

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.791.92

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.2/02>

Бернацький А.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Сіора О.В.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України

Кагляк О.Д.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Шамсутдінова Н.О.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Данилейко О.О.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України;

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СТВОРЕННЯ МАКЕТНОГО ЗРАЗКА СИСТЕМИ ПОШУКУ МІСЦЯ ЗНАХОДЖЕННЯ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Автоматизація технологічних процесів піднімає якість виробництва на рівень, який практично недосяжний для людини, тобто дозволяє контролювати виробничий процес, не беручи участь в ньому безпосередньо. Завдяки комплексній автоматизації виробничих процесів підвищується їх продуктивність, оскільки отримання та використання даних для управління і контролю здійснюється автоматично. На сучасних підприємствах автоматизація виробництва здійснюється з метою підвищення надійності устаткування, зниження собівартості продукції, збільшення продуктивності, поліпшення умов праці і створення виробництва більш безпечного для людини. Автоматизація технологічних процесів в рамках одного виробничого процесу дозволяє організувати основу для впровадження систем управління виробництвом і систем управління підприємством. Таким чином, розробка нових і вдосконалення існуючих засобів автоматизованого управління і контролю є досить важливим і актуальним завданням. Автоматизація процесу пошуку місця зварювання (виявлення положення стику) при виконанні операції встановлення заглушки при ремонті колектору парогенераторів типу ПГВ-1000 для АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000, яка є метою даної роботи, має відношення як раз до таких актуальних задач. Розроблено та виготовлено елементи кріплення макетного зразка системи пошуку місця зварювання та проведено адаптацію його складових частин з існуючим стендом для лазерного зварювання заглушок у теплообмінні трубки колектору парогенератору. В ході експериментальних досліджень з лазерного зварювання кільцевих зварних з'єднань зі сталей 10X18H10T і 10X17H13M3T, на зразках типу «труба-пластина», які моделюють встановлення заглушки у теплообмінну трубку парогенератору ПГВ-1000, виконано функціональні випробування виготовленого макетного зразка системи пошуку місця зварювання. Встановлено відповідність контрольним значенням, параметрів усіх необхідних характеристик створеного обладнання. Прогнозні припущення про розвиток об'єкту досліджень – використання одержаних результатів в атомній промисловості при виконанні ремонту колекторів та відновлення працездатності парогенераторів типу ПГВ-1000, шляхом вварювання заглушок у теплообмінні трубки колектору парогенератору з використанням технологій лазерного зварювання.

Ключові слова: парогенератор АЕС, ремонт, теплообмінна трубка, встановлення заглушок, лазерне зварювання, система пошуку місця зварювання.

Постановка проблеми. На сьогодні розвиток технологій зробив можливими ефективно впровадження систем автоматизованого управління і контролю в різні галузі промисловості. Автоматизація технологічних процесів піднімає якість виробництва на рівень, який практично недосяжний для людини, тобто дозволяє контролювати виробничий процес, не беручи участь в ньому безпосередньо. Завдяки комплексній автоматизації виробничих процесів підвищується їх продуктивність, оскільки отримання та використання даних для управління і контролю здійснюється автоматично. На сучасних підприємствах автоматизація виробництва здійснюється з метою підвищення надійності устаткування, зниження собівартості продукції, збільшення продуктивності, поліпшення умов праці і створення виробництва більш безпечного для людини. Автоматизація технологічних процесів в рамках одного виробничого процесу дозволяє організувати основу для впровадження систем управління виробництвом і систем управління підприємством. Таким чином, розробка нових і вдосконалення існуючих засобів автоматизованого управління і контролю є досить важливим і актуальним завданням. Автоматизація процесу пошуку місця зварювання (виявлення положення стика) при виконанні операції встановлення заглушки у теплообмінну трубку при ремонті колектору парогенераторів типу ПГВ-1000 для АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000, яка є метою даної роботи, має відношення як раз до таких актуальних задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автоматизація процесів зварювання та реалізація адаптивних технологій в системах автоматичного управління зварювальним устаткуванням є істотним резервом у забезпеченні відтворюваності якості зварних з'єднань, підвищенні експлуатаційної надійності виробів, скорочення термінів виконання робіт [1–3].

Технічне рішення завдання з автоматизації процесів зварювання може бути зведено до оснащення зварювального обладнання безконтактними датчиками та адаптивною системою управління, що забезпечують наведення на стик зварювального головки та стеження за траєкторією шва (геометрична адаптація), а також, прогнозування появи дефектів зварювальних з'єднань на основі інформації про геометричні параметри зварного з'єднання [4–6].

Варто відзначити, що особливістю процесів лазерної обробки є надзвичайно малий розміру теплового джерела, що утворюється під дією сфо-

кусованого лазерного випромінювання в оброблюваному матеріалі, що висуває вимогу підвищеної точності такої обробки [7]. Крім того, в зв'язку з високими швидкостями обробки її необхідно вести в автоматичному режимі. Для цього необхідна сучасна система одночасного спостереження за процесом і траєкторією обробки.

Метою роботи є створення макетного зразка системи пошуку місця зварювання (виявлення положення стика) при виконанні операції встановлення заглушки у теплообмінну трубку при ремонті колектору парогенераторів типу ПГВ-1000 для АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000. Для досягнення поставленої мети, необхідно було вирішити наступні завдання: розробити макетний зразок системи пошуку місця зварювання; виготовити елементи та деталі макетного зразка системи пошуку місця зварювання; провести комплекс функціональних випробувань макетного зразка системи пошуку місця зварювання.

Виклад основного матеріалу. Для розробки макетного зразка системи пошуку місця зварювання був задіяний датчик вимірювання профілю поверхні Riftek RF625. В основу роботи датчика RiftekRF625 покладено принцип оптичної триангуляції. Випромінювання напівпровідникового лазера формується у вигляді лінії і проектується на об'єкт. Розсіяне на об'єкті випромінювання об'єктивом збирається на двовимірній CMOS-матриці. Отримане зображення контуру об'єкта аналізується програмованою користувачем вентильною матрицею і сигнальним процесором, який розраховує відстань до об'єкта (координата Z) для кожної з безлічі точок уздовж лазерної лінії на об'єкті (координата X). Датчик характеризується початком робочого діапазону (S_{MR}) по координаті Z , робочим діапазоном (MR, Z_{DIAP}) по координаті Z , робочим діапазоном по координаті X на початку робочого діапазону по Z (X_{SMR}) і в кінці робочого діапазону по Z (X_{EMR}).

Триангуляційний датчик Riftek RF625 був встановлений на лабораторний стенд, що являє собою двохкоординатний маніпулятор, який складається з двох лінійних модулів. Перший модуль (площина YZ) закріплений нерухомо на вертикальній колоні. Другий модуль (площина XZ) встановлено горизонтально на рухомий каретці вертикального модуля. Триангуляційний датчик і зварювальний головка встановлені на каретці горизонтального модуля за допомогою кронштейнів і перехідних пластин і можуть переміщатися в площині XZ . Точність позиціонування становила $\pm 0,05$ мм. Повторюваність складала $\pm 0,02$ мм.

Датчик поставлявся з набором програмного забезпечення, доступним також на веб сайті компанії Riftek. У пакет входять документовані програмні засоби, що дозволяють реалізувати три варіанти роботи зі датчиком:

1. За допомогою сервісної програми від Riftek.
2. За допомогою програмного забезпечення, розробленого користувачем з використанням наданого SDK (Software Development Kit). У комплект RFDDevice SDK включені докладний опис всіх функцій бібліотеки і приклади програм на різних мовах (C ++, Pascal), портированих на різні платформи (Windows, Linux, .NET), а також приклади використання бібліотек в різних середовищах (MATLAB, LABVIEW).

3. За допомогою розробленого користувачем програмного забезпечення, що реалізує протоколи передачі даних датчика.

В процесі проведення технологічної адаптації датчика в рамках проведення даних робіт, був обраний варіант програмної взаємодії з датчиком за допомогою розробленого користувачем програмного забезпечення, так як він забезпечує найбільшу свободу і гнучкість в процесі створення призначених для користувача прикладних програм для роботи з датчиком.

Для проведення налагодження створюваного програмного забезпечення користувача, також використовувався програмний емулятор датчика Riftek RF625, призначений для розробки користувальницького програмного забезпечення без використання датчика. Програма-емулятор імітує наявність підключеного по мережі датчика і посилає такі ж пакети даних і пакети виявлення як і справжній реальний датчик. Для імітації вимірювань профілю використовується графічне вікно, в якому користувач може намалювати довільну криву. Ця крива лінія інтерпретується емулятором як вимірюваний профіль поверхні (рис. 1). Точки цієї кривої відповідним чином обробляються і передаються по мережі у вигляді пакету даних.

Функціональні випробування виготовленого макетного зразка системи пошуку місця зварювання виконували на зразках типу «труба-пластина» (рис. 2), в ході експериментальних досліджень з лазерного зварювання кільцевих зварних з'єднань зі сталей 10X18N10T (труба) і 10X17N13M3T (пластина). Даний зразок моделює встановлення заглушки у теплообмінну трубку парогенератору.

Роботи з функціональних випробувань виготовленого макетного зразка системи пошуку місця зварювання виконували на лабораторному стенді для зварювання у вертикальному положенні (рис. 3), який

був змонтований на базі Nd:YAG-лазеру «DY044», виробництва фірми «ROFIN-SINAR» (Німеччина).

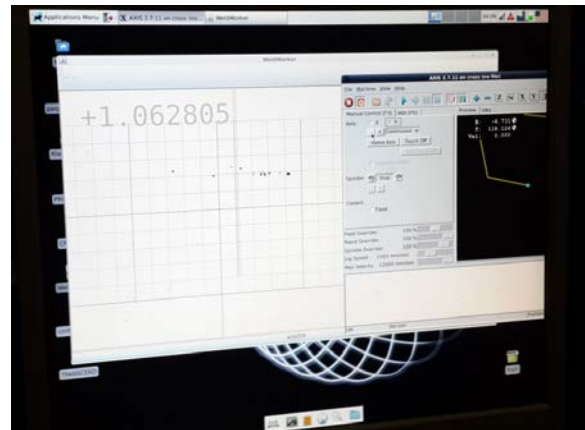


Рис. 1. Фото зображення на екрані монітору графічної інформації, яка передана з датчика Riftek RFRF625

Положення макетного зразка системи пошуку місця зварювання, закріпленого на лабораторному стенді для лазерного зварювання показано на рис. 4 та рис. 5.



Рис. 2. Зразок зварного з'єднання № 1336 типу «пластина-труба»



Рис. 3. Лабораторний стенд (а) для експериментальних досліджень з лазерного зварювання кільцевих зварних з'єднань (б) з різномірних сталей у вертикальному просторовому положенні

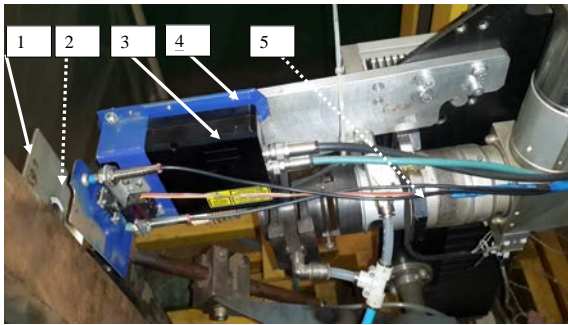


Рис. 4. Макетний зразок системи пошуку місця зварювання: 1 – зразок, що зварюється; 2 – лінія, згенерована датчиком RiftekRF625; 3 – датчик RiftekRF625; 4 – кронштейни системи кріплення; 5 – лазерна зварювальна головка (частина)

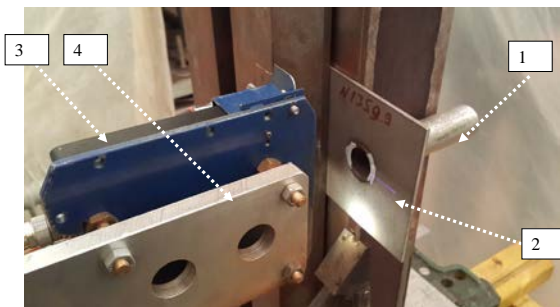


Рис. 5. Положення макетного зразка системи пошуку місця зварювання, закріпленого на лабораторному стенді для лазерного зварювання: 1 – зразок, що зварюється; 2 – лінія, згенерована датчиком RiftekRF625; 3 – датчик RiftekRF625; 4 – кронштейни системи кріплення

На рис. 6 наведено систему керування лабораторного стенда для експериментальних досліджень з лазерного зварювання кільцевих зварних з'єднань з різномірних сталей у вертикальному просторовому положенні.



Рис. 6. Система керування лабораторного стенда для експериментальних досліджень з лазерного зварювання кільцевих зварних з'єднань з різномірних сталей у вертикальному просторовому положенні

Інформація з відеокамери (яка розташована співвісно (та співфокусно) з віссю лазерного випромінювання), у вигляді графічного зображення поступає на монітор. На екрані комп'ютерного монітора, розташованого по центру стійки керування та рис. 6, відображається загальна інформація з системи керування, у тому числі інформація яка поступає з лазерного триангуляційного датчика RiftekRF625 (рис. 7). Таким чином, оператор має можливість візуального контролю та перевірки правильності визначення системою відносного положення місця зварювання та умовного положення сфокусованого променя лазерного випромінювання (перехрестя).

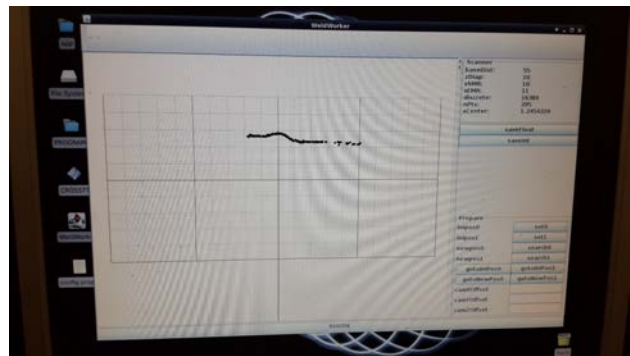


Рис. 7. Зображення інформації, яка поступає з лазерного триангуляційного датчика RiftekRF625

На рис. 7 показаний приклад відображення інформації у вигляді графічного зображення при проведенні функціональних випробувань виготовленого макетного зразка системи пошуку місця зварювання на зразках типу «труба-пластина», що імітують зварювання заглушок.

Висновки.

1. Розроблено та виготовлено елементи кріплення макетного зразка системи пошуку місця зварювання та проведено адаптацію його складових частин з існуючим стендом для лазерного зварювання заглушок у теплообмінні трубки колектору парогенератору.

2. В ході експериментальних досліджень з лазерного зварювання кільцевих зварних з'єднань зі сталей 10X18H10T і 10X17H13M3T, на зразках типу «труба-пластина», які моделюють встановлення заглушки у теплообмінну трубку парогенератору ПГВ-1000, виконано функціональні випробування виготовленого макетного зразка системи пошуку місця зварювання. Встановлено відповідність контрольним значенням, параметрів усіх необхідних характеристик створеного обладнання.

3. Прогнозні припущення про розвиток об'єкту досліджень – використання одержаних результатів в атомній промисловості при виконанні ремонту колекторів та відновлення працездатності парогенераторів типу ПГВ-1000, шляхом вварювання заглушок у теплообмінні трубки колектору парогенератору з використанням технологій лазерного зварювання.

Список літератури:

1. Shin S., Jin C., Yu J., Rhee S. Real-time detection of weld defects for automated welding process base on deep neural network. *Metals*. 2020. Vol. 10. №3. Id 389. <https://doi.org/10.3390/met10030389>
2. Sharma A., Sharma K., Islam A., Roy D. Effect of welding parameters on automated robotic arc welding process. *Materials Today: Proceedings*. 2020. Vol. 26. Pp. 2363-2367. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.507>
3. Tsuzuki R. Development of automation and artificial intelligence technology for welding and inspection process in aircraft industry. *Welding in the World*. 2022. Vol. 66. №1. P.p. 105-116. <https://doi.org/10.1007/s40194-021-01210-3>
4. Wang B., Hu, S. J., Sun L., Freiheit T. Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives. *Journal of Manufacturing Systems*. 2020. Vol. 56. Pp. 373-391. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.020>
5. Zhang L., Basantes-Defaz A.C., Ozevi, D., Indacochea E. Real-time monitoring of welding process using air-coupled ultrasonics and acoustic emission. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019. Vol. 101. Pp. 1623-1634. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-3042-2>
6. Oh W.B., Yun T.J., Lee B.R., Kim C G., Liang Z.L., Kim I. S. A study on intelligent algorithm to control welding parameters for lap-joint. *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 30. Pp. 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.008>
7. Yusof M.F.M., Ishak M., Ghazali M.F. Weld depth estimation during pulse mode laser welding process by the analysis of the acquired sound using feature extraction analysis and artificial neural network. *Journal of Manufacturing Processes*. 2021. Vol. 63. Pp. 163-178. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.04.004>

Bernatskyi A.V., Siora O.V., Kaglyak O.D., Shamsutdinova N.O., Danyleiko O.O.

CREATING A PROTOTYPE SAMPLE OF A SYSTEM FOR SEARCHING THE LOCATION OF A WELDED JOINT FOR LASER WELDING

Automation of technological processes raises the quality of production to a level that is practically unattainable for humans, that is, it allows you to control the production process without directly participating in it. Due to the comprehensive automation of production processes, their productivity increases, since the acquisition and use of data for management and control is carried out automatically. At modern enterprises, production automation is carried out with the aim of increasing the reliability of equipment, reducing the cost of production, increasing productivity, improving working conditions and creating production that is safer for people. The automation of technological processes within the framework of one production process allows you to organize the basis for the implementation of production management systems and enterprise management systems. Thus, the development of new and improvement of existing means of automated management and control is a rather important and urgent task. Automation of the process of finding the welding place (detection of the position of the joint) when performing the plug installation operation during the repair of the steam generator manifold of the PGV-1000 type for nuclear power plants with reactors of the VVER-1000 type, which is the goal of this work, is related to such urgent tasks. Fastening elements of the mock-up sample of the welding location search system were developed and manufactured, and its components were adapted to the existing stand for laser welding of plugs in the heat exchange tubes of the steam generator collector. In the course of experimental research on laser welding of ring welded joints made of 10Kh18N10T and 10Kh17N13M3T steels, functional tests of the manufactured mockup of the welding location search system were performed on "tube-plate" type samples that simulate the installation of a plug in the heat exchange tube of the PGV-1000 steam generator. Compliance with control values, parameters of all necessary characteristics of the created equipment was established. Predictive assumptions about the development of the research object - the use of the obtained results in the nuclear industry in the repair of collectors and restoration of the performance of steam generators of the PGV-1000 type, by welding plugs into the heat exchange tubes of the steam generator collector using laser welding technologies.

Key words: NPP steam generator, repair, heat exchange tube, plug installation, laser welding, system for searching the location of a welded joint.