

ОЦІНКА ПОШКОДЖЕНОСТІ СУЦІЛЬНОЗВАРНИХ ПОЗДОВЖНИХ ГОЛОВНИХ БАЛОК МОСТУ ім. Є.О. ПАТОНА ЧЕРЕЗ р. ДНІПРО

В.Д. Позняков, В.П. Дядін, Є.О. Давидов, Р.І. Дмитрієнко

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

Розглянуто питання щодо загальної оцінки технічного стану головних поздовжніх балок мосту ім. Є.О. Патона за результатами вибіркового неруйнівного контролю елементів ферм. Показано, що основною причиною пошкодження елементів головних балок є корозія вузлових зварних з'єднань в місцях скупчення сміття. Відмічена висока якість зварних стикових з'єднань, виконаних за допомогою автоматичного та напівавтоматичного зварювання під флюсом. Бібліогр. 10, рис. 18.

Ключові слова: міст ім. Є.О. Патона, головні балки, зварне з'єднання, корозія, неруйнівний контроль, технічна діагностика, автоматичне та напівавтоматичне зварювання, пошкодження зварних з'єднань

Київський міст ім. Є.О. Патона через р. Дніпро знаходиться в експлуатації з 1953 р. та є першим в світі суцільнозварним автодорожнім мостом, який увійшов в аналі світового мостобудування. До введення в експлуатацію цієї споруди всі мости при з'єднанні елементів були клепами. Поодинокі спроби створення зварних мостів до цього часу закінчувалися невдачею. В першу чергу це було пов'язано з різким падінням несучої здатності зварних з'єднань при виготовленні великогабаритних металоконструкцій. Основною причиною такого падіння була проста заміна клепааних з'єднань на зварні без урахування особливостей напруженого стану зварених елементів та недосконалістю розроблених на той час технологій зварювання, що приводило до появи тріщин як під час виготовлення (заводське та монтажне зварювання), так і під час експлуатації зварених конструкцій.

Крихіткі руйнування зварних конструкцій у 1940-х роках почали носити масовий характер, які у своїй більшості мали ряд особливостей:

- осередки руйнувань зазвичай розташовувалися в місцях зварних з'єднань;
- руйнування мало місце при дуже низьких робочих навантаженнях та відносно високих температурах;
- значно підвищилась кількість часткових руйнувань зварних конструкцій.

Так, з 2500 кораблів типу «Либерті», збудованих під час Другої світової війни, 145 зруйнувались навіпіл та 700 зазнали тяжких пошкоджень. Схожа участь спіткала багато мостів та інших конструкцій [1, 2].

Подібного роду руйнування дуже сильно стимулювали розвиток досліджень в області зварних з'єд-

нань та багато в чому визначили їх спрямованість. Значний вклад в розвиток досліджень несучої здатності зварних з'єднань були внесені Лабораторією електрозварювання, яка входила до Всеукраїнської академії наук в м. Київ, пізніше у 1934 р. перетвореної в Інститут електрозварювання АН УРСР.

Накопичений досвід Інституту електрозварювання щодо виготовлення металевих конструкцій дозволив використати передові на той час технології механізованого зварювання під шаром флюсу, які добре себе зарекомендували під час Другої світової війни на підприємствах, що виготовляли корпуси броньових машин. На той час Є.О. Патон змінив концепцію побудови мосту і запропонував виготовити його суцільнозварним за допомогою автоматичного зварювання. Такий підхід викликав необхідність розробити нові конструктивні рішення прогонових будов, сталь для їх виготовлення та автоматичного обладнання для зварювання.

Беручи до уваги, що на той час технології зварювання були ще недосконалими, не дозволяли у повній мірі оцінити властивості зварних з'єднань з урахуванням термодинамічного циклу зварювання та залишкових напружень, запропоновані Є.О. Патоном технології автоматичного зварювання дозволили значно підвищити якість та міцність зварних з'єднань. Саме ці технології зварювання були взяті за основу та застосовані під час виготовлення металевих конструкцій мосту ім. Є.О. Патона в заводських умовах, а також під час їх монтажу на будівельному майданчику [3–6]. До суттєвих переваг, запропонованих Є.О. Патоном, перед існуючими на той час підходами до будівництва сталевих мостів слід відзначати наступне:

- максимальне використання автоматичного та



Рис. 1. Зварювання поздовжніх ребер жорсткості та поясних швів ферми [3]

напівавтоматичного зварювання під флюсом на заводі, який виготовляв конструкції, та на монтажному майданчику (рис. 1, 2);

– збирання великоблочних елементів на заводі, який виготовляв конструкції (рис. 1);

– зведення монтажних з'єднань до однотипних стиків суцільних ферм двотаврового перетину (рис. 3), що дозволило значно спростити складання ферм та скоротити час на виконання зварювальних робіт за допомогою використання автоматичного та напівавтоматичного зварювання під флюсом;

– розробка спеціальної конструкції монтажного стику ферм зі вставкою в вертикальну стінку та верхню полицю та послідовність їх з'єднань за допомогою автоматичного зварювання поясів під флюсом з виводом шва на додаткові планки (рис. 2, 3).

– максимальне скорочення використання ручно-

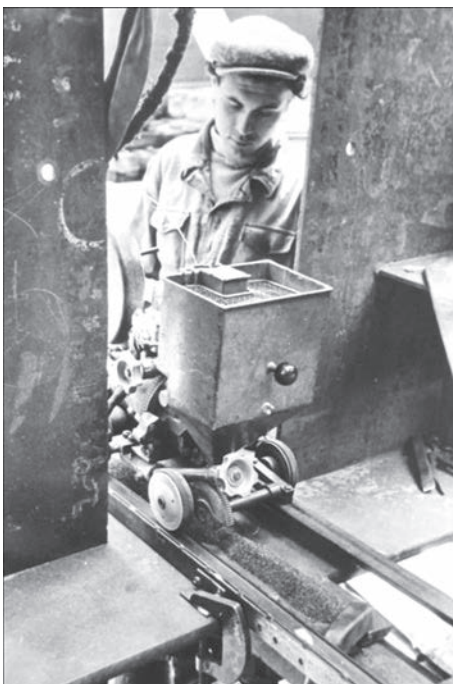


Рис. 2. Приклад застосування автоматичного зварювання під шаром флюсу нижнього поясу при стикуванні ферм головних балок [4]

го дугового зварювання покритими електродами;
 – розробка низьковуглецевої сталі М16С, мало-чутливої до термодіформованого циклу зварювання;
 – розробка нових електродних дротів та флюсів;
 – розробка нового обладнання для автоматичного та напівавтоматичного зварювання під флюсом у широкому діапазоні технологічних режимів його використання в промисловості.

Комплекс цих рішень забезпечив необхідну надійність та якість вузлових зварних з'єднань мостових споруд (більш детальну інформацію можна знайти в роботі [6]). Саме тому у 1995 р. міст отримав визнання Американської асоціації зварювання як видатна зварна споруда ХХ століття.

Загальна довжина мосту має 1542,2 м, складається з 24-х прогонових споруд. Будівництво мосту починалось з лівого берега р. Дніпро.

Правобережна частина мосту складається з десяти прогонів, які перекриті двома суцільнозварними п'ятипрогоновими нерозрізними спорудами – $(5 \times 58) + (5 \times 58)$ м (у подальшому позначення 1-5П та 2-5П).

Середня частина мосту над судноплавною ділянкою річки має шість прогонів, які перекриті нерозрізними суцільнозварними спорудами – $58 + 4 \times 87 + 58$ (м) (у подальшому позначення 6П).

Лівобережна частина мосту має 8 прогонів по 58 м та перекрита двома чотирьохпрогоновими суцільнозварними нерозрізними спорудами – $(4 \times 58) + (4 \times 58)$ м (у подальшому позначення 1-4П та 2-4П).

У поперечному перерізі кожна споруда має чотири головні поздовжні балки двотаврового перетину, що складаються з вертикальної стінки, висотою 3600 мм і товщиною 14 мм та поясів різної товщини, яка змінюється від 30 до 80 мм, при ширині до 1000 мм (рис. 4). Стійкість стінки балки додатково забезпечується вертикальними ребрами, встановленими з кроком 7,25 м.

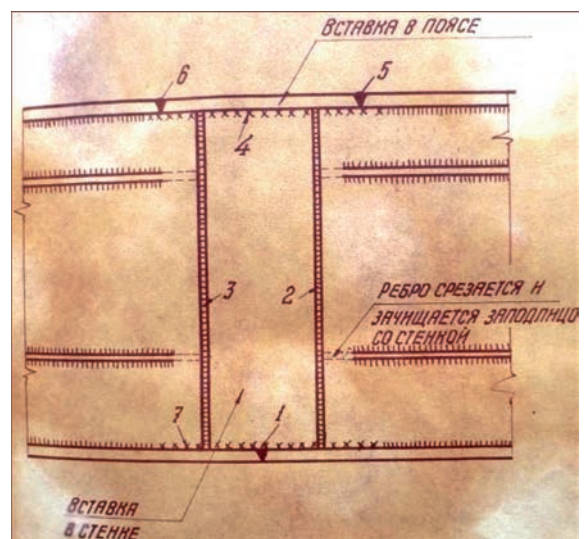


Рис. 3. Порядок монтажного складання та зварювання типових ферм мосту [4]

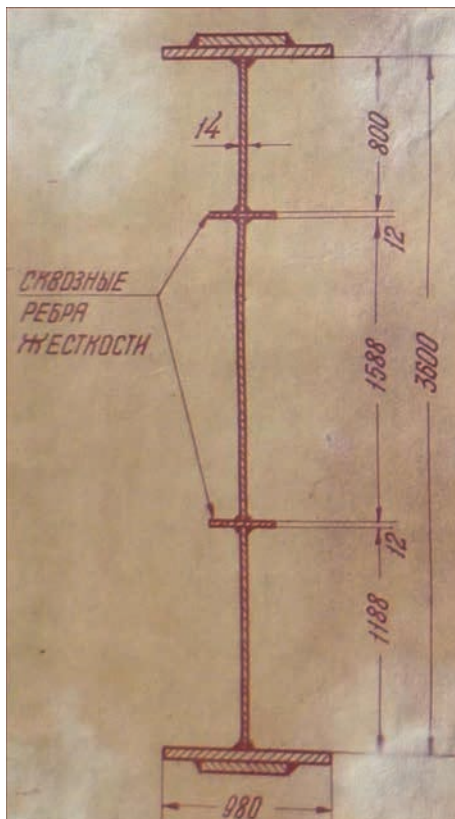


Рис. 4. Поперечний переріз ферми головних поздовжніх балок чотирьох- та п'ятипрогонових споруд мосту [4]

У шестипрогонових спорудах висота стінки над проміжними опорами за рахунок пристрою вутів збільшена до 6200 мм.

Головні поздовжні балки складаються з ферм, які зварені між собою в стик з використанням автоматичного зварювання під флюсом під час монтажу металевих конструкцій. Кількість ферм в кожній з чотирьохпрогонових головних поздовжніх балок становить 9 шт, в п'ятипрогонових головних балках – 11 шт, а в шестипрогонових головних балках – 21 шт. Ферми виготовлені з низьковуглецевої сталі марки М16С.

Міст ім. Є.О. Патона через р. Дніпро у м. Києві було запроектовано, виходячи з умов, що проектна інтенсивність руху має складати 10 тис. автомобілів на добу. В процесі тривалої експлуатації мосту навантаження на його несучі елементи поступово зростали, що пов'язано як із збільшенням інтенсивності руху автомобілів на добу (наразі вона зросла практично в 10 разів – у години «пік» – до 85 тис. на добу), так і з збільшенням ваги автомобілів [7]. Внаслідок прокладання труб теплотраси та збільшення товщини асфальтобетонного покриття постійні навантаження на міст також підвищилися. Враховуючи це, у 1994–1998 рр. було виконано посилення поперечних балок мосту, які розташовані біля деформаційних швів, та встановлено додаткові ребра жорсткості на окремих ділянках вертикальних стінок ферм головних балок [7].

До 2019 р. головні поздовжні балки мосту об-

стежувались лише візуально без використання інструментальних та фізичних методів контролю, що не дозволяло отримати більш детальну інформацію фактичного технічного стану металевих конструкцій [7, 8]. Так, за результатами обстеження мосту, виконаного наприкінці 2018 р. спеціалістами ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського», було звернуто увагу на те, що на стінках головних балок споруди в місцях розташування деформаційних швів спостерігали утворення шару продуктів корозії. Враховуючи та аналізуючи результати виконаних досліджень, Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського прийшов до висновку, що міст ім. Є.О. Патона знаходиться в аварійному стані та невідкладно потребує капітального ремонту з частковою заміною його конструктивних елементів. Це питання неодноразово обговорювалося на нарадах в Київській міській державній адміністрації та КП «Київавтодор», за підсумками яких було прийнято рішення щодо реконструкції мосту та необхідності проведення більш детального обстеження його конструктивних елементів. У 2019 р. роботи з оцінювання загального технічного стану мосту було покладено на ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського» з залученням фахівців ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України в частині обстеження головних поздовжніх балок мосту.

Обстеження технічного стану головних балок споруд мосту виконувалося у 2020 р. Частково результати проведених досліджень фахівцями ІЕЗ ім. Є.О. Патона приведені в роботі [9]. Дослідження проводилися за наступними напрямками:

- вибіркового ультразвукового контролю стикових заводських і монтажних зварних з'єднань балок та основного металу елементів балок на наявність розшарування;
- товщинометрія основних елементів головних балок в місцях доступу;
- вибіркового магнітного контролю кутових і стикових зварних з'єднань.

Вибір таких методів контролю було визначено за результатами попереднього обстеження фахівцями Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (в липні 2019 р.) головних поздовжніх балок мосту, розташованих між 2-ю і 3-ю опорами, враховуючі дані [10]. Під час проведення робіт виконувався також 100% -й візуальний огляд зварних з'єднань. За результатами виконаного попереднього обстеження були визначені основні напрямки досліджень, які можна поділити на три складові:

- виявлення можливого втомного пошкодження зварних з'єднань після тривалої експлуатації;
- оцінка суцільності основного металу, з якого виготовлені елементи ферм;
- оцінка розмірів корозійного пошкодження еле-

ментів ферм та зварних з'єднань головних балок.

Основна увага під час проведення вибіркового ультразвукового контролю стикових швів приділялась місцям, в яких при монтажі та виготовленні елементів ферм були виявлені дефекти [3, 4, 9], та максимально напруженим зонам. При загальній довжині монтажних та заводських зварних з'єднань близько 110 км було проконтрольовано 150 м зварних з'єднань, 50 % з яких склали монтажні шви в місцях з'єднання ферм (рис. 2, 3, 5, 6).

Враховуючі, що ультразвуковий метод контролю не дозволяє надійно проконтролювати поверхневі та приповерхневі шари зварного з'єднання, було додатково застосовано магнітний метод контролю. Магнітний контроль виконувався в різних місцях прогонових споруд на 124 ділянках зварних з'єднань загальною площею 40,0 м². Враховуючи



Рис. 5. Приклад контролю стикових вертикальних швів з'єднувальної вставки



Рис. 6. Приклад контролю стикового шва у верхньому поясі з'єднувальної вставки



Рис. 7. Приклад відсутності росту дефекту, залишеного під час монтажу (кінці тріщини були зупинені методом свердлування) [4]

більш складні умови монтажу, більше уваги з застосуванням магнітного методу контролю приділялось монтажним зварним з'єднанням. Усі місця, де виконувався неруйнівний контроль, вносилися в робочі карти контролю, які були прив'язані до номерів ферм, з яких виготовлена поздовжня балка та номерів опор, між якими вона знаходиться.

Проведений візуальний огляд зварних з'єднань та аналіз результатів ультразвукового та магнітного контролю монтажних і заводських зварних швів прогонових споруд свідчать про те, що зварні з'єднання головних балок знаходяться у задовільному стані. Тріщини втоми в зварних з'єднаннях після тривалої експлуатації не утворилися. Навіть ті дефекти, що були виявлені ще на етапі будівництва мосту, в процесі тривалої експлуатації не розвивалися (рис. 7).

Отримані результати контролю ще раз підтверджують, що запропоновані конструктивні рішення великоблочної зборки та закладений на заводі та монтажному майданчику принцип максимального використання автоматичного та напівавтоматичного зварювання під флюсом дозволив забезпечити гарантовану високу якість зварних з'єднань. Значну роль в досягненні цих результатів мали також розроблена апаратура та запропоновані прогресивні технології щодо зварювання та збирання великоблочних елементів (ферм).

Перевірка суцільності основного металу головних балок неруйнівним методом контролю була пов'язана з тим, що при виготовленні ферм головних поздовжніх балок у ряді випадків були виявлені локальні місця з розшаруванням в металі горизонтальних ребер жорсткості. В ряді випадків, коли виявлені в процесі виготовлення та монтажу розшарування не досягали зварних з'єднань, такі ділянки не ремонтувалися [3]. В цих місцях для оцінки ймовірного подальшого росту розшарування було вибірково проконтрольовано 7 м² поверхні металу. Контролю піддавалися ділянки основного металу різної товщини, які безпосередньо примикали до зварних з'єднань, в яких під час монтажу було виявлено розшарування. В жодних з проконтрольованих місць поширення розшарування на інші ділянки не виявлено.

При проектуванні горизонтальних ребер жорсткості була передбачена їх приварка до вертикальної стінки ферми без повного проплавлення (рис. 4), що дозволило значно зменшити залишкові напруження по товщині металу та за рахунок цього суттєво знизити ризик розвитку даного дефекту.

Загалом за результатами проведених досліджень було встановлено, що в процесі тривалої експлуатації тріщини втоми в зварних з'єднаннях металевих конструкцій головних балок не утворилися і ці з'єднання знаходяться в задовільному стані.

Як свідчать попередні висновки з отриманих результатів вибіркового технічного діагностування головних поздовжніх балок [9], основною причиною, яка може значно скоротити подальший термін експлуатації мосту, є корозія. За час експлуатації метал головних балок зазнав певних втрат товщини від корозії. Особливо це спостерігалось на ділянках великого скупчення сміття на нижніх горизонтальних ребрах, нижніх поясах крайніх балок та на кінцях спирання прогонових споруд (рис. 8–10).

Для уточнення і виявлення найбільш характерних ушкоджень елементів головних балок і супутніх їм факторів при обстеженні прогонових

споруд за допомогою товщинометрії кількість вимірювань на крайніх балках (№ 1, № 4) була значно більшою ніж на балках № 2 та № 3. Підвищена кількість вимірювань була обумовлена обмеженим доступом до елементів контролю внаслідок незадовільного стану оглядових проходів та великим скупченням сміття на крайніх балках споруд.

При вибіркового контролю товщини елементів ферм в місцях скупчення сміття було виконано 12640 вимірювань. Всього при частковому обстеженні головних поздовжніх балок прогонових споруд було проведено 16876 вимірювань товщини, які вносилися у робочі карти контролю (168 карт-ферм) з фіксацією ділянки, де проводився контроль, та на узагальнені схеми прогонових споруд. Виявлені найбільш типові місця корозії-



Рис. 8. Ділянка скупчення сміття та стану оглядових проходів з внутрішньої сторони крайньої балки п'ятипрогонової споруди



Рис. 9. Ділянка скупчення сміття із зовнішньої сторони крайньої балки п'ятипрогонової споруди



Рис. 10. Ділянка скупчення сміття в опорній частині чотирипрогонової споруди

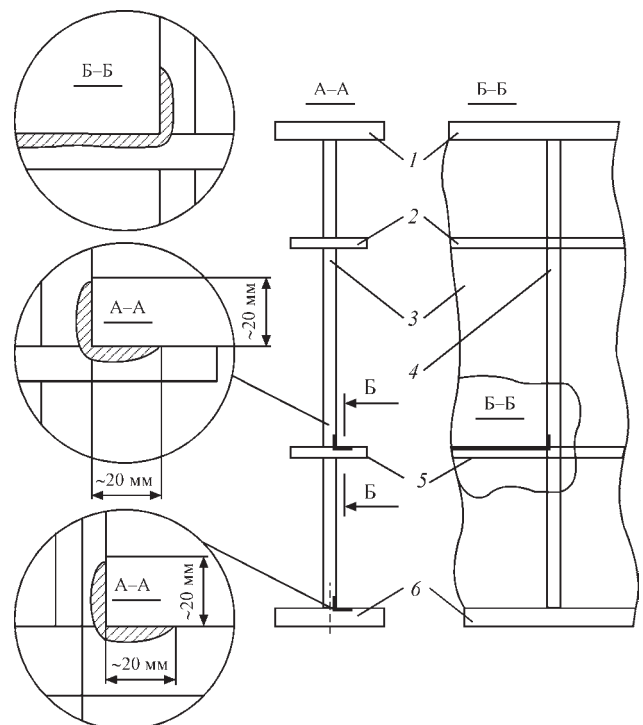


Рис. 11. Типові корозійні пошкодження зварних з'єднань елементів ферм головних балок: 1 – верхня полка; 2 – верхнє горизонтальне ребро; 3 – стінка; 4 – вертикальне ребро; 5 – нижнє горизонтальне ребро; 6 – нижня полка

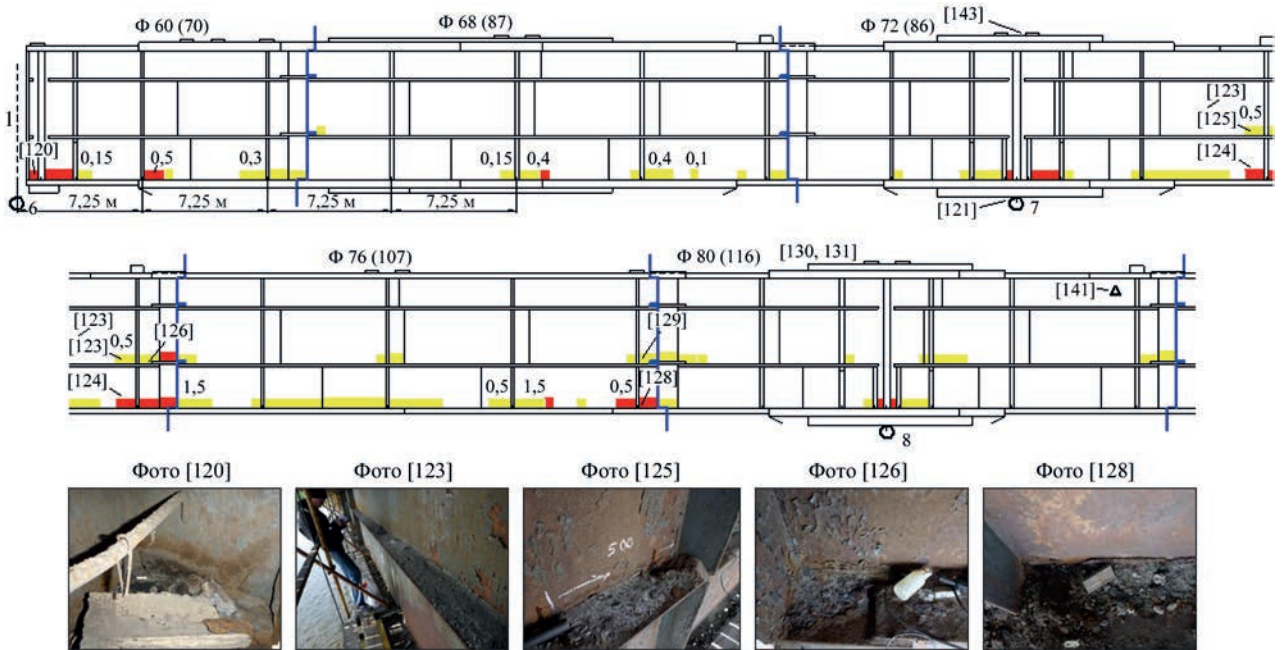


Рис. 12. Фрагмент зведених результатів контролю елементів балки № 1 п'ятипрогонової споруди, розташованої між 6–9 опорою

йних ушкоджень зварних вузлів головних балок мосту представлено на рис. 11.

Як приклад, на рис. 12, 13 представлено ділянки з виявленими корозійними пошкодженнями та розшарування головних балок прогонових споруд.

На приведених фрагментах (рис. 12, 13) застосовано наступні умовні позначення: Φ – ферма; ділянки, на яких втрата металу від корозії знаходиться в межах від 2 до 4 мм – жовтий колір, а у разі більше за 4 мм – червоний. Цифра зверху над кольором означає

приблизну довжину відповідної зони вздовж ферми. Окремий квадрат жовтий або червоний відповідає довжині приблизно 100 мм. Якщо зона відокремлюється конструктивними елементами, наприклад, вертикальними ребрами або зварними з'єднаннями листів, тоді цифра над кольором не позначена. Неметалеві включення – зелений колір. Границі ферм позначені синім кольором. Рухома та нерухома опори відповідно – о 22 Δ 23. У квадратних дужках надані номери фотографій деяких ділянок. Ділянки, на

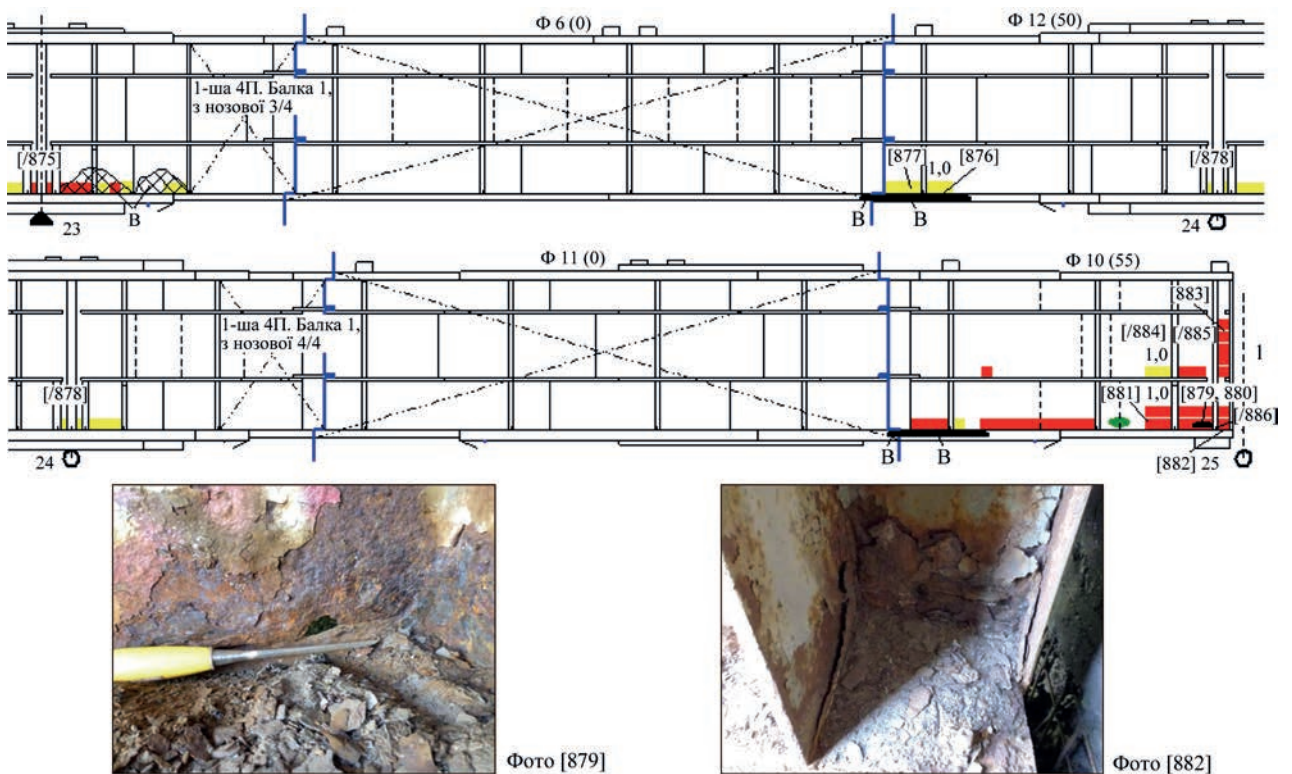


Рис. 13. Фрагмент зведених результатів контролю елементів балки № 1 чотирьохпрогонової споруди, розташованої між 21 – 25 опорою

яких не проводився вибірковий контроль, позначені пунктирним перехрестям. Чорним кольором нанесені дефекти згідно даних ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського», які були наведені у звіті, складеному за результатами обстеження мосту, у 2018 р.

За результатами виконаних вибіркових вимірювань товщини елементів ферм та проведеного аналізу [9] було визначено, що внаслідок протікання скрізь деформаційні шви залізобетонної плити дощової води та вологи, що утворилася внаслідок танення снігу (містить солі) на металеві конструкції головних балок, метал на деяких ділянках ферм зазнав локальних значних корозійних ушкоджень. У ряді випадків товщина металу за рахунок корозії на нижніх поясах, нижніх горизонтальних ребрах та в нижній частині стінок головних балок суттєво зменшилася (в окремих випадках на 40...50 %).

Найменша глибина корозійних пошкоджень спостерігалася біля деформаційних швів у фермах середніх головних балок № 2 та № 3, де було відсутнє сміття (рис. 14). Окрім ділянок головних балок № 2 та № 3, які розташовані біля деформаційних швів, інші елементи цих балок знаходяться у задовільному стані.

Найбільшу втрату товщини металу внаслідок корозії було виявлено у фермах крайніх головних балок № 1 та № 4 (рис. 14, 15). Основною причиною такого пошкодження було наявність на нижньому горизонтальному ребрі та нижньому поясі цих балок сміття, яке затримує вологу (рис. 8–13).

Максимальні корозійні пошкодження елементів було виявлено в фермах Ф10 та Ф15 чотирьохпрогонової споруди головної балки № 1 та фермах Ф1 і Ф3 чотирьохпрогонової споруди головної балки № 4. В цих фермах спостерігаються глибокі корозійні ураження (місцями наскрізні, рис. 13), які потребують першочергового ремонту.

Слід зазначити, що при виконанні роботи фахівцям Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона

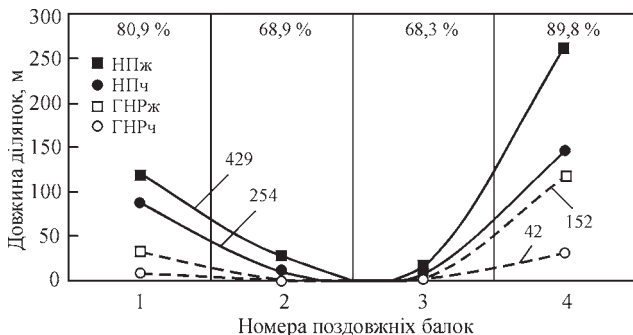


Рис. 14. Загальна довжина виявлених корозійних пошкоджень головних поздовжніх балок в вузлах зварювання наступних елементів: середня стінка ферми до нижнього горизонтального ребра жорсткості – ГНР(ж, ч); нижня стінка до нижньої полиці ферми – НП (ж, ч) (позначки «ж» та «ч» характеризують глибину корозійних уражень від 2,0 до 4,0 мм та більше 4,0 мм відповідно)

НАН України було надано обмежений доступ до контролю елементів поздовжніх головних балок в зв'язку з загальним незадовільним станом оглядових проходів так і зі зкупченням сміття на крайніх балках, що дозволило провести лише часткове обстеження.

Так, на рис. 16, а, б наведено залежність виявлених пошкоджених корозією ділянок обстежених споруд, де зверху графіка вказано відсоток виконаного контролю по спорудах.

Враховуючи обмежений доступ до елементів конструкцій, можна в певній мірі оцінити «очікувану» довжину пошкоджених ділянок споруд на інших балках. Як приклад, на рис. 17 приведена прогнозо-

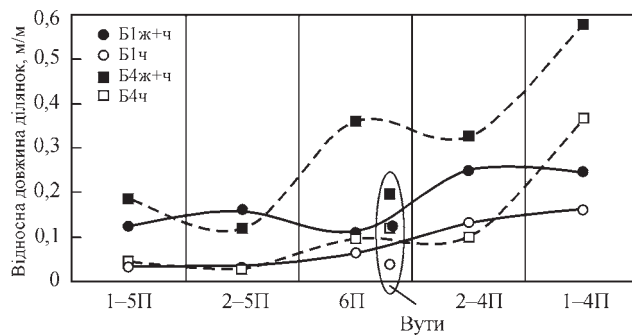


Рис. 15. Відносна довжина виявлених пошкоджених корозією ділянок в вузлі приварки нижньої стінки до нижньої полиці ферми для споруд 1-5П; 2-5П; 6П; 2-4П; 1-4П крайніх балок № 1 та № 4 до проконтрольованої довжини споруд (Б1ж+ч – загальна довжина пошкоджень з глибиною більше 2,0 мм балки № 1; Б1ч – загальна довжина пошкоджень з глибиною більше 4,0 мм балки № 1; Б4ж+ч – загальна довжина пошкоджень з глибиною більше 2,0 мм балки № 4; Б4ч – загальна довжина пошкоджень з глибиною більше 4,0 мм балки № 4)

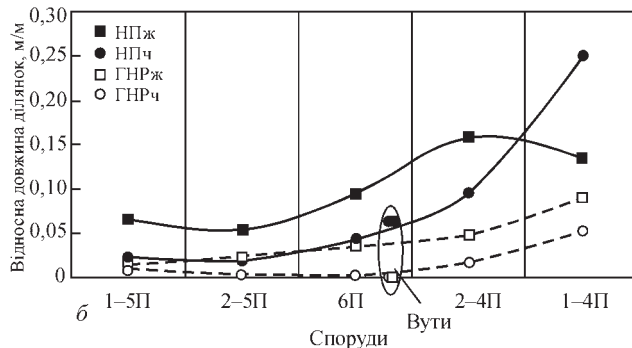
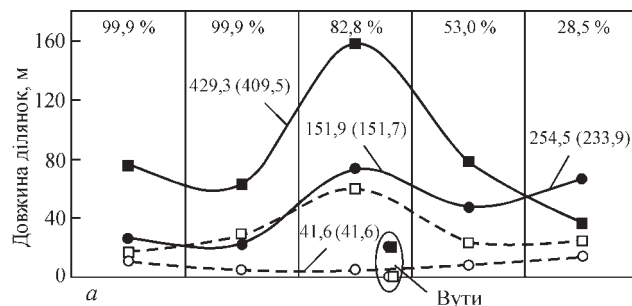


Рис. 16. Довжина виявлених пошкоджених корозією ділянок споруд та процент виконаного контролю (процент контролю вказано зверху) (а) та відносна довжина виявлених пошкоджених корозією ділянок споруд до проконтрольованої довжини (б). Цифрами вказана загальна довжина з урахуванням даних по вузах (в дужках – без вутів)

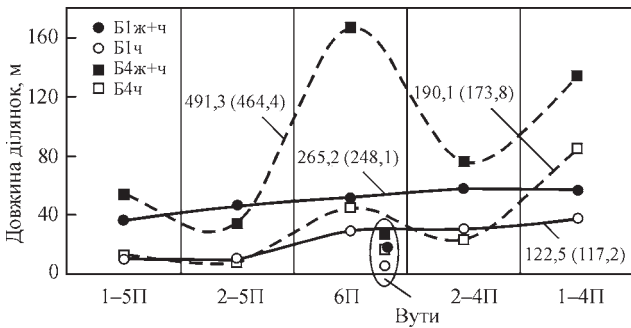


Рис. 17. Приклад прогнозування довжини пошкоджених корозією ділянок в вузлі приварки нижньої стінки до нижньої полиці ферми для споруд 1-5П; 2-5П; 6П; 2-4П; 1-4П крайніх балок № 1 та № 4 (позначення кривих як на рис. 15)

вана (очікувана) довжина пошкоджених корозією ділянок споруд в місцях приварки нижнього поясу до стінки поясу головних балок № 1 та № 2.

У даному випадку при оцінюванні очікуваної довжини корозійних пошкоджень балок Б1 та Б2 використовувалася лінійна екстраполяція між встановленими пошкодженими ділянками та проконтрольованою довжиною. Такий підхід дає лише приблизну оцінку можливих пошкоджень, але може бути корисним при плануванні майбутніх ремонтних робіт. Більш точна оцінка пошкоджень потребує інших підходів з використанням імовірних методів. Так, на рис. 18 приведені графіки розподілу виявлених пошкоджень ферм у вузлах приварки нижнього поясу до нижньої стінки між опорами для головних балок № 1 та № 4. З аналізу результатів цього графіка встановлено, що ділянки виявлених пошкоджень носять хаотичний характер. Єдиною схожою закономірністю є підвищення пошкоджень по границях споруд.

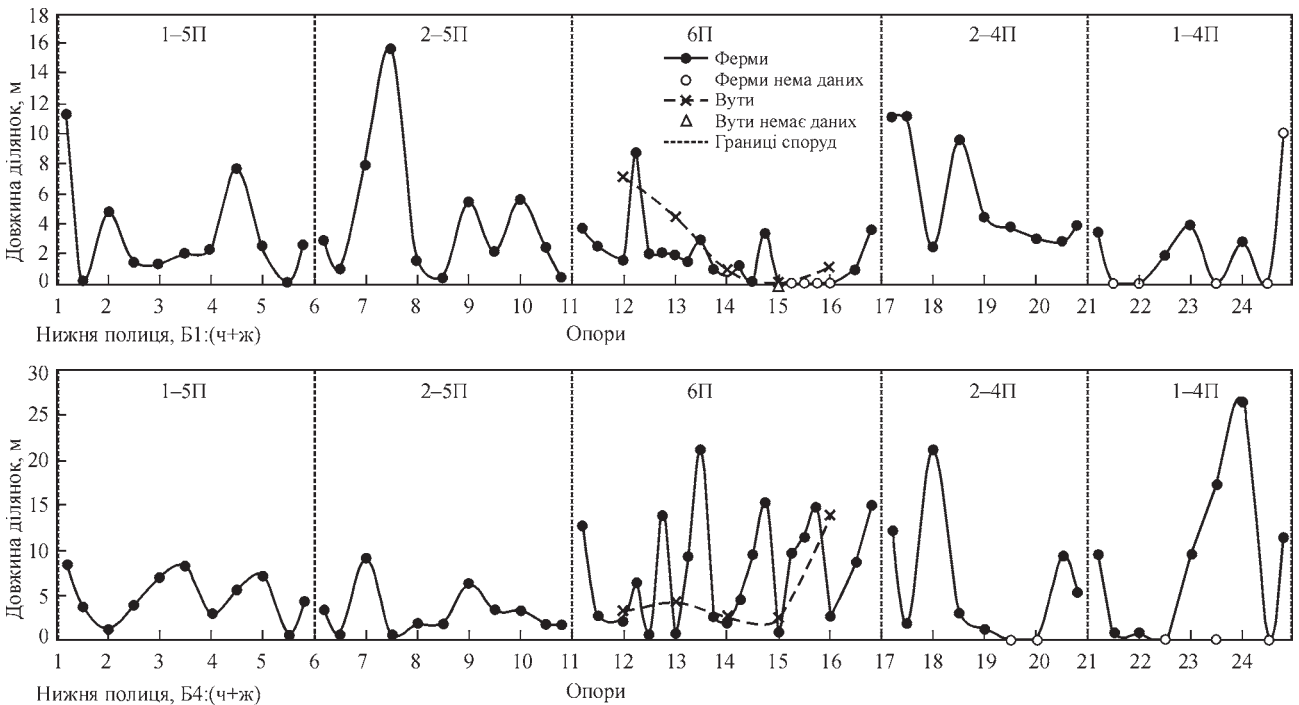


Рис. 18. Розподіл виявлених пошкоджених ділянок у зоні приварки нижнього поясу до стінки ферм між опорами для головних балок № 1 та № 2 (позначення як на рис. 15, 17)

Підсумовуючи результати обстеження головних балок мосту ім. С.О. Патона через р. Дніпро у м. Києві можливо зробити наступні висновки.

1. Зварні з'єднання елементів ферм головних поздовжніх балок знаходяться у задовільному стані. В процесі тривалої експлуатації недопустимі дефекти та тріщини втоми в них не утворилися.

2. Внаслідок протікання скрізь деформаційні шви дощової води та води, що утворилася внаслідок танення снігу (містить солі) на металеві конструкції головних балок, метал кінцевих ділянок ферм, які примикають до деформаційних швів, зазнав локальних, але місцями значних корозійних ушкоджень. За рахунок корозії товщина металу в елементах конструкції, а саме нижніх поясах, нижніх горизонтальних ребрах та в нижній частині стінок головних балок суттєво зменшилася. В окремих випадках на 40...50 %.

3. Найменші корозійні пошкодження спостерігаються біля деформаційних швів в фермах середніх головних балок № 2 та № 3, більш інтенсивні – в фермах крайніх № 1 та № 4 головних балок, що обумовлено накопиченням на нижньому горизонтальному ребрі та нижньому поясі цих балок сміття, яке затримує вологу.

4. Локальні корозійні ураження утворилися на нижніх полицях, нижніх горизонтальних ребрах та частинах стінок ферм крайніх головних балок № 1 та № 4, що примикають до них. Аналогічні ділянки головних балок № 2 та № 3 знаходяться у задовільному стані.

5. Найбільш глибокі корозійні ураження (місцями наскрізні) спостерігали в фермах Ф10 та Ф15 го-

ловної балки № 1 та фермах Ф1 і Ф3 головної балки № 4. Ці ферми потребують першочергового ремонту.

6. Враховуючи існуючий на даний час технічний стан головних балок мосту ім. Є.О. Патона через р. Дніпро у м. Києві, за умови виконання робіт, спрямованих на відновлення їх початкової несної здатності, головні балки можуть бути використані при реконструкції (реставрації) мосту.

Список літератури

1. Anderson, W.E. (1969) *An engineer views brittle fracture history*. Boeing rept.
2. Biggs, W.D. (1960) *The brittle fracture of steel*. Mc. Donald and Evans.
3. (1953) Отчет о заводском изготовлении элементов пролетных строений Киевского городского моста на заводе им. Молотова в г. Днепропетровске. *Библиотека ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ*, Киев.
4. (1953) Отчет о монтажной сварке пролетных строений Киевского городского моста им. Е.О. Патона НАН УССР через р. Днепр. *Там же*.
5. Лобанов Л.М., Кирьян В.И. (2013) Шестьдесят лет цельносварному мосту им. Е.О. Патона. *Автоматическая сварка*, **12**, 35–40.
6. Лобанов Л.М., Кирьян В.И., Шумицкий О.И. (2003) Пятьдесят лет мосту им. Е.О. Патона. *Там же*, **10-11**, 14–22.
7. Шимановський О.В., Котлубей Д.О., Шалінський В.В. (2018) Міст ім. Є.О. Патона – нинішній стан та перспективи. *Промислове будівництво та інженерні споруди*, **1**, 2–9.
8. Шимановський О.В., Котлубей Д.О., Шалінський В.В. (2018) Аварійна ситуація на мосту ім. Є. О. Патона та заходи щодо її вирішення. *Там само*, **4**, 30–33.
9. Позняков В.Д., Дядин В.П., Давидов С.О., Дмитрієнко Р.І. (2021) Технічний стан металевих конструкцій го-

ловних балок моста ім. Є.О. Патона через р. Дніпро у м. Києві. *Там само*, **1**, 9–17.

10. (1989) *Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*)*. Укрниипроектстальконструкция. Москва, Стройиздат.

References

1. Anderson, W.E. (1969) *An engineer views brittle fracture history*. Boeing rept.
2. Biggs, W.D. (1960) *The brittle fracture of steel*. Mc. Donald and Evans.
3. (1953) *Report on prefabrication of span elements of Kiev city bridge at Dniepropetrovsk Molotov Plant*. Kiev, PWI library [in Russian].
4. (1953) Report on site welding of spans of Kiev E.O.Paton bridge across the Dnieper. *Ibid.* [in Russian].
5. Lobanov, L.M., Kyrian, V.I. (2013) The E.O. Paton all-welded bridge is sixty years old. *The Paton Welding J.*, **12**, 33-38.
6. Lobanov, L.M., Kirian, V.I., Shumitsky, O.I. (2003) Fifty years of the E.O. Paton bridge. *Ibid.*, **10-11**, 12-20.
7. Shimanovskiy, O.V., Kotlubei, D.O., Shalinskiy, V.V. (2018) The E.O.Paton bridge: Current state and prospects. *Promyslove Budivnytstvo ta Inzhenerni Sporudy*, **1**, 2–9 [in Ukrainian].
8. Shimanovskiy, O.V., Kotlubei, D.O., Shalinskiy, V.V. (2018) Emergency situation of the E.O.Paton bridge and measures for its solution. *Ibid.*, **4**, 30–33.
9. Poznyakov, V.D., Dyadin, V.P., Davydov, Ye.O., Dmytrienko, R.I. (2021) Technical state of metal structures of the main girders of E.O.Paton bridge across the Dnipro in Kiev. *Ibid.*, **1**, 9–17 [in Ukrainian].
10. (1989) *Textbook on design of reinforcement of steel structures (to SNiP II-23-81*)*. Ukrniiproektstalkonstruktziya. Moscow, Stojizdat [in Russian].

EVALUATION OF DAMAGE OF ALL-WELDED LONGITUDINAL MAIN BEAMS OF THE E.O. PATON BRIDGE ACROSS THE DNIPRO RIVER

V.D. Poznyakov, V.P. Dyadin, Ye.O. Davydov, R.I. Dmitrienko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Ukraine, Kyiv.

E-mail: office@paton.kiev.ua

The problem of the general evaluation of a technical condition of main longitudinal beams of the E.O. Paton bridge was considered based on the results of selective non-destructive testing of truss elements. It is shown that the main cause of damage to the elements of the main beams is the corrosion of the nodal welded joints in the places of debris accumulation. High quality welded butt joints made by automatic and semi-automatic submerged arc welding was noted. 10 Ref., 18 Fig.

Keywords: E.O. Paton bridge, main beams, welded joint, corrosion, non-destructive testing, technical diagnostics, automatic and semi-automatic welding, damage to welded joints

Надійшла до редакції 3.06.2021

НОВА КНИГА

Недосека А.Я., Недосека С.А.

Основы расчета и диагностики сварных конструкций. – К.: Издательство «ИНДПРОМ», 2020. – 886 с, 406 рис., 35 табл. – Библиогр.: 18 назв.

Изложены основные проблемы, связанные с обеспечением безопасности эксплуатации конструкций и сооружений, возникающие при расчете их прочности, при испытаниях и в процессе эксплуатации. Большое внимание уделено теории, методам и средствам диагностики и оценки состояния материала конструкций, его остаточному ресурсу. Изложены основные вопросы теории прогнозирования и принятия решений при оценке состояния конструкций. Освещены современные методы расчета и измерения температурных полей, напряжений и деформаций, показаны способы борьбы с вредными последствиями сварочных напряжений и деформаций, рассмотрены основы классической и квантовой механики разрушения.

Предназначена для студентов, аспирантов и преподавателей машиностроительных специальностей вузов, для специалистов, проходящих переподготовку на курсах повышения квалификации по направлению «Техническая диагностика», а также для инженеров предприятий и организаций, занимающихся контролем и диагностикой конструкций.

Замовлення на книгу прохання надсилати до редакції журналу.

Тел.: (044) 200-82-77, E-mail: journal@paton.kiev.ua

