

## ПЕРЕНОСНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ СТИКІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК

Є.О. Пантелеймонов

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

Розглянуті особливості конструкції переносного модуля для термічної обробки зварних стиків залізничних рейок, виконаних способом контактної зварювання. Процес термічної обробки включає індукційний нагрів зварних стиків струмами частотою 2,4 кГц та подальше загартуванням поверхні катання голівки стислим повітрям. Конструкція переносного модуля включає індуктори, що з'єднані безпосередньо з узгоджувальними трансформаторами. Індуктуючі дроти індукторів повторюють форму вигину поверхні рейки зі збільшеними повітряними проміжками над шийкою та пір'ям і містять магнітопроводи, що розташовані над поверхнею катання, бічними поверхнями голівки, шийкою та підшоною рейки. Показано, що в зварних стиках рейок типу Р65 із сталі К76Ф після термічної обробки на переносному модулі в зоні гартівного охолодження голівки утворюється рівномірна мілкозерниста структура з твердістю, що досягає рівня твердості основного металу. Також підвищується твердість металу в глибинних шарах голівки рейок відносно твердості основного металу на відповідній глибині. Бібліогр. 10, табл. 2, рис. 5.

*Ключові слова:* рейки, зварні стики, термічна обробка, переносний модуль, твердість металу

Проблемними місцями зварних стиків залізничних рейок, виконаних способом контактної зварювання, є локальні зони зі зміною структури та твердості металу в зоні термічного впливу (ЗТВ). Для досягнення структурної однорідності металу та підвищення механічних властивостей зварних стиків застосовується термічна обробка (ТО). Технологія ТО зварних стиків струмами високої частоти забезпечує рівномірний нагрів елементів рейки в зоні стику, необхідну швидкість фазових перетворень у структурі металу ЗТВ, низький перепад температури між поверхневими та глибинними шарами рейки [1, 2]. У зв'язку з використанням на залізницях світу нових типів високоміцних рейок, виникла необхідність вдосконалення технології та обладнання для ТО зварних стиків. В дослідженнях, проведених у КНР, вивчено вплив ТО на структуру та твердість металу зварних стиків. Встановлено, що механічні властивості зварних стиків поліпшуються після нагріву до температури нормалізації [3]. В обладнанні для ТО зварних стиків при будівництві залізничних шляхів в КНР використовувались роз'ємні одновиткові індуктори без магнітопроводів з паралельними індуктуючими дротами [4]. В РФ створені комплекси для ТО зварних стиків струмами частотою 8...15 кГц, в яких застосовані багатовиткові індуктори без магнітопроводів [5].

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона проводяться роботи по вдосконаленню технології та обладнання для ТО зварних стиків залізничних рейок. Створений переносний модуль для ТО стиків рейок типу Р50, Р65 та Р75 струмами частотою 2,4 кГц. Процес ТО включає нагрів зварних стиків рейок до тем-

ператури 850...950 °С та подальше загартування поверхні катання голівки стислим повітрям. Переносний модуль призначений для застосування в шляхових умовах у складі пересувних рейкозварювальних машин та в цехових умовах рейкозварювальних підприємств.

В даній роботі розглянуті особливості конструкції переносного модуля та приведені результати його випробування при ТО зварних стиків рейок типу Р65 із сталі К76Ф. В якості джерела живлення струмами високої частоти використовували тиристорний перетворювач частоти ТПЧТ-160/2,4.

В конструкції переносного модуля індуктори 1 безпосередньо з'єднані з узгоджувальними трансформаторами, утворюючи нагрівальні блоки 2 (рис. 1). Нагрівальні блоки розташовані на рамі 3. Для пересування нагрівальних блоків до бічних поверхонь рейки 4 використані актуатори. На рамі також встановлені спреєр 5 з вузлом 7 для подачі стислого повітря, пульт керування 6, вузли 8 та 9 для подачі та зливу охолоджувальної рідини, фіксатори 10 для кріплення переносного модуля на рейці, лазерний покажчик для наведення індукторів на зварний стик, кінцеві вимикачі, роз'єми для підключення джерела живлення струмами високої частоти. Пірометр для вимірювання температури нагріву стиків змонтований на одному з нагрівальних блоків. Електрична схема переносного модуля забезпечує послідовність виконання операцій нагріву зварних стиків та загартування поверхні катання рейок. Маса переносного модуля 65 кг [6, 7].

Необхідний розподіл потужності по елементах рейки досягається тим, що індуктуючі дроти індук-

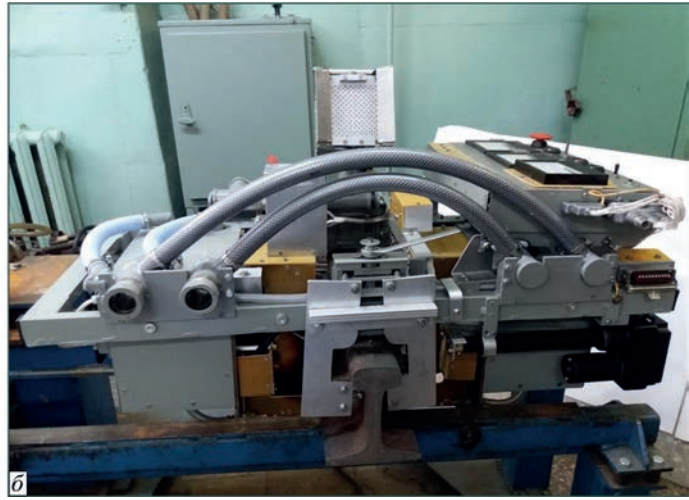
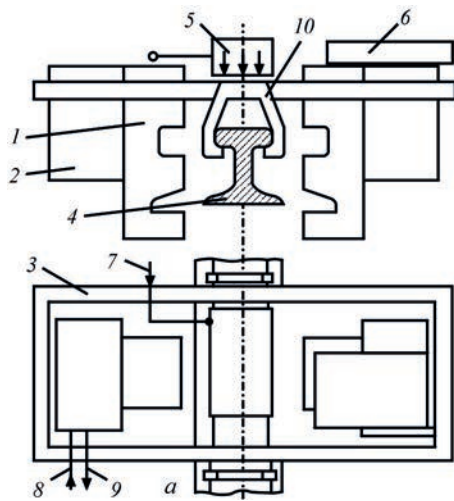


Рис. 1. Переносний модуль для термічної обробки зварних стиків залізничних рейок: схема конструкції (а) та загальний вигляд (б) (опис 1–10 див. у тексті)

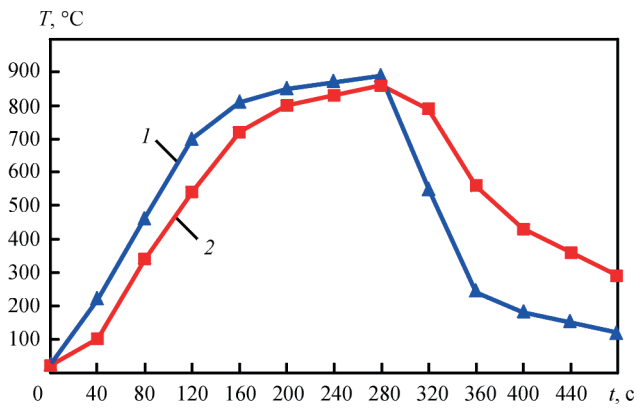


Рис. 2. Часові залежності температури нагріву поверхні катання (ПК) рейки та шару на глибині 25 мм від поверхні катання (25 мм від ПК) при виконанні ТО на переносному модулі: 1 – ПК; 2 – 25 мм від ПК

торів повторюють форму вигину поверхні рейки зі збільшеними повітряними проміжками над шийкою та пір'ям і містять магнітопроводи над поверхнею катання, бічними поверхнями голівки, шийкою та підшвою рейки. Після нагріву зварних стиків протягом 140 с перепад температури між поверхнею катання рейки та шару на глибині 25 мм не перевищував 60 °C [8, 9]. Для зменшення перепаду температури до 40 °C, час нагріву стиків на переносному модулі збільшили до 260...280 с. Швидкість нагріву поверхні катання рейки Р65 до температури магнітних перетворень становила 5,4 °C/с, на глибині 25 мм від поверхні катання – 4,6 °C/с (рис. 2). Після втрати металом магнітних властивостей швидкість нагріву поверхні катання зни-

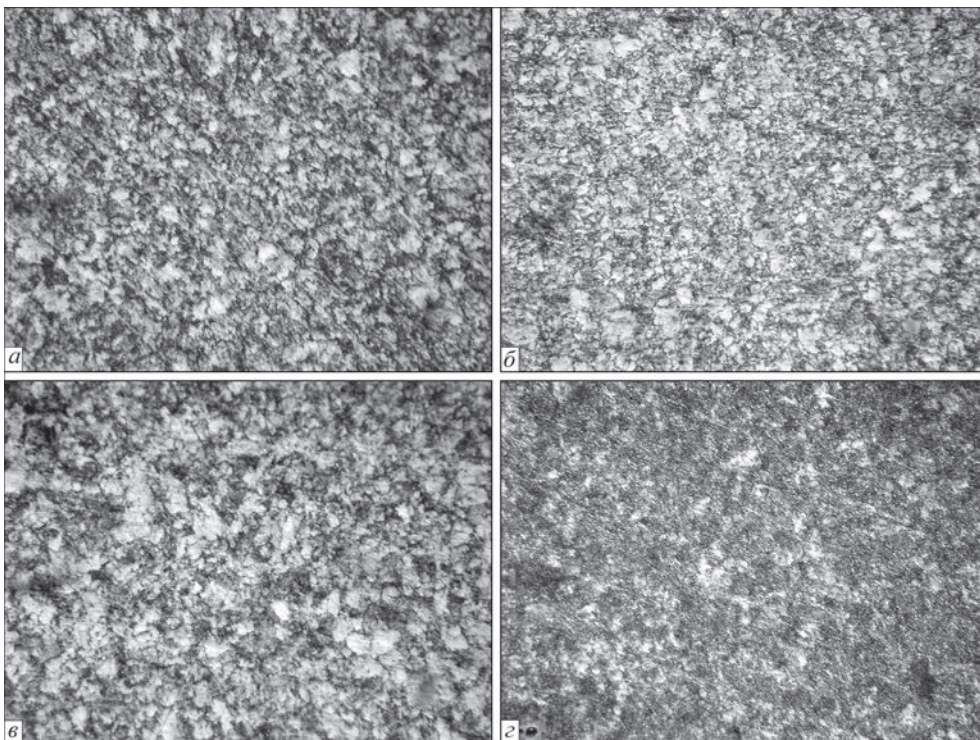


Рис. 3. Мікроструктура (×500) металу зварних стиків рейок типу Р65 із сталі К76Ф на глибині 5 мм від поверхні катання: а – основний метал; б – лінія з'єднання; в – 10 мм від лінії з'єднання; г – зона неповної перекристалізації



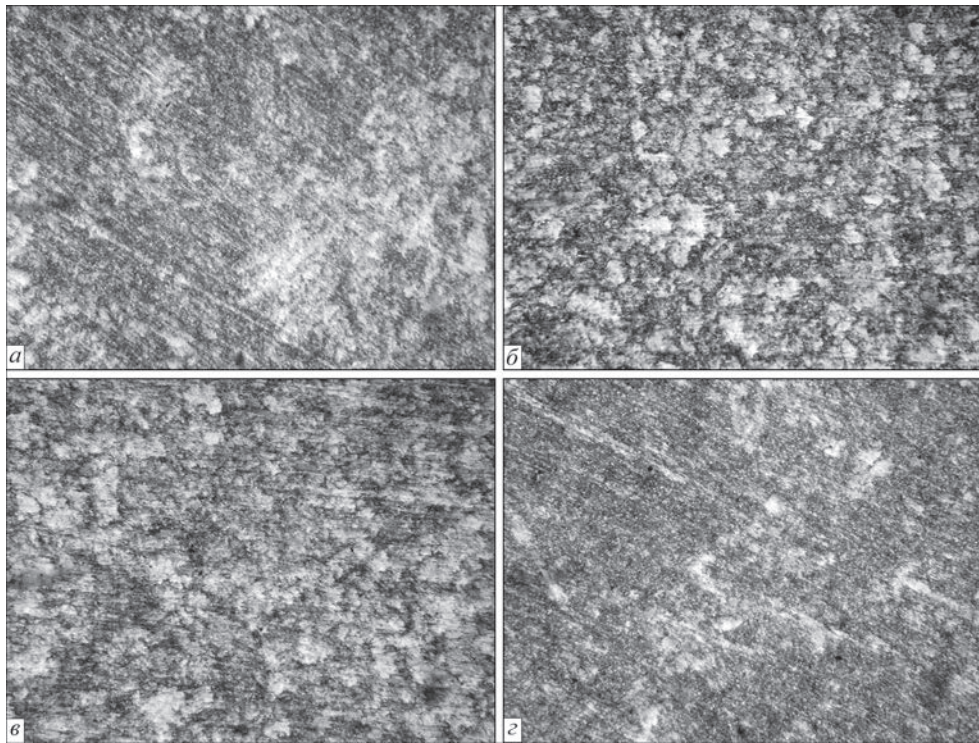


Рис. 4. Мікроструктура ( $\times 500$ ) металу зварних стиків рейок типу Р65 із сталі К76Ф на глибині 25 мм від поверхні катання: а – основний метал; б – лінія з’єднання; в – 10 мм від лінії з’єднання; г – зона неповної перекристалізації

Таблиця 1. Бал зерна металу зварних стиків рейок Р65 із сталі К76Ф на глибині 5 мм від поверхні катання

Лінія з’єднання	10 мм від лінії з’єднання	Зона неповної перекристалізації	Основний метал
10	7-8	10	8

зилася до  $1,06...1,08$  °C/c. Ширина ЗТВ зварних стиків після ТО досягла 52...58 мм, що більше ширини ЗТВ стиків високоміцних і високолегованих рейок після зварювання [10].

При дослідженні металу зварних стиків використовували поздовжні зразки. Поверхня зразків співпадала з віссю симетрії рейки. Для виявлення мікроструктури металу застосовували метод хімічного травлення полірованих поверхонь зразків у 4 % спиртовому розчині азотної кислоти. Розмір зерна металу визначали за ГОСТом 5639-82.1. Інтегральну твердість металу *HRC* вимірювали на твердомірі ТК-2М при навантаженні 150 кг.

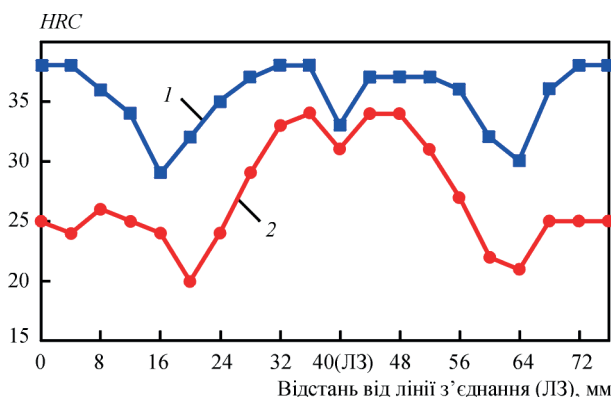


Рис. 5. Розподіл твердості металу по ширині ЗТВ на глибині 5 мм та 25 мм від поверхні катання (ПК) зварних стиків рейок Р65 із сталі К76Ф: 1 – 5 мм від ПК після ТО; 2 – 25 мм від ПК після ТО

Таблиця 2. Бал зерна металу зварних стиків рейок Р65 із сталі К76Ф на глибині 25 мм від поверхні катання

Лінія з’єднання	10 мм від лінії з’єднання	Зона неповної перекристалізації	Основний метал
7-8	7	7-8	7

Дослідження показали, що в зоні загартування основного металу, на глибині 5 мм від поверхні катання, були присутні ділянки сорбіту та троститу (рис. 3). Структура мілкозерниста, бал зерна 8 (табл.1). Після ТО зварних стиків метал на глибині 5 мм від поверхні катання по лінії з’єднання мав рівномірне зерно по типу сорбіту з балом зерна 10. На відстані 10 мм від лінії з’єднання – середня та неоднорідна структура по типу сорбіту з ділянками троститу. Бал зерна 7–8. В зоні неповної перекристалізації на відстані 22...24 мм від лінії з’єднання – дрібне дисперсне рівномірне зерно по типу сорбіту з ділянками троститу. Бал зерна 10. На глибині 25 мм від поверхні катання в структурі основного металу були присутні ділянки фериту та сорбіту (рис. 4). Основний метал мав явну неоднорідність. Бал зерна 7 (табл. 2). Структура металу по ширині ЗТВ – по типу сорбіту з рівномірним зерном. В порівнянні з металом зони загартування, бал зерна знизився до 7–8.

На глибині 5 мм від поверхні катання рейок твердість основного металу становила *HRC* 37...38 (рис. 5). Після ТО зварних стиків метал на глибині 5 мм від поверхні катання по лінії з’єднання мав твердість *HRC* 33, що менше твердості основного металу. На відстані 10 мм від лінії з’єднання твердість металу наблизилася до рівня основного металу; в зоні неповної

перекристалізації на відстані 22...24 мм від лінії з'єднання – знизилася до *HRC* 29...30. На глибині 25 мм від поверхні катання рейки твердість основного металу рейки становила *HRC* 24...25. Твердість металу поміж зонами неповної перекристалізації підвищилася до *HRC* 31...34, що вище твердості основного металу на такій глибині (*HRC* 24...25). В зонах неповної перекристалізації твердість знизилася до *HRC* 20...22.

### Висновки

1. Створений переносний модуль для ТО зварних стиків залізничних рейок, виконаних способом контактного стикового зварювання. Технологія ТО зварних стиків включає індукційний нагрів струмами частотою 2,4 кГц та подальше загартування поверхні катання голівки стислим повітрям.

2. Переносний модуль призначений для застосування в шляхових та цехових умовах.

3. Нагрівальне обладнання переносного модуля забезпечує рівномірний нагрів елементів рейки в зоні зварних стиків.

4. Дослідження зварних стиків рейок типу Р65 із сталі К76Ф після ТО на переносному модулі показали, що в зоні гартівного охолодження голівки рейок утворюється рівномірна мілкозерниста структура з твердістю, що досягає рівня твердості основного металу. Також підвищується твердість металу в глибинних шарах голівки рейок відносно твердості основного металу на відповідній глибині.

### Список літератури

1. Головин Г.Ф., Зимин Н.В. (1979) *Технология термической обработки металлов с применением индукционного нагрева*. Ленинград, Машиностроение
2. Нестеров Д.К., Сапожков В.Е., Левченко Н.Ф. и др. (1990) Термическая обработка рельсовой стали с использованием индукционного нагрева. *Металловедение и термическая обработка металлов*, 8, 30-34.
3. Gong L., Zhu L., Zhou H. X. (2017) Effect on hardness and microstructures of rail joint with ultra-narrow gap arc welding by post weld heat treatment. *Engineering Materials*, 737, 90-94.
4. Ding Wei, Song Hongtu, Li Li, et al (2012) *Heat treatment device of welding joint of steel rail*. China Pat. CN 201120285569.

5. Фещуков А.Н., Земан С.К., Муркин М.К. *Установка термической обработки сварных стыков рельсов в путевых условиях*. РФ, Пат. 57752, МПК E01B31/18.
6. Пантелеймонов С. О. *Комплекс для термической обработки сваренных стиков залізничних рейок в шляхових умовах*. Україна, Пат. на кор. модель 114593, МПК E01B31/18. 10.03.2017.
7. Пантелеймонов С. О. *Переносний модуль для термічної обробки зварних стиків залізничних рейок*. Україна, Пат. на кор. модель 143908, МПК E01B 31/18 (2006.01), C21D 1/10 (2006.01)
8. Пантелеймонов С.О. *Індукційний пристрій для термічної обробки зварених стиків залізничних рейок*. Україна, Пат. на кор. модель 109123, МПК C21D 1/10 (2006.01)
9. Пантелеймонов Е.А., Губатюк Р.С. (2016) Индукционное устройство для термической обработки сварных стыков железнодорожных рельсов. *Автоматическая сварка*, 10, 41–44.
10. Кучук-Яценко С.І., Антіпін Є.В., Дідковський О.В. та ін. (2020) Оцінка якості зварних з'єднань високоміцних залізничних рейок сучасного виробництва з урахуванням вимог українського та європейського стандартів. *Автоматичне зварювання*, 7, 3 – 11. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.07.01>

### References

1. Golovin, G.F., Zimin, N.V. (1979) *Technology of heat treatment of metals using induction heating*. Leningrad, Mashinostroenie [in Russian].
2. Nesterov, D.K., Sapozhkov, V.E., Levchenko, N.F. et al. (1990) Heat treatment of rail steel using induction heating. *Metallovedenie i Termich. Obrab. Metallov*, 8, 30-34 [in Russian].
3. Gong, L., Zhu, L., Zhou, H. X. (2017) Effect on hardness and microstructures of rail joint with ultra-narrow gap arc welding by post weld heat treatment. *Engineering Materials*, 737, 90-94.
4. Ding Wei, Song Hongtu, Li Li, et al (2012) *Heat treatment device of welding joint of steel rail*. China Pat. CN 201120285569.
5. Feshchukov, A.N., Zeman, S.K., Murkin, M.K. (2016) *System for heat treatment of welded joints of railway rails in track conditions*. RF Pat. 57752, Int. Cl. E01B31/18 [in Russian].
6. Panteleimonov, E.O. *System for heat treatment of welded joints of railway rails in track conditions*. Ukraine Pat. on utility model 114593, Int. Cl. E01B31/18 [in Ukrainian].
7. Panteleimonov, E.O. *Portable module for heat treatment of welded joints of railway rails*. Ukraine Pat. on utility model 143908, Int. Cl. E01B 31/18 (2006.01), C21D 1/10 (2006.01) [in Ukrainian].
8. Panteleimonov, E.O. *Induction device for heat treatment of welded joints of railway rails*. Ukraine Pat. on utility model 109123, Int. Cl. C21D 1/10 (2006.01) [in Ukrainian].
9. Panteleimonov, E.A., Gubatyuk, R.S. (2016) Induction device for heat treatment of welded joints of railway rails. *The Paton Welding J.*, 10, 41-43.
10. Kuchuk-Yatsenko, S.I., Antipin, E.V., Didkovskiy, O.V. et al. (2020) Evaluation of quality of welded joints of high-strength railway rails of modern production taking into account the requirements of Ukrainian and European standards. *The Paton Welding J.*, 7, 2-10. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.07.01>

## PORTABLE MODULE FOR HEAT TREATMENT OF WELDED JOINTS OF RAILWAY RAILS

E.O. Panteleimonov

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

The design features of the portable module for heat treatment of welded joints of railway rails produced by the method of flash butt welding are considered. The process of heat treatment includes an induction heating of welded joints with the currents of 2.4 kHz frequency and a subsequent hardening of the rolling surface of the head by a compressed air. The design of the portable module includes inductors connected directly to matching transformers. The inductor wires repeat the shape of the rail surface bend with increased air gaps above the web and feathers and contain magnetic conductors located above the rolling surface, side surfaces of the head, web and the flange of the rail. It was shown that in welded butts of R65 type rails made of K76F steel after heat treatment on a portable module in the zone of hardening cooling of the head, a uniform fine-grained structure with a hardness is formed, reaching the level of hardness of the base metal. The hardness of the metal in the deep layers of the rail head increases also relative to the hardness of the base metal at the appropriate depth. 10 Ref., 2 Tabl., 5 Fig.

*Keywords:* rails, welded butts, heat treatment, portable module, metal hardness

Надішла до редакції 03.02.2021