

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НЕПРОЗРАЧНЫХ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

А.А. Рыжевич, С.В. Солоневич, А.Г. Смирнов, В.Е. Лепарский
 Институт физики НАН Беларуси,
 пр. Независимости, 68, Минск, 220072, Беларусь, tol@dragon.bas-net.by

Предложен и экспериментально реализован метод обнаружения и регистрации дефектов покрытий, непрозрачных для лазерного излучения, на плоских и цилиндрических металлических поверхностях. В некоторых случаях этот метод также может использоваться для измерения толщины таких покрытий.

Введение

В настоящее время проблема автоматизированного определения качества защитного покрытия на плоских, внешних и внутренних цилиндрических металлических поверхностях является весьма актуальной, т.к. в подавляющем большинстве случаев имеющиеся детекторы позволяют производить только локальную проверку толщины, причем на каждое измерение требуется значительное время. Особый интерес вызывает проверка качества внутренних цилиндрических поверхностей большого диаметра, поскольку одновременное обнаружение дефектов покрытия позволяет избежать в будущем непредвиденных затрат на проведение ремонта создаваемых трубопроводов различного назначения и на реабилитационные мероприятия в отношении окружающей среды, необходимость которых вполне вероятна в случае аварии трубопровода. В подавляющем большинстве случаев как поверхность покрытий, так и поверхность металлических основ не обладают оптической чистотой, поэтому для них известные методы интерферометрической профилометрии [1-3] оказываются непригодными. Дополнительно ситуация осложняется тем, что материал покрытия чаще всего непрозрачен в оптическом диапазоне. Проведенные предварительно исследования показали в данном случае возможность обнаружения критических дефектов покрытия посредством измерения мощности лазерного излучения, диффузно отраженного поверхностью контролируемого объекта в определенный телесный угол после падения на нее под определенным углом. Для работоспособности данного метода необходимо, чтобы коэффициенты отражения полимерного покрытия и основного материала трубы имели существенные отличия при конкретной длине волны используемого лазерного излучения.

Проверка качества непрозрачного для излучения покрытия на плоских и внешних цилиндрических поверхностях

Для случаев, когда поверхность металла отражает настолько рассеянное излучение, что изображение отраженного пучка превышает по размерам чувствительный элемент CCD-камеры, максимально приближенной к исследуемой поверхности, нами было разработано устройство [4], схема которого показана на рисунке 1.

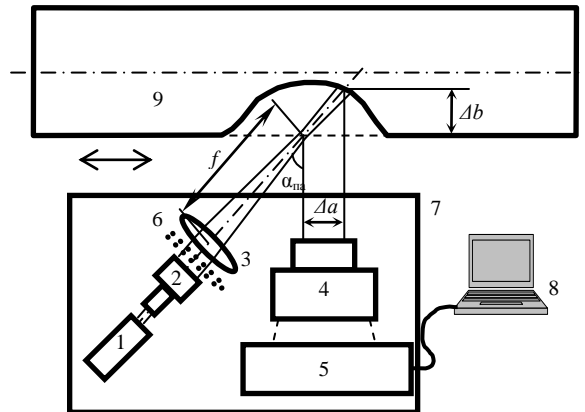


Рис. 1. Оптическая схема устройства для измерения отклонения поверхности от образующей и определения качества поверхности (пронумерованные позиции описаны в тексте).

Исследуемый объект 9 и платформа 7 устанавливаются с помощью юстировочной системы таким образом, чтобы обеспечить возможность контролируемого поступательного смещения относительно друг друга в направлении, параллельном направляющей объекта, объекта и платформы 7 с установленными на нее источником лазерного излучения 1, коллиматором 2, положительной цилиндрической линзой 3, микроскопом 4, CCD-камерой 5 и, опционально, аттенуатором 6. Световой пучок источника лазерного излучения 1 после уменьшения расходимости коллиматором 2 фокусируется линзой 3 в сильно вытянутое пятно (линию) в фокусной плоскости линзы, содержащую образующую исследуемого объекта 9. Фокусное пятно вытянуто в направлении, перпендикулярном образующей объекта. Аттенуатор 6 опционально, т.е. при необходимости, выводит интенсивность лазерного излучения, попадающего на приемник CCD-камеры 5, в диапазон ее линейного восприятия. Световое пятно на поверхности объекта увеличивается с помощью микроскопа 4 и регистрируется CCD-камерой 5, сопряженной с компьютером 8. С помощью соответствующей программы на компьютере определяется начальное положение фокусного светового пятна на участке поверхности объекта, совпадающем с заданной образующей. Положение фокусного пятна определяется координатами центра гауссовой функции, построенной в качестве аппроксимирующей к зарегистрированному распределению интенсивности. После

этого юстировочной системой производится смещение объекта и платформы 7 относительно друг друга вдоль образующей объекта на определенное заданное расстояние Δl и вновь определяется положение светового пятна. При наличии неровности на поверхности покрытия фокусное пятно смещается относительно оси микроскопа 4.

При отклонении поверхности объекта 9 от заданной образующей в сторону от линзы 3 на расстояние Δb , световое пятно на поверхности смещается вправо на расстояние Δa . И, наоборот, при отклонении поверхности объекта 9 от заданной образующей в сторону к линзе 3 на расстояние Δb , световое пятно на поверхности смещается влево на расстояние Δa . При постоянном угле падения α_n величина отклонения поверхности от образующей Δb и величина смещения светового пятна Δa связаны соотношением $\Delta a = \Delta b \operatorname{tg} \alpha_n$. Для удобства измерения величины отклонения строится калибровочный график, показывающий зависимость смещения Δa от отклонения поверхности Δb . Для измерений удобно использовать угол падения 45° . В этом случае $\Delta a = \Delta b$. По смещению пятна определяется отклонение от образующей поверхности в месте падения светового пучка. Затем цикл смещение – регистрация – определение отклонения повторяется вдоль заданного участка объекта, благодаря чему определяется профиль исследуемого объекта вдоль линии, описанной световым пятном на поверхности объекта при поступательном смещении объекта 9 и платформы 7 относительно друг друга. Затем, если объект цилиндрический или конический, он проворачивается на малый угол таким образом, чтобы обеспечить необходимое разрешение, и серия измерений вдоль заданной образующей объекта повторяется. Если объект имеет плоскую поверхность, после проведения измерений вдоль одной линии, объект перемещается поступательно в направлении, перпендикулярном образующей, на величину, обеспечивающую необходимое разрешение, после чего происходит очередная серия измерений. Посредством расчета профиля объекта по линии вдоль образующей определяются отклонения поверхности нанесенного на образец покрытия от прямолинейной образующей.

Изменяя увеличение регистрирующей системы микроскоп - CCD-камера, с помощью изготовленного нами образца устройства можно измерять отклонения поверхности от образующей не менее, чем на 5 мм в обе стороны с абсолютной погрешностью, не превышающей 1% от заданного диапазона измерений. Предельное разрешение устройства как вдоль образующей, так и в перпендикулярном ей направлении определяется техническими характеристиками используемой системы позиционирования. В изготовленном нами образце устройства предельное разрешение в обоих направлениях составляет 10 мкм. Данное устройство без внесения каких-либо конструктивных изменений может применяться для дефектоскопии непрозрачных защитных покрытий на плоских и цилиндрических изделиях толщиной 100-5000 мкм. Само по себе изменение профиля поверхности покрытия еще не означает, что по-

крытие отсутствует или повреждено в данном месте изделия. На рис. 2 приведены результаты измерений профиля поверхности и интенсивности отраженного света для дефекта в виде отсутствия покрытия. Достаточным признаком дефекта является одновременное отличие профиля поверхности покрытия в виде углубления в сочетании с изменением на этом же участке поверхности интенсивности отраженного света, как на рисунке 2 (а, б). В случаях царапины или углубления изменение рельефа поверхности не сопровождается изменением отражения, благодаря чему можно исключить некритические отклонения из последующего рассмотрения на предмет исправления или отбраковки.

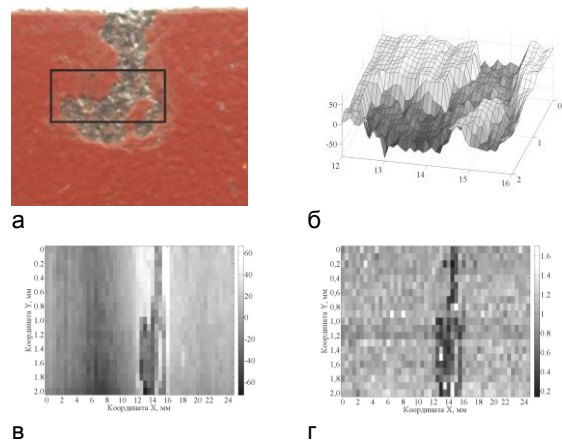


Рис. 2. Результаты измерений профиля поверхности образца и интенсивности отраженного света для дефекта в виде отсутствия покрытия: а – фотография участка образца; б – профилограмма участка поверхности образца, ограниченного рамкой на рисунке а; в – измеренное отклонение поверхности от плоскости; г – интенсивность рассеянного поверхностью излучения.

Дефектоскопия покрытия на внутренних цилиндрических поверхностях

Для проверки состояния покрытия на внутренней цилиндрической поверхности (например, внутри трубы большого диаметра) нами разработано устройство, схема которого показана на рис. 3. Коллимированный световой пучок от полупроводникового лазерного модуля 1, закрепленного в юстировочном приспособлении 2, фокусируется в виде тонкого светового кольца на внутреннюю цилиндрическую поверхность покрытия тестируемого объекта 6 с помощью положительной сферической линзы 3 и конического зеркала 5. Зеркало 5 крепится основанием на прозрачном для используемого излучения стакане 4 сложной формы. Рассеянный поверхностью по направлению к оси цилиндра свет отражается коническим зеркалом 7 на объектив 8, который в свою очередь проецирует его на чувствительный элемент CCD-камеры 9. CCD-камера регистрирует распределение интенсивности рассеянного света в виде кольца, после чего производится смещение всего устройства, закрепленного в подвижном модуле 10, на определенное расстояние вдоль оси цилиндра и начинается следующий цикл, состоящий из регистрации распределения интенсивности и последующего смещения модуля 10.

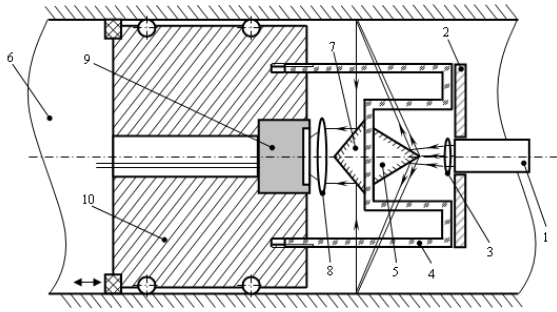


Рис. 3. Схема устройства для дефектоскопии покрытий на внутренних цилиндрических поверхностях (пронумерованные позиции описаны в тексте).

При наличии дефектов в виде сколов или царапин на поверхности покрытия происходит изменение интенсивности диффузно рассеянного света по сравнению с диффузно рассеянным пучком от покрытия без дефектов. В зависимости от коэффициентов поглощения материалов покрытия и основы контролируемого объекта интенсивность рассеянного света может падать либо возрастать.

Заключение

Предложен и опробован экспериментально метод обнаружения дефектов покрытия на плоских и цилиндрических поверхностях. Метод реализуется посредством сканирования контролируемой поверхности лазерным пучком в виде тонкой полосы и позволяет использовать возможности производственного оборудования, в котором вращаются или поступательно перемещаются исследуемые узлы оборудования либо изготавливаемые изделия.

Предложенные в данной работе устройства могут быть сконструированы таким образом, что им не будет требоваться непосредственный контакт с исследуемой поверхностью, однако место

дефекта будет определяться и регистрироваться с большой точностью, благодаря чему в ряде случаев дефекты покрытия могут быть исправлены сразу после проверки качества. В процессе измерений можно использовать лазерное излучение сравнительно малой мощности, безопасное для органов зрения и не оказывающее разрушающего воздействия на поверхность объектов в подавляющем большинстве случаев (за исключением объектов, покрытых фоточувствительными материалами).

Список литературы

1. Солоневич С.В., Рыжевич А.А. Лазерный профилометр на основе конических световых пучков для определения качества цилиндрических поверхностей // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-мат. наук. 2006. № 5. С. 112–114.
2. 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 Беларуси» – № а 20050262; заявл. 21.03.05; опубл. 30.08.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. № 4. С. 148-149.
3. 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 Беларуси» – № а 20050761; заявл. 25.07.05; опубл. 30.10.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2007. № 5. С. 124-125.
4. Устройство для определения отклонения поверхности объекта от образующей: пат. на пол. модель 9915 Респ. Беларусь, МПК G 01B 9/02 / А.А. Рыжевич, С.В. Солоневич, В.Е. Лепарский, А.Г. Смирнов; заявитель ГНУ «Институт физики Б.И. Степанова НАН Беларуси» – № у 20130565; заявл. 04.07.13; опубл. 28.02.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2014. № 1(96). С. 199-200.

METHOD FOR DETECTION OF DEFECTS OF OPAQUE FOR THE LASER RADIATION COATINGS ON METAL SURFACES

A.A. Ryzhevich, S.V. Solonevich, A.G. Smirnov, V.E. Leparskii
Institute of Physics of NAS of Belarus,
 68 Nezavisimosti Ave., Minsk, 220072, Belarus, tol@dragon.bas-net.by

We proposed and realized experimentally the optical method for detection of defects of coating on plane or cylindrical metal surfaces. The method is suitable for coatings which is opaque for the laser radiation. Sometimes the considered method can be used for measuring the thickness of the coating.