

УДК 621.791.052:539.4

Віталій Книш, д.т.н., проф.; Сергій Соловей, к.т.н., с.н.с.; Михайло Мальгін, к.т.н.; Володимир Мірянін, Андрій Кадишев

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Україна

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА КОРОЗІЙНУ ВТОМУ ЗМІЦНЕНИХ ВИСОКОЧАСТОТНОЮ МЕХАНІЧНОЮ ПРОКОВКОЮ СТИКОВИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ 09Г2С

Анотація. Досліджена ефективність застосування технології високочастотної механічної проковки (ВМП) для підвищення циклічної довговічності стикових зварних з'єднань сталі 09Г2С у вихідному стані після виготовлення та з накопиченими втомними пошкодженнями, які зазнають впливу корозійного середовища. Показано, що за впливу корозійного середовища технологіє ВМП дозволяє збільшити залишкову довговічність зварних з'єднань з 10...50% накопиченими втомними пошкодженнями у 8...15 разів при незмінному рівні прикладених максимальних навантажень до та після зміцнення. Встановлено, що після зміцнення стикових зварних з'єднань з 10%, 30% та 50% рівнем накопичених втомних пошкоджень та подальшого підвищення на 27% рівнів прикладених максимальних напружень циклу їх залишкова довговічність збільшується відповідно, в 12 разів, 10 разів та 8 разів у порівнянні з довговічністю зварних з'єднань у вихідному (незміцненому стані).

Ключові слова: зварне з'єднання, високочастотна механічна проковка, втома, корозія

Vitalii Knysh, Ph.D., Prof.; Sergii Solovei, Ph.D.; Mykhailo Malhin, Ph.D.; Volodimir Miryanin, Andrii Kadyshev

INFLUENCE OF PRELOAD ON THE FATIGUE CORROSION OF TREATED BY HIGH FREQUENCY MECHANICAL PEENING BUTT-WELDED JOINTS OF LOW-ALLOY STEEL 09G2S

Abstract. The combined effects of treatment by high-frequency mechanical peening (HFMP) and corrosion environment on the corrosion fatigue life of low-alloy 09G2S steel butt-welded joints with accumulated fatigue damages are studied in this paper.

Keywords: welded joints, high-frequency mechanical peening, fatigue, corrosion

Значна частина зварних металевих конструкцій та споруд на території України, які працюють в умовах змінного навантаження (мости, шляхопроводи, крани, антенощоголові споруди, силові конструкції рухомого складу залізничного транспорту та інші), була введена в експлуатацію в 60...80-х роках минулого століття. Під час тривалої експлуатації такі конструкції, як правило, зазнають одночасного впливу змінного навантаження та кліматичних чинників зовнішнього середовища (температура, вологість, опади тощо). Від кліматичних чинників зовнішнього середовища на стадіях виготовлення та монтажу зварні металоконструкції захищаються лакофарбовими покриттями, що передбачає відсутність прямого контакту металу з корозійним середовищем. Несвоєчасне виявлення порушення цілісності захисних лакофарбових покриттів призводить до того, що в місцях скупчення вологості незахищені поверхні елементів зварних конструкцій починають піддаватися одночасному впливу змінного навантаження та корозійного середовища. Для підвищення опору втомі зварних конструкцій на стадії виготовлення або при ремонтно-відновлювальних роботах широко застосовуються методи поверхневого пластичного деформування (ППД) металу. Одним з методів ППД, який рекомендовано Міжнародним інститутом зварювання для підвищення характеристик опору втомі зварних з'єднань алюмінієвих

та сталевих конструкцій, є обробка високочастотним механічним проковуванням (ВМП) з використанням енергії ультразвуку. Дана обробка дозволяє підвищити і опір втомі зварних з'єднань які зазнають вплив корозійного середовища.

Метою даної роботи було оцінити ефективність застосування технології ВМП для підвищення опору втомі зварних з'єднань металоконструкцій з накопиченими втомними пошкодженнями, які зазнають впливу корозійного середовища.

Дослідження проводили на зразках стикових зварних з'єднань сталі 09Г2С товщиною 10 мм, яка широко використовуються для виготовлення зварних металоконструкцій тривалої експлуатації. Зразки отримували двостороннім автоматичним зварюванням під флюсом. Форма та геометричні розміри зразків наведено на рис.1, а.

Випробування на втомі зразків стикових з'єднань проводили на електрогідравлічній машині УРС-20 при змінному розтягуванні з частотою 5 Гц та асиметрією циклу навантаження 0,01 до повного їх руйнування або досягнення бази випробувань 2 млн. циклів. Досліджували п'ять серій зразків:

- у вихідному стані після зварювання, на повітрі (перша серія);
- зміцнені технологією ВМП, на повітрі (друга серія);
- зміцнені технологією ВМП, у корозійному середовищі (третья серія);
- з 10...50% накопиченими втомними пошкодженнями, у корозійному середовищі (четверта серія);
- зміцнені технологією ВМП після накопичення 10...50% втомних пошкоджень, у корозійному середовищі (п'ята серія).

Обробку зварних з'єднань другої, третьої та п'ятої серій за технологією ВМП проводили комплексом USTREAT-4.0. Зміцненню піддавали вузьку зону переходу металу шва на основний метал. Швидкість виконання ВМП однорядною чотирьохбойковою насадкою з діаметром бойків 3 мм складала 1 мм/с.

В якості корозійного середовища для зразків третьої, четвертої та п'ятої серій застосовували 3% розчин NaCl. Для випробувань зварних з'єднань на корозійну втому при одновісному розтягу було сконструйовано спеціальне оснащення (рис. 1, б).

Враховуючи, що на ранніх стадіях експлуатації зварних металоконструкцій заводське лакофарбове покриття виконує свою захисну функцію, накопичення втомних пошкоджень в зразках четвертої та п'ятої серій виконували на повітрі, а подальші корозійні випробування – у 3% розчині NaCl (імітували пошкодження захисного лакофарбового покриття). Розрахунок кількості циклів, необхідної для отримання в зразках 10...50% втомних пошкоджень, проводили за лінійною гіпотезою накопичення втомних пошкоджень на основі кривої втоми, побудованої за отриманими експериментальними даними зварних з'єднань у вихідному стані.

За результатами випробувань зразків першої, другої та третьої серій побудовані відповідні криві втоми стикових зварних з'єднань (рис. 2).

Встановлено, що обмежена границя витривалості на базі 2 млн циклів стикових зварних з'єднань на повітрі - 145 МПа. Зміцнення технологією ВМП призводить до підвищення на 70% (з 145 МПа до 247 МПа) обмеженої границі витривалості на базі 2 млн циклів зварних з'єднань на повітрі, а циклічна довговічність збільшується більш ніж у 10 разів. Корозійне середовище (3 % розчин NaCl) знижує ефективність застосування ВМП: обмежена границя витривалості знижується на 6% (з 247 МПа до 232 МПа), циклічна довговічність зменшується в 1,1...1,9 разів в залежності від рівнів прикладених максимальних напружень циклу.

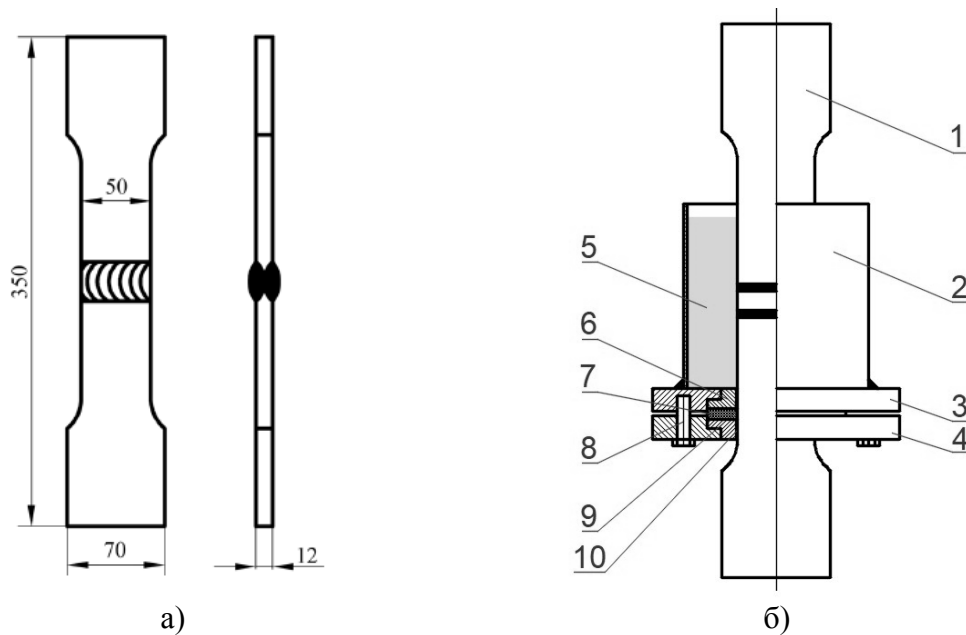


Рис. 1. Форма і геометричні розміри зразків (а) та схематичне зображення оснащення для випробувань зварних з'єднань на корозійну втому при одновісному розтягу (б): 1 – зразок; 2 – камера; 3 – основа корпусу камери; 4 – плита; 5 - робочий розчин; 6- вставка (сухарик) в корпус камери; 7 – гумова прокладка; 8 – болт; 9 - вставка (сухарик) в плиту; 10 – силікон.

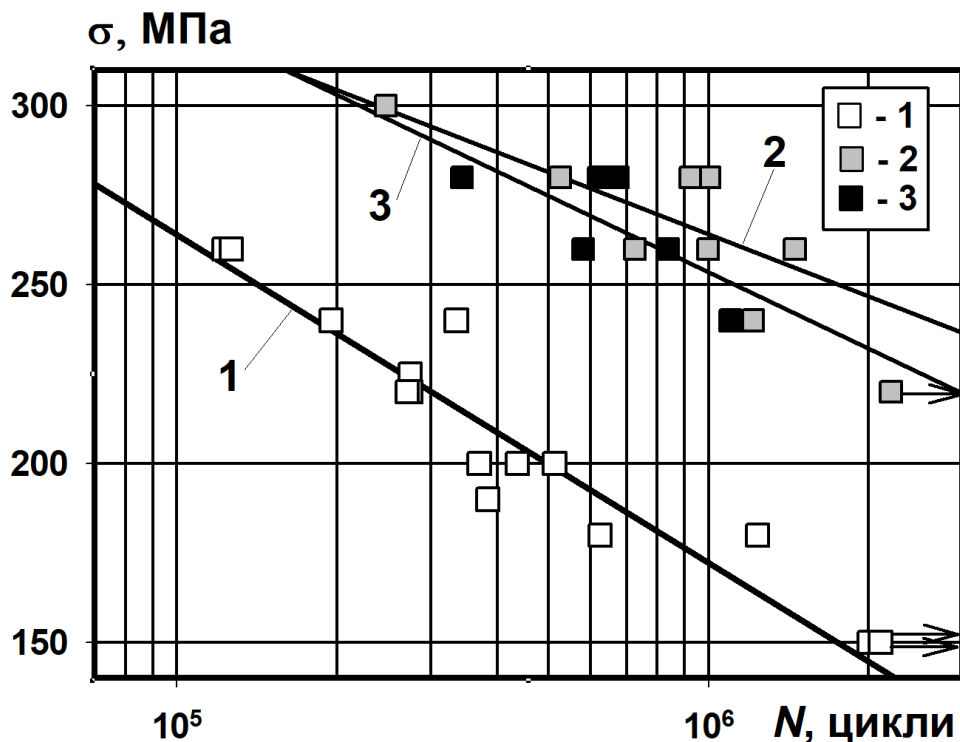


Рис.2 Криві втоми стикових зварних з'єднань сталі 09Г2С: 1 – у вихідному стані після зварювання на повітрі; 2 – після зміцнення ВМП на повітрі; 3 – після зміцнення ВМП в 3% розчині NaCl.

Накопичення 10%, 30% та 50% втомних пошкоджень в зварних з'єднаннях у вихідному стані на повітрі для зразків четвертої та п'ятої серій проводили при рівнях максимальних напружень циклу 220 МПа, напрацюванням 27 тис. циклів, 81 тис.

циклів та 135 тис. циклів змін напружень, відповідно. Подальші випробування проводили у корозійному середовищі також при рівнях максимальних напружень циклу 220 МПа. Встановлено, що середня залишкова довговічність зразків четвертої серії з 10%, 30 та 50% рівнем накопичених втомних пошкоджень при випробуваннях у 3% розчині NaCl становить відповідно, 246,9 тис. циклів, 170,7 тис. циклів та 129,1 тис. циклів. Після зміцнення технологією ВМП зразків п'ятої серії та подальших випробуваннях у корозійному середовищі при рівнях максимальних напружень циклу 220 МПа руйнування зварних з'єднань у 3% розчині NaCl не відбувалося до досягнення бази випробувань 2 млн. циклів змін напружень. Візуальним оглядом зразків тріщин втоми не виявлено. Таким чином, зміцнення технологією ВМП збільшило залишкову довговічність зварних з'єднань у корозійному середовищі у 8...15 разів при незмінному рівні прикладених максимальних навантажень 220 МПа до та після зміцнення. Додатково після зміцнення ВМП проводили випробування зразків п'ятої серії при підвищених на 27% (до 280 МПа) рівнях максимальних напружень циклу. Встановлено, що середня залишкова довговічність зразків п'ятої серії з 10%, 30% та 50% рівнем накопичених втомних пошкоджень при випробуваннях у 3% розчині NaCl при підвищених до 280 МПа рівнях напружень становить відповідно, 832,2 тис. циклів, 702,4 тис. циклів та 550,6 тис. циклів. Враховуючи, що циклічна довговічність стикових зварних з'єднань у вихідному (незміцненому) стані при рівнях максимальних напружень циклу 280 МПа складає 67,2 тис. циклів, то залишкова довговічність зварних з'єднань з 10%, 30% та 50% рівнем накопичених втомних пошкоджень після зміцнення ВМП збільшується, відповідно, в 12 разів, 10 разів та 8 разів.

Висновки:

1. Експериментально встановлені криві втоми стикових зварних з'єднань сталі 09Г2С у вихідному стані і зміцненому технологією ВМП станах на повітрі та в зміцненому ВМП стані в корозійному середовищі (3% розчині NaCl). Показано, що зміцнення технологією ВМП призводить до підвищення на 70% (з 145 МПа до 247 МПа) обмеженої границі витривалості на базі 2 млн циклів зварних з'єднань на повітрі, а циклічної довговічності - більш ніж у 10 разів. 3 % розчин NaCl знижує обмежену границю витривалості зміцнених ВМП зварних з'єднань на 6% (з 247 МПа до 232 МПа), а циклічну довговічність – в 1,1...1,9 разів в залежності від рівнів прикладених максимальних напружень циклу.

2. Встановлено, що зміцнення технологією ВМП стикових зварних з'єднань з 10...50% рівнем накопичених втомних пошкоджень призводить до збільшення їх залишкової довговічності у корозійному середовищі в 8...15 разів при незмінному рівні прикладених максимальних навантажень до та після зміцнення.

3. Показано, що середня залишкова довговічність стикових зварних з'єднань з 10%, 30 та 50% рівнем накопичених втомних пошкоджень при випробуваннях у 3% розчині NaCl при підвищених на 27% (до 280 МПа) рівнях максимальних напружень циклу становить, відповідно, 832,2 тис. циклів, 702,4 тис. циклів та 550,6 тис. циклів, тобто збільшується відповідно в 12 разів, 10 разів та 8 разів у порівнянні з довговічністю зварних з'єднань у вихідному (незміцненому стані), випробуваних на повітрі.