

ТЕРМІЧНІ ЦИКЛИ І МІКРОСТРУКТУРА З'ЄДНАНЬ ПРИ КОНТАКТНОМУ СТИКОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ОПЛАВЛЕННЯМ РЕЙОК ІЗ СТАЛЕЙ 110Г13Л І К76Ф ЧЕРЕЗ ПРОМІЖНУ ВСТАВКУ ІЗ СТАЛІ 08Х18Н10Т

О.В. Кавуніченко¹, І.В. Зяхор¹, Ю.А. Шило¹, А.М. Левчук¹, Є.В. Антіпін¹, Andrew Fong²

¹ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: avkava@gmail.com

²Yardway Railquip Limited, Unit A5, 29/F., TML Tower, 3 Hoi Shing Road, Tsuen Wan, N.T., Hong Kong

У статті наведено результати дослідження вибору температурно-часових та енергосилових параметрів при контактному стиковому зварюванні осердя залізничних хрестовин (сталь 110Г13Л) з рейковою сталлю (К76Ф) через проміжну хромо-нікелеву аустенітну вставку (08Х18Н10Т). За допомогою алгоритму чисельного вирішення тривимірного рівняння теплопровідності при початкових і граничних умовах, відповідних до реальних умов зварювання зразків, отримано термічні цикли при КСЗО сталі марки К76Ф із аустенітною сталлю 08Х18Н10Т та сталі 110Г13Л із аустенітною сталлю 08Х18Н10Т і розподіл температури у зварних стиках (у зоні термічного впливу для обох сталей). Визначено діапазони зміни основних технологічних параметрів процесу КСЗО, при яких у процесі оплавлення рейок із сталей К76Ф, 110Г13Л та 08Х18Н10Т забезпечується їх рівномірне нагрівання по перерізу та довжині, достатнє для виконання деформації на задану величину при осадці. Бібліогр. 13, табл. 4, рис. 11.

Ключові слова: контактне стикове зварювання оплавленням, залізничні хрестовини, рейкова сталь, пульсуюче оплавлення

Вступ. Розробка різних способів зварювання дозволила вирішити багато проблем, характерних для виробництва виробів з металевих матеріалів. Сучасне машинобудування немислимо без зварювальних технологій та інших процесів, що супроводжуються плавленням матеріалів. Одна з найбільш складних проблем пов'язана з формуванням нероз'ємних комбінованих конструкцій, елементи яких виготовлені з різних за складом матеріалів [1].

Існують вироби відповідального призначення, що визначають безпеку залізничного транспорту. Одним із найхарактерніших прикладів у цій галузі є зварні хрестовини, при формуванні яких використовується три типи сталей [2–4].

Спосіб отримання нероз'ємних з'єднань, заснований на використанні технології контактної стикового зварювання хрестовин із сталі 110Г13Л із залізничними рейками, значною мірою усуває недоліки, характерні для роз'ємних конструкцій. Така технологія використовується європейськими та українськими виробниками стрілочних переводів. Технологічний процес полягає в послідовному зварюванні елементів з високомарганцевистої та хромо-нікелевої сталей, а потім і рейкової сталі. Без застосування проміжних вставок зі сталі 08Х18Н10Т якість з'єднання сталі 110Г13Л та рейкової сталі, що різко відрізняються за хімічним складом та відносяться до різних структурних класів, не відповідає умовам експлуатації стрілочних переводів.

Заміна сталі мартенівського виробництва на конверторну сталь вимагає удосконалення технології контактної стикового зварювання оплавленням (КСЗО) осердя хрестовини із сталі 110Г13Л з рейковими закінченнями із сталі К76Ф. В Україні використовують залізничні рейки з киснево-конверторної сталі – нетермозміцнені (R260), поверхнево-загартовані (R350НТ) і поверхнево-загартовані, додатково мікролеговані перехідними металами, зокрема ванадієм (К76Ф), титаном (К76Т).

В даний час, однією з найбільш важливих частин верхньої будови колії, які використовуються в залізничній галузі, є хрестовини. Високомарганцева аустенітна сталь 110Г13Л успішно застосовується в машинобудуванні. Завдяки здатності до наклепу робочої поверхні, сталь 110Г13Л навіть в даний час є фактично безальтернативною для виготовлення виробів, що працюють під впливом ударних, ударно-абразивних навантажень і високих питомих статичних тисків, наприклад, траків гусениць тракторів, рейкових хрестовин, стрілочних переводів. Поряд з унікальними властивостями, сталь має досить невисоку вартість, тому її застосування має беззаперечні переваги.

Високомарганцева сталь 110Г13Л містить 11... 13 % Mn, і є унікальною з тієї причини, що поєднує високу в'язкість і пластичність з великою здатністю до зміцнення. Опір зносу залежить від

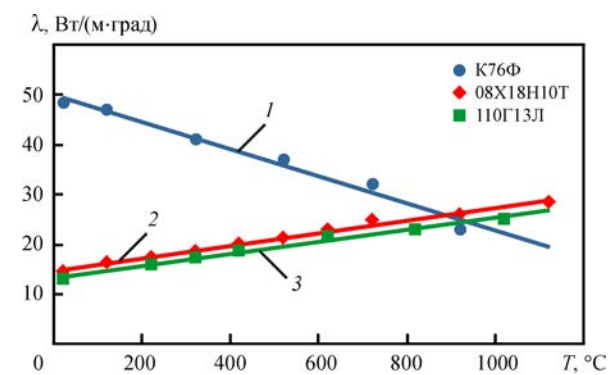


Рис. 1. Залежність коефіцієнту теплопровідності сталей, що зварюються, від температури: 1 – лінійна (K76Ф); 2 – лінійна (08X18N10T); 3 – лінійна (110Г13Л)

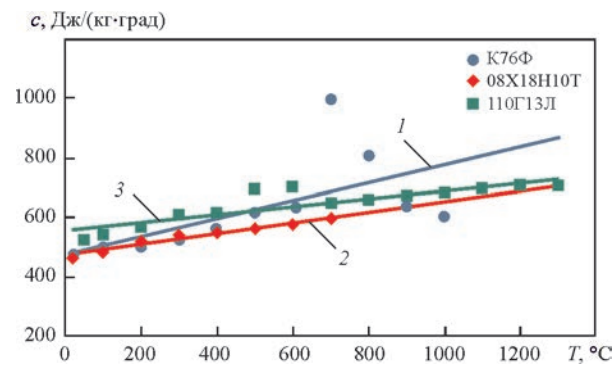


Рис. 2. Залежність питомої теплоємності сталей, що зварюються, від температури: 1 – лінійна (K76Ф); 2 – лінійна (08X18N10T); 3 – лінійна (110Г13Л)

Таблиця 1. Механічні властивості досліджуваних сталей

Марка сталі	σ_r , МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	Твердість, HV_{30}
K76Ф	485...575	1311...1368	13,5	31	370...380
110Г13Л	400	800	25	35	205...230
08X18N10T	205	510	43	45	140...150

Примітки. σ_r – границя текучості; σ_b – тимчасовий опір; δ – відносне подовження після розриву; ψ – відносне звуження після розриву.

рівня інтенсивності поверхневого зміцнення і процесу зміцнення під час роботи [5–8]. Залізничні рейки виготовлені з перлітної сталі, яка містить 0,72...0,82 % вуглецю, до 1,5 % марганцю і до 0,5 % кремнію. Фізичні властивості цих двох матеріалів створюють проблему при зварюванні завдяки різним теплофізичним (рис. 1, рис. 2) і механічним властивостям (табл. 1) [9].

Мета даної роботи – встановити вплив температурно-часових та енергосилових параметрів при контактному стиковому зварюванні оплавленням (КСЗО) на формування структури та фазового складу, механічних характеристик твердофазних з’єднань зносостійкої високомарганцевої

Таблиця 2. Хімічний склад досліджуваних сталей

Марка сталі	Масова частка хімічних елементів, %							
	C	Cr	Ni	Ti	Mn	Si	S	P
K76Ф	0,8	–	–	–	1,3	0,35	0,004	0,035
110Г13Л	1,2	1	1	–	14,5	0,8	0,05	0,12
08X18N10T	0,07	17,2	11,8	0,4	1,82	0,6	0,001	0,025

сталі 110Г13Л з рейковими сталлями через вставку із аустенітної хромонікелевої сталі.

Матеріали, методики дослідження та обладнання. Для досліджень використовували сталі, хімічний склад яких приведено в табл. 2.

Зварювання здійснювали на розробленій в ІЕЗ ім. Є.О. Патона машині K924M. Машина призначена для контактного стикового зварювання в стаціонарних умовах елементів залізничних хрестовин зі спеціальної сталі з відповідними деталями з рейкової сталі або для зварювання рейок заввишки 140...195 мм, з площею поперечного перерізу від 5000 до 15000 мм² зі зняттям ґрату безпосередньо після зварювання. З отриманих зварних з’єднань виготовляли шліфи для дослідження їх структурних особливостей. Міцність та пластичність зварних стиків, елементів стрілочних хрестовин, визначали при статичному 3-х точковому вигині на пресі гідравлічному МСП-300. Для оцінки структурних особливостей зварних з’єднань використовували методи світлової (Neophot-32), скануючої електронної мікроскопії (ОЖЕ-мікрозонд JAMP-9500F, «JEOL» із встановленим EDS-спектрометром OXFORD EDS INCA Energy 350). Твердість металу в ЗТВ зварного з’єднання вимірювали за Віккерсом на стаціонарному твердомірі NOVOTEST TC-БРВ при навантаженні $P = 300$ Н.

Прогнозування кінетики фазового стану металу зони з’єднання сталей K76Ф + 08X18N10T та 08X18N10T + 110Г13Л у процесі зварювання і охолодження зварного стика рейок здійснювали на основі чисельного аналізу температурних циклів при конкретних режимах теплового впливу, хімічного складу сталей злитка і діаграм анізотропного розпаду аустеніту (АРА). Такі діаграми з урахуванням тривалості витримки вище відповідних температур (бал зерна аустеніту) в даний час розроблені для багатьох сталей. За допомогою діаграм АРА можна оцінити масову частку V_n конкретної n -ї структурної складової ($n = A, F, P, B, M$, відповідно, аустенітної, феритної, перлітної, бейнітної, мартенситної) в областях як чистих, так і змішаних фаз: аустенітна (A), аустенітно-феритної (A + F), перлітної (A + F + C), де C – карбіди, прилеглі до зони, обмеженої температурою початку мартенситного перетворення і зверху температурами нижче 600 °C. Відповідно, точки перетину кривих температурних циклів $T(t)$, які характеризуються середньою швидкістю охолодження в зоні 800...500 °C, визначають темпе-

ратуру початку та кінця відповідних структурних перетворень аустеніту в n -у фазу.

Результати досліджень та обговорення. Для проведення дослідження термічних циклів, що виникають при КСЗО разом з відділом № 34 «Математичні методи дослідження фізико-хімічних процесів при зварюванні і спецелектрометалургії» ІЕЗ ім. Є.О. Патона була розроблена математична модель нагріву суцільної рейки.

Кінетика теплового поля у рейках, що зварюється була описана рівнянням (1) теплопровідності зі змінними термодинамічними характеристиками матеріалу у тривимірній системі координат, яка зображена на рис. 3 [10–12].

$$\begin{aligned} C_p(x, y, z, T) \cdot \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial t} = \\ = \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial x} \cdot \left[\lambda(x, y, z) \cdot \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial x} \right] + \\ + \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial y} \cdot \left[\lambda(x, y, z) \cdot \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial y} \right] + \\ + \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial z} \cdot \left[\lambda(x, y, z) \cdot \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial z} \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

З врахування різних механізмів дисипації тепла (конвективний, інфрачервоне випромінювання), були описані граничні умови.

$$-\lambda(T) \frac{\partial T(t)}{\partial n} = \alpha(T - T_c) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_c^4) \quad (2)$$

Джерело тепла при КСЗО є теплова енергія, яка описана постановкою граничних умов в наступному вигляді (3), де η – коефіцієнт корисної дії, який враховує активні та реактивні втрати через особливості вторинного контуру машини; I – струм зварювання; U – напруга зварювання.

$$\lambda(T) \frac{\partial T(t)}{\partial n} \Big|_{z=0} = 0,5 \cdot \eta \cdot U \cdot I \quad (3)$$

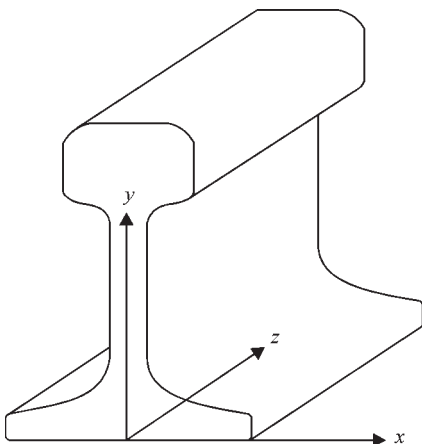


Рис. 3. Виріб, що зварюється в прямокутній системі координат

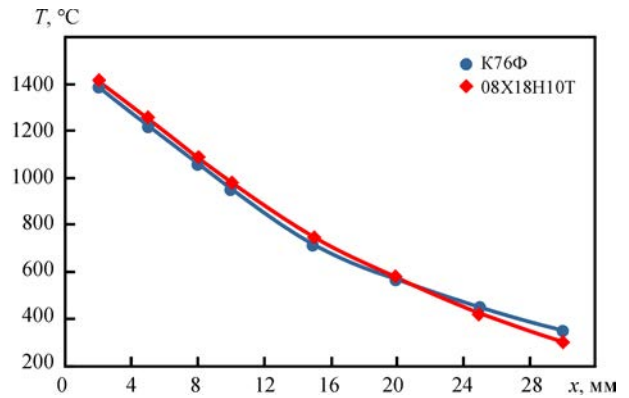


Рис. 4. Розподіл температури по осі рейок перед осадкою при КСЗО сталей K76Ф і 08X18H10T (розрахунок)

За допомогою математичної моделі тривимірного простеження температурних полів отримано розподіл температури по товщині зварного з'єднання перед осадкою при КСЗО сталі K76Ф із сталлю 08X18H10T (рис. 4).

Для отримання необхідних термічних циклів в ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблена технологія зварювання, що отримала назву пульсуючого оплавлення.

За рахунок багатфакторного регулювання величини іскрового зазору, існуючого між контактними деталями в процесі оплавлення, а також миттєвих значень напруги, забезпечується інтенсифікація контактного нагріву, при якій скорочуються втрати металу на оплавлення і підвищується ККД в порівнянні з канонічними процесами безперервного оплавлення або попереднього підігріву опором. Тривалість нагрівання і припуски на оплавлення скорочуються в 1,5...2,0 рази. Отримання якісних з'єднань забезпечується при меншій ширині ЗТВ.

Застосування пульсуючого оплавлення (ПО) дозволяє забезпечити необхідне нагрівання рейкової й аустенітної сталей, що різко відрізняються своїми теплофізичними властивостями [13].

Експериментальні дослідження термічних циклів проводили за наступною схемою. До головки рейки приварювались термопари на відстані 5 мм одна від одної (рис. 5). Відстань до першої термопари вираховувалась таким чином, щоб після закінчення повного циклу зварюван-

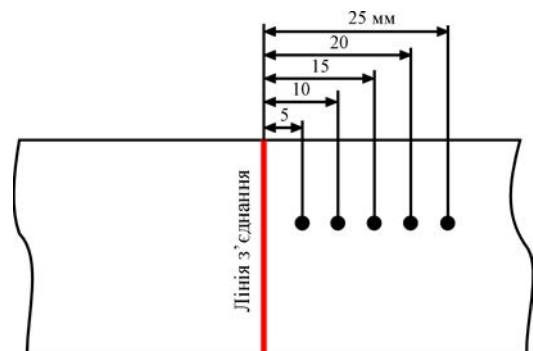


Рис. 5. Схема розміщення термопар

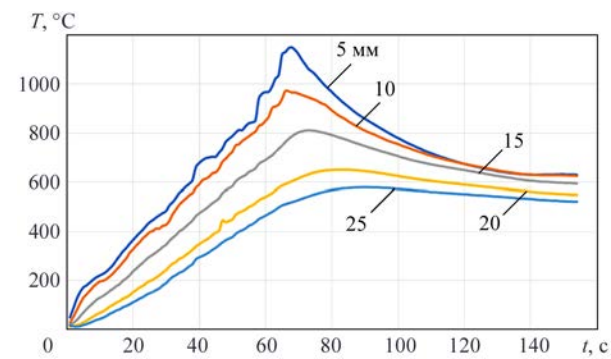


Рис. 6. Термічні цикли КСЗО на різній відстані від лінії з’єднання сталей К76Ф і 08Х18Н10Т

ня вона знаходилась на відстані 5 мм від лінії з’єднання.

Розрахункові результати термічних циклів з невеликою похибкою збігаються з експериментальними дослідженнями (рис. 6).

За аналогічною методикою, розрахунковим шляхом було встановлено розподіл температури по товщині зварного з’єднання перед осадкою при КСЗО сталі 08Х18Н10Т із сталлю 110Г13Л (рис. 7).

При КСЗО аустенітних сталей (08Х18Н10Т + 110Г13Л) необхідно комбінувати більш інтенсивний нагрів з глибиною прогріву металу В процесі проведення експериментів, варіювалася тривалість нагрівання при різній його інтенсивності, припуски на оплавлення й осадку.

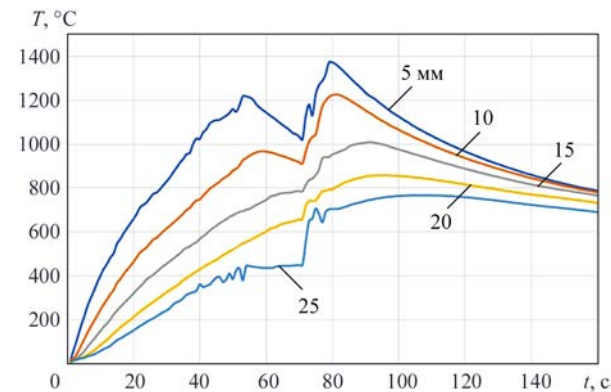


Рис. 8. Термічні цикли КСЗО на різній відстані від лінії з’єднання сталей 08Х18Н10Т і 110Г13Л

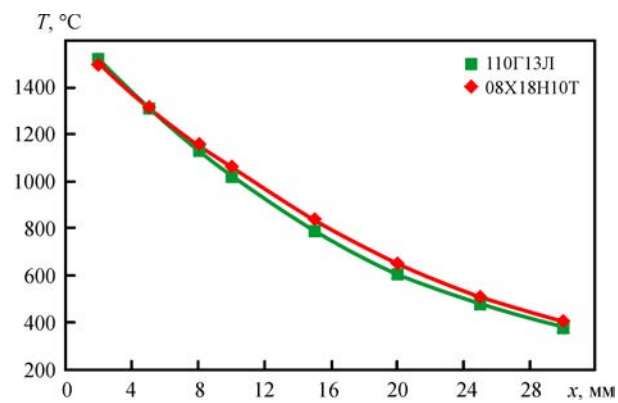


Рис. 7. Розподіл температури по осі рейок перед осадкою при КСЗО сталей 08Х18Н10Т і 110Г13Л (розрахунок)

При застосуванні комбінованого способу (режиму) нагріву отримані експериментальні термоцикли, які наведені на рис. 8.

Зниження напруги на певному етапі зварювального процесу дозволило забезпечити нагрів сталей, необхідний для виконання термодформацийного процесу.

В процесі проведення експериментів, варіювалася тривалість нагрівання при різній його інтенсивності, припуски на оплавлення та величини осадки. Для забезпечення необхідного енерговкладення був підібраний режим зварювання для рейкової сталі К76Ф із сталлю 08Х18Н10Т (табл. 3) та сталі 08Х18Н10Т із сталлю 110Г13Л (табл. 4).

Таблиця 3. Режим для КСЗО рейкової сталі К76Ф зі сталлю 08Х18Н10Т

Параметри зварювання	
Припуск на зварювання (S , мм)	30
Напруга (U , В)	280...380
Осадка (мм)	12
Кінцева швидкість оплавлення ($V_{\text{к}}$, мм/с)	1,6...1,8

Таблиця 4. Режим для КСЗО сталі 08Х18Н10Т зі сталлю 110Г13Л

Параметри зварювання	
Припуск на зварювання (S , мм)	30
Напруга (U , В)	255...380
Осадка (мм)	13
Кінцева швидкість оплавлення ($V_{\text{к}}$, мм/с)	1,8...2,0

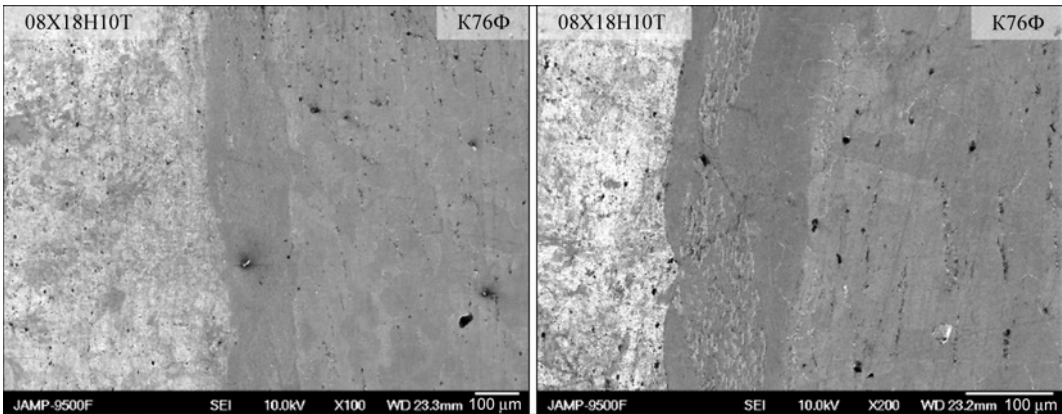


Рис. 9. СЕМ-зображення мікроструктури металу в перехідній зоні з’єднання сталь К76Ф + сталь 08Х18Н10Т

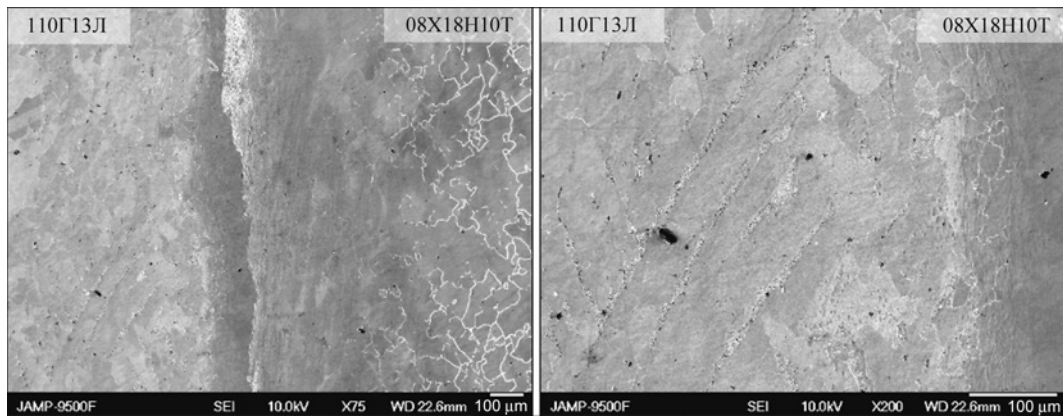


Рис. 10. СЕМ-зображення мікроструктури металу в перехідній зоні з'єднання сталь 110Г13Л + сталь 08Х18Н10Т

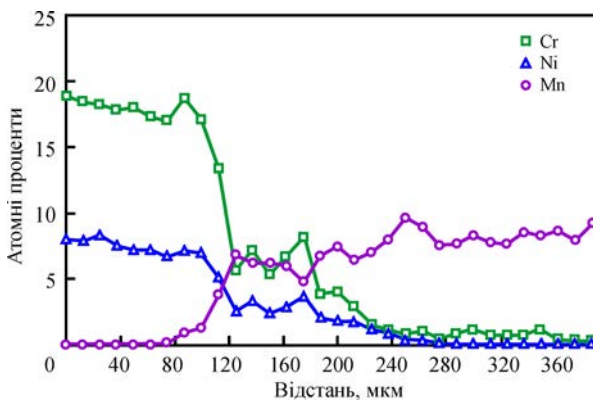


Рис. 11. Розподіл концентрації хімічних елементів в перехідній зоні з'єднання сталь 110Г13Л + сталь 08Х18Н10Т (ат. %)

Зміна первинної напруги в діапазоні $U_1 = 255...380$ В та швидкості переміщення $V_n = 0,8...2,4$ мм/с в процесі КСЗО забезпечує вирівнювання градієнтів температури в аустенітній та перлітній сталях, що дозволяє оптимізувати умови деформації обох сталей в процесі осадки та забезпечити відповідність показників механічних властивостей з'єднань нормативним вимогам.

Перехідна зона з'єднання сталь К76Ф + сталь 08Х18Н10Т (рис. 9) формується у результаті оплавлення субзерених границь рейкової сталі й процесів гетеродифузії. Мікроструктура перехідної зони являє собою ділянки з голчастою структурою на тлі світлого поля. Оплавлені ділянки, що утворюються в перехідній зоні, відповідають по хімічному складу низьколегованим сталям. Залежно від швидкості охолодження продуктами евтектоїдного перетворення аустеніту таких сталей можуть бути перліт, бейніт, або мартенсит.

Перехідна зона з'єднання сталь 110Г13Л + сталь 08Х18Н10Т (рис. 10) має стабільну аустенітну структуру. Ділянка з'єднання із змінною концентрацією хімічних елементів має ширину близько 200 мкм. У той же час ділянка перехідної зони із практично постійною концентрацією легуючих елементів Cr, Mn, Ni має ширину близь-

ко 50 мкм, що свідчить про формування зварного з'єднання у цій зоні в рідкому стані. Ширина дифузійних зон у з'єднанні складає – до 50 мкм в сторону сталі 08Х18Н10Т і до 100 мкм – в сторону сталі 110Г13Л (рис. 11).

Висновки

1. Встановлено вплив температурно-часових та енергосилових параметрів та визначено діапазони зміни основних технологічних параметрів процесу КСЗО, при яких у процесі оплавлення рейок із сталей К76Ф, 110Г13Л та 08Х18Н10Т забезпечується їх рівномірне нагрівання по перерізу та довжині, достатнє для виконання деформації на задану величину при осадці.

2. За допомогою алгоритму чисельного вирішення тривимірного рівняння теплопровідності при початкових і граничних умовах, відповідних до реальних умов зварювання зразків, отримано термічні цикли при КСЗО сталі марки К76Ф із аустенітною сталлю 08Х18Н10Т та високомарганцевої сталі 110Г13Л із аустенітною сталлю 08Х18Н10Т та визначено розподіл температури у зварних стиках (у зоні термічного впливу для обох сталей).

3. Визначено термічні цикли при КСЗО сталей К76Ф і 110Г13Л із проміжною вставкою із сталі 08Х18Н10Т при різних значеннях основних технологічних параметрів процесу зварювання, встановлено вплив процесу КСЗО на структурні зміни сталей у зоні з'єднань 1-го і 2-го стиків.

4. Встановлено діапазон зміни первинної напруги U_1 і швидкості переміщення V_n ($U_1 = 255...380$ В і $V_n = 0,8...2,4$ мм/с) в процесі контактного стикового зварювання оплавленням, при якому забезпечується вирівнювання градієнтів температури в аустенітній та перлітній сталях, що дозволяє оптимізувати умови деформації обох сталей у процесі осадки і забезпечити відповідність показників механічних властивостей з'єднань нормативним вимогам.

Список літератури/References

1. Готальский Ю.Н. (1981) *Сварка разнородных сталей*. Киев, Техника.
2. Gotsalsky, Yu.N. (1981) *Welding of dissimilar steels*. Kyiv: Tekhnika [in Russian].
3. Kuchuk-Yatsenko, S.I., Kavunichenko, O.V., Ma, Ping et al. (2017) Technology and equipment for flash butt welding of railway frogs with rail ends through austenitic insert. *Railway engineering, China*, **12**, 102–105.
4. Kavunichenko O.V., Shvets V.I. and Antipin E.V. (2018) Peculiarities of flash-butt welding of rail frogs with rail ends. *The Paton Welding J.*, **4**, 19–24. <https://doi.org/10.15407/tpwj2018.04.04>
5. Karaman, I., Sehitoğlu, H., Chumlyakov, Y. et al. (2001) Extrinsic stacking faults and twinning in Hadfield manganese steel single crystals. *Scripta Mater.*, **44**, 337–443.
6. Efstathiou, C. (2009) Strengthening Hadfield steel welds by nitrogen alloying. *Materials Science and Engineering*, **506**, 174–179.
7. Efstathiou C., Sehitoğlu H. (2010) Strain hardening and heterogeneous deformation during twinning in Hadfield steel. *Acta Materialia*, **58**, 1479–1488.
8. Mohyla, P. (2004) Affect of tempering temperatures on mechanical properties of weld joints in low-alloyed creep-resistant steels. *Acta Metallurgica Slovaca*, **10**, 193–200.
9. Зубченко А.С. (2003) *Марочник сталей и сплавов*. Москва, Машиностроение.
10. (2003) *Reference book on grades of steels and alloys*. Ed. by A.S. Zubchenko. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
10. Olivares, R., Garcia, C., DeArdo, A. et al. (2011) Advanced metallurgical alloy design and thermo mechanical processing for rails steels for North American heavy use. *Wear*, (271), 364–373.
11. Sahay, S., Mohapatra, G., Totten, G. (2009) Overview of Pearlritic Rail Steel: accelerated cooling, quenching, microstructure, and mechanical properties. *J. ASTM Int.*, **7**, 1–26.
12. Alves, L., Lagares, M., Filho, R. et al. (2019) Predictive mathematical modeling of the flash-butt welding process to optimize the properties of welds of premium and super premium rails. *International heavy haul STS Conference*, 440–7.
13. Kuchuk-Yatsenko, S.I. et al. (2001) *Method of flash-butt welding*. US6294752B1. 219.100.

THERMAL CYCLES AND MICROSTRUCTURE OF THE FLASH BUTT WELDED JOINTS OF 110G13L AND K76F STEEL RAILS THROUGH 08Xh18N10T STEEL INSERT

O.V. Kavunichenko¹, I.V. Ziakhor¹, Yu.A. Shylo¹, A.M. Levchuk¹, Ye.V. Antipin¹, Andrew Fong²¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: avkava@gmail.com²Yardway Railquip Limited, Unit A5, 29/F., TML Tower, 3 Hoi Shing Road, Tsuen Wan, N.T., Hong Kong

The article presents the results of studying the choice of temperature-time and energy-force parameters in flash butt welding (FBW) of the core of railway crossings (110G13L steel) with rail steel (K76F) through an intermediate chrome-nickel austenitic insert (08Kh18N10T). Using an algorithm of numerical solution of the three-dimensional heat conduction equation under the initial and boundary conditions corresponding to the real conditions of welding of the specimens, thermal cycles in FBW of K76F steel with 08Kh18N10T austenitic steel and 110G13L steel with 08Kh18N10T austenitic steel and temperature distribution in welded joints (in the heat-affected zone for both steels) were obtained. Ranges of varying the main technological parameters of the FBW process have been determined, in which during flashing of rails from K76F, 110G13L, and 08Kh18N10T steels, their uniform heating across the cross-section and length is provided, sufficient for achieving deformation to the specified extent during upseting. 13 Ref., 4 Tabl., 11 Fig.

Keywords: flash butt welding, railway crossings, rail steel, pulsating flashing

Отримано 17.10.2023

Отримано у переглянутому вигляді 05.12.2023

Прийнято 09.01.2024

Велику Британію та Данію сполучив найдовший у світі електричний кабель

До енергетичних систем Великої Британії та Данії 29 грудня 2023 р. під'єднали 764-кілометровий підводний електричний кабель Viking Link, який вважається найдовшим у світі. Кабель Viking Link – перший, що сполучає Британію з Данією. Його використовуватимуть для постачання дешевої електроенергії, якої вистачить на 2,5 млн домогосподарств і яку виробляють данські вітрові електростанції.

Кабель прокладений від данської комуни Ваєн у Південній Ютландії, а в Британії виходитиме на берег приблизно за 170 км на північ від Лондона. Переважна частина його розташована на дні Північного моря. Звичайна пропускна спроможність кабелю становить 800 МВт, але за потреби може збільшуватись до 1400 МВт. При цьому кабель може передавати електроенергію між двома країнами залежно від того, в який бік дме вітер. Наприклад, коли вітер дме із заходу, він спочатку потрапить до Великої Британії, й тоді енергія може бути спрямована туди, де вітер дме слабше – тобто в Данію. Роботи над Viking Link розпочалися у 2019 р. й тривали чотири роки, під час яких його прокладали на морському дні за допомогою спеціально побудованого корабля. Це вже шостий кабель, що з'єднає Британію з континентальною Європою.

Британський національний оператор електроенергії сподівається, що ці кабелі допоможуть Британії зменшити на близько 100 млн т викиди вуглецю, а до 2030 р. 90% енергії, імпортованої через її кабелі, буде надходити з джерел з нульовим рівнем викидів вуглекислого газу.

Північноатлантичний альянс у червні 2023 р. відкрив новий центр із захисту підводних трубопроводів і кабелів на тлі побоювань, що Росія може шпигувати за критичною підводною інфраструктурою західних країн.

<https://www.eurointegration.com.ua/news/2024/01/3/7176642/>



Підстанція в Лінкольнширі, Велика Британія, з якою сполучений Viking Link