

УДК 621.791.762.5

Антіпін Є.В.
Зяхор І.В., канд. техн. наук
Дідковський О.В.
Кавуніченко О.В., канд. техн. наук
Левчук А.М.
Шило Ю.А.

Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, м. Київ, kaladze@meta.ua

ТЕХНОЛОГІЯ КОНТАКТНОГО СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ОПЛАВЛЕННЯМ ТЕРМІЧНОЗМІЦНЕНИХ РЕЙОК

На залізницях України використовують рейки класу R260 (нетермозміцнені) і 2 типи термічнозміцнених рейок – поверхнево-загартовані (R350HT) і поверхнево-загартовані, мікролеговані ванадієм (K76Ф). Показники міцності та зносостійкості рейок забезпечуються за рахунок отримання регламентованої перлітної структури заданої дисперсності (сорбітно-трооститної), яка визначає розподіл твердості по перерізу рейки.

При виконанні контактного стикового зварювання оплавленням (КСЗО) рейок на рейкозварювальних підприємствах АТ “Укрзалізниця” технологічні режими КСЗО визначаються експериментально для наявного типу рейок і конкретної рейкозварювальної машини. Дотепер не визначений єдиний алгоритм забезпечення якості зварних з’єднань рейок при зміні зовнішніх факторів (виробник рейок, марка сталі, стан рейкозварювальної машини, параметри дизель-генератора, якість підготовки торців рейок).

Відповідно до вітчизняних і європейських нормативних документів [1–3] вимоги до зварних з’єднань залізничних рейок можна умовно розділити на групи:

- показники механічних властивостей – стріла прогину і навантаження до руйнування при випробуваннях стиків на статичний поперечний згин;
- наявність дефектів – види недопустимих і максимальні розміри та кількість допустимих дефектів;
- параметри зони термічного впливу (ЗТВ) – її ширина та нерівномірність по довжині та перерізу рейок при аналізі макроструктури зварних стиків;
- розподіл твердості у ЗТВ (мінімальне і максимальне значення);
- мікроструктура металу в зоні з’єднання і ЗТВ – допустима перлітна структура різної дисперсності (перліт, сорбіт, троостит), виключається наявність ділянок з мартенситною та бейнітною структурою;
- показники при випробуваннях стиків на циклічну міцність.

Порівняльний аналіз [1–3] показує, що існують суттєві відмінності у вимогах вітчизняного та європейських стандартів, зокрема, в необхідності визначення показників міцності при циклічних навантаженнях зварних стиків, кількісної оцінки параметрів ЗТВ (ширина, рівномірність по перерізу рейок) і запобігання утворенню гартівних структур в зоні з’єднання і ЗТВ. Ці вимоги європейських стандартів обумовлюють необхідність врахування енергетичних параметрів процесу КСЗО, тобто тих які визначають термічний цикл і температурне поле у зварному з’єднанні.

Суттєвими параметрами термічного циклу при КСЗО є час перебування металу з’єднання в аустенітній області і швидкість охолодження в інтервалі температур перетворення аустеніту, які визначають розмір зерна, дисперсність перліту, показники міцності, пластичності і розподіл твердості в зоні зварного з’єднання. Відомо, що при КСЗО термічнозміцнених рейок проблемою є утворення в ЗТВ градієнту твердості – зон пониженої твердості з обох боків від лінії з’єднання («Double Dip Hardness») [4, 5].

На основі аналізу результатів багаторічного практичного досвіду по КСЗО рейок, механічних випробувань і металографічних досліджень зварних стиків встановлено, що

забезпечення у визначених межах технологічних параметрів КСЗО, таких як вторинна напруга, час, припуск та швидкість оплавлення, величина та швидкість осадки є необхідною, але недостатньою умовою одержання з'єднань, які задовольняють вимогам діючих стандартів по всім регламентованим критеріям.

Розрахунковим шляхом на основі розробленої математичної моделі процесу нагрівання при КСЗО пульсуючим оплавленням визначено потужність виділення енергії при різних значеннях технологічних параметрів. Проведено аналіз температурних полів при енерговкладенні Q в діапазоні $Q=2,0\dots5,0$ кВт·год. і показано, що величина Q може бути використана в якості комплексного параметра, який враховує вплив всіх енергетичних параметрів процесу КСЗО та зовнішніх факторів (відхилення від заданих умов виробничого циклу КСЗО рейок).

Використовуючи діаграми трансформації рейкових сталей R260, R350HT, K76Ф при безперервному охолодженні було визначено діапазон зміни величини енерговкладення Q , при якому забезпечується у зоні з'єднання перлітна структура заданої дисперсності та досягаються показники твердості згідно з вимогами діючих стандартів. Показано, що при КСЗО рейок забезпечення величини Q у заданих межах гарантує повторюваність умов формування зварних стиків (при умові відсутності недопустимих відхилень процесу КСЗО, які реєструються комп'ютеризованою системою контролю зварювальної машини). Розрахунково-експериментальними дослідженнями визначено діапазон зміни Q , в якому забезпечується формування якісних з'єднань рейок і досягнення регламентованих вимог до показників їх механічних властивостей, а саме:

- для нетермозміцнених рейок (R260) $Q=3,5\dots4,5$ кВт·год.
- для поверхнево-загартованих рейок (R350HT) $Q=3,3\dots4,0$ кВт·год.
- для поверхнево-загартованих і мікролегованих рейок (K76Ф) $Q=3,2\dots3,9$ кВт·год.
- для всіх типів рейок $Q=3,5\dots3,9$ кВт·год.

Показано, що варіювання величини енерговкладення Q у визначених межах забезпечує задану швидкість охолодження зварних стиків в інтервалі температур перетворення аустеніту і обумовлює утворення в зоні з'єднання високодисперсного пластинчатого перліту (сорбіто-трооститної структури) і розподіл твердості згідно до вимог [1–3].

На основі проведених досліджень розроблено технологію контактного стикового зварювання пульсуючим оплавленням сучасних рейок конверторного виробництва, удосконалено системи управління процесом КСЗО і контролю якості з'єднань. Удосконалені системи адаптовано до мобільних рейкозварювальних машин, які використовуються на рейкозварювальних підприємствах АТ “Укрзалізниця”.

Список посилань

1. ТУ У 24.1-40075815-002:2016. Рейки нові зварені для залізниць. Технічні умови.
2. EN 14587-1:2018 (E). Railway applications - Infrastructure - Flash butt welding of new rails - Part 1: R220, R260, R260Mn, R320Cr, R350HT, R350LHT, R370CrHT and R400HT grade rails in a fixed plant.
3. EN 14587-2:2009 (E). Railway applications – Track – Flash butt welding of rails – Part 2: New R220, R260, R260Mn and R350HT grade rails by mobile welding machines at sites other than a fixed plant.
4. Weingrill, L. Temperature field evolution during flash-butt welding of railway rails. [Текст] / L. Weingrill, J. Krutzler, N. Enzinger // Materials Science Forum. – 2016. – № 879. – P. 2088 – 2093. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.879.2088
5. D 4.6.1. The influence of the working procedures on the formation and shape of the HAZ of flash butt and aluminothermic welds in rails. (2008). INNTRACK Project TIP5-CT-2006-031415. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.inntrack.eu>