ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

DOI: 10.53078/20778481_2023_3_144

УДК 621.791

С. В. БОЛОТОВ, *канд. техн. наук*, *доц.*
К. В. ЗАХАРЧЕНКОВ, *канд. техн. наук*
В. П. КУЛИКОВ, *д-р техн. наук*, *проф.*
Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДУГОВОЙ СВАРКИ

Аннотация

Приведено описание функциональных возможностей, структуры, аппаратной части и программного обеспечения автоматизированной системы контроля качества дуговой сварки. Представлены результаты производственных испытаний автоматизированной системы.

Ключевые слова:

автоматизированная система, дуговая сварка, контроль качества, регистратор, паспорт сварного шва.

Для цитирования:

Болотов, С. В. Автоматизированная система контроля качества дуговой сварки / С. В. Болотов, К. В. Захарченков, В. П. Куликов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 3 (80). – С. 144–152.

Введение

Одной из основных задач предприятий и организаций, выполняющих сварочные работы, является повышение качества сварных соединений. Обеспечить качественное выполнение сварочных работ возможно при выполнении следующих условий.

1. Соблюдение технологии сварки [1].
2. Квалифицированный персонал (сварщики, руководители сварочных работ).
3. Сертифицированное (аттестованное) сварочное оборудование.
4. Сертифицированные сварочные материалы.

Отдельные производители сварочного оборудования выпускают системы контроля и документирования процесса сварки: WeldQAS фирмы ESAB, Q-Data фирмы Lorch, WeldEye фирмы Kemppi, Weld Cube фирмы Fronius [2–5]. Российские производители также предлагают системы регистрации сварочных процессов. Фирма ИТС выпускает регистратор сварочных процессов РСП-102Д, а компания EVOSPARK комплектует свои сварочные аппараты системой Weldweb [6, 7]. Все вышеперечисленные системы предоставляют данные о параметрах процесса сварки, но в них отсутствует возможность контроля качества сварочных работ и документального его подтверждения. К недостаткам существующих систем относится их высокая стоимость, закрытый код, не позволяющий гибко перестроить систему под конкретное сварочное производство организации.

© Болотов С. В., Захарченков К. В., Куликов В. П., 2023

Описание автоматизированной системы

В Белорусско-Российском университете разработана автоматизированная система контроля качества дуговой сварки, предназначенная для контроля за соблюдением технологии при производстве сварочных работ на объектах повышенной опасности, документального подтверждения отсутствия отступлений от режимов сварки согласно утвержденным технологиям, учету персонала (сварщиков, руководителей сварочных работ, контролеров), учету сварочного оборудования, сварочных материалов, формированию отчетов о работе сварщиков и сварочного оборудования.

Функциональные возможности автоматизированной системы:

– радиочастотная идентификация сварщиков и сварочного оборудования позволяет проводить анализ качества дуговой сварки для каждого сварщика и каждой единицы сварочного оборудования;

– база данных инструкций на технологические процессы сварки, сварщиков, сварочного оборудования, материалов дает возможность оценивать влияние перечисленных факторов на качество дуговой сварки;

– получение с сервера заданий на сварку с рекомендуемыми диапазонами параметров режима обеспечивает автоматический контроль на регистраторе попадания параметров процессов дуговой сварки в диапазоны допустимых значений, прописанные в технологической инструкции на соответствующий сварной шов;

– регистрация сварочного тока, напряжения на дуге, температуры предварительного нагрева и температуры околошовной зоны дает возможность оценивать влияние параметров сварочных процессов на качество дуговой сварки;

– выдача звукового сообщения в случае выхода сварщиком за границы рекомендуемых режимов сварки позволяет в реальном времени реагировать на отклонение параметров режимов сварки от допустимых значений и принимать меры по улучшению качества сварных соединений;

– передача данных о параметрах режима сварки на сервер дает возможность выявлять отклонения параметров процессов дуговой сварки от допустимых значений в реальном времени с задержкой на время передачи данных с регистраторов на сервер;

– формирование отчёта о выполненных сварочных работах, отчёта о режимах сварки, отчётов о работе сварщиков и сварочного оборудования;

– выставление комплексной оценки, характеризующей качество сварки, для каждого сварного шва обеспечивает мотивацию сварщиков к повышению качества выполнения дуговой сварки;

– формирование паспорта сварного шва с комплексной информацией о месте и времени проведения сварочных работ, наименовании и маркировке сварного соединения, руководителе и производителе сварочных работ (сварщике) с номерами документов, подтверждающих их квалификацию, о сварочном оборудовании и его сертификации, о наименовании и номерах партии сварочных материалов, наименовании и номерах технологического процесса и технологической инструкции с диапазонами рекомендуемых параметров режима сварки, о графиках, максимальных, минимальных и средних значениях сварочного тока, напряжениях на дуге, температуре околошовной зоны, о комплексной оценке, характеризующей качество дуговой сварки.

Автоматизированная система содержит аппаратную и программную части (рис. 1).

Аппаратная часть автоматизированной системы представляет собой регистратор сварочных процессов (рис. 2),

который конструктивно состоит из основного блока, пульта сварщика и блока датчиков [8].



Рис. 1. Структура автоматизированной системы контроля качества дуговой сварки

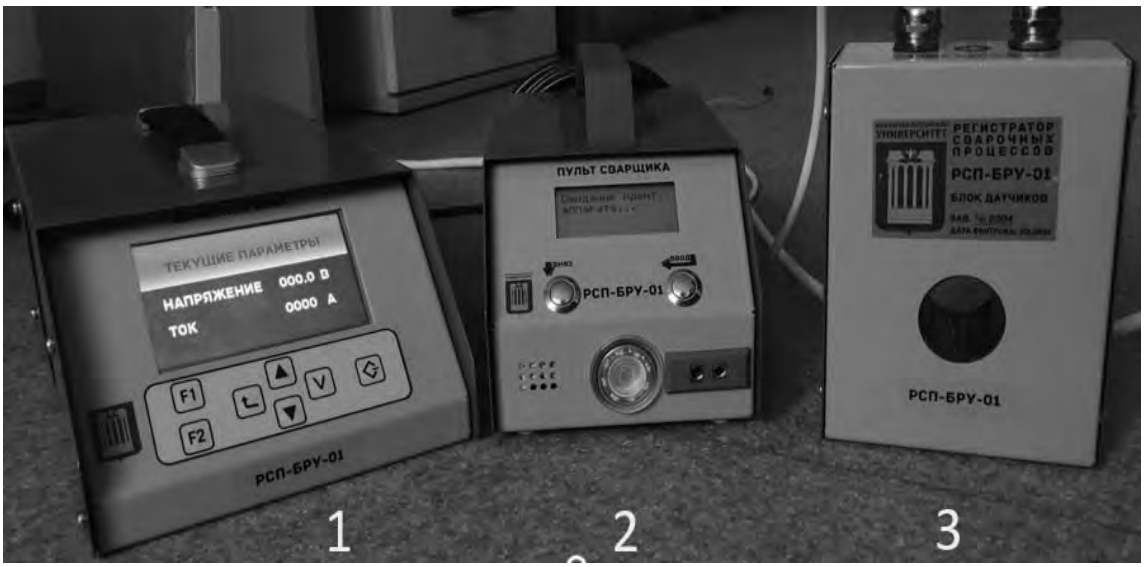


Рис. 2. Регистратор сварочных процессов РСП-БРУ-01: 1 – основной блок; 2 – пульт сварщика; 3 – блок датчиков

Основной блок располагается рядом со сварочным аппаратом и выполняет функции идентификации сварщика и сварочного оборудованию по удостоверению (брелоку) с радиочастотной меткой, выбор режима работы, обмен данными с сервером через GSM-модуль, сбор и обработку сигналов с датчиков. Пульт сварщика располагается непосредственно у места проведения сварочных работ и служит для переключения сварочных слоев, измерения температуры и влажности окружающего воздуха, контроля температуры предварительного нагрева и температуры околошовной зоны. На пульте сварщика расположена сирена, предупреждающая сварщика о выходе за рекомендованные технологическим процессом границы сварочного тока, напряжения на дуге и температуры. Блок датчиков служит для измерения мгновенных значений сварочного тока и напряжения с гальванической развязкой со сварочной цепью.

Технические характеристики регистратора приведены в табл. 1.

Табл. 1. Технические характеристики регистратора сварочных процессов РСП-БРУ-01

Наименование параметра	Значение
Входное напряжение блока (адаптера) питания	~220 В, 50 Гц
Напряжение питания регистратора	12 В
Частота сбора данных	10 кГц
Частота сохранения данных	10 Гц
Диапазон измерения сварочного тока	От 0 до 500 А
Погрешность измерения сварочного тока	±1,5 %
Диапазон измерения напряжения на дуге	От 0 до 100 В
Погрешность измерения напряжения на дуге	±1,5 %
Диапазон измерения температуры предварительного нагрева и околошовной зоны	От 0 °С до 380 °С
Погрешность измерения температуры предварительного нагрева и околошовной зоны	±5 °С
Канал передачи данных на сервер	GPRS
Способ идентификации сварщиков и оборудования	RFID 13,56 МГц
Объем энергонезависимой памяти	16 Гб
Габариты регистратора. Основной блок	395 × 175 × 120 мм
Габариты пульта сварщика	215 × 135 × 140 мм
Габариты блока датчиков	125 × 60 × 230 мм
Масса (регистратора, пульта сварщика, блока датчиков)	6,2 кг

Программная часть автоматизированной системы контроля качества дуговой сварки включает следующие основные модули [9, 10].

1. Модуль обработки данных с регистраторов, обеспечивающий формирование паспорта сварного соединения – основного документа, подтверждающего качество сварки, отчетов о работе оборудования и сварщиков, общего отчета за указанный период о соответствии качества сварных соединений технологическим инструкциям. Общий отчет за указанный период о со-

ответствии качества сварных соединений технологическим инструкциям позволяет выявить сварные соединения, по которым выявлены несоответствия, с целью дальнейших корректирующих действий. Контроль качества дуговой сварки каждого соединения автоматизированная система оценивает по усредненным с частотой 10 Гц значениям сварочного тока и напряжения на дуге. В случае выявления несоответствия сварщики выполняют необходимые действия по устранению дефектов сварки для обеспечения необходимого качества, после чего руководитель сварочных работ, мастер или контролер вносит соответствующие корректировки в паспорт сварного соединения.

2. Модуль обработки данных о сотрудниках, предназначенный для ввода данных о сварщиках, руководителях сварочных работ (мастерах) и контролерах, обеспечивает повышение качества дуговой сварки за счет учета прохождения аттестации сотрудниками, реализации персональной ответственности каждого сварщика, руководителя сварочных работ (мастера) и контролера за качество каждого сварного соединения.

3. Модуль обработки данных о технологических процессах предназначен для регистрации технологических процессов и технологических инструкций, содержащих диапазоны допустимых контролируемых параметров сварки. На основании технологических инструкций в процессе автоматизированного контроля определяется соответствие или несоответствие качества сварных соединений допускам.

4. Модуль интеллектуального контроля сварочных работ предназначен для формирования оценки контроля качества сварного соединения на основании отклонения значений параметров сварочного процесса от среднего, максимального и минимального значения, прописанных в технологических инструкциях. В данном модуле реализована интеллектуальная методика оценки качества сварного соединения.

Автоматизированная система контроля качества дуговой сварки реализована с использованием современных программных средств и технологий: библиотека React – для реализации пользовательского интерфейса системы; ASP. Net Core – для реализации основных функций обработки данных; PostgreSQL – для хранения данных; EntityFramework – для обмена данными между базой данных и функциями обработки данных; LabView – для сбора и обработки данных с регистратора сварочных процессов [11].

Результаты испытаний

Автоматизированная система прошла производственные испытания при ручной дуговой сварке контрольных образцов неповоротных стыков труб на производственной базе ПУ «Нефтеспецстрой». Сварка производилась аттестованными сварщиками на сертифицированном сварочном оборудовании TransPocket 2500 сертифицированными электродами LB-52 U.

Допуски на контролируемые параметры сварки для различных операционных технологических карт представлены в табл. 2.

На рис. 3 приведен фрагмент паспорта сварного шва при сварке корневого слоя неповоротного стыка труб 159 × 6 мм. Согласно операционной технологической карте НСС-ОТКС-РД-МН-159-6, контролю подвергалась температура предварительного нагрева области сварного соединения, которая не должна быть не ниже 50 °С, и сила сварочного тока, которая должна лежать в диапазоне 70…90 А при сварке корневого слоя и 80…120 А при сварке заполняющего/облицовочного слоя, напряжение на дуге при ручной дуговой сварке не нормируется, но подвергается контролю. Анализ паспорта сварного соединения показывает, что допуски на

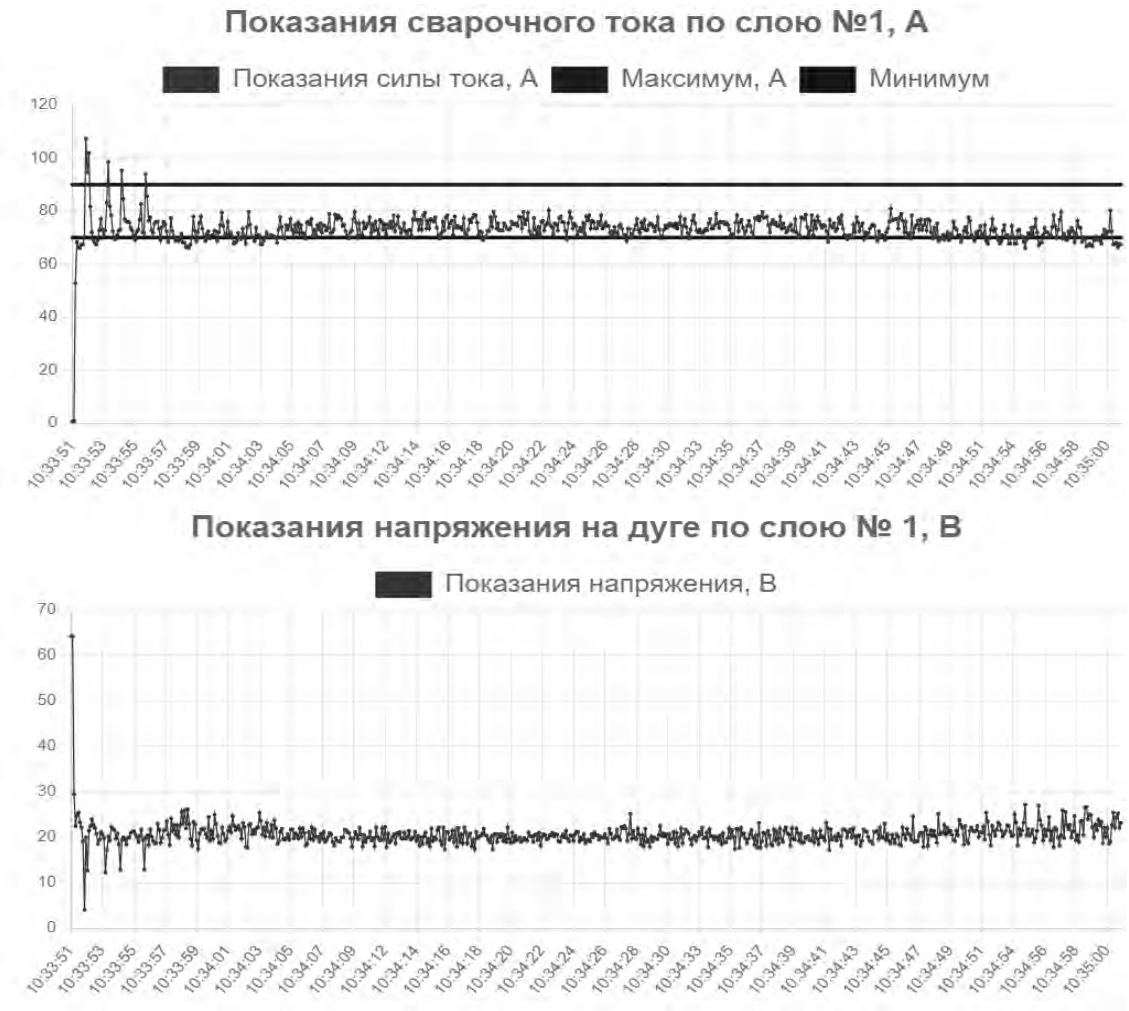
контролируемые параметры соблюдены, длительных выходов за рекомендуемые границы не зафиксировано. Суммарная оценка 8,6 свидетельствует о высоком качестве сварного соединения, что подтверждается макрошлифами сварного соединения (рис. 4). Дефектов в выполненном сварном шве не обнаружено.

Табл. 2. Допуски на контролируемые параметры

Номер прохода	Наименование слоя	Температура предварительного подогрева, °С		Сила тока, А		Напряжение на дуге, В		Скорость сварки, м/ч	
		min	max	min	max	min	max	min	max
Операционные технологические карты: НСС-ОТКС-РД-МН-89-5, НСС-ОТКС-РД-МН-114-5, НСС-ОТКС-РД-МН-159-6, НСС-ОТКС-РД-МН-219-6									
1	Корневой	50	–	70	90	–	–	–	–
2	Заполняющий/облицовочный	–	–	80	120	–	–	–	–
Операционные технологические карты: НСС-ОТКС-РД-МН-89-8, НСС-ОТКС-РД-МН-273-8									
1	Корневой	50	–	70	90	–	–	–	–
2	Заполняющий	–	–	80	120	–	–	–	–
3, 4	Облицовочный	–	–	80	120	–	–	–	–
Операционные технологические карты: НСС-ОТКС-РД-МН-89-11									
1	Корневой	50	–	70	90	–	–	–	–
2–4	Заполняющий	–	–	80	120	–	–	–	–
5–7	Облицовочный	–	–	80	120	–	–	–	–

Заключение

Автоматизированная система контроля качества дуговой сварки позволяет в режиме реального времени осуществлять мониторинг сварочного процесса на соответствие установленным технологической инструкцией параметрам режима сварки, своевременно предупреждать сварщика о выходе за рекомендованные границы режимов для предотвращения образования дефектов сварных соединений. Идентификация на регистраторе сварщика и сварочного оборудования позволяет исключить выполнение сварки неаттестованным персоналом, а также на оборудовании, не прошедшем сертификацию. Система обеспечивает возможность учета сертифицированных сварочных материалов, используемых при выполнении дуговой сварки. Преимуществом автоматизированной системы перед аналогами является формирование итогового документа – паспорта сварного соединения, подтверждающего качество дуговой сварки. Контроль в реальном времени параметров сварочных процессов, аттестации персонала, сертификации сварочного оборудования и материалов обеспечивает повышение эффективности контроля качества дуговой сварки.



Наименование параметра	Значение
Время начала сварки	10:33:51
Время окончания сварки	10:35:01
Суммарное время сварки, мин	01:10
Суммарное время длительного (св. 5 с) выхода параметров за пределы допустимых значений, мин	0

Наименование параметра	Значение			Обеспечение допуска
	минимальное	максимальное	среднее	
Температура предварительного подогрева, °С	–	–	55,1	Да
Сварочный ток, А	0,6	107,3	73,2	Да
Напряжение на дуге, В	4,1	64,2	20,7	Да
Оценка	**8,6**			

Рис. 3. Фрагмент паспорта сварного шва

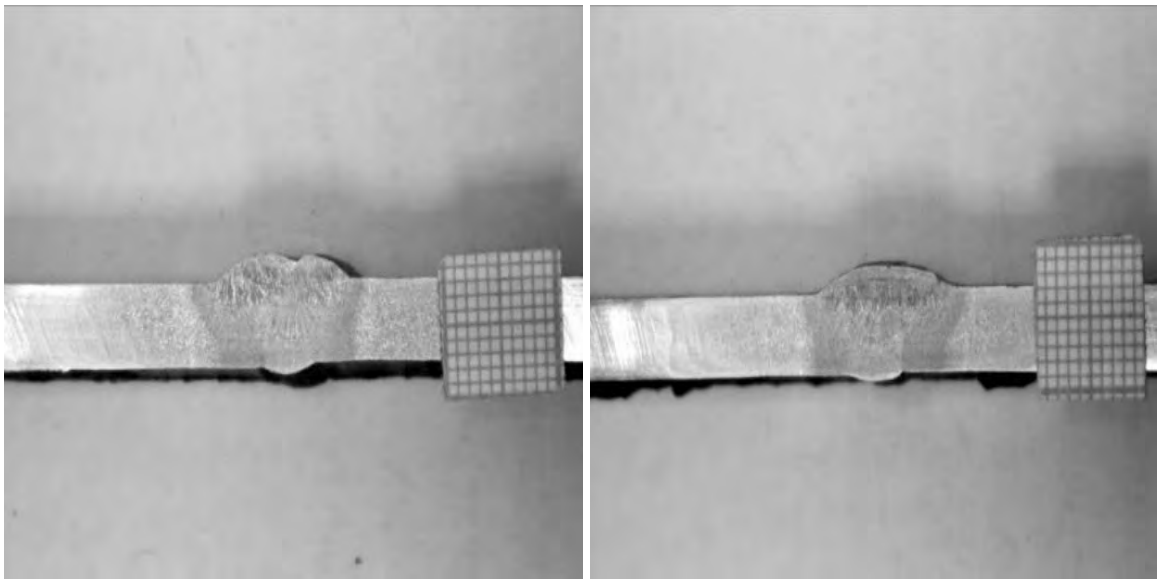


Рис. 4. Макрошлифы сварного соединения труба + труба 159 × 6

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Куликов, В. П.** Технология сварки плавлением и термической резки: учебник / В. П. Куликов. – 2 изд., стер. – Минск : Новое знание, 2018. – 416 с.

2. WeldQAS [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании ESAB. – Режим доступа: https://www.esab.ru/ru/ru/products/digital-solutions/quality-assurance/weldqas.cfm. – Дата доступа: 29.06.2023.

3. Q-Data [Electronic resource] // Lorch Smart Welding. – Mode of access: https://www.lorch.eu/en/productworld/q-data. – Data of access: 15.06.2023.

4. WELDING MANAGEMENT SOFTWARE KEMPPI WELD EYE [Electronic resource] // KEMPPI OY Official Website. – Mode of access: https://www.kemppi.com/en-US/offering/family/weldeye. – Data of access: 16.06.2023.

5. WELDCUBE [Electronic resource] // Fronius Perfect Welding. – Mode of access: https://www.fronius.com/en/welding-technology/products/digital-products/digital-products/weldcube/weldcube-basic. – Data of access: 19.06.2023.

6. Регистратор параметров сварочных процессов РСП-102Д [Электронный ресурс] // Инженерный и технологический центр. – Режим доступа: https://npfets.ru/catalog/ets/prochee/registratoru/registrator_parametrov_svarochnuh_processov_rsp_102d. – Дата доступа: 19.04.2023.

7. Система сетевого мониторинга Weld Web: выводим сварку на новый уровень [Электронный ресурс] // DeltaSVAR. – Режим доступа: https://www.deltasvar.ru/biblioteka/novosti/523-2. – Дата доступа: 20.04.2023.

8. **Болотов, С. В.** Регистратор параметров сварочных процессов РСП-БРУ-01 / С. В. Болотов // Современные проблемы машиностроения: сб. тр. XVI Междунар. науч.-техн. конф. – Томск: ТПУ, 2021. – С. 197–198.

9. Intelligent Welding Control System [Electronic resource] / S. V. Bolotov [et al.] // Russian Advances in Fuzzy Systems and Soft Computing: Selected Contributions to the 10th International Conference «Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence» (IMSC-2021), Kolomna, 17–20 May, 2021. – Kolomna, 2021. – Mode of access: http://ceur-ws.org/Vol-2965/paper35.pdf. – Data of access: 17.12.2021.

10. Концепция создания информационных систем автоматического контроля работы сварщиков / С. В. Болотов [и др.] // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте (ИММВ-2022): сб. науч. тр. XI Междунар. науч.-практ. конф., Коломна, 16–19 мая 2022 г.: в 2 т. – Коломна, 2022. – Т. 2. – С. 257–268.

11. Технология повышения эффективности контроля сварочных процессов в интеллектуальной системе WELDINGCONTROL / С. В. Болотов [и др.] // Энергетика, информатика, инновации – 2021: сб. тр. XI Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. – 2021. – Т. 2. – С. 227–230.

Статья сдана в редакцию 14 июля 2023 года

Контакты:
s.v.bolotov@mail.ru (Болотов Сергей Владимирович);
zaharchenkovkv@mail.ru (Захарченков Константин Васильевич);
kafoitsp@gmail.com (Куликов Валерий Петрович).

S. V. BOLOTOV*, *K. V. ZAKHARCHENKOV*, *V. P. KULIKOV

AUTOMATED ARC WELDING QUALITY CONTROL SYSTEM

Abstract

Functional capabilities, structure, hardware and software of the automated arc welding quality control system are described. Results of production tests of the automated system are presented.

Keywords:

automated system, arc welding, quality control, recording system, welding seam passport.

For citation:

Bolotov, S. V. Automated arc welding quality control system / S. V. Bolotov, K.V. Zakharchenkov, V. P. Kulikov // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2023. – № 3 (80). – P. 144–152.