

УДК 621.791.762

DOI:

Шевчук С. А., Жерносеков А. М., Осинська С. В., Макаренко Н. О.**ВИМІР ТЕМПЕРАТУРИ РОБОЧОЇ ЗОНИ ЗВАРНОГО СТИКУ**

Контактне стикове зварювання займає одне з провідних місць при створенні високо-технологічних виробів сучасного виробництва, наприклад, високоміцних рейок [1, 2]. Тому питання щодо управління процесом контактного стикового зварювання, а також створення методів і засобів для підвищення його ефективності, досить актуальні.

При створенні комплексу обладнання для розробки технології контактного стикового зварювання зразків високоміцної сталі зі складною геометрією із зразками вольфрамкобальтових сплавів, виникає необхідність в постійному контролі й управлінні температурою зварного стику під час зварювання. Для отримання інформації про температуру нагрівання зварного з'єднання під час зварювання можна використовувати пристрої, які здійснюють вимірювання теплового випромінювання в області зварного стику контактним або безконтактним методом. Контактний метод вимірювання теплового випромінювання малоприматний, в силу неможливості забезпечувати постійний і надійний механічний контакт зі зварювальним виробом в зоні зварного стику. Безконтактний метод вимірювання теплового випромінювання є в цьому випадку найбільш придатним.

Метою роботи є створення безконтактного вимірювача температури зварного стику з подальшою інтеграцією його в систему управління на базі зварювальної машини для контактного стикового зварювання.

В експериментальних дослідженнях застосовувалася машина для контактного стикового зварювання МТ-2202, в силу своєї відносної простоти, доступності та надійності [3]. Спочатку, дослідні зразки зварювалися з візуальним контролем температури зварного стику, тому що штатна система управління зварювальної машини МТ-2202 типу РКС-502 не дозволяє здійснювати оперативний контроль і управління температурою зварного стику.

Серійно випускаються деякими фірмами в промисловому виконанні пристрої, що дозволяють реалізувати безконтактний метод вимірювання інтенсивності теплового випромінювання з урахуванням специфічних особливостей апаратури контактного стикового зварювання. До основних особливостей апаратури для контактного стикового зварювання можна віднести: відносно невелику по ширині робочу зону; наявність досить великого магнітного контуру зі значною напруженістю магнітного поля; відносно невеликі розміри (по ширині) зварювальної машини МТ-2202.

З урахуванням зазначених основних особливостей проводився первинний аналіз робочих параметрів продукції, що випускається для безконтактного вимірювання інтенсивності теплового випромінювання. Враховувалася також вартість і відносна доступність апаратури.

Встановлено, що пристрій для безконтактного вимірювання температури в зоні зварного стику повинен мати невеликі габарити і масу, бути максимально захищений від впливу сильних зовнішніх магнітних полів, а також високої температури навколишнього середовища, забруднень та інших негативних чинників, присутніх при стиковому контактному зварюванні у виробничих умовах. Також, безконтактний вимірювач температури в зоні зварного стику не повинен значно збільшувати габаритні розміри зварювальної машини і не погіршувати огляд зони для зварника. Однією з умов є наявність сигналу постійного струму в діапазоні 0 ... 10 В пропорційного інтенсивності теплового випромінювання (температурі) зварного стику, який потрапляє в поле зору безконтактного вимірювача. Визначені два типи конструктивного виконання безконтактних вимірювачів, придатних для інтегрування в машину для контактного стикового зварювання МТ-2202.

Перший тип – безконтактні термопари (Infrared Thermocouples), що випускаються деякими виробниками, такими як, наприклад, OMEGA, KOBOLD, CHINO. Термопари конструктивно виконані в металевому корпусі і мають ергономічну циліндричну форму. Існують версії термопар з різною відстанню до зони з вимірюваною температурою, а також з можливістю зручного механічного юстування і жорсткої фіксації в робочому положенні. У термопарах є виходи з аналоговими і цифровими сигналами для підключення до зовнішніх пристроїв [4], [5], [6].

Другий тип безконтактних вимірювачів температури - з передачею первинної інформації про теплове випромінювання за допомогою спеціального світловода (Fiber Optic Radiation Thermometer). Це найбільш зручне конструктивне виконання безконтактного вимірювача. Існують версії на різні температурні діапазони, а також в різному конструктивному виконанні [7], [8]. Перетворювальні блоки даного типу мають виходи з аналоговими і цифровими сигналами для підключення до зовнішніх пристроїв.

Обидва типи вимірювачів є для ринку України «екзотичною» апаратурою і вельми дефіцитні, тому термін поставки їх в Україну відчутно великий. Дуже значна також їх остаточна вартість, тому що ціни, наведені на сайтах виробників, є скоріше орієнтовними.

Аналіз літератури в області безконтактного вимірювання температури, а також оцінка технічного рівня апаратури показав досить істотний розкид в питаннях застосування типів безконтактних датчиків чутливих до інтенсивності теплового випромінювання нагрітих тіл і об'єктів, довжин хвиль, що сприймаються цими чутливими елементами, а також їх швидкодією [9]. З найбільш доступних на даний момент безконтактних датчиків теплового випромінювання з найбільшою швидкодією і, як наслідок, найменшою завадостійкістю мають фотодіоди на різній основі (Photovoltaic detector) - 1...5 мс, середню швидкодію і високу завадостійкість мають так звані «термопіл» сенсори (Thermopile) [10] – 5...50 мс, мінімальну швидкодію і середню завадостійкість мають фоторезистори (Photoconductive detector) – близько 50...300 мс. Тому, оптимальним варіантом сенсора у вхідному ланцюзі макета дослідного зразка безконтактного вимірювача температури може бути фотодіод або «термопіл» сенсор. Так як в нашому випадку висока швидкодія не потрібна, а важлива максимальна завадостійкість, вибір був зупинений на «термопіл» сенсорі.

«Термопіл» сенсори досить широко і давно представлені на світовому ринку значною номенклатурою і від різних виробників в досить різному конструктивному виконанні і ціновому діапазоні. Реально доступні на момент виготовлення дослідного зразка безконтактного вимірювача були вироби фірми MEASUREMENT SPECIALTIES™ серій TS118 і TS318. Найбільшою чутливістю в даних серіях із зручним малогабаритним корпусом є сенсори типу TS318-11C55 [11], один з таких сенсорів був використаний при виготовленні дослідного зразка безконтактного вимірювача температури зони зварного стику.

Дослідний зразок вимірювача з сенсором типу TS318-11C55 (рис.1, а), забезпечує безконтактне вимірювання температури в районі стику. По суті, це пірометр часткового випромінювання [12], що сприймає теплове випромінювання робочої зони виробу в діапазоні довжин хвиль 7,5 ... 13,5 мкм і перетворює теплову енергію в зоні зварного стику в постійну напругу, величина якої відповідає максимальній температурі в зоні зварного стику в полі зору вимірювача. Часткова компенсація теплового впливу робочої зони, а також захист дослідного зразка безконтактного вимірювача температури від зовнішніх впливів здійснена шляхом поміщення виготовленого макета в металевий захисний корпус (рис. 1, б).

Принцип дії дослідного зразка вимірювача заснований на залежності інтенсивності ІК (інфрачервоного випромінювання) робочої зони виробу від температури його нагріву зварювальним струмом. Теплове ІК випромінювання робочої області зварюваного зразка сприймається вхідним «термопіл» сенсором TS318-11C55, перетворюється їм в постійну напругу невеликої амплітуди і подається на вхід вбудованого в дослідний зразок вимірювача термостабільного, високоточного інструментального підсилювача AD620BN [13], який здійснює

посилення сигналу з сенсора до величини необхідної для подачі на вхід зовнішнього блоку вимірювання, управління і індикації зварювальною машиною. На платі дослідного зразка безконтактного вимірювача температури встановлені також необхідні ланцюги живлення, фільтрації і індикації (рис. 2). Оптична система для зміни кута зору дослідного зразка, а також для зміни сприйманого ІК частотного спектра не застосовувалася.

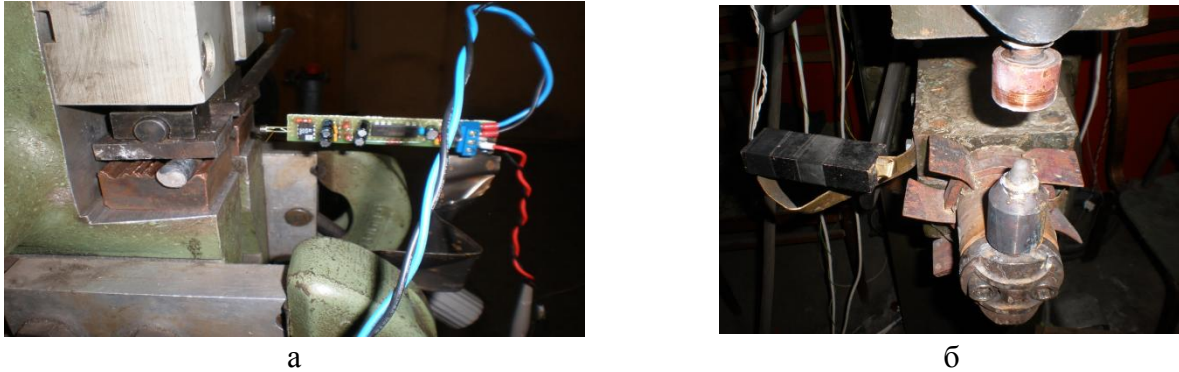


Рис. 1. Дослідний зразок вимірювача з сенсором типу TS318-11C55: а – без захисного корпусу; б – в металевому захисному корпусі

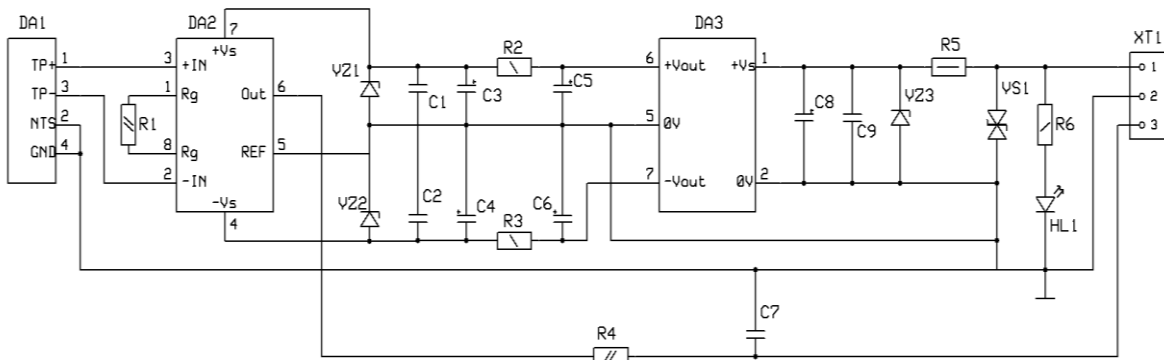


Рис. 2. Електрична схема безконтактного вимірювача.

Завадостійкість і швидкодія виготовленого макета безконтактного вимірювача інтенсивності теплового випромінювання (температури) можна оцінити виходячи з осцилограми (рис. 3).

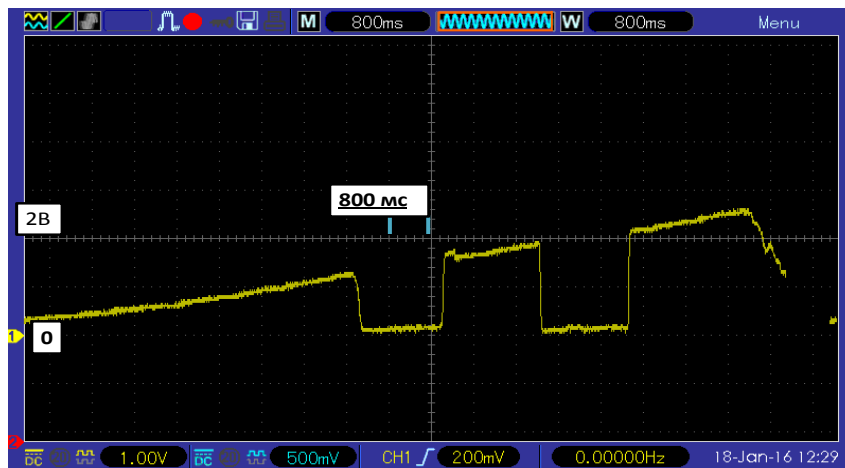


Рис. 3. Осцилограма вихідної напруги безконтактного вимірювача

При нагріванні зразка (рис. 1, а) електричним струмом до приблизно 800 °С, теплове випромінювання від нагрітого зразка до безконтактного вимірювача, механічно переривалося непроникним для теплового випромінювання переривачем.

Постійна часу дослідного зразка безконтактного вимірювача температури не більше 30 ... 40 мс. Шуми і наведення під час роботи зварювальної машини в вихідному сигналі безконтактного вимірювача температури мінімальні. Деякі параметри виготовленого дослідного зразка, отримані експериментальним шляхом, наведені на рис. 4, та рис. 5.

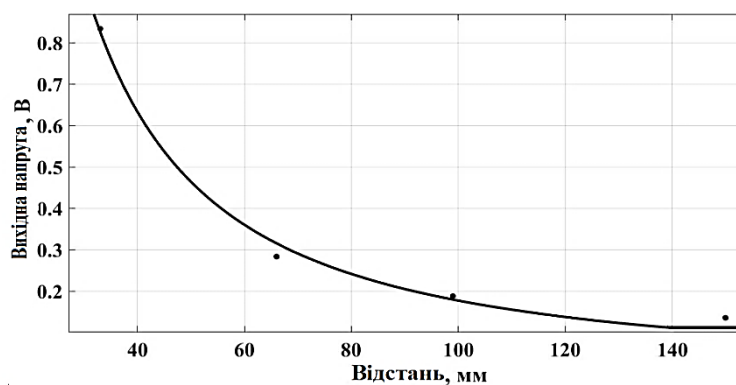


Рис. 4. Залежність вихідної напруги безконтактного вимірювача температури від відстані до джерела тепла

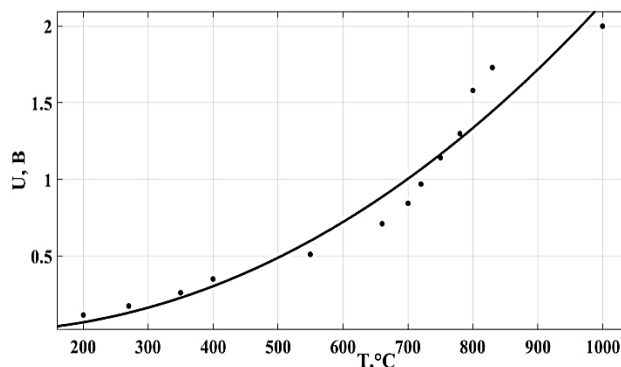


Рис. 5. Залежність вихідної напруги вимірювача при постійній відстані до джерела тепла від температури

При робочій відстані (рис. 1, б), на якому встановлений дослідний зразок безконтактного вимірювача в зварювальної машині, приблизно 100 мм., температурі стику при 1000 °С відповідає вихідна напруга вимірювача 2 В постійного струму.

За своїми основними функціональними можливостями розроблений зразок безконтактного вимірювача переверщує безконтактний інфрачервоний вимірювальний комплекс аналогічного призначення, що застосовується в блоках термообробки зварювальних машин К-648, К-766, К-802 [14].

Експлуатація дослідного зразка безконтактного вимірювача температури стику, в складі зварювальної машини МТ-2202 при зварюванні реальних зразків, показала його високу стійкість і повторюваність вихідних результатів від зварювання до зварювання. У той же час, виявлено істотний нагрів його корпусу від теплового ІЧ випромінювання. Усунути цей недолік можна шляхом поміщення безконтактного вимірювача в термобокс з примусовим повітряним або водяним охолодженням. Тому, найбільш доцільне застосування в даному зварювальному комплексі при масовому, промисловому зварюванні важкозварювальних виробів, безконтактного вимірювача інтенсивності теплового ІЧ випромінювання з передачею

первинної інформації про теплове випромінювання за допомогою спеціального світловода (Fiber Optic Radiation Thermometer). Застосування інших типів безконтактних вимірювачів може розглядатися лише як більш низькобюджетний варіант.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження дозволили зробити наступні основні висновки:

1. Температуру нагріву зварного з'єднання можна ефективно використовувати в якості параметра системи управління при зварюванні.
2. Безконтактний метод вимірювання температури зварного стику під час зварювання, можливий і виправданий в умовах не тільки експериментального виробництва, але і в масовому виробництві.
3. З урахуванням специфічних особливостей апаратури для контактної стикової зварювання, при промисловому, масовому випуску зварювальних виробів, застосування серійних, безконтактних вимірювачів температури в зоні зварного стику, є найбільш переважним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучук-Яценко С. И., Дидковский А. В., Швецов В. И., Руденко П. М., Антипин Е. В. Контактная стыковая сварка высокопрочных рельсов современного производства. *Автоматическая сварка*. 2016. № 5–6. С. 7–16. DOI: <https://doi.org/10.15407/as2016.06.01>
2. Кучук-Яценко С. И., Руденко П. М., Гавриш В. С., Дидковский А. В., Антипин Е. В. Статистическое управление процессом контактной стыковой сварки рельсов. Двухуровневая система управления. *Автоматическая сварка*. 2016. № 5–6. С. 17–20. DOI: <https://doi.org/10.15407/as2016.06.02>
3. Регуляторы контактной сварки РКС-502 и РКС-801. URL: http://www.svarshov.ru/2013-12-25-10-54-42/kontaktnaya-svarka/regulatory-kontaktnoj-svarki/download/1304_db4732083edc83623374321d837df4fb.html (дата звернення: 17.03.2020).
4. IR-SA Series Online Infrared Radiation Thermometer. URL: http://www.chino.co.jp/english/download/pdf/IR-SA_PSE-603B.pdf (дата звернення: 17.03.2020).
5. KOBOLD. URL: <http://www.kobold.com/uploads/files/tir-s-f-gb-temperature.pdf> (дата звернення: 25.02.2020).
6. PC configurable Infrared Temperature Sensor. <https://www.omega.com/en-us/sensors-and-sensing-equipment/temperature/sensors/c/infrared-sensors> (дата звернення: 17.03.2020).
7. IR-FA Series Fiber Optic Radiation Thermometer. URL: http://www.chino.co.jp/english/download/pdf/IR-FA_PSE-378F.pdf (дата звернення: 27.01.2020).
8. High Speed Industrial Fiber Optic Infrared Transmitter. URL: http://www.omega.com/temperature/pdf/OS4000_SERIES.pdf (дата звернення: 27.01.2020).
9. Wotiz R. Infrared Thermal Detectors. *Circuit Cellar*. 2012, 260, pp. 55–56.
10. Application Brief 6: Thermopile Time Constant Determination, 2020. URL: <http://dexterresearch.com/services> (дата звернення: 17.01.2020).
11. TS318-11C55. URL: <http://www.te.com/sensorsolutions/TS318-11C55.pdf> (дата звернення: 17.01.2020).
12. Schilz J. Thermophysical minima Thermoelectric Infrared Sensors (Thermopiles) For Remote Temperature Measurements. Pyrometry, NDIR, PerkinElmer Optoelectronics, 2000. P. 7.
13. AD620. URL: <http://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/datasheets/AD620.pdf> (дата звернення: 17.03.2020).
14. Широковский Р. М., Нестерова Р. М. Устройства для измерения температуры нагрева сварного соединения при термообработке. *Контактная стыковая сварка сопротивлением с формированием соединений: Сборник научных трудов*. Киев, 1988. С. 63–68.

REFERENCES

1. Kuchuk-Yatsenko S. I., Didkovsky A. V., Shvets V. I., Rudenko P. M., Antipin E. V. Contact butt welding of high-strength rails of modern production. *Automatic welding*. 2016, No. 5–6, pp. 7–16. DOI: <https://doi.org/10.15407/as2016.06.01> (in Russian).
2. Kuchuk-Yatsenko S. I., Rudenko P. M., Gavriush V. S., Didkovsky A. V., Antipin E. V. Statistical control of the process of flash butt welding of rails. Two-level control system. *Automatic welding*. 2016, No. 5–6, pp. 17–20. DOI: <https://doi.org/10.15407/as2016.06.02> (in Russian).
3. Regulators of resistance welding RKS-502 and RKS-801 [Online]. URL: http://www.svarshov.ru/2013-12-25-10-54-42/kontaktnaya-svarka/regulatory-kontaktnoj-svarki/download/1304_db4732083edc83623374321d837df4fb.html (in Russian).
4. IR-SA Series Online Infrared Radiation Thermometer [Online]. URL: http://www.chino.co.jp/english/download/pdf/IR-SA_PSE-603B.pdf.
5. KOBOLD [Online]. URL: <http://www.kobold.com/uploads/files/tir-s-f-gb-temperature.pdf>.

6. PC configurable Infrared Temperature Sensor [Online]. URL: <https://www.omega.com/en-us/sensors-and-sensing-equipment/temperature/sensors/c/infrared-sensors>
7. IR-FA Series Fiber Optic Radiation Thermometer [Online]. URL: http://www.chino.co.jp/english/download/pdf/IR-FA_PSE-378F.pdf
8. High Speed Industrial Fiber Optic Infrared Transmitter [Online]. URL: http://www.omega.com/temperature/pdf/OS4000_SERIES.pdf
9. Wotiz R. Infrared Thermal Detectors. Circuit Cellar 260.2012. P. 55–56.
10. Application Brief 6: Thermopile Time Constant Determination, 2020 [Online]. URL: <http://dexterresearch.com/services>
11. TS318-11C55 [Online]. URL: <http://www.te.com/sensorsolutions/TS318-11C55.pdf>
12. Schilz J. Thermophysica minima Thermoelectric Infrared Sensors (Thermopiles) For Remote Temperature Measurements. Pyrometry, NDIR, PerkinElmer Optoelectronics, 2000. P. 7.
13. AD620 [Online]. URL: <http://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/datasheets/AD620.pdf>
14. Shirokovskiy R. M., Nesterova R. M. Devices for measuring the heating temperature of a welded joint during heat treatment. *Contact resistance welding with the formation of joints: Collection of scientific works*. Kyiv, 1988, pp. 63–68. (in Russian).

АВТОРИ / АВТОРЫ / AUTORS

Шевчук С. А. – провідний інж.-електр. ІЕЗ ім. Є. О. Патона;
Шевчук С. А. – ведущий инж.-электр. ИЭС им. Е. О. Патона;
Shevchuk S. A. – leading electrical engineer IEW them E. O. Paton.
E-mail: sh_serg@ukr.net

Жерносеков А. М. – д-р техн. наук, зав. відділу ІЕЗ ім. Є. О. Патона;
Жерносеков А. М. – д-р техн. наук, зав. отделом ИЭС им. Е. О. Патона;
Zhernosekov A. M. – doctor of technical sciences, head. department of IEW them E. O. Paton.
E-mail: maximan23@i.ua

Осинська С. В. – провідний інж.-техн. ІЕЗ ім. Є. О. Патона;
Осинская С. В. – ведущий инж.-техн. ИЭС им. Е. О. Патона;
Osinskaya S. V. – leading technical engineer. IEW them. E. O. Paton.
E-mail: yu.kon@paton.kiev.ne

Макаренко Н. О. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОТіЗВ ДДМА;
Макаренко Н. А. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОТіЗВ ДГМА;
Makarenko N. A. – doctor of technical sciences, professor DSEA.
E-mail: sp@dgma.donetsk.ua

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (ІЕЗ ім. Є. О. Патона), м. Київ.
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ИЭС им. Е. О. Патона), г. Киев.
Institute of Electric Welding E. O. Patona, NAS of Ukraine (IEW them. E. O. Patona), Kiev.

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ.
Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА), г. Краматорск.
Donbass State Engineering Academy (DSEA), Kramatorsk.

АНОТАЦІЯ / АННОТАЦИЯ / ANNOTATION

Шевчук С. А., Жерносеков А. М., Осинська С. В., Макаренко Н. О. Вимір температури робочої зони зварного стику. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2020. № 1 (48).

Для отримання інформації про температуру нагрівання зварного з'єднання під час зварювання можна використовувати пристрої, які здійснюють вимірювання теплового випромінювання в області зварного стику контактним або безконтактним методом. Контактний метод вимірювання теплового випромінювання малопродатний, в силу неможливості забезпечувати постійний і надійний механічний контакт зі зварюваним виробом в зоні зварного стику, не тільки при експериментальному, дослідному, але і при масовому виробництві виробів. Безконтактний метод вимірювання теплового випромінювання є більш доцільним. В роботі розглянуті питання створення безконтактного вимірювача температури зварного стику під час зварювання, з подальшою інтеграці-

єю його в систему управління на базі зварювальної машини для контактної стикової зварювання. Принцип дії дослідного зразка вимірювача заснований на залежності інтенсивності інфрачервоного випромінювання робочої зони виробу від температури його нагріву зварювальним струмом. Дослідний зразок вимірювача з сенсором типу TS318-11C55 забезпечує безконтактне вимірювання температури стику в умовах проведення зварювання на машині МТ-2202. Вимірювач представляє пірометр, що сприймає теплове випромінювання робочої зони зварювального виробу в діапазоні довжин хвиль 7,5 ... 13,5 мкм, і перетворює теплову енергію в постійну напругу, величина якої відповідає максимальній температурі в зоні зварного стику. Отримані залежності вихідної напруги безконтактного вимірювача від відстані до джерела тепла та від температури. Часткова компенсація теплового впливу, а також захист вхідної частини дослідного зразка безконтактного вимірювача температури від зовнішніх впливів здійснена шляхом поміщення виготовленого макета в захисний корпус.

Ключові слова: вимірювання температури, стикове зварювання, сталь, термопара, система управління, сенсори, швидкодія, завадостійкість.

Шевчук С. А., Жерносеков А. М., Осинская С. В., Макаренко Н. А. Измерение температуры рабочей зоны сварного стыка. Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. 2020. № 1 (48).

Для получения информации о температуре нагрева сварного соединения при сварке можно использовать устройства, которые осуществляют измерения теплового излучения в области сварного стыка контактными или бесконтактными методами. Контактный метод измерения теплового излучения малоприменим, в силу невозможности обеспечивать постоянный и надежный механический контакт со свариваемым изделием в зоне сварного стыка, не только при экспериментальном, опытно-промышленном, но и при массовом производстве изделий. Бесконтактный метод измерения теплового излучения является более целесообразным. В работе рассмотрены вопросы создания бесконтактного измерителя температуры сварного стыка при сварке, с последующей интеграцией его в систему управления на базе сварочной машины для контактной стыковой сварки.

Принцип действия опытного образца измерителя основан на зависимости интенсивности инфракрасного излучения рабочей зоны изделия от температуры его нагрева сварочным током. Опытный образец измерителя с сенсором типа TS318-11C55 обеспечивает бесконтактное измерение температуры стыка в условиях проведения сварки на машине МТ-2202. Измеритель представляет пирометр, воспринимающий тепловое излучение рабочей зоны сварного изделия в диапазоне длин волн 7,5 ... 13,5 мкм, и превращающий тепловую энергию в постоянное напряжение, величина которого соответствует максимальной температуре в зоне сварного стыка. Получены зависимости выходного напряжения бесконтактного измерителя от расстояния до источника тепла и от температуры. Частичная компенсация теплового воздействия, а также защита входной части опытного образца бесконтактного измерителя температуры от внешних воздействий осуществлена путем помещения изготовленного макета в защитный корпус.

Ключевые слова: измерение температуры, стыковая сварка, сталь, термопара, система управления, сенсоры, быстродействие, помехоустойчивость.

Shevchuk S. A., Zhernosiekov A. M., Osinskaya S. V., Makarenko N. A. Measurement of the temperature of the working area of the weld. Herald of the DSEA. 2020. No. 1(48).

To obtain information on the heating temperature of the welded joint during welding the devices that measure the thermal radiation in the weld area by the contact or non-contact method can be used. The contact method for measuring thermal radiation is little avail, due to the inability to provide constant and reliable mechanical contact with the welded product in the welded joint zone, in not only experimental, checking but also industrial manufacture of products. A non-contact method of measuring thermal radiation is more appropriate. The paper considers the creation of a non-contact temperature measurer of a welded joint during welding, with its subsequent embedded into a control system based on a welding machine for flash butt welding. The principle of operation of the measurer is based on the dependence of the intensity of infrared radiation of the working zone of the workpiece on the temperature of its heating by welding current. A sample with a sensor type TS318-11C55 provides non-contact measurement of the temperature of the joint in the conditions of welding on an МТ-2202 machine. The measurer is a pyrometer that receives thermal radiation from the working zone of a welded product in the wavelength range of 7.5...13.5 μm , and converts thermal energy into constant voltage, the value of which corresponds to the maximum temperature in the zone of the welded joint. The dependences of the output voltage of a non-contact measurer on the distance from the heat source and on temperature are obtained.

Partial compensation of thermal effects, as well as protection of the input part of the prototype of a non-contact temperature measurer from external influences, was realized by placing the sample in a protective case.

Keywords: temperature measurement, butt welding, steel, thermocouple, control system, sensors, speed, noise immunity.