

МЕТОДИ І ЗАСОБИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

УДК 622.691.4.004.58

ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОТЯЖЕННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОДВИЖНЫХ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ

Троицкий В. А.

*Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины,
г. Киев-150, ул. К. Малевича, 11, тел.: (044)200466, e-mail: usndt@ukr.net*

Предлагается применять для визуально-измерительного (ВИК) прецизионного контроля протяженных металлоконструкций измерительные видеокамеры, лазерные измерители ширины, формы шва, средства анализа и цифровой обработки изображений, беспроводной передачи информации для принятия решений по проблемным зонам. Средства ВИК и устройства для измерения локального напряженного состояния и деформаций располагаются на магнитных платформах.

Ключевые слова: магнитный, механизированный, визуально-оптический контроль, надежность, протяженные металлоконструкции, запись, зоны, подлежащие ультразвуковому и рентгеновскому контролю, локальное напряжение, деформации, измерения.

Пропонується застосувати для візуального вимірювального прецизійного контролю протяжених металоконструкцій вимірювальні відеокамери, лазерні вимірювачі ширини, форми шва, засоби аналізу та цифрової обробки зображень, безпроводної передачі інформації для прийняття рішень по проблемних зонах. Засоби для візуального вимірювального контролю і присторі для вимірювання локального напруженого стану і деформацій розміщуються на магнітних платформах.

Ключові слова: магнітний, механізований, візуально-оптичний контроль, надійність, протяжні металоконструкції, запис, зони, які підлягають рентгєнівському і ультразвуковому контролю, локальне напруження, деформації, вимірювання.

It is offered to apply for the visual-measuring precision control the extended metal construction the measuring video camera, the laser gauge of width seam shape, the equipment for the analysis and image processing, the wireless information for the making decision concerning the problematic zones. The tools to control and the equipment for the local stressed state and deformation are located on the magnetic platforms.

Keywords: magnetic, mechanized, visual and optical control, reliability, extended metal construction, record, zones subject to ultrasound and x-ray control, local stresses and deformation, measuring.

Металлоконструкции мостовых переходов, доменных объектов, магистральных трубопроводов и т.п. ответственных объектов, находящихся в длительной эксплуатации нуждаются в правильной организации периодического диагностирования на основе точного, документируемого визуально-измерительного контроля (ВИК). Развитие оптической, лазерной, светодиодной, компьютерной техники позволяет поднять уровень и объективность ВИК, получение точной информации о внешних дефектах и связанных с ними внутренними дефектами. Чем точнее ВИК и чем чаще он выполняется, тем меньше вероятность разрушения старых

протяжных металлоконструкций сложной геометрии по вине несовершенства их мониторинга, тем успешней остальные методы НК, следующие за ВИК.

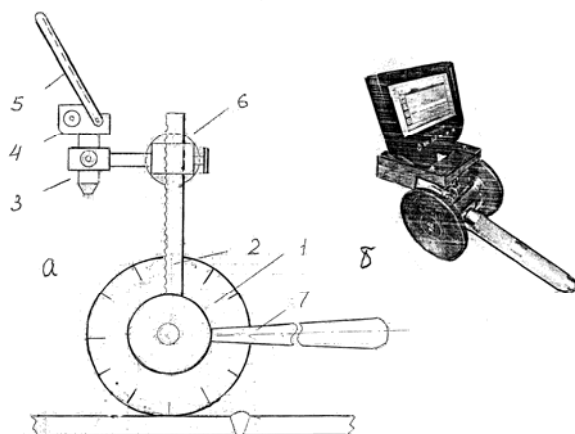
В США [1], Японии [2], России и Украине [3, 4] высоко оценили возможности подвижных сканирующих намагничивающих устройств (НУ) [5 - 9], позволяющих с большой скоростью находить поверхностные и подповерхностные трещины, скопления пор и т.п. Эти НУ сейчас применяются для контроля хребтовых балок пассажирских вагонов (Украина), ферм подъемных конструкций (США) и т.п. Покажем, как на основе этих устройств усовершенствовать ВИК, измерять деформации

и локальные напряженные состояния проблемных зон.

На больших дискообразных магнитных полюсах эти НУ [1–5], свободно перемещаемые вдоль протяженных металлоконструкций, легко преодолевают болты, кромки, ремонтные неровности и т.п. препятствия. Высокая маневренность этих НУ показала эффективность не только при обследовании старых протяженных металлоконструкций, но и при изготовлении арматуры, отводов для магистральных трубопроводов, боковин литых тележек подвижного состава железной дороги (Украина).

С использованием этих сканирующих НУ магнитопорошковый метод на порядок повысил производительность и точность, обеспечил выявление подповерхностных трещин на глубине до 5 мм. Покажем, что на основе таких подвижных магнитных систем могут быть созданы и эффективные средства визуально-измерительного контроля.

На рис. 1 приведено одно из простейших таких устройств типа ТВА-1, оборудованное осветителем, камерой наблюдения монитора, устройством преобразования информации WiFi, обеспечивающих связь с планшетом (смартфоном, компьютером).



1 – дискообразный магнитный полюс, измеритель пути; 2 – кронштейн для вертикального перемещения видеокамеры 3, блока записи и передачи информации 4, монитора 5; 6 – регулятор расстояния видеокамеры от поверхности; 7 – ручка для перемещения устройства ВИК/ТВА

Рисунок 1 – Конструктивная схема (а) и фото (б) подвижного НУ типа ТВА-2, оборудованного средствами ВИК.

Подобные НУ могут быть базой для организации точного, документируемого визуально-измерительного контроля (ВИК) и всего последующего процесса технического мониторинга объекта.

В литературе [1–5] приведено много подвижных НУ, изготавливаемых под определенные типы металлоконструкций, каждое из которых может быть платформой, инструментом для ВИК, если его оборудовать соответствующими измерительными средствами. Важной особенностью этих подвижных магнитных платформ является их устойчивость и строго фиксированное расстояние средств ВИК от изучаемой поверхности, что важно для осветительной и измерительной техники. Поскольку дискообразные полюса этих НУ удерживаются на металлоконструкциях в любых пространственных положениях, они могут быть точной подвижной базой для ВИК любых сложных конструкций.

ВИК – это основной вид неразрушающего контроля сооружений и металлоконструкций, применяемый на протяжении всей их жизни.

Визуально-измерительный контроль присутствует в начале любого производства металлоизделий, по его завершении и при эксплуатации металлоконструкций. ВИК – основа безопасности металлоконструкции во всех отраслях промышленности. Поэтому создание механизированных точных средств ВИК является актуальной задачей для всех сооружений.

Компьютеризация, сбор и анализ результатов ВИК металлоконструкций только начинает автоматизироваться. Ведущие компании, поставляющие оборудование по всем видам НК [10, 11, 12] показывают много различных систем роботизации и автоматизации процессов этого контроля качества. Пока это только информационные системы наблюдения общей оценки состояния объектов с небольшим содержанием измерительных функций.

Приводимые [12] многими фирмами подвижные устройства ВИК, в основном, информационные и не являются измерительными. Они находят и передают информацию о наличии поверхностных дефектов. Пока измерительных средств, подобных рис. 1, разработанных в Украине, фирмы не показывают. Во всех странах визуально-измерительный контроль (ВИК) – это ручной процесс, без механизации и без полной записи полезной информации.

Процедуры тщательного ручного ВИК связаны с монотонностью однотипных

действий, что приводит к ошибкам. Достоверность ручного ВИК в значительной степени зависит от человеческого фактора, добросовестности, внимательности, влияния внешних воздействий, утомляемости. Все эти негативные обстоятельства усиливаются с масштабами сооружений.

Вместе с тем использование подвижных НУ и интенсивно развивающимися средствами визуальной информации на основе разнообразных цифровых видеокамер, лазеров портативных мониторов, которые уже являются ширпотребом, могут дать новую технику для точного визуально-измерительного контроля протяженных, геометрически сложных металлоконструкций. Надо интенсивнее внедрять эти возможности в диагностику сооружений.

В отраслях промышленности, связанных с движением, в авиации, на железнодорожном транспорте уже внедряются насыщенные комплексы для осуществления контрольно-измерительных измерений подвижного состава, агрегатов и всей инфраструктуры. Это касается качества рельсов, измерения геометрических параметров железнодорожного полотна, сканирования приближения строений, платформ, контактной сети и пр. При этом реализуется техника как для скоростного, автоматического, так и для ручного ВИК. Окончательные решения обычно принимаются по результатам ручного ВИК, как более достоверного, включающего постоянно накапливающий личный опыт. Автоматические средства НК дают высокую скорость, производительность, а ручные средства – точность и правильность принятия окончательного решения. Такой подход реализуется не только на железнодорожном транспорте. Сочетание скоростного автоматического и ручного НК широко применяется при диагностике магистральных газопроводов, в основе которой лежит внутритрубный скоростной и внешний – ручной окончательный контроль перед ремонтом.

Для ответственных объектов, протяженных сложных металлоконструкций имеются все предпосылки для внедрения механизированного оптико-измерительного контроля. В многочисленной литературе, например, учебном пособии [11] подробно описаны технические средства, методики ВИК. Все они касаются ручных процедур. Эра механизации и компьютеризации ВИК только начинается. Для стальных металлоконструкций можно начать с использования устройства, показанного на рис. 2 и различных навесных

оптических средств, показанных на рис. 4, 5, 6, 7, набор которых определяет Заказчик оборудования.

На схеме рис. 2 пунктиром показаны оси лазерных измерителей линейных размеров элементов конструкций и их дефектов.

Для многочисленных протяженных металлоконструкций ВИК еще долгие годы будет оставаться основным, а подчас единственным методом НК. Чаще всего внешние дефекты объектов, обнаруживаемых ВИК, являются признаком наличия внутренних несплошностей, трещин и т.п. Поэтому качественный ВИК, увеличение его точности и производительности, строгости отчетности являются важной проблемой для ответственных объемных металлоконструкций. Мосты, металлургические, строительные объекты, корабли, газовые магистрали, резервуары нуждаются в серьезных технологиях ВИК.

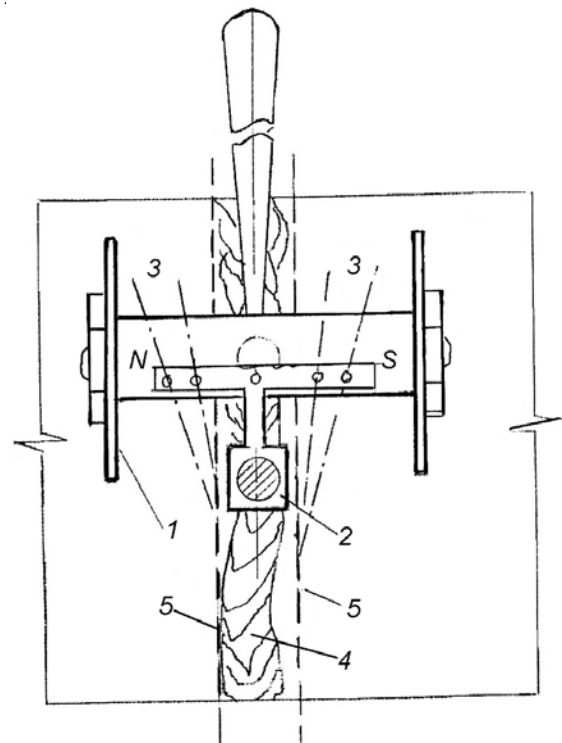


Рисунок 2 – Конструктивная схема устройства ТВА-11 с видеокамерой (2), осей лазерных измерителей (3) ширины шва (4), след (5) лазерного указателя

В последние годы на железнодорожном транспорте для магнитопорошкового контроля хребтовых балок вагонов, боковин тележек и др. деталей стали широко использоваться подвижные намагничивающие устройства (НУ) серии ТВА. Эти НУ показаны на рис. 1, 2, 3 оборудованные монитором, видео камерами,

лазерными указателями и измерителями. Они записывают и передают по интернету информацию по проблемным зонам, по которой принимается решение о ремонте и необходимости в физических методах НК.

С развитием лазерной техники, светодиодов, ПЗС-матриц, полупроводниковых компактных плат и соответствующих цифровых компьютерных программ появилась возможность переводить на электронный, цифровой уровень информацию и технологию ВИК промышленных и гражданских сооружений.

На рис. 3 показаны конструктивная схема и фотография легко перемещаемого по поверхности устройства с монитором, имеющим размеры 12×10,5 см, созданного на основе электронного микроскопа с 600X увеличением, с регулируемой яркостью 8 светодиодов. Этот подвижный цифровой микроскоп с литиевым аккумулятором может непрерывно работать в течение 6 часов. В верхнем поисковом положении он обеспечивает 2X кратное, а в нижнем до 600X крат увеличенное записываемое изображение.

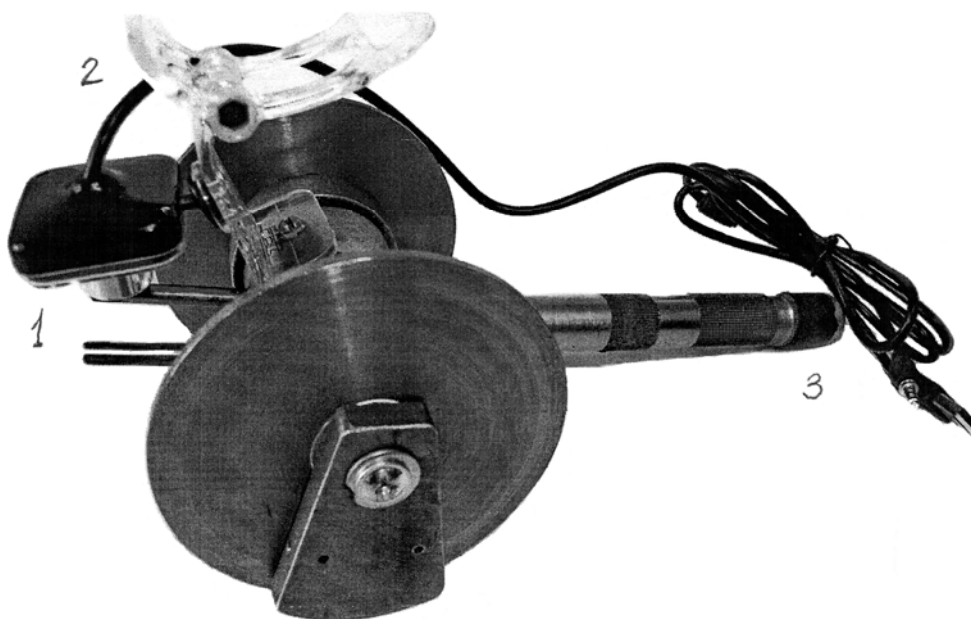


Рисунок 3 – Устройство ТВА 11 с видеокамерой (1) креплением лазерных измерителей (2), кабелем с универсальными разъемами (3)

Разрешение 1080×720P, VGA, синхронизированная запись с началом движения. Имеется много сервисных программных услуг. Такое устройство выполняет запись всего пути, фотографирование проблемных мест и с одновременным комментированием (записывается голос оператора), т.е. анализируются на месте изображение, наблюдаемое на мобильном мониторе. Этот комментарий помогает сделать окончательные выводы при написании протокола ВИК в стационарных условиях и принятии решения о необходимости УЗК, рентгеновского или магнитного контроля сомнительных зон.

Таким образом, теперь ВИК из сугубо субъективного процесса, зависящего от состояния и возможностей оператора, превращается в серьезный объективный вид НК. Записи изображений сварных швов, выполненных с помощью таких регистраторов ВИК/ТВА, в стационарных условиях обрабатываются с помощью цифровых программ анализа изображений с выделением зон, подлежащих ультразвуковому, магнитному, радиационному или какому-либо другому контролю, ремонту и повторному контролю. На рис. 2, 3 показаны конструктивная схема и фото простейших устройств ВИК/ТВА с одной видеокамерой и лазерными измерителями ширины сварного шва.

На рис. 4 показан пример записи сварного шва, выполненного с помощью ВИК/ТВА в поисковом режиме и зоны с предполагаемыми дефектами в оценочном режиме (4 кратное увеличение). Выделенная зона предположительно имеет кратерные и внутренние трещины, размеры и расположение которых могут быть уточнены, например, с помощью магнитопорошкового контроля (МПК). Для выполнения МПК может быть использовано это же намагничивающее устройство, на котором смонтирована компьютерная система ВИК. Таким образом устройства ВИК/ТВА может быть использовано как для ВИК с записью информации и комментариями, так и для выполнения МПК или другого магнитного НК, например, с использованием датчиков Холла. После анализа результатов ВИК и МПК было решено выполнить рентгенографирование образца по рис. 4. На рентгенограмме были обнаружены только три поры.

На данном этапе насыщение технологии ВИК описанными (рис. 1, 2, 3) электронными возможностями избыточны. Поэтому были испытаны упрощенные решения на основе смартфонов фирмы Samsung, часть которых приведены на рис. 5, 6.

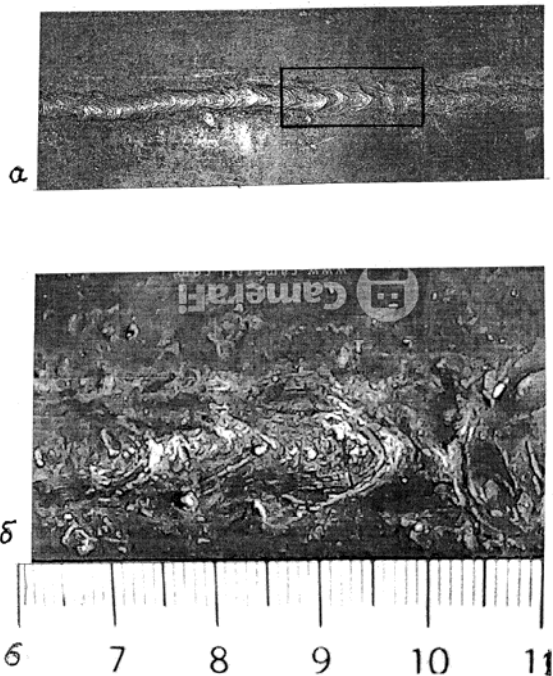


Рисунок 4 – Образец сварного соединения (а) и его фрагмент (б) зоны возможного расположения внутренних дефектов с тремя поверхностными парами

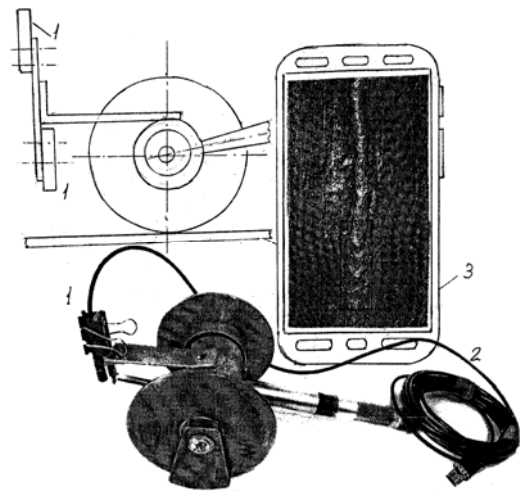


Рисунок 5 – Устройство ВИК/ТВА с одной и двумя видеокамерами (1) кабелем (2) протяженностью 5 м с разъемом USB для подключения к смартфону (3) или компьютеру

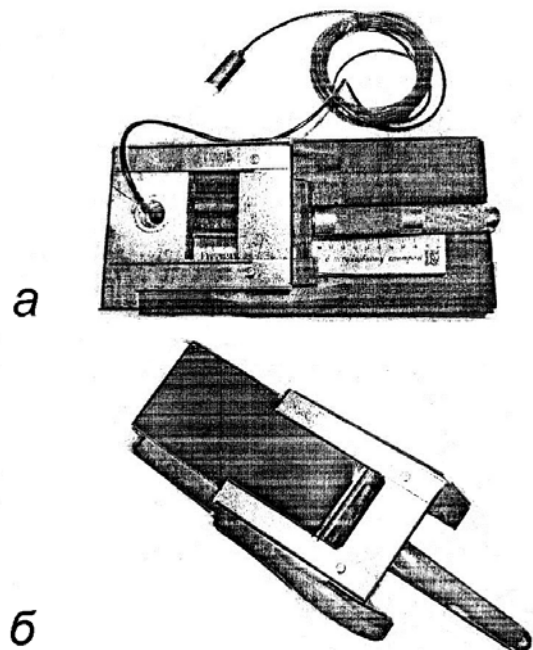


Рисунок 6 – Фото передвижной платформы с видеокамерой (а) и смартфоном (б), предназначенной для размещения средств ВИК

На рис. 5, 6 показаны простейшие ВИК/ТВА устройства с использованием съемной, миниатюрной видео камерой от эндоскопа (рис. 5), с цветной камерой с ручной настройкой фокусного расстояния (рис. 3) и использованием обычного смартфона (планшета). С помощью этих простейших решений могут обеспечены поисковый и оценочный режимы, запись внешней и внутренней сторон сварного шва, построена гистограмма изменения ширины шва.

Механизированные устройства ВИК/ТВА легко преобразуются в автоматические с дистанционным управлением. Опыт, накопленный при создании диагностических ВИК комплексов, монтируемых на автотоматрисах [10] может быть реализован в устройствах ВИК/ТВА, т.е. перенесен на сложные промышленные и гражданские металлоконструкции.

Пока сегодня на этих объектах используется плохо организованный визуальный осмотр с фотографированием опасных зон, без применения электронных средств записи всей возможной информации и анализа изображений. Эффективность ВИК в настоящее время в значительной мере зависит от субъективных качеств оператора, его физических и моральных возможностей. Широкое распространение мобильных матричных камер, с анализом и обработкой результатов оптических изображений позволяет уменьшить влияние человеческого фактора на результаты ВИК. При создании механизированных систем ВИК следует обратить внимание на высокоскоростные оптические камеры с разрешением 0,1 мм/пиксель, регулируемого освещения, гарантирующего получение четких и контрастных изображений на основе светодиодов при любом внешнем освещении (солнце, сумерки и т.п.). Записи изображений должны быть стандартными с архивированием без потери качества до нескольких десятков км, с возможностью архивирования и анализа изображений. Дискообразные магнитные полюса могут иметь разметку (рис. 1) по образующей и использоваться для измерения расстояний, т.е. является одометрами пути. Это не исключает необходимость в лазерных измерителях расстояний и лазерной разметки дефектных зон.

На рис. 5 показано размещение на ТУ типа ТВА видео камер «Camera Fi» USB Inspection для эндоскопа, работающая по программам, заложенным в телефоны типа Samsung Galaxy S4, S5, S6. Это очень мобильная дешевая

водонепроницаемая видеокамера, обеспечивающая изображения на компьютере, планшете или телефоне со всеми сервисными функциями (запись, фотографирование, автоматическая настройка резкости, памяти и пр.). При выполнении ВИК в поисковом режиме камера находится на удалении 5 – 10 см от поверхности, а в оценочном режиме приближается на несколько см. Это обеспечивает увеличение до 4 – 5 крат. Этого вполне достаточно для ВИК. Камера (рис. 5, 6) имеет кабель до 5 м и может быть использована в трудно доступных местах, где не может пройти платформа ТВА. На рис. 6,б приведен пример крепления на подвижной платформе непосредственно телефона с внутренними видеокамерами.

Все приведенные примеры устройств ВИК/ТВА (рис. 1, 2, 3, 5, 6) обеспечивают измерение геометрических размеров сварных швов, определение координат опасных зон для дальнейшего изучения или ремонта. Эти зоны могут быть сняты при разных ракурсах и при разных фокальных увеличениях. Для получения большей информации от одного прохода ВИК/ТВА могут использоваться две и более миниатюрных камер, например, расположенных по схеме рис. 5 и располагаемые на разных расстояниях от поверхности объекта и под разными углами. Тогда практически совмещаются поисковый и оценочный режимы ВИК. Применение одно- или двупроходного визуально-измерительного контроля с использованием средств ВИК/ТВА уменьшает влияние человеческого фактора, повышает надежность и экономит время. При этом повышается точность ВИК и объективность информации, возможность ее архивировать, анализировать с помощью цифровых компьютерных программ, передать информацию по интернету.

Информационные возможности технологии ВИК/ТВА зависят от характеристик, количества и параметров используемых навесных технических средств. На рис. 5, 6 показаны простейшие устройства со съемными портативными видеокамерами с размерами $\varnothing 5 \times 4,5 \times 60$ мм возможностью записи в удаленных и скрытых полостях обследуемой конструкции.

Кроме визуально-измерительных возможностей существуют варианты комплектации устройств ВИК/ТВА по рис. 1, 5, 6, техническими средствами, которые позволяют оценивать напряженное состояние локальных зон. Не в ущерб технологии ВИК намагничивающие устройства могут быть

дооборудованы датчиками, измеряющими внутренние напряжения, металлоконструкции, например, зоны, где имеются многочисленные мелкие внутренние дефекты. Пример магнито-оптического измерителя напряженного состояния околошовной зоны на базе намагничивающего устройства серии ТВА показан на рис. 7.

Известно, что для записи остаточных напряжений высоко эффективным является магнито-оптический метод [9], получивший применение для фиксации слабых магнитных полей на поверхности ферромагнитных объектов. Этот метод может быть применен для оценки напряженного состояния локальных зон протяженных объектов, наличия мелких трещин и т.п.

На рис. 7 показана принципиальная схема магнито-оптического преобразователя в сочетании с намагничивающим устройством ТВА, которое предназначено для оценки качества наиболее слабой околошовной зоны магистральных газопроводов. Этот метод очень чувствителен к мелким дефектам и к остаточным внутренним напряжениям. Этот метод нашел широкое применение в криминалистике, например, для восстановления зачищенных номеров автомобильных двигателей, винтовок и другого огнестрельного оружия. Все элементы схемы на рис. 7 в промышленном исполнении очень миниатюрны и имеют размеры, не превышающие размеров других средств, монтируемых на ТВА для выполнения ВИК.

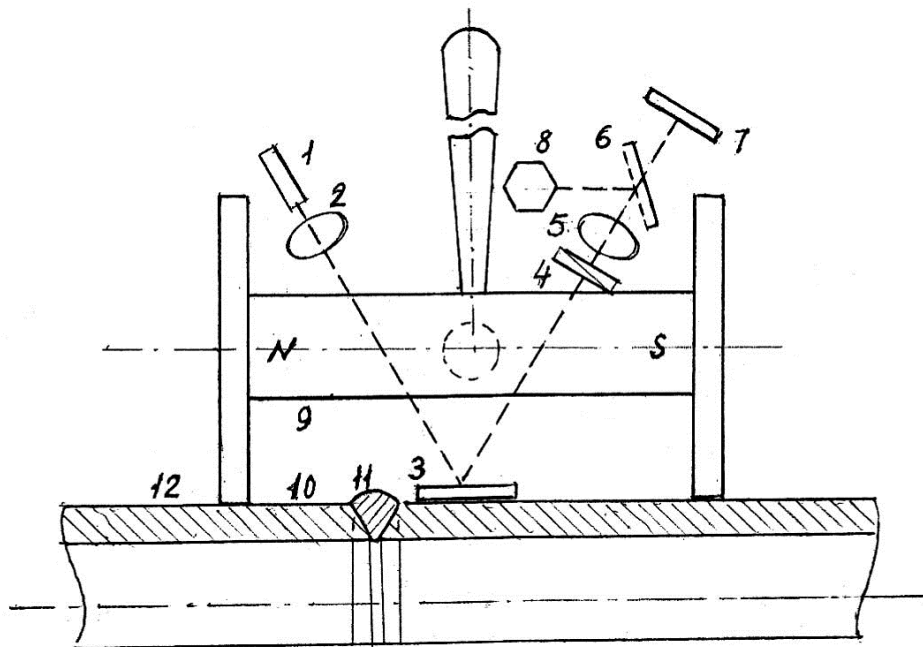


Рисунок 7 – Схема магнито-оптического устройства на базе НУ (9) типа ТВА, предназначенного для оценки напряженного состояния околошовных зон (10) монтажных (11) и продольных швов газопроводов (12), содержащая:

- 1 – источник поляризованного света;**
- 2 – формирователь пучка света;**
- 3 – пленка магнито-оптическая;**
- 4 – анализатор;**
- 5 – оптическая система;**
- 6 – зеркало;**
- 7, 8 – фотоприемники.**

Использование магнито-оптического метода (рис. 7) для оценки околошовной зоны интересно, например тогда, когда надо найти в нитке раскрывшегося (взорвавшегося)

газопровода полноценную трубу, до которой все нераскрывшиеся, но уставшие трубы должны быть удалены. Это редкая задача, но она, как и проблема артиллерийских стволов, может быть

решена только этим методом в сочетании с подвижными НУ типа ТВА.

Коротко данный метод работает следующим образом.

Намагничивающее устройство создает в объекте магнитный поток, часть которого в зависимости от качества объекта появляется на его поверхности. Если этого нет, то вектор намагниченности пленки 3 лежит в ее плоскости. Над трещинами, уставшими зонами на поверхности объекта появляются магнитные поля рассеяния. Тогда структура намагниченности пленки 3 совпадает со структурой полей рассеяния. Источник поляризованного света 1 через формирователь пучка света 2 освещает пленку 3. Свет, отраженный от бездефектных участков гасится анализатором 4. Свет, который проходит от дефектных зон, меняет свою поляризацию и не задерживается анализатором 4. После оптики 5 свет, несущий информацию о структуре поверхностных магнитных полей через зеркало 6 попадает на фотоприемники 7 и 8. Далее с помощью компьютерных программ на мониторе изображается образ дефектов по их нормальным составляющим полей рассеяния. При МПК дефекты (индикации) рисуют тангенциальные составляющие этих же полей.

Оптико-механические системы по рис. 1, 2, 5, 6, жестко стоящие на поверхности ферромагнитной металлоконструкции может не только передавать по интернету сведения, касающиеся ВИК, но и использоваться в качестве средства для измерения деформаций, линейных размеров обнаруженных дефектов. На подвижной магнитной базе могут быть реализованы параллельно техническому зрению контактные и бесконтактные средства [10] для измерения размеров всего пространства, не отдельных элементов, дефектов конструкции. В работе [10], посвященной анализу возможностей измерительных функций технических эндоскопов, отмечается, что кроме выше описанных простых оптических задач существуют: высоко-чувствительные камеры с объективами фокусирования, фотоэлектрические средства для стереоскопического, проекционной, голографической и ультразвуковой дистанционной техники измерения размеров.

Из возможных методов измерения размеров деформаций для ординарных задач ВИК металлических сооружений интересен и легко реализуем стереоскопический метод измерений. Стереопара состоит из двух видеокамер. Совокупный диаметр двух таких камер может быть несколько мм с обзором не

менее 120°. Такие стереопары объединяют в головку эндоскопа диаметром 4-5 мм. Диаметр телекамеры, примененной в устройстве для ВИК по рис. 5, 6 составляет 4,5 мм. Стереоскопический эффект может быть получен и раздвоением светового луча с помощью бипризмы. С целью сокращения влияния человеческого фактора при измерениях в стереоскопических системах программные алгоритмы, рассчитывающие трехмерные координаты каждой точки видеосенсора в видимом поле зрения. Это позволяет установить реперные точки не в двух видимых ракурсах, а в одном, что сокращает ошибки измерений. Такие тонкие измерения в реальном времени могут обеспечить измерения деформаций отдельных узлов металлоконструкций.

Трудно предвидеть суждено ли оптико-механическим системам ВИК/ТВА найти применение для диагностики локальных деформаций протяженных металлоконструкций, но для развития подобных измерений локальных линейных размеров имеется поле деятельности не меньшее, чем в медицинской эндоскопии.

Известно, что металлоконструкции разрушаются от внутренних напряжений, а дефекты, поиску которых посвящен визуально-измерительный контроль, являются их инициаторами. Далеко не все трещины и другие дефекты опасны, если они находятся, например, в условиях сжимающих нагрузок. Однако для всех долго работающих металлоконструкций необходим серьезный ВИК. После ВИК следуют расчеты, измерения напряженного состояния, ремонт, повторный ВИК и т.д.

Измерением напряженного состояния занимаются многие специалисты, имеется на эту тему обширная литература, много технологий и технических средств. Рассмотренные НУ типа ТВА, примененные для магнитного контроля и для ВИК, могут быть успешно использованы для реализации, например [15] метода «магнитной памяти» для оценки напряженного состояния металлоконструкций, не имеющих видимых внешних дефектов, типа трещин. В отличие от решений, показанных на рис. 7, здесь все намного проще. Это более простой, но более перспективный для металлоконструкций метод.

Существо метода «магнитной памяти» (ММП) состоит в том, что в процессе периодического нагружения на поверхности ферромагнитного материала, появляется магнитное поле. Градиент картины распределения этого усталостного поля указывает на зону предполагаемого разрушения, на зону появления усталостной трещины или

большого межкристаллизационного коррозионного поражения. Этот информационный признак усиливается, если к этой зоне приложено внешнее магнитное поле. Эти усталостные зоны определяются феррозондами (ММП), датчиками Холла, магнито-чувствительными резисторами и т.п. Входя в зону, где металл устал, его структура напряжена, изношена, НУ усиливают магнитное поле на поверхности, что способствует их выявлению. На рис. 8,а,б,в,г показаны фотографии, полученные с помощью устройства

ВИК/ТВА с одной видеокамерой (рис. 5, 6), располагаемого на поверхности:

а – протяженного вала, видны резьба и шпоночная канавка;

б – обечайки $\varnothing 1420$, видны крупные поры, выходящие на внутреннюю ее поверхность;

в – сложной металлоконструкции, видно болтовое соединение в труднодоступной зоне;

г – кольцевого монтажного шва трубопровода $\varnothing 114$, видны плохо зачищенные поры.



Рисунок 8 – Четыре фотографии смартфона Samsung, который держит в руках оператор, и устройства ВИК/ТВА с одной видеокамерой (рис. 5, 6), располагаемого на поверхности:

- а – протяженного вала турбины, видны резьба и шпоночная канавка;**
- б – внутри обечайки $\varnothing 1420$, видны крупные поры;**
- в – сложной металлоконструкции, видна труднодоступная зона;**
- г – обратная сторона кольцевого монтажного шва трубопровода $\varnothing 114$, видны плохо зачищенные брызги**

На всех фотографиях рис. 8 используется монитор смартфона Samsung, который держит в руках оператор. Удобно подобный монитор крепить на запястье руки оператора, передвигающего устройство ВИК/ТВА, выполняющего видео и аудиозаписи.

Выводы

1. От совершенства визуально-измерительного контроля (ВИК) в значительной мере зависит продолжительность жизни долго эксплуатируемых ответственных металлоконструкций, правильность определения потенциально опасных зон для неразрушающего их контроля, для расчетов на прочность, оценки напряженного состояния опасных зон.

2. Все технические средства для ВИК критичны к точности поддержания расстояний до изучаемых поверхностей, уровня освещения, правильности измерений, сохранения и анализа визуальной информации. Поэтому измерительная платформа на основе НУ со средствами ВИК жестко фиксируется на изучаемом объекте и при перемещении точно поддерживает эти расстояния.

3. Подвижной базой для расположения видеокамер, осветителей, лазерных измерителей и указателей, одометров, мониторов, уровнемеров и других технических средств ВИК должны быть магнитные платформы, легко перемещаемые по поверхности металлоконструкций, типа ТВА, которые хорошо зарекомендовали себя при магнитопорошковом контроле трубопроводных магистралей, хребтовых балок ж.д. вагонов, металлоконструкций подъемных механизмов и других протяженных объектов.

4. Дооборудование платформ ВИК/ТВА феррозондами, датчиками Холла, магнитооптическими преобразователями и т.п. средствами позволяет совместить визуально-измерительный контроль с магнитным контролем, оценкой деформаций, напряженного состояния. Развитие направления ВИК/ТВА со временем станет базой для оценки деформаций и измерений линейных размеров дефектов и удаленных элементов, доступных только лазерной технике.

1. Патон Б.Е., Троицкий В.А. Основные направления работ ИЭС им.Е.О.Патона НАНУ по совершенствованию неразрушающего контроля сварных соединений, ж. ТДНК, Киев, № 4, 2013, с. 13-29.

2. Troitskiy V.A., Es'kov Yu.B., Radko V.P. Non-destructive testing of Welded structures and constructions in the E.O.Paton Electric Welding Institute, ж. Insight, vol. 39, N 9, European Issue, September, 1977.

3. Troitskiy V.A. Devices for the movable Local Multidirectional Magnetization of Metal Structures in Magnetic Particle Testing, ж. Materials Evaluation, June 2015, vol. 73, N 6, p. 676-683.

4. Troitskiy V.A. New Technology for Magnetic Particle Testing (MPT), ж. The NDT Technician (TNT), ASNT, January, 2015, США.

5. Troitskiy V.A. Multidirectional local Magnetization of Extended Metal Structures, The Japanese Society Journal for NDT, vol. 64, N 2, Feb. 2015, p. 79-85.

6. Трошенко Н.А., Вылесов Ю.Ф. Способ магнитооптической дефектоскопии стенок

трубопровода, декларативный патент Украины, UA 36299A, 2001, булл. № 3.

7. Троицкий В.А. Подвижное намагничивающее устройство для дефектоскопии протяженных конструкций. Патенты Украины № 81859 от 12.08.2013, № 82447 от 12.08.2013, № 105094 от 10.04.2014.

8. Троицкий В.А. Патенты Украины № 92428 от 11.08.2014, № 92669 от 26.08.2014, № 109218 от 27.07.2015, № 95905 от 12.01.2015, № 105825 от 10.01.2014.

9. Троицкий В.А., Левый С.В., Агадиди Ю.С., Посыпайко Ю.Н. Магнитооптическая дефектоскопия изделий и соединений. Труды конференции НКТД-2009, с. 63-67.

10. Тарабрин В.Ф., Щеглов Д.М., Кисляковский О.Н. Инновационное применение визуально-измерительного и оптического контроля ж.д. транспорта. ж. В мире НКЮ 2017, т. 20, № 3, с. 68-72.

11. Троицкий В.А. Визуальный и измерительный контроль деталей машин, металлоконструкций, сварных соединений. К., Феникс, 2009, 275 с.

12. Бобров В.Т., Следнев А.М. Роботизированные системы неразрушающего контроля и технической диагностики промышленных объектов. Контроль. Диагностика, № 2, 2018, с. 16-29.

13. Бондарев Ю.О. Методы и средства совершенствования технических эндоскопов с измерительными функциями. Контроль. Диагностика, № 6, 2017, с. 64-68.

14. Туробов Б.В. Визуальный измерительный контроль. Учебное пособие (под общ. ред. В.В.Клюева), Спектр, 2014, 224 с.

15. Дубов А.А. Контроль качества изделий машиностроения с использованием магнитной памяти металла. ж. Территория NDT, июль 2013, с. 62-64.

16. Троицкий В.А. Разнонаправленное намагничивание металлоконструкций при магнитопорошковом контроле. ж. Территория NDT, № 2, 2015, с. 78-83.

Поступила в редакцію 18.04.2018 р.
Рекомендували до друку: докт.техн.наук,
проф. Карпаш О. М., докт. техн. наук, проф.
Олійник А. П.