

УДК 621.52

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

© 2021 И.В. Малкина, Д.В. Жданов

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 10.06.2021

Цель работы – разработка автоматизированной системы контроля качества сварных соединений конструкция канатных дорог, проектируемых и производимых на предприятии ООО «Скадо» (г. Самара) с целью повышения качества контроля. Проведен анализ требований, предъявляемых к сварным конструкциям и сварным швам канатных дорог, рассмотрены методы контроля сварных швов. Разработана структурная схема автоматизированной системы контроля качества сварных соединений на базе метода ультразвукового контроля. Проведен анализ ультразвуковых датчиков на фазированных решетках. Выбраны датчики и исполнительные механизмы системы. Разработана схема сопряжения элементов системы с программируемым логическим контроллером. Описаны структура системы и схема сопряжения элементов системы с программируемым логическим контроллером. Разработана методика выполнения контроля.

Ключевые слова: конструкции канатных дорог, сварной шов, сварное соединение, ультразвуковой контроль, ультразвуковой дефектоскоп, автоматизированная система, погрешность измерений.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-3-40-46

ВВЕДЕНИЕ

Качество сварных швов имеет большое значение для обеспечения безопасной и качественной работы объектов, конструкций, машин и изделий.

Сварка деталей является сложным технологическим процессом, так как сварной шов может скрывать множество дефектов таких, как непровары, раковины, поры и т.п. Необходимо выявлять не только все доступные дефекты сварного шва, но и составить общую его картину, что возможно при сканирующем методе контроля, когда показания снимаются непрерывно по всему шву. Для обеспечения подобного контроля необходимо наличие высокоточных и надежных систем измерений.

Производство канатных дорог необходимо проводить с позиций обеспечения высокой надёжности, поскольку их эксплуатация сопряжена зачастую с безопасностью людей. Соответственно качество сварных швов является одним из главных показателей обеспечения безопасности, надёжности и долговечности работы рассматриваемых объектов.

Применение современных автоматизированных измерительных систем позволяет исключить субъективный фактор оператора, повысить точность контроля, обеспечить высокую надёжность и стабильность измерительных процедур. Включение датчиков в различные схемы компенсации позволяют свести погрешности

систем к минимальным значениям, исключив помехи от изменяющихся внешних факторов (температурные и электрические наводки, магнитные поля, влажность и т.п.).

Существует большое разнообразие методов и средств неразрушающего контроля (неразрушающей дефектоскопии), в том числе основанной на ультразвуковом методе контроля. Однако при проектировании таких систем не всегда можно добиться универсальности применений, вследствие этого системы разрабатываются применительно к определенным объектам измерений, с учетом исходных данных (материал и масса изделия габаритные размеры и т.д.).

Канатная дорога – транспорт для перемещения пассажиров и грузов, в котором для перемещения вагонов, кабин или кресел служит тяговый трос, протянутый между опорами. Нагрузочная способность пассажирской канатной дороги может составлять до 2000 человек в час, грузовой канатной дороги – до 1000 тонн в час.

Общая классификация канатных дорог представлена на рисунке 1.

Различные типы канатных дорог отличаются по своей пропускной способности, объемам переносимых грузов, расстоянием между несущими опорами, устойчивости к воздействию внешних факторов (ветер, температура, дождь и т.п.), высоте несущих конструкций [6].

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

К основным видам сварных стальных конструкций сооружений грузовых и пассажирских канатных дорог относятся: опоры, предохра-

*Малкина Ирина Валериевна, старший преподаватель кафедры ТМСИ. E-mail: malkina_dot@mail.ru
Жданов Дмитрий Владимирович, студент заочного отделения кафедры ТМСИ.*

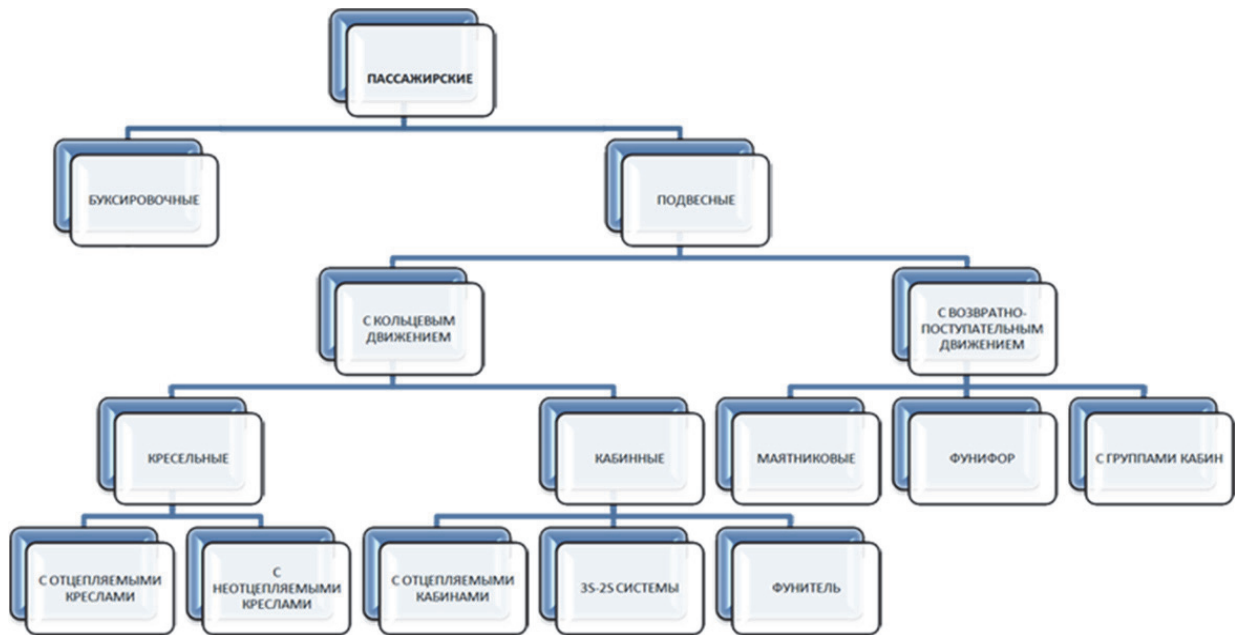


Рис. 1. Классификация типов канатных дорог.

нительные мосты, станции (стационарные и передвижные). Сварные стальные конструкции (металлоконструкции) должны изготавливаться в климатическом исполнении V категории размещения I по ГОСТ 15150-69.

В таблицах 1, 2 и 3 представлены характеристики опор мостов и станций канатных дорог соответственно.

Строение соединений металлических деталей, образуемое сваркой, состоит из сварного

Таблица 1. Характеристики опор канатных дорог

Опора		Колея, м			
		3,0	3,6	4,0	6,0 и более
Башенного типа	Высота H , м	от 3 до 25	от 3 до 30	от 3 до 30	от 5 до 80
Мачтового типа		—	—	от 35 до 100	от 35 до 100
Башенного типа	Масса не более, т	8,0	13,0	16,0	45,0
Мачтового типа		—	—	30,0	80,0

Таблица 2. Характеристики предохранительных мостов канатных дорог

Предохранительный мост		Колея, м	
		4,0	6,0
С опорой	Высота H , м	до 25	до 25
Без опоры		до 20	до 20
С опорой	Масса не более, т	до 40	до 45
Без опоры		до 30	до 40

Таблица 3. Характеристики станций канатных дорог

Станция		Колея, м			
		3,0	3,6	4,0	6,0 и более
Стационарная	Высота H , м	от 4,5 до 40,0			
Мачтовая		—		от 70 до 150	
Передвижная		—		60	
Стационарная	Масса не более, т	до 250			
Мачтовая		—		150	
Передвижная		—		250	

шва и прилегающих к нему зон, подвергающихся плавлению и термическому воздействию (рис. 2). Прочность соединения зависит от предварительной обработки свариваемых поверхностей, свойств полученного шва и других участков соединения, подвергающихся структурным изменениям в процессе сварки и влияющих на распределение усилий при последующих нагрузках [1,2].

Основными дефектами металлоконструкций считают: шлаковые включения, трещины на поверхности шва и внутренние трещины, перегрев и пережог металла, наплывы и пористость, отклонение формы и размера, но наиболее опасным и недопустимым дефектом считаются трещины, поскольку они склонны к увеличению

и в дальнейшем, к разрушению конструкции.

На рисунке 3 представлены наиболее рациональные схемы контроля: а). для контроля стыковых соединений; б). для контроля угловых и тавровых соединений [1,2,5].

Для разработки системы контроля качества разработана схема с применением эхо-зеркального метода прозвучивания с раздельно-совмещенными пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП). Сканирующая головка автоматизированной системы состоит из объединенных датчика-излучателя и датчика-приемника. Структурная схема автоматизированной системы контроля сварного соединения с применением ультразвукового метода контроля (УЗК) представлена на рисунке 4.

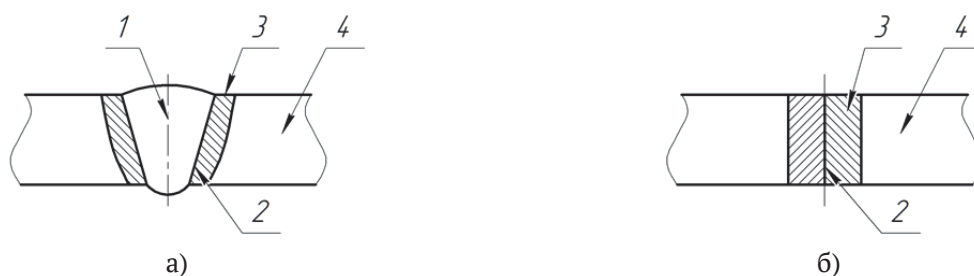


Рис. 2. Схема сварного соединения:

а) при сварке плавлением, б) при сварке давлением;

1 – сварной шов, 2 – зона сплавления, 3 – зона термического влияния, 4 – основной металл

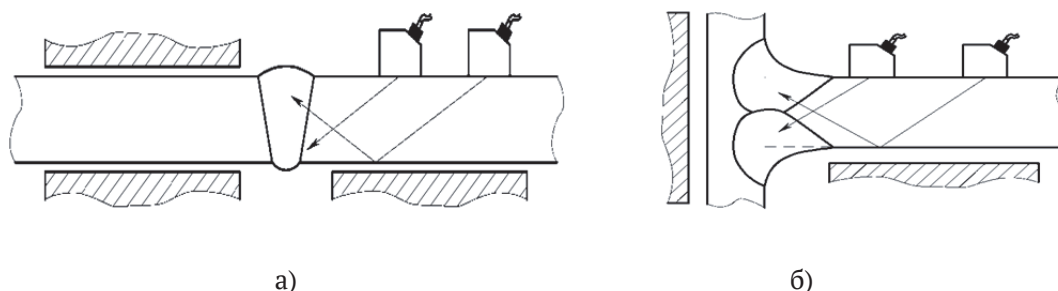


Рис. 3. Схемы контроля тавровых и угловых сварных соединений

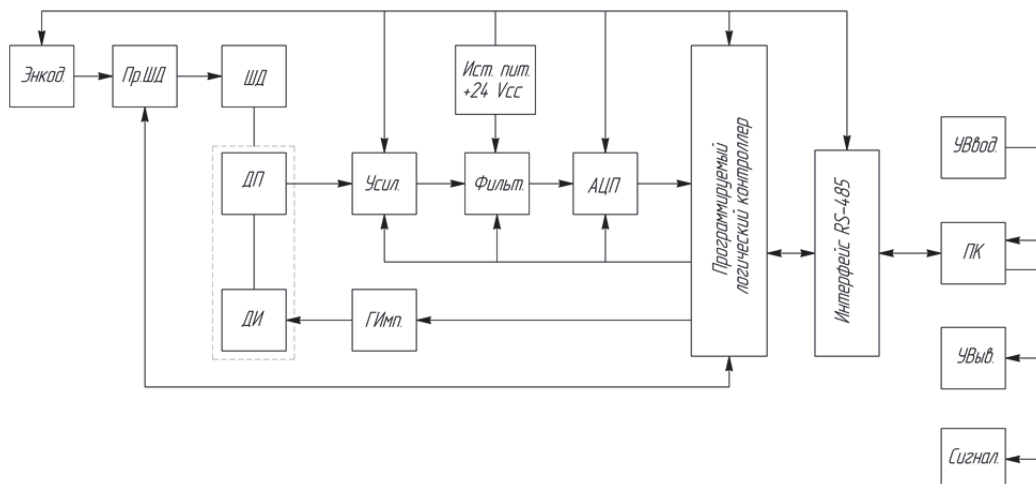


Рис. 4. Структурная схема автоматизированной системы контроля качества сварных соединений: ДИ - ультразвуковой датчик-излучатель сигнала; ГИмп. - генератор импульсов; ДП - ультразвуковой датчик-приемник сигнала; ШД - шаговый двигатель сканирующей головки; Пр.ШД - привод шагового двигателя; Энкод. - энкодер (датчик положения сканирующей головки); Усил. - усилитель сигнала; Фильт. - фильтр системы; АЦП - аналого-цифровой преобразователь; Ист. пит. - источник питания +24 В; ПК - персональный компьютер; Сигнал. - сигнализация; УВыв. - устройства вывода информации; УВвод. - устройства ввода информации

В общем случае автоматизированная система контроля состоит из тех основных блоков:

- 1) блок регистрации входных данных (блок датчиков);
- 2) блок обработки данных и выдачи управляющих воздействий;
- 3) блок исполнительных механизмов.

Принцип ультразвукового контроля с применением датчика на фазированных решетках основан на способности луча отражаться от дефекта в исследуемом материале. Результат традиционного УЗК выводится в виде А-скана [4]. Схема контроля представлена на рисунке 5.

Метод фазированных решеток (ФР) это множество А-сканов, количество которых зависит от числа преобразователей в фазированном датчике. Генератор осуществляет контроль всех элементов формирующих лучи и выдает амплитудный сигнал в режиме реального времени, который эквивалентен стандартному А-скану. Угол излучения фазированного датчика управляется программно и может охватывать достаточно большой объем исследуемого материала без физического перемещения самого датчика. В дальнейшем это множество А-сканов преобразуется в С-скан, позволяющий визуализировать структуру материала, выделяя цветом частоту амплитудных колебаний. По своей сути система контроля сварных соединений является ультразвуковым дефектоскопом с автоматизацией процесса анализа результатов контроля.

Работа измерительной системы представляет собой выполнение определенной последовательности действий:

- 1). на пьезоэлемент УЗК датчика подаются частотные сигналы от генератора импульсов;
- 2). измененные сигналы, отраженные от дефекта сварного шва фиксируются пьезоэлементом датчика-приемника, далее сигнал по-

ступает на вход частотного фильтра, который аппаратным образом фильтрует сигналы помех;

- 3). усиленный и обработанный сигнал приходит на один из частотных входов контроллера системы, где преобразуется в координаты точки дефекта, в каждой точке возможно провести до пяти измерений под разными углами α входа ультразвукового луча;

4). после окончания анализа контролируемой точки от контроллера поступает сигнал на шаговый двигатель, который перемещает сканирующую головку дефектоскопа на шаг сканирования $\Delta_{ст}$.

Современный уровень техники позволяет проводить сканирование сварного шва не механическим, а аппаратным методом, что ускоряет и упрощает процесс контроля. Для разрабатываемой системы автоматизации контроля сварных соединений главным параметром является обеспечение непрерывного сканирования объекта контроля в заданной зоне шва, с тем, чтобы выдать результаты ультразвукового контроля с учетом положения контролируемого изделия, следовательно, необходим контроль положения сканирующей системы с ультразвуковыми датчиками. С учетом вышеизложенного, разработана функциональная схема автоматизированной системы контроля сварного шва с ультразвуковыми датчиками на фазированных решетках, представленная на рисунке 6.

При работе системы сканирующая головка с датчиками ПЭП (1) пошагово перемещается по направляющей (2). Шаг задается с учетом быстродействия системы УЗК. Получив сигнал с датчиков ПЭП, контроллер выдает управляющее воздействие механизму перемещения (3), в качестве которого применяется шаговый двигатель. Шаговый двигатель работает в двух направлениях вращения для обеспечения ре-

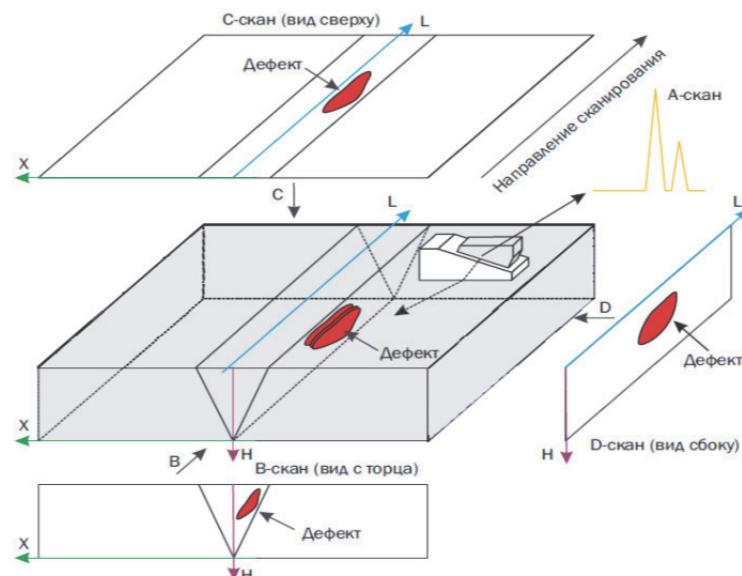


Рис. 5. Типы сканов при контроле сварного соединения

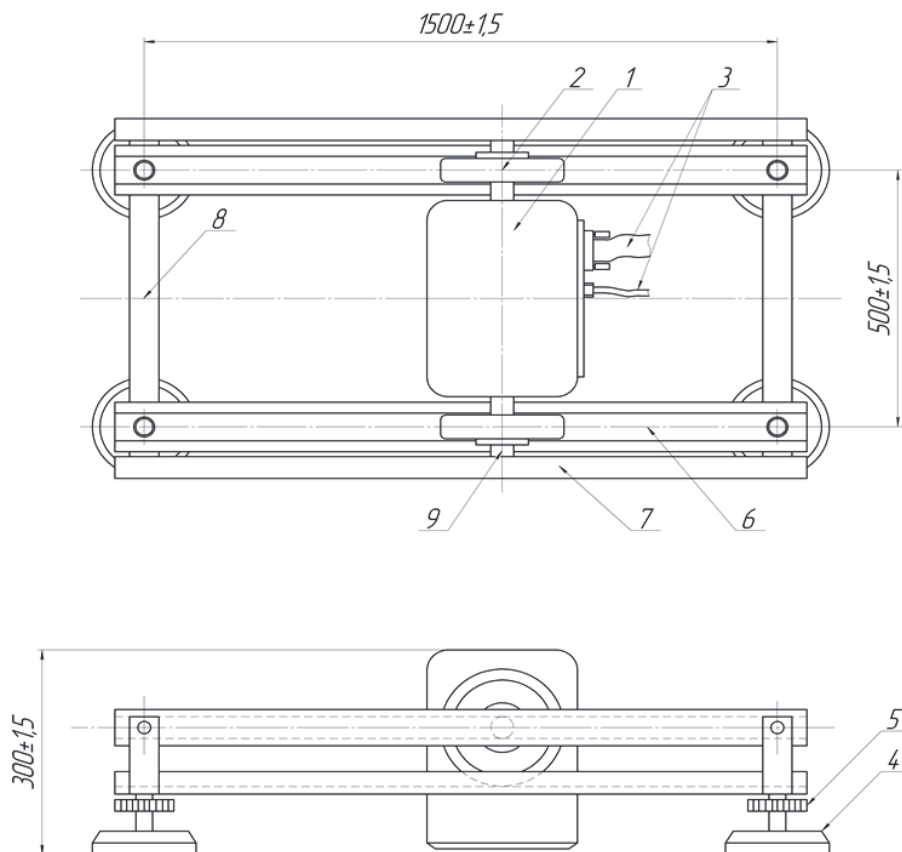


Рис. 6. Схема функционирования системы автоматизации контроля сварного соединения:

- 1 – сканирующая головка с датчиками; 2 – колеса; 3 – выходные кабели сканирующей головки;
 4 – магнитные опоры; 5 – винты уровня конструкции; 6 – направляющая;
 7 – дополнительная направляющая; 8 – рама; 9 – вал

версивное движение сканирующей головки. Система перемещения прикрепляется на изделие (6) при помощи магнитных фиксаторов (4) [3].

Положение сканирующей головки контролируется датчиком положения (энкодер ARCOM-LK-90-1). Процесс измерений повторяется до момента, когда сканирующая головка проходит весь участок контролируемого сварного соединения.

Контроллер связан с компьютером для обеспечения вывода данных (диаграммы сканирования) оператору, а также для оперативного управления элементами системы через специализированное программное обеспечение, также имеется выход на печать результатов замера, и выход в хранилище данных, где содержатся начальные установки, программы сканирования, а также измеренные значения прозвученных дефектов.

Качество измерений определяется совокупностью субъективных и объективных факторов. В ряде случаев главным становится влияние средства измерений (СИ). Инструментальные погрешности обусловлены свойствами конкретного СИ, определены при его испытаниях и занесены в паспорт.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В общем случае суммарная погрешность системы измерения определяется составляющими, которые вносят систематические и случайные погрешности. Независимые случайные погрешности подчиняются закону нормального распределения и суммируются по правилам теории вероятности для независимых случайных величин; систематические погрешности суммируются алгебраически по формуле:

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{у.э.} + \omega_p + \omega_n + \sqrt{\omega_B^2 + \omega_C^2 + \omega_3^2 + \omega_{II}^2 + \omega_{н.с.}^2 + \omega_M^2}, \quad (1)$$

где $\omega_{у.э.}$ – погрешности изготовления установочных элементов и их расположения установочных элементов (отклонение размеров установочных элементов и координирующих размеров в пределах заданных допусков);

ω_p – систематической погрешности, из-за неточности изготовления передаточных элементов (рычагов и других деталей); данная погрешность определяется расчётным путём и проверяется экспериментально;

ω_n – систематической погрешности, учитывающей отклонение размеров установочных мер от номинальных;

ω_b – погрешности базирования, возникающей вследствие неточности изготовления установочных и измерительных баз;

ω_c – погрешности смещения измерительной базы контролируемой детали, т.е. смещения от заданного положения;

ω_3 – погрешности закрепления, возникающие вследствие смещения измерительной базы под действием усилия закрепления;

ω_n – случайной погрешности, обусловленной случайными факторами; предельные значения случайных погрешностей определяют экспериментальным путём;

$\omega_{н.с.}$ – случайной погрешности, которая возникает при настройке в результате отклонений элементов системы от параллельности, соосности и др.

Общая погрешность автоматизированной системы контроля сварных соединений обуславливается набором погрешностей выбранных элементов, а именно:

1) погрешность ультразвуковой PPA 2L32W-3210 – 1,5 %;

2) погрешность усилителя EL7202CS – 0,5 %;

3) погрешность аналого-цифрового преобразователя ADC12DL066 – 0,5 %;

4) погрешность программируемого контроллера MAX Logic – 0,5 %;

5) погрешность компьютерной системы (ПК) – 0,15 %;

6) погрешность элементов системы сопряжения (дешифраторы, мультиплексоры и т.д.) – 5 %.

Общую погрешность системы определяется выражением:

$$\Delta_1 = \sqrt{\sum \Delta_i^2} =$$

$$= \sqrt{1,5^2 + 0,5^2 + 0,5^2 + 0,5^2 + 0,15^2 + 5^2} = \quad (2)$$

$$= \sqrt{28,0225} = 5,3$$

По требованиям, предъявляемым к качеству измерительного процесса значение погрешности при контроле сварных соединений ультразвуковым методом не должно превышать $\pm 10\%$.

ВЫВОДЫ

На основании проведенного анализа применяемых методов контроля, а также исходя из особенностей объекта контроля, т.е. конструкции и сооружения канатных дорог, можно сделать вывод о высокой точности системы и целесообразности её применения для целей контроля сварных соединений конструкций канатных дорог на предприятии ООО «Скадо».

Разрабатываемая система контроля качества сварных соединений направлена на выполнение следующих функций:

1) автоматическое сканирование поверхности шва по заданному шагу и углам сканирования;

2) вывод сигналов датчика на экран монитора с подробной визуализацией внутренней структуры шва;

3) возможность сканирования посредством изменения параметров датчика;

4) управление перемещением датчика по поверхности с заданным шагом и с учетом быстроедействия датчиков;

5) возможность передачи данных по каналу связи в ПК.

Применяемый метод контроля позволяет определять наличие дефектов, а также глубину их залегания. Система контроля имеет возможность диагностировать дефекты на глубине до 100 мм, протяженностью (диаметром) не более 2 мм.

Система корректно функционирует как в полевых, так и в лабораторных условиях, выдавая результаты измерений и контроля в удобной для оператора форме.

Метрологическое обеспечение процесса контроля осуществляется непрерывно методом регулярных калибровок и юстировок, проводимых перед проведением контрольно-измерительных процедур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников В.В. Контроль качества сварных соединений: учебник для студентов . – 5-е изд. – М: Академия, 2016. – 208 с.
2. Коновалов А.Б., Кириленко А.Л., Аввакумов М.В. Сварные соединения: Учебное пособие. – ГОУВПО СПбГТУРП. – СПб., 2010. – 97 с.
3. Малкина И.В. Контроль качества сварных соединений конструкций канатных дорог // Машиностроение: инновационные аспекты развития: Материалы международной научно-практической конференции. – С-Пб: СПбФ НИЦ МС, 2019. – №2. – С. 179-183.
4. Исследовательские испытания метода ультразвукового контроля с использованием фазированных решеток // Е.Г. Степанов, К.В. Ермаков, И.Л. Вялых, Л.А. Мухаметшина. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovatel'skie-ispytaniya-metoda-ultrazvukovogo-kontrolya-s-ispolzovaniem-fazirovannyh-eshetok#:~:text=В%20общем%20виде%20принцип%20ультразвукового,числа%20преобразователей%20в%20фазированном%20датчике> (дата обращения 23.03.2021).
5. Виды сварных соединений и швов: <https://svarkaprosto.ru/tehnologii/vidy-svarnyh-soedinenij-i-shvov> (дата обращения 15.03.2021).
6. Назначение, общее устройство и классификация подвесных канатных дорог. Студопедия.нет. Информационный студенческий ресурс: https://studopedia.net/14_42900_naznachenie-obshchee-ustroystvo-i-klassifikatsiya-podvesnih-kanatnih-dorog.html (дата обращения 11.02.2021).

**IMPROVING THE QUALITY OF CONTROL OF WELDED JOINTS
IN THE PRODUCTION OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS**

© 2021 I.V. Malkina, D.V. Zhdanov

Samara State Technical University

The purpose of the work is to develop an automated quality control system for welded joints of cable car structures designed and manufactured at the Skado LLC enterprise (Samara) in order to improve the quality of control. The analysis of requirements for welded structures and welded joints of cable cars is carried out, methods of control of welded joints are considered. A block diagram of an automated system for quality control of welded joints based on the method of ultrasonic testing has been developed. The analysis of ultrasonic sensors on phased arrays is carried out. The sensors and actuators of the system are selected. A scheme for interfacing system elements with a programmable logic controller has been developed. The structure of the system and the scheme of interfacing the system elements with the programmable logic controller are described. A method for performing control has been developed.

Key words: cable car structures, welded joint, welded joint, ultrasonic inspection, ultrasonic flaw detector, automated system, measurement error.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-3-40-46