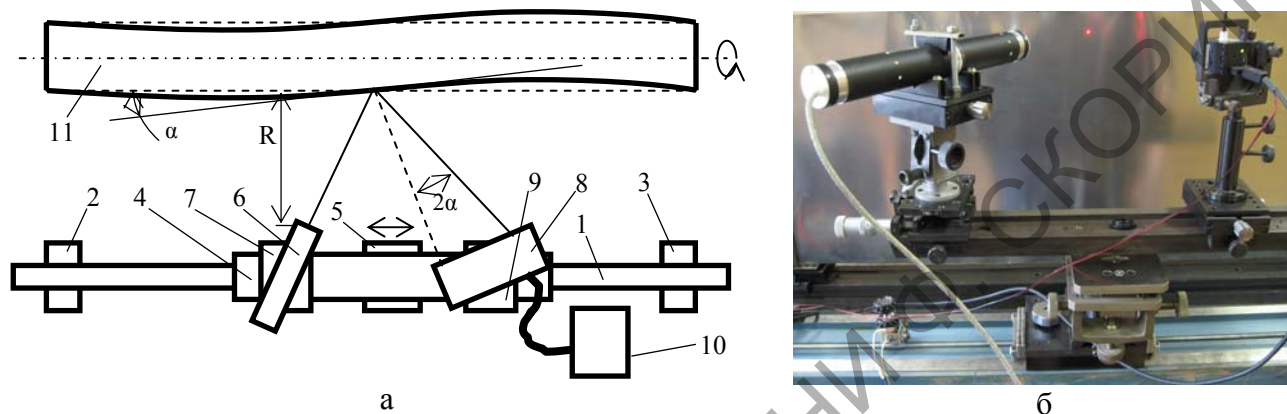


Рисунок 2 – Схема (а) и фотография (б) устройства

Устройство состоит из прямолинейной направляющей 1, юстируемой с помощью юстировочных узлов 2 и 3, платформы 4, юстируемой с помощью узла 5, лазерного излучателя 6, закрепленного в юстируемом держателе 7, CCD-камеры 8, установленной на юстируемом держателе 9, компьютера 10 с программами для записи и анализа зарегистрированных распределений интенсивности. Лазерный излучатель 6 закреплен относительно CCD-камеры 8 таким образом, что его световой пучок после отражения от поверхности исследуемого объекта 11 попадает на чувствительный элемент CCD-камеры 8, а образующая объекта 11 лежит в плоскости падающего и отраженного пучков и параллельна направляющей 1. В качестве источника излучения используется лазер ГН-2Р-1 с длиной волны излучения 632,8 нм, мощностью около 1 мВт и диаметром пучка около 1 мм. Распределения интенсивности регистрировались CCD-камерой USB 2.0 AV.0010.1.21100.00 UI-2250-ММ (разрешение 1600×1200 пикселей, размер чувствительного элемента 7,04×4,28 мм², размер пиксела 4,4×4,4 мкм²).

Устройство работает следующим образом. Направляющая 1 устанавливается с помощью юстировочных узлов 2 и 3 параллельно образующей исследуемого объекта. С помощью юстируемого держателя 7 тонкий (диаметром примерно 1 мм) гауссов пучок лазерного излучателя направляется на поверхность объекта таким образом, чтобы падающий и отраженный пучок лежали в плоскости, содержащей образующую объекта 11, параллельную направляющей 1. CCD-камера 8 с помощью юстируемого держателя 9 устанавливается таким образом, чтобы отраженный от объекта пучок попадал приблизительно на центр ее светочувствительного элемента. Распределение интенсивности отраженного пучка регистрируется CCD-камерой и записывается в файл специальной программой на компьютере 10. Затем с помощью соответствующей программы (например Origin или Matlab) определяется положение оси пучка, соответствующее координатам центра гауссовой поверхности, построенной как аппроксимирующая функция к зарегистрированному распределению интенсивности. После этого платформа 4 смещается на известное малое расстояние Δl . При этом, если поверхность объекта отклоняется на данном участке от образующей на некоторый угол α , пучок отклоняется от прежнего направления на угол 2α , регистрируемое CCD-камерой изображение отраженного пучка, центр гауссовой поверхности также смещаются, как это видно на рис. 2, а.

Угол отклонения участка поверхности объекта рассчитывается из величины смещения центра гауссовой поверхности. Угол отклонения следующего участка поверхности рассчитывается аналогично. После того как определяются углы отклонения всех участков Δl , рассчитывается профиль поверхности объекта вдоль линии, описанной лазерным пучком на поверхности объекта при поступательном перемещении платформы 4. Затем, если объект цилиндрический или конический, он проворачивается на малый угол таким образом, чтобы линейное смещение поверхности относительно лазерного пучка не превышало диаметр пучка, и серия измерений повторяется. Если объект имеет плоскую поверхность, после проведения измерений вдоль одной линии объект перемещается поступательно в направлении, перпендикулярном плоскости падающего и отраженного пучка, на величину, не превышающую диаметр пучка, после чего происходит очередная серия измерений. Посредством расчета профиля объекта по линии вдоль образующей определяются макронеровности и волнистость. Микронеровности детали, т.е. шероховатость, определяются по методике, описанной в [1] и основанной на подсчете значительных колебаний интенсивности вдоль любой прямой линии на распределении интенсивности в сечении отраженного поверхностью пучка, поскольку отраженный не зеркально гладкой, т.е. шероховатой, поверхностью световой пучок имеет распределение интенсивности в виде спеклов с определенным средним размером. Чем больше микронеровности, тем мельче спеклы.

Во многих случаях порядок работы устройства может быть упрощен. Так, если при использовании цилиндрического объекта в определенных однотипных технологических процессах (например, прокатке цилиндрическим валом листов или плит одинаковых размеров) отклонение на определенном расстоянии от края объекта не изменяется при вращении цилиндрического объекта вокруг оси, тогда для определения профиля детали достаточно провести измерения вдоль линий при 3–4 углах поворота объекта. Аналогичным образом, при измерении объекта с плоской поверхностью (например прессы, которым многократно обрабатываются одинаково располагающиеся прямоугольные листы одинаковых размеров) достаточно произвести по 2–3 измерения вдоль линий вблизи краев и вблизи центра объекта.

Чем менее шероховатой является поверхность объекта 11, тем на большее расстояние R можно отнести от объекта направляющую 1, и тем с большей точностью определить отклонение профиля поверхности от образующей ее прямой. При R около 0,5 м точность определения отклонения составляет десятые доли микрометра даже для деталей, диаметр и длина которых составляют по несколько метров. Поскольку рабочим инструментом является световое излучение, не требуется механического контакта с поверхностью исследуемого объекта. Поэтому возможно исследование поверхностей деталей действующих механизмов, в том числе нагретых, в условиях реального производства. В процессе измерений можно использовать лазерное излучение малой мощности, безопасное для органов зрения и не оказывающее разрушающего воздействия на поверхность объектов в подавляющем большинстве случаев (за исключением объектов, покрытых фоточувствительными материалами).

Заключение

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.

Литература

- 1 Глеч, Л.А. Контроль качества поверхностей деталей лазерным излучением / Л.А. Глеч // Оптимізація виробничих процесів: зб. наук. пр. / Вид-во СевНТУ. – Севастополь, 2009. – Вип. 11. – С. 166–168.

2 Солоневич, С.В. Лазерный профилометр на основе конических световых пучков для определения качества цилиндрических поверхностей / С.В. Солоневич, А.А. Рыжевич // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. – 2006. – № 5. – С. 112–114.

3 Устройство измерения профиля цилиндрических и конических поверхностей: пат. 9654 Респ. Беларусь, МПК8 G 01B 9/12 / В.Н. Белый, Н.С. Казак, М. Кренинг, А.Г. Машенко, П.И. Ропот, Н.А. Хило; заявитель ГНУ «Институт физики Б.И. Степанова НАН Беларусі» – № а20050262; заявл. 21.03.05; опубл. 30.08.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 4. – С. 148–149.

4 Устройство для измерения профиля цилиндрических поверхностей: пат. 9881 Респ. Беларусь, МПК8 G 01B 9/02 / В.Н. Белый, Н.С. Казак, М. Кренинг, П.И. Ропот, Н.А. Хило; заявитель ГНУ «Институт физики Б.И. Степанова НАН Беларусі» – № а20050761; заявл. 25.07.05; опубл. 30.10.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 5. – С. 124–125.

5 Asundi, A. Novel Optical Sensors for Testing and Measurement / A. Asundi // NDT.net [Electronic resource]. – 2003. – Vol. 9, № 09. – Mode of access: <http://www.ndt.net/article/v08n09/asundi/asundi.htm>. – Date of access: 21.10.2011.

Институт физики НАН Беларусі

Поступило 08.11.11