

МЕТОДИКА ПРИСКОРЕНИХ КОРОЗІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТРИВАЛОГО ВПЛИВУ АТМОСФЕРИ ПОМІРНОГО КЛІМАТУ НА ЗВАРНІ З'ЄДНАННЯ

В.В. Книш, С.О. Осадчук, С.О. Соловей, Л.І. Ниркова, А.О. Рибаків

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

Запропонована методика прискорених корозійних випробувань зварних з'єднань для моделювання тривалого впливу на них найбільш вагових кліматичних факторів атмосфери помірного клімату (температури і відносної вологості). Обґрунтовано тривалість прискорених випробувань зварних з'єднань у камері вологості для отримання корозійних пошкоджень, які характерні зварним з'єднанням металоконструкцій після близько 12 років експлуатації. Проведено випробування на втому стикових і таврових зварних з'єднань сталі 15ХСНД після попереднього напрацювання 2 млн циклів при максимальних напруженнях 150 МПа, корозійних випробувань в умовах підвищеної температури і відносної вологості без зміцнення та з подальшим зміцненням технологією високочастотної механічної проковки. Встановлено, що зміцнення технологією високочастотної механічної проковки збільшує циклічну довговічність стикових і таврових зварних з'єднань з накопиченими втомними і корозійними пошкодженнями в 10 разів. Бібліогр. 23, рис. 5.

Ключові слова: зварне з'єднання, корозійне середовище, втома, прискорені корозійні випробування, високочастотна механічна проковка, підвищення циклічної довговічності

Значна частина зварних металевих конструкцій та споруд на території України, які працюють в умовах змінного навантаження (мости, шляхопроводи, крани і т.п.), введена в експлуатацію в 1960...1980-х рр. Від впливу кліматичних факторів зовнішнього середовища (корозії) дані конструкції захищають лакофарбовими покриттями. Проте в процесі тривалої експлуатації можуть відбуватися механічні пошкодження, розтріскування і відшарування лакофарбових покриттів. Це призводить до того, що зварні елементи конструкцій піддаються не тільки змінному навантаженню, а і корозійному впливу [1, 2]. Утворення корозійних пошкоджень знижує проектну товщину елементів конструкцій і характеристики опору втомі зварних з'єднань, що призводить до передчасних руйнувань [3]. У разі об'єктивної необхідності подальшої експлуатації даних конструкцій при проведенні ремонтно-відновлювальних робіт слід не лише видалити продукти корозії і оновити лакофарбові покриття, але і підвищити циклічну довговічність пошкоджених корозією зварних з'єднань додатковою зміцнюючою обробкою. Для гарантованого забезпечення підвищення характеристик опору втомі зварних з'єднань металоконструкцій рекомендують застосовувати високочастотну механічну проковку (ВМП) [4–8]. Для встановлення ефективності застосування технології ВМП для підвищення довговічності зварних конструкцій з корозійними пошкодженнями, необхідно було прискореними випробуваннями в ла-

бораторних умовах змоделювати тривалий вплив атмосферних умов помірного клімату. Аналіз нормативних документів показав, що до недавнього часу в Україні порівняльні дослідження корозійної стійкості в атмосферних умовах конструкційних сталей проводили відповідно з методиками, представленими в нормативних документах [9–11]. Після скасування ГОСТів почали вводити в дію європейські норми [12, 13]. Проте, як в ГОСТах, так і в діючих стандартах [9–14] запропоновані лише умови випробувань або комплекс умов, що моделюють вплив корозійних чинників, але інформація про тривалість експонування зразків відсутня.

Тому мета даної роботи — розробити методику прискорених корозійних випробувань для моделювання тривалого впливу атмосфери помірного клімату на зварні з'єднання і встановити ефективність застосування технології ВМП для підвищення їх циклічної довговічності.

Розробка методики прискорених корозійних випробувань. Методику прискорених корозійних випробувань зразків розробляли для помірного клімату України. На корозійні процеси суттєво впливає тривалість циклу зволоження поверхні, протягом якого на елементах конструкції знаходиться плівка води [15, 16]. В роботі [17] помірний клімат охарактеризовано температурним інтервалом від -33 до $+35$ °С, а розрахунковий час помірної вологості вище 80 % при температурах вище 0 °С становить від 2500 до 4200 год на рік.

В.В. Книш — <http://orcid.org/0000-0003-1289-4462>, С.О. Осадчук — <http://orcid.org/0000-0001-9559-0151>, С.О. Соловей — <http://orcid.org/0000-0002-1126-5536>, Л.І. Ниркова — <http://orcid.org/0000-0003-3917-0963>, А.О. Рибаків — <http://orcid.org/0000-0001-5533-2393>.

© В.В. Книш, С.О. Осадчук, С.О. Соловей, Л.І. Ниркова, А.О. Рибаків, 2019

Найбільш активно корозійні процеси протікають при наявності фазових плівок вологи, що утворюються при зволоженні поверхні металу рідкими опадами або конденсатом. Згідно даних роботи [16] для помірного клімату, характерного центральним областям України, зволоження фазовою плівкою складає 2520 год на рік. При цьому середньорічна температура в даному регіоні становить 11 °С [18]. У нормативних документах [9–14] для моделювання впливу кліматичних факторів на корозію металу рекомендують проводити експонування зразків в умовах підвищеної температури і вологості, соляного туману або циклічного впливу цих факторів. Оскільки присутність хлоридів у навколишньому середовищі та їх вплив на метали більш характерно для морського клімату (прибережної зони України), то при розробці методики проведення прискорених корозійних випробувань враховували лише такі чинники, як підвищена температура і вологість. Вплив цих факторів моделювали в лабораторних умовах у гідростаті Г4 (камері вологи).

Згідно даних роботи [10, 12] для вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей температура у гідростаті повинна підтримуватися на рівні 40 °С, щоб не змінювати механізм корозійних процесів. При цьому вологість повітря (при відсутності примусової циркуляції повітря) складає близько 100 %, що забезпечує утворення фазових плівок вологи, які ініціюють протікання корозійних процесів протягом всього часу експонування.

Відомо, що при зміні температури від початкової до підвищеної швидкість реакції, в тому числі і швидкість корозії, зростає за законом Вант-Гоффа [19]:

$$V_{t_2} = V_{t_1} \gamma^{(t_2 - t_1)/10}, \quad (1)$$

де V_{t_2} — швидкість реакції при підвищеній температурі під час проведення лабораторних випробувань t_2 (у нашому випадку $t_2 = 40$ °С, згідно [10, 12]; V_{t_1} — швидкість реакції при температурі t_1 . За температуру t_1 брали середньорічну температуру в центральних областях України, тобто 11 °С [18]; γ — температурний коефіцієнт реакції.

Враховуючи рекомендоване значення температурного коефіцієнта $\gamma = 3$, прискорення корозійного процесу в умовах підвищеної температури і вологості відповідно до (1) складе:

$$\frac{t_1 - t_2}{\gamma^{10}} = 3 \frac{40 - 11}{10} = 3^{2,9} \approx 24,2. \quad (2)$$

Таким чином, в гідростаті Г4 при підвищеній температурі 40 °С і відносній вологості близько 100 % корозійні процеси на поверхні металу можна прискорити в 24,2 рази. З огляду на те, що

впродовж одного року фазова плівка вологи на поверхні металу спостерігається протягом 2520 год [16], то рік експлуатації конструкції буде еквівалентний експонуванню зразків у гідростаті протягом $2520/24,2 = 104$ ч.

У експлуатованих зварних металоконструкціях корозійні пошкодження елементів виявляють, як правило, при проведенні планових обстежень. При моделюванні корозійних пошкоджень в зварних з'єднаннях за прискореною методикою доцільно орієнтуватися на максимальну періодичність між обстеженнями таких конструкцій. Наприклад, для прогонових будов мостів періодичність між обстеженнями становить від 5 [20] до 10 років [21]. Враховуючи, що після обстеження таких конструкцій і виявлення корозійних пошкоджень до початку ремонтно-відновлювальних робіт пройде ще 1...2 роки, то доцільно на зразках зварних з'єднань змоделювати корозійні пошкодження, які можуть утворитися на поверхні зварних елементів конструкції після її експлуатації протягом близько 12 років.

Таким чином, характерні корозійні пошкодження зварних конструкцій після 12 років експлуатації в умовах впливу найбільш вагомих кліматичних факторів (температури і вологості) помірного клімату центральних областей України можна отримати проведенням прискорених корозійних випробувань у гідростаті Г4 при підвищеній температурі 40 °С і вологості повітря близько 100 % протягом 1200 год.

Матеріал і методика досліджень на втому. Експериментальні дослідження проводили на зразках стикових і таврових зварних з'єднань низьколегованої сталі 15ХСНД ($\sigma_T = 400$ МПа, $\sigma_B = 565$ МПа), яка широко застосовується для виготовлення елементів металоконструкцій тривалої експлуатації (наприклад, в прогонових будовах залізничних і автомобільних мостів), має підвищену міцність, добре зварюється, стійка в атмосферних умовах і працездатна в діапазоні температур від -70 °С до $+45$ °С.

Заготовки під зразки зварних з'єднань вирізували з гарячекатаного листового прокату товщиною 12 мм 12 категорії в напрямку прокату. Розмір заготовок під стикові з'єднання становив 600×180 мм, а під таврові з'єднання 350×70 мм. Стикові зварні з'єднання отримували двостороннім однодуговим автоматичним зварюванням пластин без оброблення крайок (зазор по стику $0...1,0$ мм) під флюсом ОР 192 (фірми «Oerlikon») дротом Св-08Г1НМА діаметром 4 мм. Зварювання проводили на зворотній полярності від електричного випрямляча ВСЖ-1600. Режими зварювання: першого шва: $U = 55$ В, $I = 650...700$ А, $v = 26,7$ м/ч; другого (з

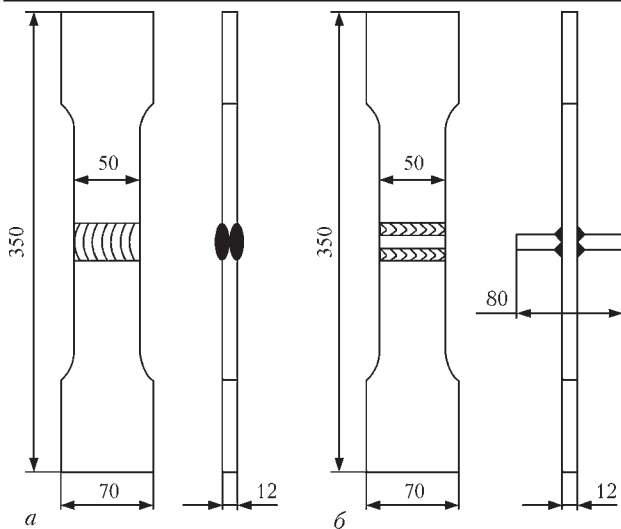


Рис. 1. Зразки стикових (а) і таврових (б) зварних з'єднань протилежної сторони): $U = 57$ В, $I = 760...780$ А, $v = 26,7$ м/ч. Другий шов виконували після повного охолодження першого. З кожної зварної пластини розміром 600×360 мм виготовляли по 8 зразків розміром 360×70 мм. Таврові зварні з'єднання отримували шляхом приварки ручним дуговим зварюванням електродами марки УОНІ 13/55 поперечних ребер жорсткості (також зі сталі 15ХСНД) з двох сторін пластини кутовими швами. Корінь (перший шов) виконували електродами діаметром 3 мм, другий шов формували електродами діаметром 4 мм. Форма і геометричні розміри зразків стикових і таврових зварних з'єднань наведені на рис. 1. Товщина зразка обумовлена широким застосуванням в інженерних зварних металоконструкціях прокату товщиною 12 мм, а ширину робочої частини 50 мм вибирали виходячи з потужності випробувального устаткування.

Розроблена вище методика проведення прискорених корозійних випробувань дозволяє моделювати вплив помірного клімату протягом 12 років на стан поверхні зварних конструкцій. Таким чином, необхідно було також врахувати накопичені втомні пошкодження за впливу змінного циклічного навантаження після 12 років експлуатації. Брали до уваги наступне. Проектний термін служби більшості зварних конструкцій інженерного призначення становить 50...100 років. Виходячи з гіпотези лінійного накопичення втомних пошкоджень за 12 років експлуатації зварні з'єднання повинні напрацювати 12...25 % своєї довговічності до руйнування, яку можна визначити з кривих втоми даних з'єднань. Криві втоми досліджуваних зварних з'єднань сталі 15ХСНД були встановлені раніше на базі випробувань 2 млн циклів [22]. При цьому границі обмеженої витривалості на базі $2 \cdot 10^6$ циклів змін напружень для стикових і таврових зварних з'єднань склали, відповідно 187

і 180 МПа. Проте, накопичення втомних пошкоджень в зварних з'єднаннях доцільно проводити при нижчих рівнях прикладених максимальних напружень, які більш наближені до робочих. Згідно з рекомендаціями Міжнародного інституту зварювання [23] криві втоми зварних елементів конструкцій мають незмінний кут нахилу в діапазоні $10^5...10^7$ циклів, що дає можливість продовжити отриману в роботі [22] криву втоми з $2 \cdot 10^6$ до 10^7 циклів. Необхідний рівень накопичених втомних пошкоджень 12...25 % отримували напрацюванням зварними з'єднаннями в початковому стані 2 млн циклів при максимальних значеннях прикладених напружень циклу 150 МПа (на 30...37 МПа нижче експериментально встановлених границь обмеженої витривалості досліджуваних з'єднань).

Таким чином, для моделювання накопичених втомних і корозійних пошкоджень, характерних зварним з'єднанням після 12 років експлуатації металоконструкції, всі зразки попередньо піддавали дії $2 \cdot 10^6$ циклів змін напружень на випробувальній машині ЦДМ 10-пу при віднульовому циклі навантаження з максимальними прикладеними напруженнями 150 МПа, а потім відповідно до розробленої методики їх експонували в гідростаті Г4 при температурі 40 °С і відносній вологості повітря 100 % протягом 1200 год. Після корозійних випробувань одну частину зразків залишали незміцненими, а другу зміцнювали технологією ВМП.

Зміцнення зварних з'єднань технологією ВМП виконували обладнанням USTREAT-1.0, в якому ручний компактний ударний інструмент з п'єзокерамічним перетворювачем з'єднаний з ультразвуковим генератором вихідною потужністю 500 Вт. При обробці зварних з'єднань технологією ВМП поверхневому пластичному деформуванню піддавали вузьку зону переходу металу шва на зону термічного впливу (по лінії сплавлення). У якості пристрою для зміцнення використовували однорядну чотирьохбойкову насадку з діаметром бойків 3 мм. Зміцнення проводили без попереднього очищення поверхні від продуктів корозії.

Для випробувань на втому було підготовлено чотири серії зразків:

- зразки стикових і таврових зварних з'єднань після напрацювання 2 млн циклів і наступних корозійних випробувань, відповідно зразки першої та другої серії;

- зразки стикових і таврових зварних з'єднань після напрацювання 2 млн циклів, наступних корозійних випробувань і зміцнення технологією ВМП, відповідно зразки третьої і четвертої серії.

Експериментальні дослідження опору втомі всіх чотирьох серій зразків проводили на випро-

бувальній машині УРС-20 при змінному розтягуванні з асиметрією циклу $R_\sigma = 0$ і частотою 5 Гц при регулярному навантаженні. За критерій завершення випробувань приймали повне руйнування зразків або перевищення бази випробувань $2 \cdot 10^6$ циклів змін напружень.

Результати досліджень. Після випробувань у гідростаті зразки зварних з'єднань були вкриті нерівномірним шаром продуктів корозії коричневого кольору з вкрапленнями продуктів корозії чорного кольору. Після корозійних випробувань очистку зразків від продуктів корозії не проводили. В результаті зміцнення технологією ВМП по лінії переходу металу шва на основний метал формувалася характерна канавка без продуктів корозії



Рис. 2. Зовнішній вигляд зони шва таврового зварного з'єднання сталі 15ХСНД після напрацювання $2 \cdot 10^6$ циклів, корозійних випробувань у гідростаті протягом 1200 год і зміцнення технологією ВМП

(рис. 2). Результати втомних випробувань зразків стикового і таврового зварних з'єднань сталі 15ХСНД представлені на рис. 3 і 4, відповідно. Там же наведені результати випробувань зварних з'єднань у вихідному стані (без впливу корозійного середовища), отримані раніше в роботі [22].

Експериментально встановлено, що характеристики опору втомі стикових зварних з'єднань після циклічного навантаження ($2 \cdot 10^6$ циклів змін напружень) і подальшого експонування в умовах підвищеної температури і вологості повітря протягом 1200 год (перша серія) знаходяться на рівні зварних з'єднань у вихідному стані, випробуваних на повітрі (рис. 3, криві 1, 2). Руйнування всіх зразків першої серії відбулося по лінії переходу металу шва на основний метал. Зміцнення технологією ВМП (третя серія) підвищує границі обмеженої витривалості таких з'єднань на базі $2 \cdot 10^6$ циклів на 33 % (з 187 до 248 МПа) у порівнянні з з'єднаннями як у вихідному стані, так і з заданим рівнем накопичених втомних і корозійних пошкоджень без зміцнення (рис. 3). При цьому циклічна довговічність зміцнених зварних з'єднань збільшується в 10 разів. Руйнування всіх зразків третьої серії відбувалося по основному металу віддалік від лінії сплавлення (рис. 5, а).

Характеристики опору втомі таврових зварних з'єднань після циклічного навантаження і корозійних випробувань протягом 1200 год (друга серія) знизилися на 25 % (з 180 до 135 МПа) у порівнянні з з'єднаннями у вихідному стані, випробуваними на повітрі (рис. 3, криві 1, 2). Руй-

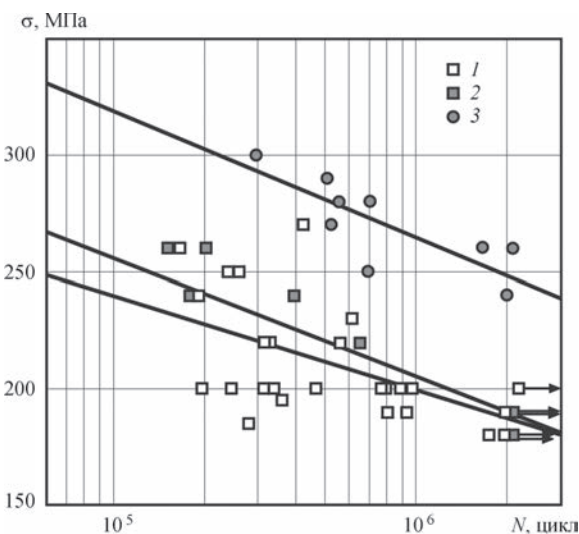


Рис. 3. Криві втомі стикових зварних з'єднань сталі 15ХСНД: 1 — у вихідному стані [22]; 2 — після напрацювання $2 \cdot 10^6$ циклів при максимальних напруженнях 150 МПа і корозійних випробувань протягом 1200 год (перша серія); 3 — після напрацювання $2 \cdot 10^6$ циклів при максимальних напруженнях 150 МПа, корозійних випробувань протягом 1200 год і подальшого зміцнення технологією ВМП (третя серія)

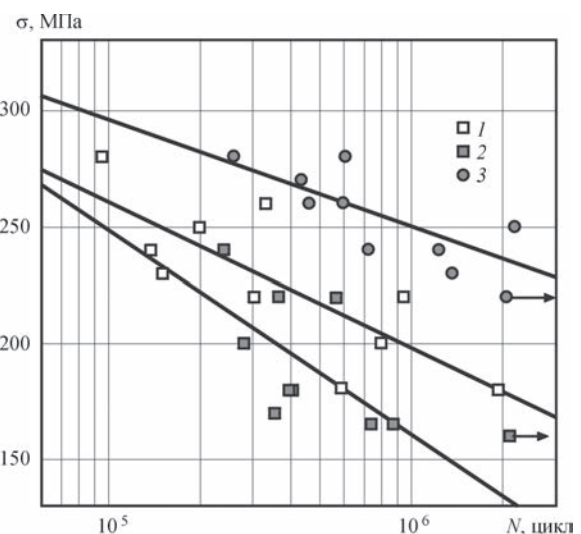


Рис. 4. Криві втомі таврових зварних з'єднань сталі 15ХСНД: 1 — у вихідному стані [22]; 2 — після напрацювання циклів при максимальних напруженнях 150 МПа і корозійних випробувань протягом 1200 год (друга серія); 3 — після напрацювання $2 \cdot 10^6$ циклів при максимальних напруженнях 150 МПа, корозійних випробувань протягом 1200 год і подальшого зміцнення технологією ВМП (четверта серія)

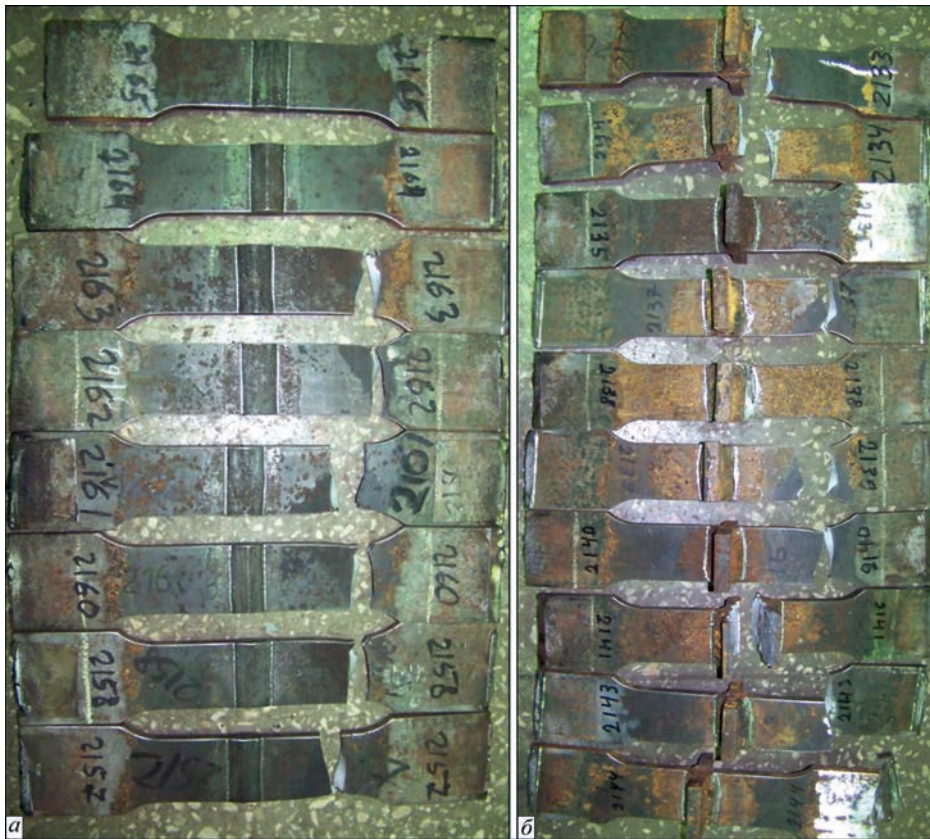


Рис. 5. Зовнішній вигляд зразків третьої (а) та четвертої (б) серій після випробувань на втому

нування всіх зразків другої серії відбулося по лінії переходу металю шва на основний метал. Зміцнення технологією ВМП (четверта серія) істотно підвищує характеристики опору втомі: границя обмеженої витривалості таких з'єднань на базі $2 \cdot 10^6$ циклів підвищується на 31 % (з 180 до 236 МПа) у порівнянні з зразками у вихідному стані, а циклічна довговічність збільшується у 8 разів. У порівнянні з зразками другої серії (з заданим рівнем накопичених втомних і корозійних пошкоджень, без зміцнення) границя обмеженої витривалості на базі $2 \cdot 10^6$ циклів зразків четвертої серії підвищується на 75 % (з 135 до 236 МПа), а циклічна довговічність збільшується в 10 разів (рис. 4). Руйнування зразків четвертої серії відбувалося як по лінії сплавлення, так і по основному металю віддалік від зварного шва (рис. 5, б). Один зразок зруйнувався від неповного проплавлення кореня шва по ребру, але його циклічна довговічність перебувала в межах розкиду даних для бездефектних зварних з'єднань.

Отже, експериментально отримані результати свідчать про високу ефективність застосування технології ВМП для підвищення характеристик опору втомі стикових і таврових зварних з'єднань металоконструкцій після їх тривалої експлуатації в умовах впливу змінного навантаження і атмосфери помірного клімату.

Висновки

1. Розроблено методику прискорених корозійних випробувань зварних з'єднань для моделювання тривалого впливу на них найбільш вагомих кліматичних факторів (температури і відносної вологості) помірного клімату центральних областей України. Обґрунтовано доцільність моделювання корозійних пошкоджень, які утворюються на поверхні елементів зварних конструкцій після 12 років експлуатації. Такі корозійні пошкодження зварних з'єднань запропоновано отримувати проведенням прискорених корозійних випробувань у гідростаті Г4 при підвищеній температурі 40°C і відносній вологості повітря 100 % протягом 1200 год.

2. Встановлено, що зміцнення технологією ВМП стикових зварних з'єднань сталі 15ХСНД після попереднього напрацювання 2 млн циклів при рівнях максимальних напружень 150 МПа і експонування в умовах підвищеної температури і вологості повітря протягом 1200 год призводить до збільшення циклічної довговічності в 10 разів і підвищення границі обмеженою витривалості на базі $2 \cdot 10^6$ циклів на 33 % (з 187 до 248 МПа).

3. Показана висока ефективність зміцнення технологією ВМП таврових зварних з'єднань сталі 15ХСНД із заданим рівнем накопичених втомних і корозійних пошкоджень: границя обмеженої витривалості на базі $2 \cdot 10^6$ циклів підвищується на 75 % (з 135 до 236 МПа), а циклічна довговічність збільшується в 10 разів.

Список літератури

1. Ковтуненко В.А., Синеок А.Г., Герасименко А.М., Задорожний В.А. (2005) Характерные повреждения сварных металлических конструкций мостов. *Автоматическая сварка*, **10**, 29–34.
2. Ушаков И.И., Мищенко В.Я., Ушаков С.И. (2013) *Коррозионные повреждения стальных конструкций и основы диагностики* [Электронный ресурс]. Уч. пособие. Москва, АСВ.
3. Toyoda M. (1995) How steel structures fared in Japan's great earthquake. *Welding Journal*, **74**, 31–42.
4. Takanori Deluchi, Masashi Mouri, Junya Hara et al. (2012) Fatigue strength improvement for ship structures by ultrasonic peening. *Journal of Marine Science and Technology*, **17**, **3**, 360–369.
5. Fisher J.W., Statnikov E., Tehini L. (2002) Fatigue strength improvement of bridge girders by ultrasonic impact treatment (UIT). *Welding in the World*, **46**, **9-10**, 34–40.
6. Fikri Bashar Yalchiner, Zuheir Barsoum (2017) Life extension of welded structures using HFMI Techniques – potential application to offshore structures. *Procedia Structural Integrity*, **5**, 377–384.
7. Kirkhope K.J., Bell R., Caron L. et al. (1999) Weld detail fatigue life improvement techniques. Part 2: application to ship structures. *Marine Structures*, **12**, **7-8**, 477–496.
8. Kudryavtsev Y., Kleiman J., Lugovskoy A. et al. (2007) Rehabilitation and repair of welded elements and structures by ultrasonic peening. *Welding in the World*, **51**, **7-8**, 47–53.
9. (1989) *ГОСТ 9.911-89 Единая система защиты от коррозии и старения. Сталь атмосферостойкая. Метод ускоренных коррозионных испытаний.*
10. (1985) *ГОСТ 9.308-85 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрyтия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний.*
11. (2006) *ISO 9227-2006 Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray tests.*
12. (2015) *ДСТУ ISO 6270-2:2015 Фарби та лаки. Визначення вологостійкості. Ч. 2. Випробування зразків в атмосфері конденсації води.*
13. (2015) *ДСТУ ISO 12944-6:2015 Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Ч. 6. Лабораторне виконання випробувань.*
14. (2002) *ГОСТ Р 51910-2002 Методика исследования и проверки ускоренными методами влияния внешних воздействующих факторов на долговечность и сохранность технических изделий. Разработка и построение.*
15. (2015) *ДСТУ ISO 12944-1:2015 Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 1: General introduction.*
16. (1974) *ГОСТ 9.039-74 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Коррозионная агрессивность атмосферы*
17. (2015) *ISO 12944-2:2015 Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems Part 2: Classification of environments.*
18. (1974) *ГОСТ 9.040-74 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Расчетно-экспериментальный метод ускоренного определения коррозионных потерь в атмосферных условиях.*
19. Семиохин И.А. (2001) *Физическая химия. Учебник.* Москва, МГУ.
20. (2002) *ДБН В.2.3-6-2002 Сооружения транспорта. Мосты и трубы. Обследование и испытание.*
21. (2008) *ОДМ 218.4.001-2008* Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых сооружений на автомобильных дорогах.
22. Кныш В.В., Соловей С.А., Кирьян В.И., Булаш В.Н. (2018) Повышение сопротивления коррозионной усталости сварных соединений высокочастотной механической проковкой. *Проблемы прочности*, **3**, 91–97.
23. Hobbacher A. (2008) Recommendations for fatigue design of welded joints and components. IIW document IIW-1823-07 ex XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07. *International Institute of Welding*.

References

1. Kovtunencko, V.A., Sineok, A.G., Gerasimenko, A.M., Zadorozhny, V.A. (2005) Typical damages of welded metal structures of bridges. *The Paton Welding J.*, **10**, 27–32.
2. Ushakov, I.I., Mishchenko, V.Ya., Ushakov, S.I. (2013) *Corrosion damages of steel structures and fundamentals of diagnostics: Manual.* Moscow, ASB [in Russian].
3. Toyoda, M. (1995) How steel structures fared in Japan's great earthquake. *Welding J.*, **74**, 31–42.
4. Takanori Deluchi, Masashi Mouri, Junya Hara et al. (2012) Fatigue strength improvement for ship structures by ultrasonic peening. *J. of Marine Sci. and Technol.*, **17**(3), 360–369.
5. Fisher, J.W., Statnikov, E., Tehini, L. (2002) Fatigue strength improvement of bridge girders by ultrasonic impact treatment (UIT). *Welding in the World*, **46**(9–10), 34–40.
6. Fikri Bashar Yalchiner, Zuheir Barsoum (2017) Life extension of welded structures using HFMI techniques – potential application to offshore structures. *Procedia Structural Integrity*, **5**, 377–384.
7. Kirkhope, K.J., Bell, R., Caron, L. et al. (1999) Weld detail fatigue life improvement techniques. Pt 2: Application to ship structures. *Marine Structures*, **12**(7–8), 477–496.
8. Kudryavtsev, Y., Kleiman, J., Lugovskoy, A. et al. (2007) Rehabilitation and repair of welded elements and structures by ultrasonic peening. *Welding in the World*, **51**(7–8), 47–53.
9. (1989) *GOST 9.911-89: Unified system of corrosion and ageing protection. Weather-resistant steel. Accelerated corrosion test method* [in Russian].
10. (1985) *GOST 9.308-85: Unified system of corrosion and ageing protection. Metal and non-metal inorganic coatings. Methods of accelerated corrosion tests* [in Russian].
11. (2006) *ISO 9227-2006: Corrosion tests in artificial atmospheres. Salt spray tests.*
12. (2015) *DSTU ISO 6270-2:2015: Paints and varnishes. Determination of resistance to humidity. Pt 2: Procedure for exposing test specimens in condensation-water atmospheres* [in Ukrainian].
13. (2015) *DSTU ISO 12944-6:2015: Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Pt 6: Laboratory performance test methods* [in Ukrainian].
14. (2002) *GOST R 51910-2002: Research and testing strategy by accelerated methods of environmental conditions influence for industrial products longevity and storage ability. Development and design* [in Russian].
15. (2015) *DSTU ISO 12944-1: 2015: Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Pt 1: General introduction.*
16. (1974) *GOST 9.039-74: Unified system of corrosion and ageing protection. Metals and alloys. Corrosion aggressiveness of atmosphere* [in Russian].

17. (2015) *ISO 12944-2:2015*: Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Pt 2: Classification of environments.
18. (1974) *GOST 9.040-74*: Unified system of corrosion and ageing protection. Metals and alloys. Calculated and experimental method for accelerated test of corrosion losses in atmospheric conditions [in Russian].
19. Semiokhin, I.A. (2001) *Physical chemistry*: Manual. Moscow, MGU [in Russian].
20. (2002) *DBN V.2.3-6-2002*: Transport structures. Bridges and pipes. Survey and test [in Russian].
21. (2008) *ODM 218.4.001-2008*: Guidelines on organization of survey and test of bridge structures on car roads [in Russian].
22. Knysh, V.V., Solovej, S.A., Kirian, V.I., Bulash, V.N. (2018) Improvement of fatigue corrosion resistance of welded joints by high-frequency mechanical peening. *Problemy Prochnosti*, **3**, 91-97 [in Russian].
23. Hobbacher, A. (2008) *Recommendations for fatigue design of welded joints and components*. Doc.IIW-1823-07, ex XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07.

PROCEDURE OF ACCELERATED CORROSION TESTING FOR MODELLING THE LONG-TERM EFFECT OF MODERATE CLIMATE ATMOSPHERE ON WELDED JOINTS

V.V. Knysh, S.O. Osadchuk, S.O. Solovej, L.I. Nyrkova, A.O. Rybakov

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazymyr Malevykh Str., 03680, Kyiv. E-mail: office@paton.kiev.ua

We propose a procedure of accelerated corrosion testing of welded joints for modeling the long-term effect of the most significant climatic factors of moderate climate atmosphere (temperature and relative humidity) on them. Duration of accelerated testing of welded joints in the humidity chamber to obtain corrosion damage, which is characteristic for welded joints of metal structures after approximately 12 years of operation, is substantiated. Fatigue testing of butt and tee welded joints of 15KhSND steel after preliminary exposure to 2 mln. cycles at maximum stresses of 150 MPa, corrosion testing under the conditions of higher temperature and relative humidity without strengthening and with further strengthening by the technology of high-frequency mechanical peening, were performed. It is found that strengthening by the technology of high-frequency mechanical peening improves 10 times the cyclic fatigue life of butt and tee welded joints with accumulated fatigue and corrosion damage. 23 Ref., 5 Fig.

Keywords: welded joint, corrosive environment, fatigue, accelerated corrosion testing, high-frequency mechanical peening, improvement of cyclic fatigue life

Поступила в редакцію 27.09.2019

Х МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ «Математичне моделювання та інформаційні технології в зварюванні та споріднених процесах»

Україна, Одеса, отель «Аркадія»
14 – 18 вересня 2020 р.



Національна академія наук України
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

Для участі в конференції необхідно заповнити реєстраційну картку і разом з тезами доповіді направити її в Оргкомітет до 19 червня 2020 р. До початку конференції будуть видані тези доповідей.

Збірники праць дев'яти попередніх конференцій «Математичне моделювання та інформаційні технології в зварюванні та споріднених процесах» знаходяться у відкритому доступі на сайті:
<http://patonpublishinghouse.com/rus/proceedings>

Контрольні дати

Подача заявок на участь та тез доповідей до 19.06.2020 р.
Розсилка другого інформаційного повідомлення і підтвердження участі до 17.07.2020 р.
Оплата реєстраційного внеску до 15.09.2020 р.

Оргкомітет

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України,
вул. Казимира Малевича 11,
м. Київ, 03150, Україна;
тел./факс: (38044) 200-82-77, 205-22-26
E-mail: journal@paton.kiev.ua
<http://pwi-scientists.com/rus/mmi2020>