

ОБЪЕКТИВНЫЙ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОТЯЖЕННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

В. А. ТРОИЦКИЙ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Предлагается располагать средства для визуально-измерительного контроля: видеокамеры, лазерные измерители ширины, расстояний, формы шва, электронные средства записи и передачи цифровых изображений, на подвижных магнитных платформах, перемещаемых по поверхности металлоконструкций. Подобные подвижные средства могут быть использованы и для измерений локальных напряженных состояний. Приведены примеры таких подвижных визуально-измерительных устройств. Библиогр. 16, рис. 7.

Ключевые слова: лазер; магнитный, механизированный, визуальный, ультразвуковой, рентгеновский контроль; надежность; протяженные металлоконструкции; сварные швы; запись; опасные зоны; деформации; локальное напряженное состояние

Металлоконструкции резервуаров, мостовых переходов, доменных объектов, магистральных трубопроводов и тому подобных ответственных объектов, находящихся в длительной эксплуатации, нуждаются в периодическом точном, документируемом визуально-измерительном контроле (ВИК). Развитие оптической, лазерной, светодиодной, компьютерной техники позволяет поднять уровень качества и объективности получения точной информации о внешних дефектах и опасных зонах с локальными напряжениями. Чем точнее ВИК и чем чаще он выполняется, тем меньше вероятность неожиданных разрушений старых протяженных металлоконструкций сложной геометрии, тем успешнее будут применены методы неразрушающего контроля (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 выполнять магнитный контроль, находить поверхностные и подповерхностные трещины, скопления пор и т.п. Эти НУ сейчас применяются для контроля хребтовых балок пассажирских вагонов (Украина), ферм подъемных кранов (США). Высокая маневренность и устойчивость этих НУ показала их эффективность 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, как использовать эти устройства для повышения объективности ВИК протяжен-

ных швов и возможности обнаружить деформации и проблемные зоны. Благодаря большим дискообразным магнитным полюсам эти НУ [1–5], свободно перемещаемые вдоль протяженных металлоконструкций, легко преодолевают болты, кромки, ремонтные неровности и тому подобные препятствия. На основе таких подвижных магнитных платформ могут быть созданы и эффективные средства визуального контроля.

На рис. 1 приведено одно из простейших устройств, оборудованное осветителем, камерой наблюдения, монитором, устройством цифровой обработки изображений, беспроводной связью передачи информации (WiFi). Подобные магнитные платформы со временем будут применяться для организации точного, документируемого мониторинга всех современных металлоконструкций.

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 во всех пространственных положениях и обеспечение заданных расстояний оптических средств ВИК от изучаемой поверхности, что важно для измерений. ВИК – это основной вид неразрушающего контроля сооружений и металлоконструкций, применяемый на протяжении всей их жизни.

Визуально-измерительный контроль присутствует в начале, при рождении металлоизделий, по его завершении и при эксплуатации металлоконструкций. ВИК – основа безопасности металлоконструкции во всех отраслях промышленности. Поэтому создание механизированных точных

средств ВИК, обеспечивающих повторяемость и сравнение результатов, является актуальной задачей для всех ответственных сооружений.

Компьютеризация, сбор, архивирование и анализ результатов ВИК металлоконструкций только начинает развиваться. Ведущие компании, поставляющие дефектоскопическое оборудование [10–12], показывают много различных систем записи качества поверхности объектов с видеокамерами. Это информационные системы наблюдения с небольшим содержанием измерительных функций, которых может быть намного больше.

Приводимые [12] многими фирмами подвижные устройства ВИК в основном информационные и не являются измерительными. Они находят и передают информацию о наличии поверхностных дефектов.

Сегодня процедуры тщательного ВИК ответственных объектов связаны с монотонностью однотипных действий, что приводит к пропускам и ошибкам. Достоверность ВИК в значительной степени зависит от человеческого фактора, добросовестности, внимательности, влияния внешних воздействий, утомляемости. Все эти негативные обстоятельства усиливаются с масштабами сооружений, объемами ВИК. Особенно изнурительны процедуры ВИК при обследовании днищ резервуаров, ферм мостов и тому подобных больших сооружений.

В отраслях промышленности, связанных с движением, в авиации, на железнодорожном транспорте широко внедряются насыщенные средствами ВИК комплексы для осуществления измерений элементов всей инфраструктуры. Это касается

рельсов, 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 накапливающийся личный опыт. Автоматические средства работают с высокой скоростью, производительностью, а ручные средства дают точность и обеспечивают правильность принятия окончательного решения. Сочетание скоростного автоматического и ручного НК широко применяется при диагностике и магистральных газопроводов, в основе которой лежит внутритрубный скоростной и внешний – ручной окончательный контроль перед ремонтом.

Для ответственных объектов уже сегодня имеются все предпосылки для начала внедрения механизированного оптико-измерительного контроля на основе устройств, показанных на рис. 1, 2, 3 и различных навесных измерительных, оптических средств, набор которых определяет Заказчик оборудования.

На схеме рис. 3 штриховыми линиями показаны оси лучей лазерных указателей для измерения линейных размеров элементов конструкций и их дефектов, к которым в процессе обследования приближается устройство ВИК/ТВА.

Для многочисленных протяженных металлоконструкций ВИК еще долгие годы будет оставаться основным, а подчас единственным, методом НК. Внешние отклонения от нормы размеров сварных швов и других элементов конструкций, обнаруживаемых ВИК, часто являются признаком наличия повышенных внутренних локальных напряжений, несплошностей, трещин и тому подобного. Поэтому совершенствование качества ВИК, увеличение его точности и производительности, строгости отчетности так важны для ответственных объемных металлоконструкций. Мосты, металлургические, строительные объекты, корабли, газовые магистрали, резервуары нуждаются в архивируемых результатах ВИК.

Оборудованные монитором, видеокамерами, лазерными указателями устройства, показанные на рис. 1, 2, 3, записывают и передают по интернету информацию по проблемным зонам, на основании которой принимаются решения о необходимости в НК и последующем ремонте.

На рис. 1 показаны конструктивная схема и внешний вид легко перемещаемого по поверхности устройства с монитором, имеющим размеры 12×10,5 см, созданного на основе электронного микроскопа (Х600) с регулируемой яркостью восьми светодиодов. Это фактически подвижный цифровой микроскоп, который с литиевым аккумулятором может непрерывно

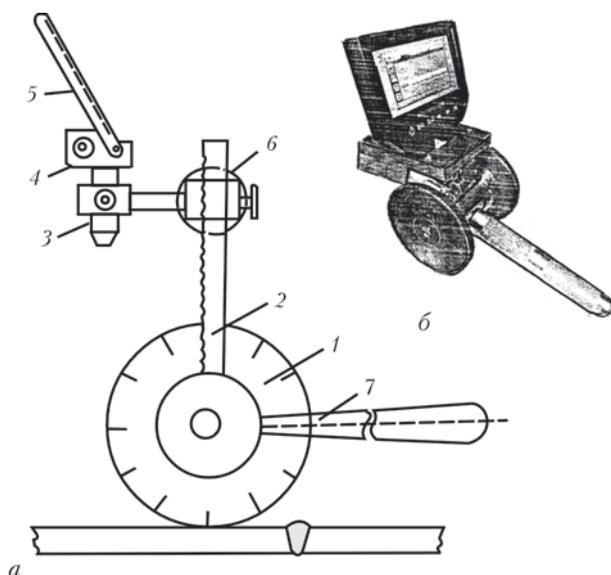


Рис. 1. Конструктивная схема (а) и внешний вид (б) подвижного НУ типа ТВА-2, оборудованного средствами ВИК: 1 – дискообразный магнитный полюс, измеритель пути; 2 – кронштейн для вертикального перемещения видеокамеры 3, блока записи и передачи информации 4, монитора 5; 6 – регулятор расстояния видеокамеры от поверхности; 7 – ручка для перемещения устройства ВИК/ТВА

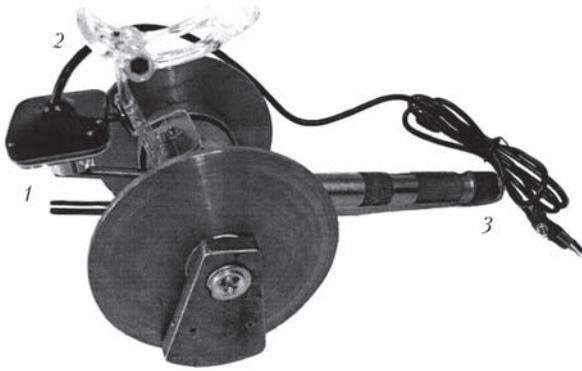


Рис. 2. Устройство ТВА-11 с видеокамерой (1) креплением лазерных измерителей (2), кабелем с универсальными разъемами (3)

работать в течение шести часов. В верхнем поисковом положении он обеспечивает двукратное, а в нижнем – до шестисоткратного увеличения записываемого изображения. Разрешение 1080×720P, VGA, синхронизированная запись с началом движения. Имеется много сервисных программных услуг. Такое устройство выполняет запись всего пути, фотографирование проблемных мест с одновременным комментированием (записывается голос оператора), то есть анализируется на месте изображение, наблюдаемое на мобильном мониторе. Этот комментарий помогает сделать правильные выводы при написании протокола ВИК. Стоимость этих электронных средств (рис. 1) невелика.

Таким образом, теперь ВИК из сугубо субъективного процесса, зависящего от состояния и добросовестности оператора, превращается в объективный вид НК, мало зависящий от оператора. Записи изображений сварных швов, выполненных с помощью регистраторов ВИК/ТВА, в стационарных условиях обрабатываются с помощью цифро-

вых программ анализа изображений с выделением зон, подлежащих ультразвуковому, магнитному, радиационному или какому-либо другому контролю, ремонту и повторному контролю. На рис. 2 показано устройство ВИК/ТВА с одной видеокамерой без монитора, с креплением для лазерных измерителей ширины сварного шва. Примененная здесь USB Веб-камера CW834M низкой стоимости имеет интерфейс USB 2.0, 4 линзы, ручной фокус, микрофон: фото до 2560×2048, видео 30 кадров/с – VGA и пр. Информация от устройства выводится на монитор компьютера.

На рис. 3 показана комплектация магнитной платформы ТВА двумя лазерными указателями ширины шва с подсветкой зон сплавления, по которым обычно разрушаются сварные швы.

На рис. 4 показан пример записи изображения сварного шва, выполненного с помощью ВИК/ТВА в поисковом режиме и зоны с предполагаемыми дефектами в оценочном режиме (четырёхкратное 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 по рис. 1, 2, 3 могут 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 выполнено рентгенографирование образца (рис. 4).

Сегодня описанные электронные возможности с использованием компьютерной обработки информации избыточны. Поэтому были испытаны упрощен-

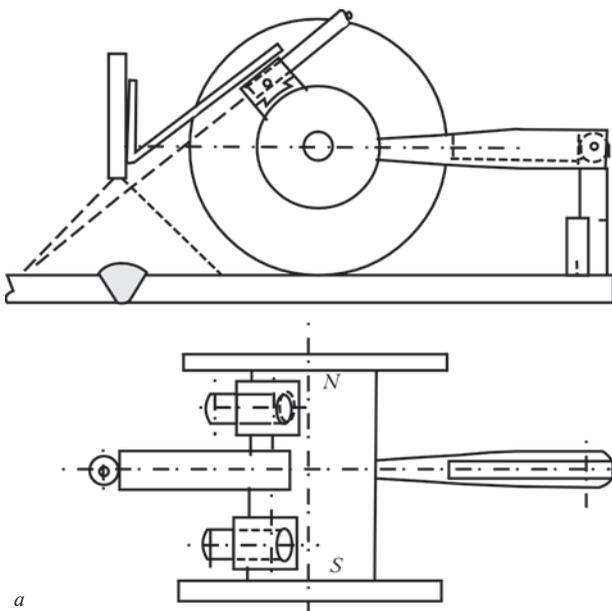


Рис. 3. Конструктивная схема (а) и внешний вид (б) устройства с двумя лазерными указателями и USB Веб-камерой



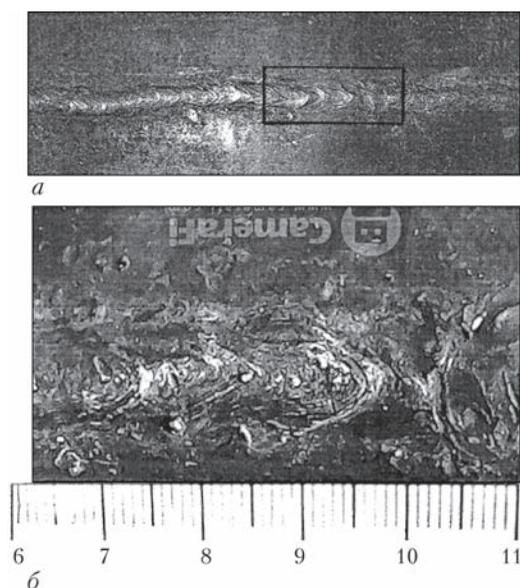


Рис. 4. Пример записи изображения образца сварного шва (а) и его фрагмент (б) зоны возможного расположения внутренних дефектов с тремя поверхностными порами

ные решения на основе смартфонов, например фирмы Samsung, часть которых приведена на рис. 5, 6.

Для дистанционного наблюдения за информацией, потсупающей от подвижного устройства ВИК, используется экран смартфона или планшета.

На рис. 5, 6 показаны простейшие ВИК/ТВА устройства со съемной миниатюрной видеокамерой от эндоскопа (рис. 5), с цветной камерой и использованием обычного смартфона (планшета). С помощью этих простейших решений могут быть обеспечены поисковый и оценочный режимы, запись изображений внешней и внутренней сторон сварного шва, обнаружены опасные изменения формы шва.

Дискообразные магнитные полюса платформ ТВА могут иметь разметку (рис. 1) по образующей и использоваться для измерения расстояний, т. е. они являются одометрами пути. Это не исключает необходимость в лазерных измерителях расстояний и лазерной разметки дефектных зон.

На рис. 5 показано размещение на подвижной платформе типа ТВА видео камер «Camera Fi» USB Inspection для эндоскопа, работающих 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 сантиметров. Это обеспечивает четырех-пятикратное увеличение. Этого вполне достаточно для ВИК. Камера (рис. 5, 6) имеет кабель до 5 м и может быть использована в труднодоступных местах, где не может пройти платформа ТВА.

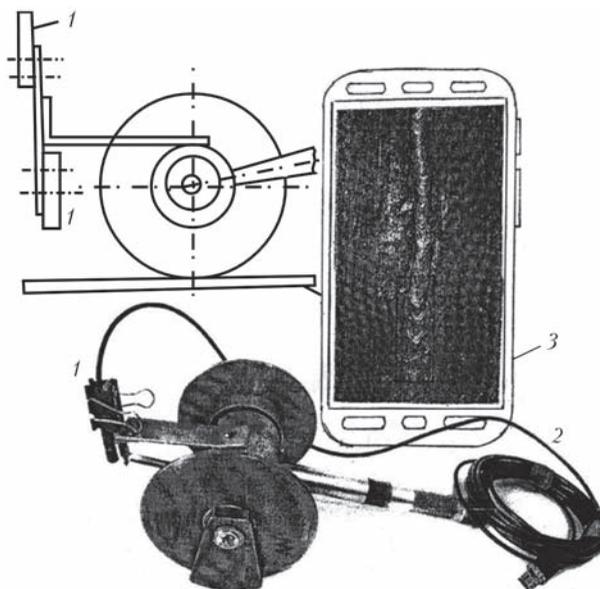


Рис. 5. Устройство ВИК/ТВА с одной и двумя видеокамерами (1), кабелем (2) протяженностью 5 м с разъемом USB для подключения к смартфону (3) или компьютеру

Все приведенные примеры устройств ВИК/ТВА обеспечивают измерение геометрических размеров сварных швов, определение координат опасных зон для дальнейшего изучения или ремонта. Эти зоны могут быть сфотографированы при разных ракурсах и при разных фокальных увеличениях. Для получения большей информации от одного прохода ВИК/ТВА могут использоваться две и более по-разному ориентированные миниатюрные камеры, расположенные по схеме рис. 5, или например, на разных расстояниях от поверхности объекта и под разными углами. Тогда практически совмещаются поисковый и оценочный режимы без остановки 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 архивирования, анализа с помощью цифровых компьютерных программ, передачи информации 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.

На рис. 6, а-г показаны фотографии объектов визуально-измерительного контроля, полученные с помощью устройства ВИК/ТВА с одной видеокамерой (рис. 2, 3, 5), располагаемого на поверхности конструкций.



Рис. 6. Фотографии объектов ВИК на экране смартфона Samsung, который держит в руках оператор, и устройства ВИК/ТВА с одной видеокамерой (рис. 5), располагаемого на поверхности: а – протяженного вала турбины: видны резьба и шпоночная канавка; б – внутри обечайки диаметром 1420: видны крупные поры; в – сложной металлоконструкции: видна труднодоступная зона; з – обратная сторона кольцевого монтажного шва трубопровода диаметром 114: видны плохо зачищенные брызги

На всех фотографиях по рис. 6 используется монитор смартфона Samsung, который держит в руках оператор. Для ускорения ВИК удобно подобный монитор крепить на запястье руки оператора, которой он передвигает записывающее устройство ВИК/ТВА.

Кроме визуально-измерительных возможностей существуют варианты комплектации устройств ВИК/ТВА другими измерительными средствами, которые позволяют оценивать напряженное состояние локальных зон. Не в ущерб технологии ВИК намагничивающие устройства ТВА могут быть дооборудованы датчиками, измеряющими внутренние напряжения металлоконструкции, например, зоны, где имеются многочисленные мелкие внутренние дефекты. Пример такого 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], применяемый 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 остаточным внутренним напряжениям и поэтому нашел широкое применение в криминалистике, например, для восстановления зачищенных номеров автомобильных двигателей, стертых номеров 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.

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 уставших артиллерийских стволов, может быть решена только этим методом.

Принцип работы метода следующий.

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

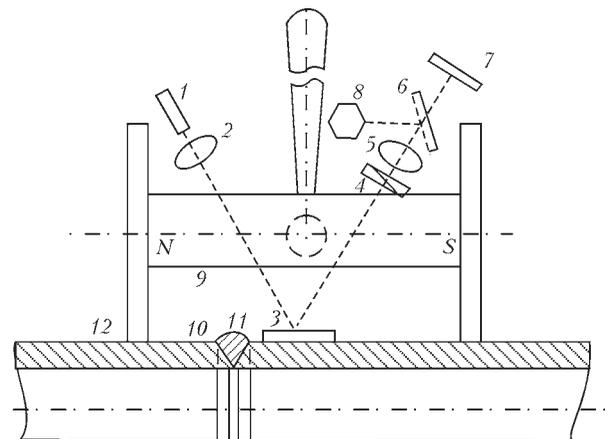


Рис. 7. Схема магнито-оптического устройства на базе НУ 9 типа ТВА, предназначенного для оценки напряженного состояния околошовных зон 10 монтажных 11 и продольных швов газопроводов 12, содержащая: 1 – источник поляризованного света; 2 – формирователь пучка света; 3 – пленка магнито-оптическая; 4 – анализатор; 5 – оптическая система; 6 – зеркало; 7, 8 – фотоприемники

намагниченности пленки 3 совпадает со структурой полей рассеяния. Источник поляризованного света 1 через формироваватель 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.

Описанные оптико-механические системы, жестко стоящие на поверхности ферромагнитных металлоконструкций, могут не только передавать по интернету сведения, касающиеся ВИК, но и использоваться в качестве средства для измерения деформаций, линейных размеров отдельных удаленных зон. На подвижной магнитной базе могут быть реализованы параллельно техническому зрению контактные и бесконтактные средства [10] для измерения размеров всего пространства и отдельных элементов, дефектных зон конструкции. В работе [10], посвященной анализу возможностей измерительных функций технических эндоскопов, отмечается, что кроме выше описанных простых оптических задач существуют: высокочувствительные камеры с объективами фокусирования, фотоэлектрические средства для стереоскопической, проекционной, голографической и ультразвуковой дистанционной техники измерения размеров.

Из возможных методов определения 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 миллиметров 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. В измерительных оптических приборах стереоскопический эффект получается раздвоением лазерного луча с помощью бипризмы. С целью сокращения влияния человеческого фактора при измерениях в стереоскопических приборах применяются 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 в медицинской эндоскопии. Такие тонкие измерения в реальном времени могут обеспечить измерения деформаций отдельных узлов металлоконструкций.

Трудно предвидеть, суждено ли оптико-механическим системам ВИК/ТВА, имеющим несколько лазерных указателей (рис. 3), найти применение для

диагностики локальных деформаций протяженных металлоконструкций, но для развития подобных измерений расстояний и линейных размеров имеется практически все необходимое в медицинской эндоскопии. Параллельность лазерных лучей, сведение лазерных точек в одну, разведение их на заданные расстояния при фиксировании углов излучений дают интересные возможности для эксплуатируемых металлоконструкций.

Известно, что металлоконструкции разрушаются от внутренних напряжений, а дефекты, поиску которых посвящен визуально-измерительный контроль, являются их внешними 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 так далее.

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, условно называемого «магнитной памятью», для оценки напряженного состояния металлоконструкций, не имеющих видимых внешних дефектов типа трещин.

Сущность магнитометрического метода 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 межкристаллического коррозионного поражения. Этот информационный признак усиливается, если к этой зоне приложено внешнее магнитное поле НУ. Эти усталостные зоны определяются феррозондами, датчиками Холла, магниточувствительными резисторами и т.п. Входя в зону, где металл устал, его структура напряжена, изношена, магнитная платформа усиливает магнитное поле на поверхности, что способствует их выявлению. Поэтому магнитные платформы для ВИК, оборудованные феррозондами, будут находить также трещины и зоны повышенных остаточных напряжений.

Выводы

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

2. Все технические средства для ВИК критичны к точности поддержания расстояний до изучаемых поверхностей, уровня освещения, правильности измерений линейных размеров, сохранения и анализа точной визуальной информации для сравнения с результатами предыдущих и последующих ВИК. Поэтому подвижная измерительная платформа со средствами ВИК должна жестко поддерживать расстояния до изучаемых поверхностей, обеспечивать повторяемость результатов.

3. Подвижной базой для расположения видеокамер, осветителей, лазерных измерителей и указателей, одометров, мониторов, уровнемеров и других технических средств ВИК могут быть магнитные платформы, легко перемещаемые по поверхности металлоконструкций, например, типа ТВА, которые хорошо зарекомендовали себя при магнитопорошковым контроле элементов трубопроводных магистралей, хребтовых балок, тележек и других частей железнодорожных вагонов, металлоконструкций подъемных механизмов и других объектов.

4. Оборудование подвижных магнитных платформ феррозондами, датчиками Холла, магнито-оптическими преобразователями и тому подобным средствами позволяет совместить визуально-измерительный контроль с оценкой остаточного напряженного состояния протяженных металлоконструкций.

5. Использование нескольких лазерных указателей и дальномеров на платформе ВИК/ТВА является базой для решения тригонометрических задач оценки деформаций и измерений линейных размеров удаленных элементов, не доступных для ручных измерений.

6. ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ помогает заинтересованным организациям изготавливать механико-оптические системы для ВИК и других методов НК с учетом специфики их производства и условий эксплуатации ответственных металлоконструкций.

Список литературы

1. Патон Б. Е., Троицкий В. А. (2013) Основные направления работ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины по совершенствованию неразрушающего контроля сварных соединений. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 4, 13–29.
2. Troitskiy V. A., Es'kov Yu. B., Radko V. P. (1977) Non-destructive testing of Welded structures and constructions in the E. O. Paton Electric Welding Institute. *Insight*, 39, 9, European Issue, September.
3. Troitskiy V. A. (2015) Devices for the movable Local Multidirectional Magnetization of Metal Structures in Magnetic Particle Testing. *Materials Evaluation*, 73, 6, 676–683.
4. Troitskiy V. A. (2015) New Technology for Magnetic Particle Testing. *The NDT Technician. (TNT) ASNT, USA*.
5. Troitskiy V. A. (2015) Multidirectional local Magnetization of Extended Metal Structures. *The Japanese Society Journal for NDT*, 64, 2, 79–85.
6. Трошенко Н. А., ВYLESOV Ю. Ф. (2001) *Способ магнито-оптической дефектоскопии стенок трубопровода*. Украина, Пат. UA 36299A.
7. Троицкий В. А. (2013) *Подвижное намагничивающее устройство для дефектоскопии протяженных конструкций*. Украина, Пат. 82447 от 12.08.2013.

8. Троицкий В. А. (2015) *Рухомий намагнічуючий пристрій*. Україна, Пат. 109218 від 27.07.2015.
9. Троицкий В. А., Левый С. В., Агадиди Ю. С., Посыпайко Ю. Н. Магнитооптическая дефектоскопия изделий и соединений. *Труды конференции НКД-2009*, сс. 63–67.
10. Тарабрин В. Ф., Щеглов Д. М., Кисляковский О. Н. (2017) Инновационное применение визуально-измерительного и оптического контроля железнодорожного транспорта. *В мире НКЮ*, 20, 3, 68–72.
11. Троицкий В. А. (2009) *Визуальный и измерительный контроль деталей машин, металлоконструкций, сварных соединений*. Киев, Феникс.
12. Бобров В. Т., Следнев А. М. (2018) Роботизированные системы неразрушающего контроля и технической диагностики промышленных объектов. *Контроль. Диагностика*, 2, 16–29.
13. Бондарев Ю. О. (2017) Методы и средства совершенствования технических эндоскопов с измерительными функциями. *Там же*, 6, 64–68.
14. Туробов Б. В. (2014) *Визуальный измерительный контроль. Учебное пособие*. В. В. Клюев (ред.). Спектр.
15. Дубов А. А. (2013) Контроль качества изделий машиностроения с использованием магнитной памяти металла. *Территория NDT*, 62–64.
16. Троицкий В. А. (2015) Разнонаправленное намагничивание металлоконструкций при магнитопорошковом контроле. *Там же*, 2, 78–83.

References

1. Paton, B.E., Troitskiy, V.A. (2013) Main directions of activity of the E.O.Paton Electric Welding Institute of NASU on improvement of nondestructive testing of welded joints. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, 4, 13-19 [in Russian].
2. Troitskiy, V.A., Es'kov, Yu.B., Radko, V.P. (1977) Non-destructive testing of welded structures and constructions in the E.O. Paton Electric Welding Institute. *Insight*, 39, 9, European Issue, September.
3. Troitskiy, V.A. (2015) Devices for the movable local multidirectional magnetization of metal structures in magnetic particle testing. *Materials Evaluation*, 73(6), 676-683.
4. Troitskiy, V.A. (2015) *New technology for magnetic particle testing. The NDT Technician. (TNT) ASNT, USA*.
5. Troitskiy, V.A. (2015) Multidirectional local magnetization of extended metal structures. *The Japanese Society J. for NDT*, 64(2), 79-85.
6. Troshchenko, N.A., Vylesov, Yu.F. (2001) Method of magneto-optic flaw detection of pipeline walls. Pat. 36299A, Ukraine [in Russian].
7. Troitskiy, V.A. (2013) *Mobile magnetization device for flaw detection in extended structures*. Pat. 36299A, Ukraine [in Russian].
8. Troitskiy, V.A. (2013) *Mobile magnetization device*. Pat. 109218, Ukraine, 27.07.2015 [in Ukrainian].
9. Troitskiy, V.A., Levyi, S.V., Agadidi, Yu.S., Posypajko, Yu.N. Magneto-optic flaw detection of products and joints. *In: Proc. of NKTD-2009*, 63-67 [in Russian].
10. Tarabrin, V.F., Shcheglov, D.M., Kislyakovskiy, O.N. (2017) Innovative application of visual measurement and optical control of railway transportation. *V Mire NKYu*, 20(3), 68-72 [in Russian].
11. Troitskiy, V.A. (2009) Visual and measurement control of the parts of machines, metal structures and welded joints. Kiev, Fenix [in Russian].
12. Bobrov, V.T., Slednev, A.M. (2018) Robotic systems of non-destructive testing and technical diagnostics of industrial facilities. *Kontrol. Diagnostika*, 2, 16-29 [in Russian].
13. Bondarev, Yu.O. (2017) *Methods and means of improvement of technical endoscopes with measurement functions*. [in Russian].
14. Turobov, B.V. (2014) *Visual measurement control: Manual*. Ed. by V.V. Klyuev. Spektr [in Russian].
15. Dubov, A.A. (2013) Quality control of the mechanical engineering products with application of magnetic memory of metal. *Territoriya NDT*, 62-64 [in Russian].
16. Troitskiy, V.A. (2015) Magnetization of metal structures in different directions in magnetic powder inspection. *Ibid.*, 2, 78-83 [in Russian].

В. А. ТРОИЦКИЙ

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ,
бул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

ОБ'ЄКТИВНИЙ ТА ПРОДУКТИВНИЙ ВІЗУАЛЬНИЙ
КОНТРОЛЬ ПРОТЯЖНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

Пропонується розміщати засоби для візуально-вимірювального контролю: відеокамери, лазерні вимірювачі ширини, відстаней, форми шва, електронні засоби запису та передачі цифрових зображень, Подібні рухомі засоби можуть бути використані і для вимірювання локальних напружених станів. Наведено приклади виготовлення таких рухливих візуально-вимірювальних пристроїв на рухомих магнітних платформах, що переміщуються по поверні металоконострукцій. Бібліогр. 16, рис. 7.

Ключові слова: лазер; магнітний, механізований, візуальний, ультразвуковий, рентгенівський контроль; надійність; протяжні металоконострукції; зварні шви; записування; небезпечні зони; деформації; локальний напружений стан

V.A.TROITSKII

E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine,
11 Kazimir Malevich str., 03150, Kyiv.
E-mail: office@paton.kiev.ua

OBJECTIVE AND EFFICIENT VISUAL CONTROL OF
EXTENDED METAL STRUCTURES

It is proposed to place the means for visual measurement control, namely video cameras, laser meters of the width, distances and shape of welds, electronic means for recording and transmission of digital images on mobile magnetic platforms, moving over the metal structure surface. Such mobile means can be used also for measurement of local stressed states. Examples of such mobile visual measurement devices are also given. 16 References, 7 Figures.

Keywords: laser; magnetic, mechanized, visual inspection, ultrasonic testing, X-ray inspection; control, reliability; extended metal structures, welds; recording, dangerous zones, local stressed state

Поступила в редакцію
11.05.2018

**ПОЗДОРОВЛЯЄМО ЛАУРЕАТІВ ДЕРЖАВНОЇ ПРЕМІЇ УКРАЇНИ
В ГАЛУЗІ НАУКИ І ТЕХНІКИ**

Указом Президента України № 138/2018 від 19 травня 2018 р. присуджено Державні премії України в галузі науки і техніки групі вчених, до складу якої увійшли п'ять співробітників ІЕЗ ім. Є. О. Патона: академік НАН України К. А. Ющенко, д-ра техн. наук Т. М. Лабур, О. В. Махненко, д-р мед. наук І. Ю. Худецький, канд. техн. наук А. К. Царюк.



Бажаємо лауреатам міцного здоров'я і подальших творчих успіхів на благо України.

Редколегія журналу

УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ № 138/2018 (витяг)

Про присудження Державних премій України в галузі науки і техніки 2017 р.

На підставі подання Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки постановляю:
присудити Державні премії України в галузі науки і техніки 2017 р.

За роботу «Матеріали і технології сучасної авіаційної техніки»:

ЮЩЕНКО Костянтину Андрійовичу — академікові Національної академії наук України, заступникові директора Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України,

ЛАБУР Тетяні Михайлівні — докторові технічних наук, провідному науковому співробітникові Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України.

За роботу «Ефективні методи оцінювання напруженого стану структурно-неоднорідних тіл, спричиненого дією полів різної фізичної природи»:

МАХНЕНКУ Олегу Володимировичу — докторові технічних наук, завідувачеві відділу Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України.

За роботу «Кріотермохірургічні методи та апаратура для лікування онкологічних захворювань органів черевної порожнини»:

ХУДЕЦЬКОМУ Ігорю Юліановичу — докторові медичних наук, провідному науковому співробітникові Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України.

За роботу «Створення оборотних гідроагрегатів Дністровської ГАЕС для підвищення ефективності об'єднаної енергетичної системи України»:

ЦАРЮКУ Анатолію Корнійовичу — кандидатові технічних наук, завідувачеві відділу Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України.

Президент України
19 травня 2018 р.

П. Порошенко