

**УДК 621.326:621.791.4:621.791/.792:621.791.052**

**Сергій Римар, д.т.н., с.н.с.; Олексій Прокоф'єв, к.т.н.; Руслан Губатюк, к.т.н.; Євген Пантелеймонов, к.т.н., с.н.с.; Валерій Абдулах**

**Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України, Україна**

### **ВИКОРИСТАННЯ ЗРАЗКІВ МАЛИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФОРМ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ІНДУКЦІЙНОГО ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

Анотація. В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України розроблено і запатентовано економічний спосіб використання зразків малих геометричних форм для визначення параметрів процесу індукційного термічного оброблення зварних з'єднань.

Ключові слова: індукційне термічне оброблення, зварний шов, зразок малих геометричних форм, математичне моделювання, фізичне моделювання.

**Serhii Rymar, Ph.D.; Oleksiy Prokofiev, Ph.D.; Ruslan Gubatyuk, Ph.D.; Yevhen Panteleimonov, Ph.D.; Valery Abdulakh**

### **USE OF SAMPLES OF SMALL GEOMETRICAL FORMS TO DETERMINE PARAMETERS OF THE PROCESS OF INDUCTION HEAT TREATMENT OF WELDED JOINTS**

Abstract. At the E.O. Paton electric welding Institute of the NAS of Ukraine developed and patented an economical method for using samples of small geometric shapes to determine the parameters of the process of induction heat treatment of welded joints.

Keywords: induction heat treatment, weld, sample of small geometric shapes, mathematical modeling, physical modeling.

При виготовленні зварних конструкцій виникають ситуації, коли необхідно зварювати сталі, зварне з'єднання яких потребує подальшого термічного оброблення. Проблемними є шви зварюваних зі сталей різних видів, коли у зварному шві утворюється сплав металу, відмінний від основного металу з'єднувальних деталей. Бувають випадки, коли при цьому зварний шов пересікає вже існуючі зварні шви і у таких місцях, утворюються інші структури металу ніж у вже отриманому металі зварного шву. Для покращення структури утвореного металу таких зварних з'єднань бажане, а в ряді випадків і необхідне їх термічне оброблення.

При індукційному термічному обробленні таких зварних з'єднань, особливо при використанні легованих і високолегованих сталей та сталей підвищеної міцності, виникають питання, пов'язані із доволі складним і затратним пошуком параметрів режиму виконання даного технологічного процесу, із визначення електромагнітних параметрів необхідного індукційного обладнання [1 – 4]. До того ж зварні вироби, що потребують термічного оброблення, можуть мати високу вартість і великі габарити. Тому проводити дослідження для визначення параметрів їх термічного оброблення на самих виробках є вкрай вартісною і економічно затратною задачею. Тому актуальним стає питання спрощення пошуку і відпрацювання режимів індукційного термічного оброблення із визначенням електромагнітних, теплових і часових параметрів ведення процесу, розробки необхідного індукційного обладнання із прив'язкою до дослідження з визначення структурних перетворень в термічно обробленому металі зварного з'єднання.

На основі теорії подібності, в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України розроблено і запатентовано [5] ефективний і економічний спосіб фізичного моделювання термічного оброблення малих зразків у вигляді циліндричних стрижнів

певного діаметра і довжини, що містять реальний зварний шов, з визначенням властивостей металу при здійсненні їх високочастотного індукційного термічного оброблення з можливістю подальших комплексних випробувань термооброблених зразків [6 – 8]. На запропонованих зразках здійснюється математичне і фізичне моделювання процесу їх високочастотного індукційного термічного оброблення (рис. 1) із визначенням електромагнітних і теплових параметрів процесу і геометричних параметрів індукторів. Дуже важливим є те, що зразки малої форми мають ідентичні до реальних об'єктів види сталей і зварні шви.

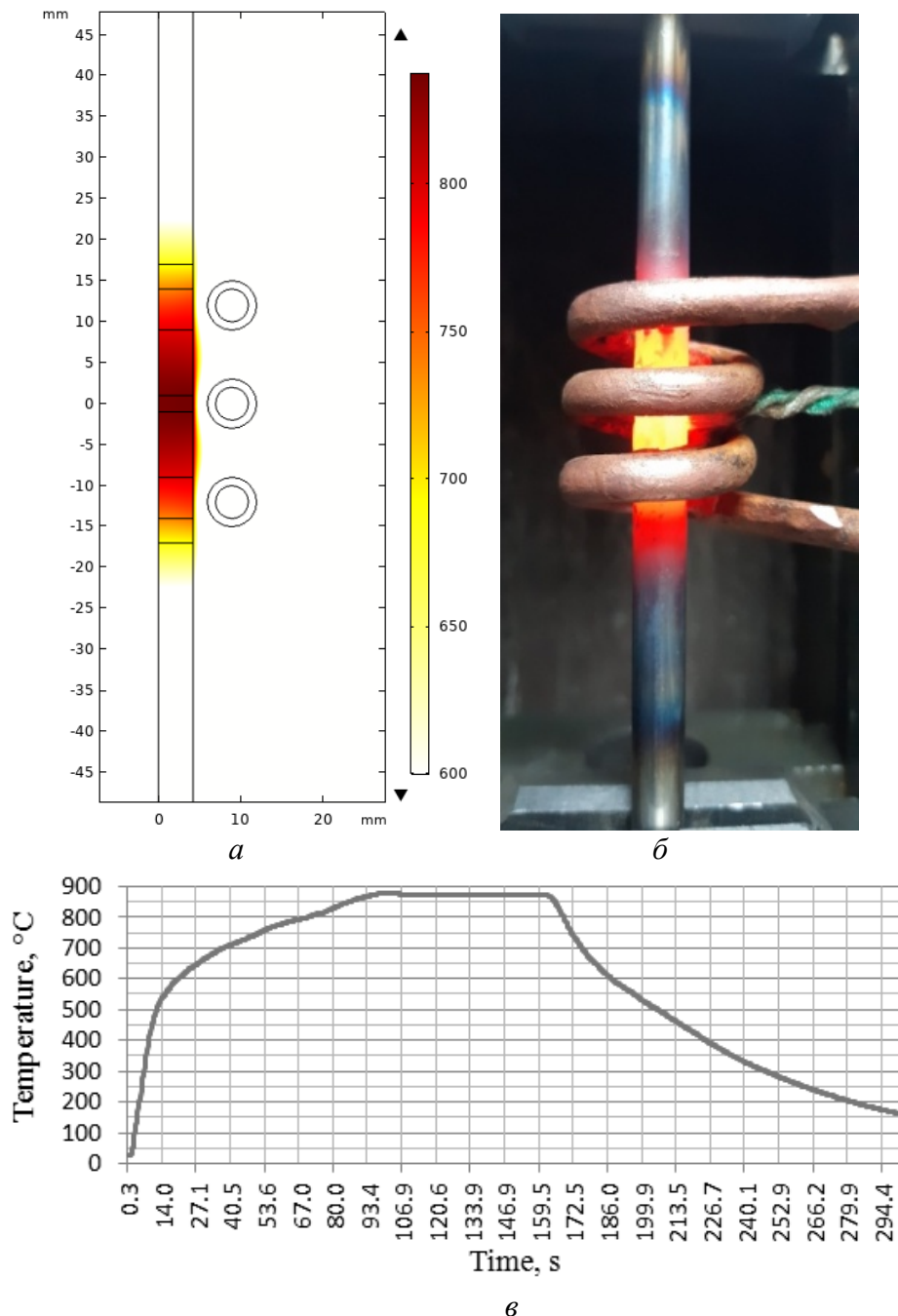


Рис. 1. Математичне моделювання температурного поля (а) і фізичне моделювання (б) процесу високочастотного індукційного термічного оброблення малого циліндричного стрижневого зразка із зварним швом по центру довжини стрижня та зміна температури в центрі на поверхні зразка (в) в процесі його оброблення

Економія полягає у моделюванні і проведенні експериментів із споживанням значно менших ресурсів, як енергетичних, так і економією витрат на виготовлення відповідного дослідного індукційного обладнання для проведення досліджень на малих зразках, або фрагментах реальних зразків.

Подібні заходи дозволяють, із залученням математичного моделювання, розробляти необхідне індукційне обладнання із визначеними електромагнітними і геометричними параметрами індукторів для реальних виробів. Індуктори можуть нагрівати весь зварний шов виробу, або виконувати процес місцевого високочастотного індукційного термічного оброблення. Останнє дозволяє виконувати термічне оброблення на будь якому місці розташування швів у виробі, використовуючи при цьому різні форми і конструкції індукторів.

### Перелік посилань

1. Письменный А.С., Пантелеймонов Е.А., Прокофьев А.С., Пулька Ч.В. Расчет индуктора с магнитопроводом для нагрева плоских поверхностей. Автоматическая сварка. 2000. № 11. С. 39-43.

2. Пулька Ч.В., В.С. Сенчишин, В.В. Сенчишин. Шляхи вдосконалення технології індукційного наплавлення деталей ґрунтообробних машин. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва : проблеми теорії та практики», 29-30 вересня 2022 року. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2022. С. 137.

3. Числове моделювання напруженого стану з урахуванням кінетики фазових перетворень у стиковому з'єднанні зі сталі dc04 для різних технологічних схем зварювання / О.В. Прохоренко, В.М. Прохоренко, Ч.В. Пулька, В.С. Сенчишин. МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2022. С. 95–97.

4. Використання математичного моделювання при розробленні нових технологічних процесів індукційного наплавлення. Чеслав Пулька, Михайло Михайлишин, Віктор Сенчишин, Ігор Окіпний, Мирослав Шарик, Володимир Гаврилюк. МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2022. С. 98–100.

5. Спосіб фізичного модулювання процесу високочастотної термічної обробки металевого зразка: пат. 123711 Україна: МПК C21D 1/10 (2006.01), G01N 33/20 (2019.01), G01N 33/207 (2019.01), G01N 1/28 (2006.01), G01N 1/44 (2006.01). № a201902347; заявл. 11.03.2019; зпубл. 19.05.2021, Бюл. № 20. 5 с.

6. Hubatyuk R.S., Rymar S.V., Prokofiev O.S., Kostin V.A., Didkovskiy O.V., Muzhychenko O.F. Simulation of electromagnetic and thermal fields in the process of induction heating on small specimens with the presence of welded joint of high-strength railway rails. The Paton Welding Journal. 2021. No. 1. P. 40-44. doi: 10.37434/tpwj2021.01.08

7. The simulation of the process of heat treatment of welded joints of high-strength railway rails / R.S. Gubatyuk, S.V. Rymar, V.A. Kostin, O.S. Prokof'iev, O.V. Didkovskiy, Y.V. Antipin. Proceedings of the III International Conference on Advanced Technologies in Materials Science, Mechanical and Automation Engineering (MIP: III Engineering-III-2021). AIP Conference Proceedings. American Institute of Physics, USA. Publ. 15 November 2021. Vol. 2402. Issue 1. 070026. P. 070026-1-070026-7. doi: 10.1063/5.0071364

8. Hubatyuk R.S., Rymar S.V., Prokofiev O.S., Kostin V.A., Didkovskiy O.V., Antipin E.V. Modeling of the process of induction heat treatment of welded joints from rail high-strength steels. The Paton Welding Journal. 2021. No. 9. P. 27-38. doi: 10.37434/tpwj2021.09.05.