

**УДК 621.791: 621.785**

**Олег Кузін,<sup>1</sup> д.т.н., доц.; В'ячеслав Копилов,<sup>1</sup> д.т.н., проф.; Микола Кузін,<sup>2,3</sup> д.т.н., проф.**

<sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка», Україна

<sup>3</sup> Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, Україна

### **ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ ПОВЕРХОНЬ ПОДІЛУ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ТЕРМІТНОГО ЗВАРЮВАННЯ РЕЙОК**

Анотація. З використанням розроблених системних моделей проведено аналіз впливу параметрів стану поверхонь поділу структурних складових на утворення розсіяних і локалізованих пошкоджень в нероз'ємних з'єднаннях рейок при термітному зварюванні. Утворення дефектів в підшвах нероз'ємних з'єднань пов'язано із наявністю в потрійних стиках зерен фериту поверхонь поділу з великою різницею енергій, в яких формуються розсіяні пошкодження. Запропоновані технологічні рішення для зменшення частки потрійних стиків з високим градієнтом енергії, що забезпечують підвищення опору до утворення розсіяних пошкоджень і усунення дефектів при зварюванні.

Ключові слова: розсіяні пошкодження, інтеркристалітне руйнування, термітне зварювання, дефекти нероз'ємних з'єднань

**Oleg Kuzin, Ph.D., Assoc. Prof.; Viacheslav Kopylov, Ph.D., Prof.; Mykola Kuzin, Ph.D., Prof.**

### **USING MODELS OF INTERFACE SURFACES OF STRUCTURAL COMPONENTS TO OPTIMIZE THERMITE WELDING MODES OF RAILS**

Annotation. Using the developed system models, the influence of the state parameters of the separation surfaces of structural components on the formation of scattered and localized damage in permanent rail joints during thermite welding was analyzed. The formation of defects in the soles of permanent joints is associated with the presence of separation surfaces with a large energy difference in the triple joints of ferrite grains, in which scattered damage is formed. Technological solutions have been proposed to reduce the proportion of triple joints with a high energy gradient, providing an increase in resistance before the formation of scattered damage and the elimination of defects during welding.

Keywords: scattered damage, intercrystalline destruction, thermite welding, defects in permanent joints

#### **Вступ. Особливості утворення дефектів при термітному зварюванні.**

Використання технології термітного зварювання на сучасному етапі пов'язано із розвитком швидкісного залізничного транспорту, будівництвом безстикової колії, отриманням довгомірних рейкових плит безпосередньо в колії, потребою усунення болтових рейкових з'єднань в стрілочних переводах. Основною перевагою метода термітного зварювання є висока мобільність, відсутність необхідності в спеціальних джерелах енергопостачання.

Слід відмітити, що дослідження рейкових стиків, які отримані різними методами вказують на значну кількість дефектів в них після термітного зварювання. Така особливість пов'язана із значною чутливістю технологічного процесу від оптимальних режимів, які можуть викликати появу структурних та фізичних неоднорідностей металу

шва, що сприяють зародженню дефектів, частіше ніж при інших методах зварювання характерним є виникнення поперечних тріщин в підосвах нероз'ємних з'єднань рейок [1].

### **Формування поверхонь поділу структурних складових та їх роль в утворенні розсіяних і локалізованих пошкоджень.**

Отримання з'єднань з підвищеним ресурсом за мінімальних енергетичних втрат вимагає аналізу в них структурної еволюції матеріалу. Характерною особливістю структури зон литого, основного металу та термічного впливу є формування фізичної, хімічної і структурно-фазової неоднорідностей [2].

При затвердінні в литій частині за фронтом кристалізації виникають границі поділу структурних складових між різноорієнтованими ґратками сусідів.

В зоні термічного впливу внаслідок міжкристалітної внутрішньої адсорбції домішок, точкових дефектів, легуючих елементів відбувається їх накопичення на поверхнях поділу. Більша неоднорідність у з'єднанні є характерною поблизу границі сплавлення внаслідок проникнення елементів з розплавленого в основний метал. В той же час дослідження зміни енергетичного стану поверхонь поділу структурних складових з'єднань в залежності від режимів зварювання до кінця не систематизовані.

Слід відмітити, що залишається відкритим питання про роль структури поверхонь поділу зерен з високим рівнем енергії та їх приграничних зон в процесах інтеркристалітного руйнування. Хоча перехід до руйнування по поверхнях поділу зерен супроводжується погіршенням механічних властивостей і надійності виробів [3].

Підвищення властивостей сплавів досягається за рахунок формування структурно-енергетичного стану внутрішніх поверхонь поділу, який забезпечує дисипацію енергії при дії зовнішнього навантаження без їх зміцнення. Такі поверхні поділу представляють собою зони з підвищеним опором утворенню пошкоджень і процесам руйнування сплавів. Для кожного конкретного випадку слід обирати специфічні засоби отримання структурно-енергетичного стану поверхонь поділу зерен, які адекватні конкретним умовам експлуатації виробів. Вирішення цих питань на основі методів обчислювального матеріалознавства обмежується відсутністю встановлених взаємозв'язків між пошкодженістю, що утворюється при технологічних обробках матеріалів деталей, її розвитком при експлуатації виробів та етапами життєвого циклу деталей та машин [4].

### **Роль параметрів структурно-енергетичного стану поверхонь поділу нероз'ємних з'єднань в утворенні дефектів при термічному зварюванні рейок.**

Проводили дослідження нероз'ємних з'єднань рейок Р65 після термічного зварювання. Хімічний склад матеріалу з'єднання був наступний – вміст вуглецю 0.30%, марганцю 0.22%, кремнію 0.89%, хрому 0.90%. Ступінь забрудненості неметалевими включеннями є різною як за висотою, так і за довжиною зварного шва. Більшість включень відноситься до глобулярних оксидів. В підосві нероз'ємних з'єднань їх частка є вищою.

Кількість фериту і перліту в нероз'ємному з'єднанні залежить від умов кристалізації. Найбільше перліту знаходиться у верхній частині головки рейки, а найменше – у нижній частині – підосві.

Значну роль в поведінці литого металу зварних з'єднань при дії зовнішніх навантажень відіграє енергія потрійних стиків поверхонь поділу структурних складових. Ця енергія залежить від вільного об'єму потрійних стиків зерен, який утворюється внаслідок ізоляції рідкої фази при зустрічі трьох фронтів кристалізації. Розрахунок концентрації вакансій показав, що вільний об'єм в потрійних стиках зерен фериту є більшим, ніж в аустеніті, що вказує на можливість переважного зародження пошкоджень при навантаженнях у фериті.

Аналізом кутів між границями у потрійних стиках фериту виявлено, що при переході від головки через шийку до підосви рейки зростає частка поверхонь поділу зерен фериту з більшою величиною енергії, які здатні до утворення міжзеренних пошкоджень.

Дослідження зносотривкості підтвердили зміни структури, які суттєво впливають на інтенсивність зношування термітної сталі. Найбільше зношування спостерігається на зразках отриманих з підшови з'єднання. Різна інтенсивність зношування в значній мірі пов'язана із впливом характеристик великокутових границь і стиків на утворення розсіяних і локалізованих пошкоджень при терті. Затрати енергії на утворення міжзеренних пошкоджень є найменшими на поверхнях поділу, у яких значення енергії наближається до поверхневої. Наявність стиків з кутами між границями  $160^{\circ}$ - $180^{\circ}$  в підшвах рейок вказує на суттєво різницю енергій границь, що формують стик. В зв'язку із цим для підшов нероз'ємних з'єднань характерним є поява дефектів у вигляді поперечних тріщин.

На основі проведених досліджень представлені технологічні рекомендації по зменшенню схильності до утворення міжзеренних пошкоджень та інтеркристалітних тріщин в нероз'ємних з'єднаннях рейок при термітному зварюванні (рис.1).

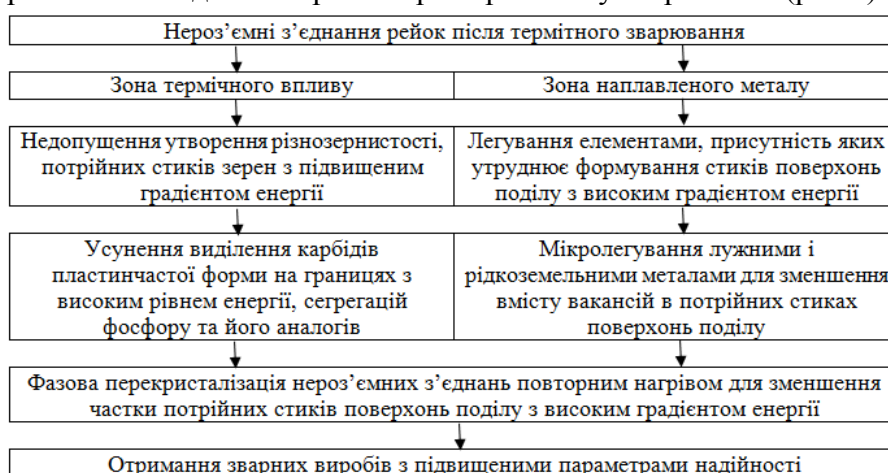


Рис.1. Фактори, що забезпечують підвищення опору до утворення міжзеренних пошкоджень і інтеркристалітних тріщин в нероз'ємних з'єднаннях рейок після термітного зварювання.

**Висновки.** Утворення поперечних тріщин в підшвах нероз'ємних з'єднань в значній мірі пов'язано із впливом енергетичних характеристик великокутових поверхонь поділу зерен і стиків на формування розсіяних і локалізованих пошкоджень. Наявність поверхонь поділу в потрійних стиках зерен з великою різницею енергій сприяє переходу від розсіяних пошкоджень до локалізованих поперечних тріщин і їх поширенню в пошкоджену середовищі нижньої частини нероз'ємного з'єднання рейок при термітному зварюванні.

### Перелік посилань

1. Terashita Y. Analysis of Damaged Rail Weld/ Y. Terashita, M. Tatsumi //Quarterly Report of RTRI. – 2003. – № 44(2). –Р. 59-64.
2. Кузін М.О. Вплив мікроструктури на стійкість проти спрацювання нероз'ємних з'єднань рейок після термітного зварювання/ М.О. Кузін, О.А. Кузін, Т.М. Мещерякова// Наукові записки. Науково-технічний збірник Української академії друкарства. – 2006. – № 2(10). – С. 85 – 97.
3. Watanabe T. The potential for grain boundary design in materials development / T. Watanabe // Materials Forum, – 1988. – № 11. – Р. 284-303.
4. Копилов В.І. Застосування моделей структури поверхонь поділу в сталях під час отримання виробів із заданим життєвим циклом/ В.І. Копилов, О.А. Кузін, М.О. Кузін// Наукові вісті КПІ. – 2022. – № 1-4. – с. 76–81.