

об образовании в зоне сварки равномерного по структуре промежуточного слоя примерного химического составом Ti15Ni20Cu65 вес.% (рисунок 2б).

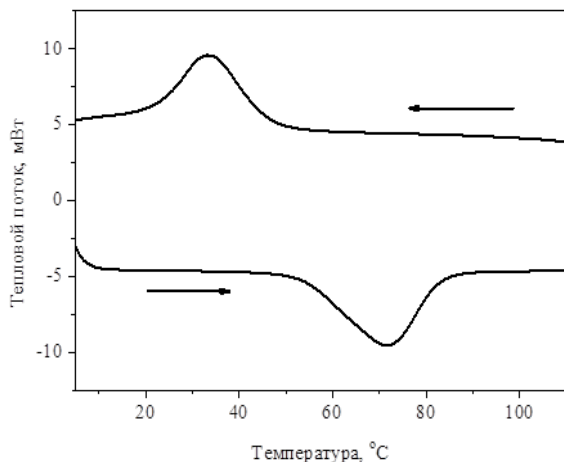


Рисунок 3 – Калориметрические кривые, полученные при нагреве и охлаждении биметаллического композита «Ti_{49,3}Ni_{50,7} – бериллиевая бронза» после сварки взрывом

В полученном сваркой взрывом биметаллическом композите состава Ti_{49,3}Ni_{50,7} – бериллиевая бронза также проведены исследования температур и последовательности термоупругих мартенситных превращений, которые изучали на дифференциальном сканирующем калориметре DSC822° фирмы Mettler Toledo. Скорость нагрева и охлаждения образцов составляла 2 °С/мин.

Установлено, что мартенситные превращения развиваются по схеме B2→B19' (рисунок 3). После сварки взрывом происходит изменение температур обратного мартенситного превраще-

ния, расширение температурных интервалов фазовых переходов, уменьшается скрытая теплота превращения, что связано с сильной пластической деформацией, приобретенной в процессе сварки.

Работа выполнена в рамках Российско-Белорусского гранта (БРФФИ № T14P-232 и РФФИ № 14-01-90007).

1. Falvo, A. Laser welding of NiTi alloy: Mechanical and shape memory behaviour / A. Falvo, F.M. Furgiele, C. Maletta // Mater. Sci. Eng. – A 412 . – 2005. – P. 235-240.
2. Falvo, A. Functional behaviour of NiTi-weld joint: Two-way shape memory effect behaviour / A. Falvo, F.M. Furgiele, C. Maletta // Mat. Sci. Eng. – A 481-482. – 2007. – P.647-650.
3. Рубаник, О.Е. Получение сваркой взрывом и свойства композитов TiNi-сталь / О.Е. Рубаник, В.В.Клубович, В.В.Рубаник // 8 Intern. conference advanced manufacturing operations, Kranevo. – 2008. – С. 185-189.
4. Беляев, С.П. Влияние предварительной деформации на функциональные свойства биметаллического композита «TiNi-сталь» / С.П.Беляев, В.В.Рубаник, Н.Н.Реснина и др. // Вестник Тамбовского ун-та. – 2010. – № 15. – С.1152-1155.
5. Беляев, С.П. Биметаллы с эффектом памяти формы / С.П.Беляев, В.В.Рубаник, Н.Н.Реснина и др. //Междун. симпозиум «Перспективные материалы и технологии», 27–29 мая 2015 г. – Витебск: УО «ВГТУ». – 2015 – С.37-40.

УДК 53.082.5:621.373.826

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ НА ВНУТРЕННЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

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

Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

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 заблаговременное 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 оказываются непригодными. Дополнительно ситуация осложняется тем, что материал покрытия чаще всего непрозрачен в оптическом диапазоне. Про-

веденные 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 керамического либо полимерного покрытия и основного материала трубы имели существенные отличия при конкретной длине волны используемого лазерного излучения.

Для проверки состояния покрытия на внутренней цилиндрической поверхности (например, внутри трубы большого диаметра) в случаях, когда поверхность металла отражает настолько рассеянное излучение, что изображение отраженного пучка превышает по размерам чувствительный элемент CCD-камеры, максимально приближенной к исследуемой поверхности, нами разработано устройство, схема которого показана на рисунке 1. 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 стекле 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 (датчик) 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.

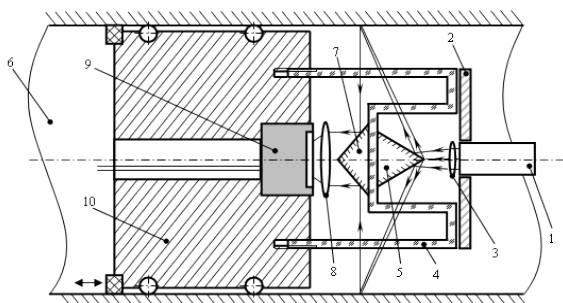


Рисунок 1 – Схема устройства для дефектоскопии покрытий на внутренних цилиндрических поверхностях (пронумерованные позиции описаны в тексте)

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.

Если диаметр внутренней цилиндрической поверхности не превышает 200 мм, измерение изменения интенсивности диффузно отраженного поверхностью покрытия света можно совмещать с измерением профиля поверхности покрытия, что позволяет существенно увеличить качество проверки.

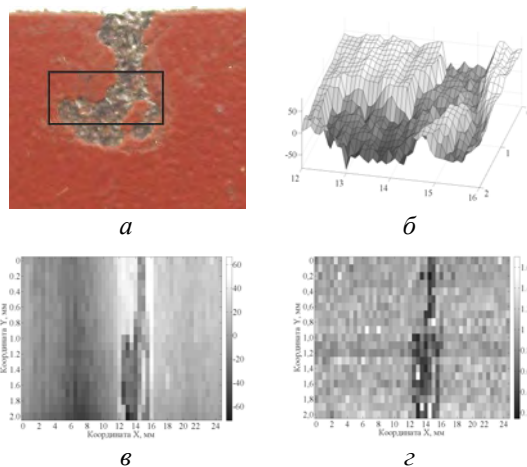


Рисунок 2 – Результаты измерений профиля поверхности образца и интенсивности отраженного света для дефекта в виде отсутствия покрытия: а – фотография участка образца; б – профилограмма участка поверхности образца, ограниченного рамкой на рисунке а; в – измеренное отклонение поверхности от плоскости;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

При локальном отклонении поверхности покрытия от заданной образующей в сторону увеличения диаметра на расстояние Δb , световая линия на поверхности локально смещается к камере на расстояние Δa , что вызывает локальное уменьшение диаметра светового кольца на датчике камеры 9. И наоборот, при отклонении поверхности покрытия от заданной образующей в уменьшения диаметра на расстояние Δb , световая линия на поверхности смещается от камеры на расстояние Δa , что соответствует пропорциональному увеличению диаметра соответствующего участка светового кольца. 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 изменения диаметра светового кольца на датчике камеры 9 от отклонения поверхности Δb . По локальному изменению диаметра светового кольца смещению пятна определяется отклонение от образующей поверхности в соответствующем месте. Затем цикл смещение – регистрация – определение отклонения повторяется вдоль заданного участка объекта, благодаря чему определяется профиль поверхности покрытия.

С помощью изготовленного нами образца устройства, изменения увеличения регистрирующей системы, состоящей из микроскопического объектива и CCD-камеры, 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 оси поверхности определяется техническими характеристиками используемой системы позиционирования. В изготовленном нами образце устройства предельное продольное разрешение составляет 10 мкм. Данное устройство без внесения каких-либо конструктивных изменений может применяться для дефектоскопии непрозрачных защитных покрытий на плоских и цилиндрических изделиях толщиной 1-5 мкм при диаметре поверхности изделия до 2 м. Ценность комбинированного метода проверки в том, что само по себе изменение профиля поверхности покрытия еще не означает, что покрытие отсутствует или повреждено в данном месте изделия. На рисунке 2 приведены результаты измерений профиля поверхности и интенсивности отраженного света для дефекта в виде отсутствия покрытия. Достаточным призна-

ком 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.

Таким образом, нами предложен и опробован с помощью изготовленного устройства метод обнаружения дефектов покрытия на внутренних цилиндрических поверхностях. Метод реализуется посредством сканирования контролируемой поверхности покрытия лазерным пучком, развернутым в виде тонкой кольцевой полосы. Устройство довольно компактно, благодаря чему его можно перемещать специальным манипулятором внутри прямолинейных полых цилиндрических изделий как на цилиндрическом модуле с подпружиненными катками, так и в подвешенном виде по направляющей, закрепленной внутри изделия параллельно его оси, тогда устройство вообще не будет непосредственно контактировать с исследуемой поверхностью. Поскольку место дефекта может определяться и регистрироваться с достаточно большой точностью, в ряде случаев дефекты покрытия могут быть исправлены сразу после проверки качества.

В процессе измерений с помощью описанного устройства можно использовать лазерное излучение сравнительно малой мощности, безопасное для органов зрения и не оказывающее разрушающего воздействия на поверхность объектов.

УДК 535:628.373.8, 535:548

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИАЛЬНО ИЛИ АЗИМУТАЛЬНО ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ

Рыжевич А.А., Солоневич С.В., Хило Н.А.

Институт физики НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

В настоящее время наблюдается рост интереса к световым пучкам, обладающим азимутальной (векторы электрической составляющей перпендикулярны направлению распространения электромагнитной волны и при этом лежат на касательных к окружностям, центры которых находятся на оптической оси пучка) и, особенно, радиальной поляризации (векторы электрической составляющей поля лежат на лучах, радиально расходящихся от оптической оси пучка). Интерес к данным пучкам объясняется, прежде всего, инвариантностью особенностей их отра-

жения от цилиндрических и конических поверхностей поверхности даже при больших углах падения, благодаря чему можно производить контроль качества изделий, имеющих аксиальную симметрию с большей точностью, а также формировать аксиально симметричные перетяжки линзовыми системами с высокой числовой апертурой. Радиально поляризованные пучки, сфокусированные объективами с высокой числовой апертурой, имеют в фокусе сильную нераспространяющуюся продольную составляющую электрического поля и могут обеспечить суще-