

ПОДВІЙНА ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ЗВАРНИХ СТИКІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК

Є.О. Пантелеймонов

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Приведено результати термічної обробки зварних стиків рейок Р65 із сталі К76Ф, виконаних контактним стиковим зварюванням. Показано, що після попереднього відпалу зварних стиків із подальшим прискореним нагрівом до температури термічної обробки та загартуванням поверхні катання рейки стислим повітрям змінюється мікроструктура металу зварних стиків, істотно зменшується розмір зерна, підвищується твердість по ширині зони термічного впливу і зменшується відхилення твердості металу по лінії з'єднання від рівня основного металу. Бібліогр. 12, табл. 1, рис. 5.

Ключові слова: рейки, зварні стики, термічна обробка, мікроструктура, твердість

Зварні стики залізничних рейок повинні мати високий комплекс механічних властивостей, що обумовлено значними осьовими навантаженнями та швидкостями руху вантажних потягів. Це стосується, головним чином, високої міцності металу зварних стиків, що формується на достатню глибину робочої частини голівки в поєднанні з високою пластичністю та в'язкістю металу шийки та підшви. Зварні стики рейок, виконані контактним стиковим зварюванням, піддають термічній обробці (ТО). Дія ТО спрямована на досягнення структурної зональної однорідності в зоні термічного впливу (ЗТВ) та усунення несприятливої епюри внутрішньої залишкової напруги [1, 2]. Сучасна технологія та обладнання для виконання ТО включають нагрів стиків до температури 850...950 °С струмами високої частоти та поверхневе загартування голівки рейки стислим повітрям [3, 4]. Однак технологія такої одинарної ТО стиків рейок з низьколегованої сталі не дозволяє в повній мірі отримати високий комплекс механічних властивостей. В зв'язку з цим потрібно шукати нові складові технології ТО.

Відомо, що після загартування сталі з початковою дрібнозернистою структурою вона має підвищену зносостійкість і контактну-втомну міцність [5–7]. До числа поширених технологічних операцій, вживаних для формування дрібнозернистої структури зі зниженою твердістю, високою пластичністю і в'язкістю відноситься відпал. Властивості попереднього відпалу доцільно використати як складову технології ТО зварних стиків рейок. В цьому випадку технологія такої подвійної ТО включатиме попередній відпал, подальше прискорений нагрів до температури ТО та поверхневе загартування голівки рейки в зоні стиків.

В даній роботі приведені результати дослідження впливу подвійної ТО на властивості зварних стиків рейок Р65 із сталі К76Ф. Аналізували

мікроструктуру і твердість металу стиків по ширині ЗТВ в голівці, шийці та підшви рейки. Порівнювали властивості стиків після зварювання, після одинарної та подвійної ТО. Для виконання ТО зварних стиків використовували модель переносного модуля ІЕЗ [8, 9]. Стики нагрівали індукторами з магнітопроводами [10–12]. Частота струму 2,4 кГц. Ширина ЗТВ в стиках після одинарної та подвійної ТО була більше, ніж в стиках після зварювання. Це обумовлено особливостями конструкції переносного модуля.

Приведені в роботі порівняння режимів нагріву та властивостей зварних стиків стосуються переважно голівки рейок на глибині 25 мм від поверхні катання. Це дозволило не враховувати вплив гартівного охолодження. При одинарній ТО зварних стиків швидкість нагріву голівки на такій глибині до температури крапки магнітних перетворень становила 6,5 °С/с (рис. 1). Швидкість нагріву після втрати металом магнітних властивостей знизилась до 1 °С/с. Температура ТО в кінці нагріву досягла 890...900 °С. Загальний час нагріву 240 с. На момент припинення нагріву перепад температури між поверхнею катання голівки і шаром на глибині 25 мм був не більше 50 °С. При подвійній ТО зварні стики нагрівали до температури 750 °С із швидкістю 5 °С/с. Температуру підтримували впродовж 300 с і охолоджували стики

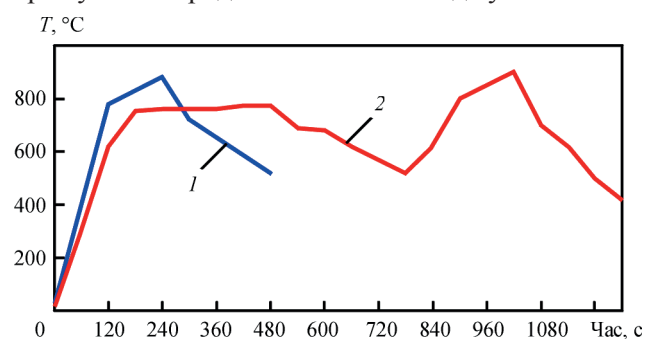


Рис. 1. Тимчасові залежності температури нагріву голівки на глибині 25 мм від поверхні катання при одинарній (1) та подвійній (2) ТО

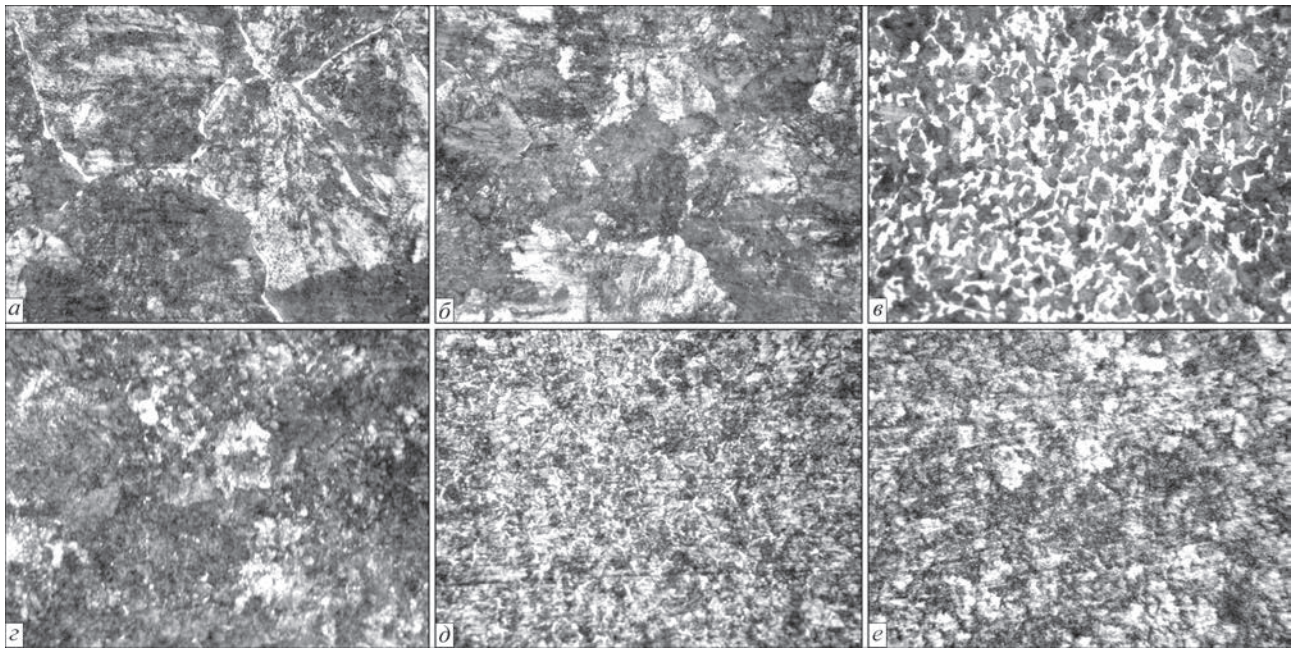


Рис. 2. Мікроструктура (×500) металу зварних стиків в голівці рейок на глибині 25 мм від поверхні катання: лінія з'єднання (а, в, д); 5...8 мм від лінії з'єднання (б, з, е); після зварювання (а, б); після одинарної ТО (в, з); після подвійної ТО (д, е)

до температури 510 °С на спокійному повітрі. Потім стики нагрівали до температури 890...900 °С. Час повторного нагріву 230...240 с. На момент припинення нагріву перепад температури між поверхнею катання голівки і шаром на глибині 25 мм був менше 40 °С. Загартування поверхні катання голівки виконували примусовим обдуванням стислим повітрям. Час загартування 240 с, тиск в системі подання повітря 0,5 МПа.

Для дослідження структури металу зварних стиків рейок використали подовжні зразки. Поверхня зразків співпадала з віссю симетрії рейки, включала ЗТВ і ділянки основного металу, що примикають до неї. Величину зерна металу визначали по ГОСТ 5639-82. Наприклад, в голівці рейок на глибині 25 мм від поверхні катання, в стиках після зварювання бал зерна знеуглецьованої смужки металу по лінії з'єднання 2-3 (таблиця). Структура металу сорбіт з вузькими окантовками фериту по межах великих зерен (рис. 2, а). На відстані 5...8 мм від лінії з'єднання структура сорбіту з балом зерна 4-5 (рис. 2, б). В зоні НПК, на

відстані 18 мм від лінії з'єднання, дрібна структура сорбіту з балом зерна 6-7. Основний метал мав ділянки з балом зерна від 5-6 до 7-8. Після одинарної ТО стиків мікроструктура металу значно дрібніше. По лінії з'єднання в структурі сорбіту бал зерна збільшився від 2-3 до 7-9 (рис. 2, в). На відстані 5-8 мм від лінії з'єднання, в структурі сорбіту з ділянками трооститу бал зерна збільшився від 4-5 до 8-9 (рис. 2, з). В зоні НПК, на відстані 28 мм від лінії з'єднання, бал зерна 9. На відстані 18...20 мм від лінії з'єднання, де після зварювання знаходилась зона НПК, бал зерна збільшився до 7-9. Після подвійної ТО стиків зерно стало ще дрібніше. По лінії з'єднання дрібне рівномірне зерно з подрібненими феритними межами (рис. 2, д), бал зерна збільшився до 10. На відстані 5...8 мм від лінії з'єднання дрібна рівномірна структура сорбіту (рис. 2, е). Бал зерна 9-10.

Інтегральну твердість *HRC* металу зварних стиків вимірювали на твердомері ТК-2М при навантаженні 150 кг. Як вказано на рис. 3, твердість по лінії з'єднання (ЛЗ) в стиках після зварюван-

Бал зерна металу по лінії з'єднання (ЛЗ), на відстані 5...8 мм від лінії з'єднання (5...8 мм від ЛЗ) та в зоні неповної перекристалізації (НПК)

Елемент рейки	Бал зерна після зварювання			Бал зерна після одинарної ТО			Балл зерна після подвійної ТО			Основний метал
	ЛЗ	5...8 мм від ЛЗ	Зона НПК	ЛЗ	5...8 мм від ЛЗ	Зона НПК	ЛЗ	5...8 мм від ЛЗ	Зона НПК	
Голівка (25 мм від поверхні катання)	2...3	4...5	6...7	7...9	8...9	9	10	9...10	8...9	5...8
Шийка (центр)	3	5	7	7...9	7...8	9	9...10	8...9	9	7...8
Підшва (10 мм від основи)	3	5	7	8...9	8	10	9...10	10	10	5...6

ня становила в голівці на глибині 25 мм від поверхні катання *HRC* 25, в центрі шийки *HRC* 28, на відстані 10 мм від основи підшви *HRC* 26. На відстані 7 мм від лінії з'єднання (7 мм від ЛЗ) твердість в голівці та підшві *HRC* 31-32, в шийці *HRC* 30. Низьку твердість *HRC* 22-23 мав метал в зоні НПК на відстані 18 мм від лінії з'єднання (18 мм від ЛЗ). Після одинарної ТО твердість по лінії з'єднання збільшилася в голівці до *HRC* 28, в шийці до *HRC* 29, в підшві до *HRC* 28. Після подвійної ТО твердість по лінії з'єднання становила в голівці *HRC* 27, в шийці збільшилася до *HRC* 30, в підшві збільшилася до *HRC* 31. Від лінії з'єднання до зони НПК твердість в голівці збільшилася до *HRC* 36, в підшві до *HRC* 33. В зоні НПК, на відстані 27 мм від лінії з'єднання, твердість становила *HRC* 22-24. Такий розподіл твердості по ширині ЗТВ характерний також для ділянок переходу голівки в шийку та шийки в підшву. Деяку відмінність мав розподіл твердості в зоні гартівного охолодження (рис. 4). Після подвійної ТО твердість на глибині 5 мм від поверхні катання го-

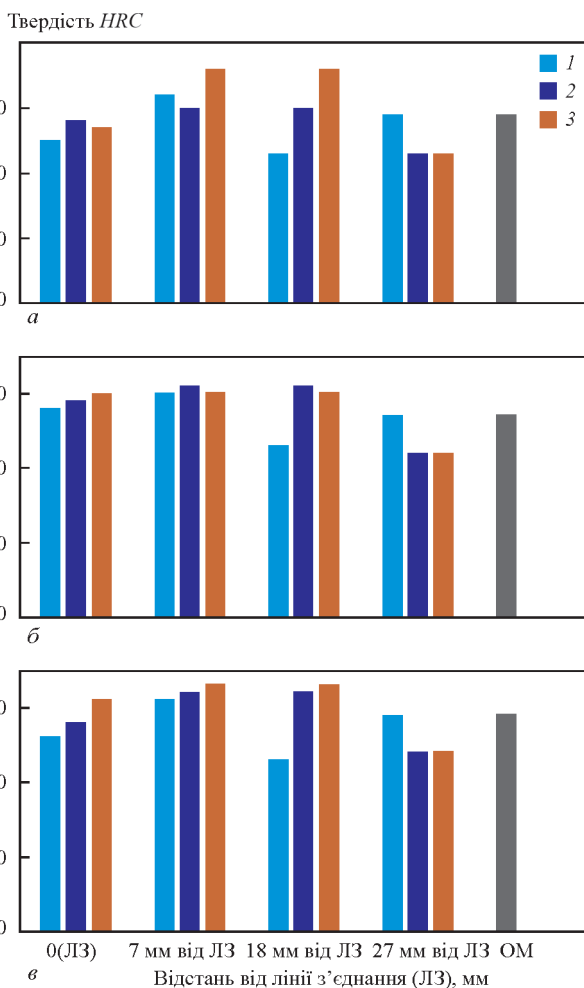


Рис. 3. Розподіл твердості *HRC* по ширині ЗТВ зварних стиків рейок в голівці на глибині 25 мм від поверхні катання (а), в центрі шийки (б) та в підшві на відстані 10 мм від основи (в) після зварювання (1), після одинарної ТО (2) та після подвійної ТО (3)

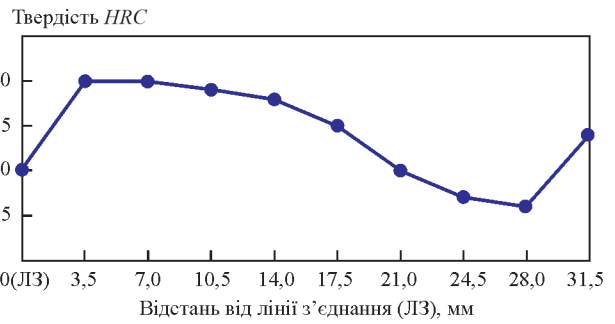


Рис. 4. Розподіл твердості *HRC* по ширині ЗТВ зварних стиків рейок в зоні гартівного охолодження на глибині 5 мм від поверхні катання голівки після подвійної ТО

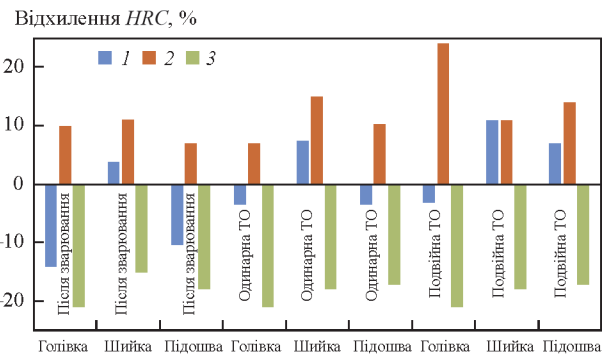


Рис. 5. Відхилення твердості *HRC* зварних стиків рейок від твердості основного металу по лінії з'єднання (ЛЗ) (1), на відстані 7 мм від лінії з'єднання (7 мм від ЛЗ) (2) та в зоні неповної перекристалізації (зона НПК) (3) після зварювання, після одинарної ТО та після подвійної ТО

лівки та відстані 7 мм від лінії з'єднання збільшилася до *HRC* 40. Це більше, ніж в початкових рейках, де твердість *HRC* 37-38.

Гістограми, що приведені на рис. 5, характеризують відхилення твердості *HRC* по ширині ЗТВ стиків рейок відносно твердості основного металу відповідних елементів рейки. В стиках після зварювання твердість в голівці по лінії з'єднання (ЛЗ) менше твердості основного металу на 14 %, на відстані 7 мм від лінії з'єднання більше на 10 %, в зоні НПК менше на 21 %. В центрі шийки твердість по лінії з'єднання більше на 3 %, в зоні НПК менше на 15 %. Істотне відхилення твердості характерне для підшви рейки. Тут зниження твердості досягло 10 % по лінії з'єднання та зниження на 18 % в зоні НПК. Після одинарної ТО можна відзначити, що твердість по лінії з'єднання та на відстані 7 мм від лінії з'єднання в голівці та підшві рейок наблизилася до твердості основного металу. Зокрема, відхилення твердості по лінії з'єднання не більше 3 %. Це свідчить про наближення механічних властивостей зварних стиків до рівня основного металу. В стиках після подвійної ТО твердість в голівці по лінії з'єднання також знизилася на 3 від рівня основного металу, але в шийці та підшві підвищилася, відповідно, на 11 та 7 %. На відстані 7 мм від лінії з'єднання твердість значно зросла, в голівці на 24 %, в підшві на 14 %.

Висновки

1. Результатом одинарної ТО зварних стиків рейок Р65 із сталі К76Ф, після прискореного нагріву до температури 890...900 °С та загартування поверхні катання в зоні стику, є наближення механічних властивостей зварних стиків до рівня основного металу рейок.

2. Після подвійної ТО зварних стиків рейок, що включає попередній відпал при температурі 750 °С, подальший прискорений нагрів до температури 890...900 °С та загартування поверхні катання рейки в зоні стику, змінилася мікроструктура металу, зменшився розмір зерна до балу 8-10 по всій ширині ЗТВ. Твердість в голівці по лінії з'єднання наблизилася до рівня основного металу та підвищилася в шийці та підшві. Значно підвищилася твердість по ширині ЗТВ від лінії з'єднання до зони неповної перекристалізації.

3. Твердість в зоні гартівного охолодження голівки після подвійної ТО та загартування поверхні катання перевищила твердість початкових рейок.

4. Вплив одинарної та подвійної ТО на структуру та твердість зварних стиків рейок, виконаних контактним стиковим зварюванням, дозволяє рекомендувати застосування таких технологій для підвищення надійності стиків, особливо в тяжких умовах експлуатації рейкового шляху.

Список літератури

1. Генкин И.З. (2003) Термическая обработка стыков рельсов на индукционных установках. *Автоматическая сварка*, **9**, 41–44.
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. Фещуков А.Н. (2016) *Установка термической обработки сварных стыков рельсов в полевых условиях*. РФ, Пат. 57752, МПК E01B31/18.
4. Резанов В. А., Федин В. М., Башлыков А. В. (2013) Дифференцированная закалка сварных стыков рельсов. *Вестник НИИ железнодорожного транспорта*, **2**, 28–33.
5. Скобло Т.С., Сапожков В.Е., Александрова Н.М., Сидашенко А.И. (2014) *Качество термически упрочненных рельсов и подкладок. Исследования. Теория. Оборудование. Технология. Эксплуатация*. Скобло Т.С. (ред.). Харьков, ТОВ «Щедра садиба плюс».
6. Сталинский Д.В., Рудюк А.С., Сапожков В.Е., Нестеров Д.К. (2007) Сфероидизация карбидной фазы в заэвтектоидной стали и ее влияние на свойства рельсов. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, **2**, 48–54

7. Островский Г.А., Саррак С.И., К.З. Шепеляковский К.З. (1967) Влияние изменения аустенитного зерна на свойства углеродистых сталей после низкого отпуска. *Металловедение и термическая обработка металлов*, **6**, 56–62.
8. Пантелеймонов Є.О. (2017) Комплекс для термічної обробки зварених стиків залізничних рейок в шляхових умовах. Україна, Пат. на кор. модель 114593, МПК E01B31/18.
9. Пантелеймонов Є.О. (2020) Модуль для термічної обробки зварених стиків залізничних рейок. Україна, Пат. на кор. модель 143908, МПК E01B 31/18 (2006.01), C21D 1/10 (2006.01).
10. Пантелеймонов Є.О. (2016) *Індукційний пристрій для термічної обробки зварених стиків залізничних рейок*. Україна, Пат. на кор. модель 109123, МПК C21D 1/10 (2006.01).
11. Пантелеймонов Е.А., Губатюк Р.С. (2016) Индукционное устройство для термической обработки сварных стыков железнодорожных рельсов. *Автоматическая сварка*, **10**, 41–44.
12. Пантелеймонов Е.А. (2018) К вопросу термической обработки сварных стыков железнодорожных рельсов. *Там же*, **3**, 43–46.

References

1. Genkin, I.Z. (2003) Heat treatment of rail welded joints in induction units. *The Paton Welding J.*, **9**, 38-41.
2. Nesterov, D.K., Sapozhkov, B.E., Levchenko, N.F. et al. (1990) Heat treatment of rail steel using induction heating. *Metallvedenie i Termich. Obrab. Metallov*, **8**, 30-34 [in Russian].
3. Feshchukov, A.N. (2016) *Unit for heat treatment of rail welded joints in the field*. RF, Pat. 57752, Int. C. E01B31/18 [in Russian].
4. Rezanov, V.A., Fedin, V.M., Bashlykov, A.V. (2013) Differential quenching of rail welded joints. *Vestnik NII Zheleznodorozhnogo Transporta*, **2**, 28-33 [in Russian].
5. Skoblo, T.S., Sapozhkov, V.E., Aleksandrova, N.M., Sidashenko, A.I. (2014) *Quality of thermally-hardened rails and bases. Examinations. Theory. Equipment. Technology. Operation*. Ed. by T.S. Skoblo. Kharkov, LLC «Shchedra Sadyba Plus» [in Russian].
6. Stalinsky, D.V., Rudyuk A.S., Sapozhkov, V.E., Nesterov D.K. (2007) Spheroidizing of carbide phase in hypereutectoid steel and its influence on rail properties. *Metallurg. i Gornorud. Promyshlennost*, **2**, 48–54 [in Russian].
7. Ostrovsky, G.A., Sarrak, S.I., Shepelyakovsky K.Z. (1967) Influence of austenitic grain change on properties of carbon steels after low-temperature tempering. *Metallovedenie i Termich. Obrab. Metallov*, **6**, 56-62 [in Russian].
8. Panteleimonov, E.O. (2017) *Complex for heat treatment of rail welded joints in the field*. Ukraine, Pat. on utility model 114593, Int. Cl. E01B31/18 [in Ukrainian].
9. Pantelejmonov, E.O. (2020) *Module for heat treatment of rail welded joints*. Ukraine, Pat. on utility model 143908, Int. Cl. E01B 31/18 (2006.01), C21D 1/10 (2006.01) [in Ukrainian].
10. Pantelejmonov, E.O. (2016) *Induction device for rail welded joints*. Ukraine, Pat. on utility model 109123, Int. Cl. C21D 1/10 (2006.01) [in Ukrainian].
11. Pantelejmonov, E.A., Gubatjuk, R.S. (2016) Induction device for heat treatment of welded joints of railway rails. *The Paton Welding J.*, **10**, 41-43.
12. Panteleymonov, E.A. (2018) On the problem of heat treatment of welded joints of railway rails, *Ibid.*, **3**, 36-39

DOUBLE 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

The paper presents the results of heat treatment of welded joints of R65 rails from K76F steel, produced by flash-butt welding. It is shown that after pre-annealing of butt welded joints with further accelerated heating up to the temperature of heat treatment and quenching of the rail rolling surface by compressed air, the microstructure of welded butt joint metal changes, grain size is considerably refined, hardness across the HAZ width is increased, and deviation of metal hardness along the joint line from base metal level becomes smaller. 12 Ref., 1 Tabl., 5 Fig.

Keywords: rails, welded butt joints, heat treatment, microstructure, hardness

Надійшла до редакції 26.05.2020