

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПАДКУ КОРОЗІЇ ЕМАЛЬОВАНИХ ТРУБ ХОЛОДНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

С.О. Осадчук, Л.І. Ниркова, Л.В. Гончаренко

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03105, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: svetlanaosadchuk@meta.ua

Досліджено трубу з вуглецевої сталі з внутрішнім силікатноемалевим покриттям, пошкоджену під час експлуатації в системі холодного водопостачання громадської будівлі впродовж 5 років. За результатами візуального огляду виявлено, що труба електрозварна та корозійні ураження у вигляді щілин утворилися після пошкодження захисного покриття на електрозварному шві. Показано, що перехідний питомий електричний опір на поверхні з електрозварним швом низький ($1,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$) порівняно з цим показником на основному металі ($907 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$), що вказує на практичну відсутність його захисної здатності. Металографічними дослідженнями показано, що причиною руйнування зразка труби є дефекти несплавлення кромок листа під час виготовлення. Ідентифіковано вид корозії – щілинна, яка розвивалася на внутрішній поверхні труби в місцях несплавлення кромок шва. За 5 років експлуатації швидкість щілинної корозії становила 0,8 мм/рік та супроводжувалася утворенням наскрізних уражень, а корозійна тривкість в щілині оцінена згідно з ГОСТ 9.502, як «понижена» (від 0,5 до 1,0 мм/рік). Зроблено висновок, що корозійна тривкість та довговічність дослідженої емальованої труби визначається якістю виконання електрозварного з'єднання. Бібліогр. 14, табл. 2, рис. 4.

Ключові слова: емальовані труби, вуглецева сталь, силікатноемалеві покриття, електрозварний шов, корозійна тривкість, швидкість корозії

Вступ. У системах холодного та гарячого водопостачання у житлових та громадських будівлях застосовуються зварні труби, з'єднані високочастотним зварюванням. Із досвіду світової практики відомі приклади корозії електрозварних труб як без покриття [1] так і з захисним покриттям [2].

Для захисту труб від внутрішньої корозії ДСТУ Б В.2.5-30 [3] рекомендується застосовувати протикорозійні покриття, зокрема, силікатноемалеві, які наносять на поверхню шляхом розплавлення неметалевого порошку (фрити), що містить, переважно, силікатні продукти [4]. Термін служби труб з силікатноемалевим покриттям збільшується в 5...10 разів. Якість його нанесення залежить від якості підготування внутрішньої поверхні труб, особливо в області електрозварного шва. Під час зварювання труб, можуть утворюватися різні дефекти [5]: тріщини; порожнини, пори; несплавлення та непровари; порушення форми шва тощо.

Зчеплення емалі з металевою поверхнею формується внаслідок проникнення розплавленої емалі в мікронерівності поверхні (механічне зчеплення) і розчинення металу в склі (складова покриття), тобто за рахунок хімічного зв'язку. Однак, під час охолодження на поверхні розділу та в емалевому шарі можуть виникати залишкові напруження, які погіршують властивості покриття. Еластичність покриття залежить від товщини емалі, тому при її нанесенні намагаються досягти оптимальних властивостей покриття за мінімальної товщини.

У водному середовищі склоподібні емалі, як правило, є хімічно стійкими [4]. Під дією

води на емаль модифікатор в ґратці скла піддається гідролізу і легко вилугується зі скла, сприяючи втраті блиску та появі пористості. На стійкість до води впливають фарбувальні пігменти, які є дуже активними. У замкнених системах при контакті емалі з водою вилугуються речовини, які можуть прискорювати корозію поверхні.

При роботах з емальованими трубами треба враховувати невисоку міцність силікатних емалей під час удару і вживати спеціальні заходи для їх захисту від пошкоджень при навантажуванні, транспортуванні [3] та монтажі.

Технічні вимоги до силікатноемалевих покриттів стандартизовані у ДСТУ Б В.2.5-30 [3], згідно з яким товщина одного шару покриття має бути не менше 0,2 мм; міцність під час удару – 2,0 Дж; швидкість розчинення покриття в агресивних середовищах з рН від 4 до 11 за температур до 50 °С – 0,02 мм/рік; втрата маси покриття при кип'ятінні в дистильованій воді протягом 48 год – не більше 0,08 мг/см². Покриття повинно бути термостійким при перепаді температур від 260 до 18 °С. Перехідний питомий електричний опір безгрунтового покриття повинен бути не менше 500 Ом·м² [6]. Однак, іноді трапляються випадки пошкодження труб з таким покриттям.

Мета цієї роботи полягала у дослідженні причин утворення наскрізних дефектів у трубах системи холодного водопостачання з внутрішнім силікатноемалевим покриттям у громадській будівлі після експлуатації впродовж 5 років.

Осадчук С.О. – <https://orcid.org/0000-0001-9559-0151>, Ниркова Л.І. – <https://orcid.org/0000-0003-3917-90636>, Гончаренко Л.В. – <https://orcid.org/0000-0001-8371-2078>

© С.О. Осадчук, Л.І. Ниркова, Л.В. Гончаренко, 2023

Методи дослідження. Хімічний склад сталі визначали на спектрометрі «Спектровак-1000» фірми «Biard».

Фізико-механічні властивості силікатноемалевого покриття визначали за стандартними методиками згідно з ДСТУ Б В.2.5-30 [3], сфера застосування якого поширюється на аналогічний сортамент емальованих труб: товщину – за допомогою приладу «Константа К5»; міцність під час удару на ударній установці з вантажем, що падає, вагою 1 кг та діаметром бойка 16 мм; перехідний питомий електричний опір – за допомогою тераомметра Е6-13.

Потенціал корозії сталі вимірювали відносно хлоридсрібного електроду порівняння впродовж 30 хв. Поляризаційні криві знімали на потенціостаті ПИ-50.1.1 зі швидкістю розгортки $1 \cdot 10^{-3}$ В/с у 3 %-му розчині хлориду натрію за температури 20 °С. Використовували притисну триелектродну електрохімічну комірку: робочий електрод – зразок досліджуваної труби, електрод порівняння – хлоридсрібний, допоміжний електрод – платиновий.

Дослідження шліфів після травлення у 4 %-му спиртовому розчині нітратної кислоти проводили методом оптичної мікроскопії за допомогою мікроскопу NEOPHOT 21 з використанням цифрової камери Allied Vision 1800 U-2050c та програмного забезпечення SEO ImageLAB v1.0.

Отримані результати.

Наскрізнi ураження виявлені у системі холодного водопостачання торгівельного центру м. Києва.

Аналіз умов поводження з емальованими трубами показав, що доставляння труб до спожива-

ча проводили автотранспортом, розвантажували автокраном, а деякий час труби знаходилися на будівельному майданчику в різних умовах. За даними сертифікату труби покриті емалевим покриттям 25Ц. Вставки труб з полімерного матеріалу в системі водопостачання відсутні, що вказує на заземлення системи. Після монтажу водопровід одразу заповнювався водою, яка відповідала вимогам ДСанПіН 2.2.4-171 [7], та знаходився під тиском від 0,4 до 0,5 МПа. Поява першого наскрізного ураження емальованих труб зафіксована через 5 років експлуатації на горизонтальних ділянках, а через 6 років виявлено приблизно 50 пошкоджень на трубах діаметром 89...159 мм.

Лабораторні дослідження проводили на зразку труби діаметром 108 мм з товщиною стінки 4 мм. За результатами спектрального аналізу встановлено, що труба виготовлена зі сталі Ст1кп згідно з ДСТУ 2651 [8], її хімічний склад є типовим для такої сталі (табл. 1).

Під час візуального огляду встановлено, що труба має поздовжній зварний шов, виконаний за технологією височастотного зварювання (рис. 1).

На внутрішній поверхні труби – силікатноемалеве покриття сірого кольору з блиском, вкрите тонким рівномірним шаром відкладень, які легко видаляються змиванням губкою та частково травленням у 20 %-му розчині оцтової кислоти. По всій поверхні є включення в покриття частинок фрити грубого помелу, які можуть сприяти затримуванню продуктів корозії та утворенню корозійних осередків у разі їх відколювання під час

Таблиця 1. Хімічний склад металу труб

Масова частка елементів, %									
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti
Досліджуваний зразок									
0,09	<0,03	0,37	0,028	0,007	0,017	0,030	0,02	0,018	<0,001
Вимоги ДСТУ 2651 (Ст1кп)									
0,06...0,12	<0,05	0,25...0,50	<0,050	<0,040	<0,30	<0,30	<0,30		

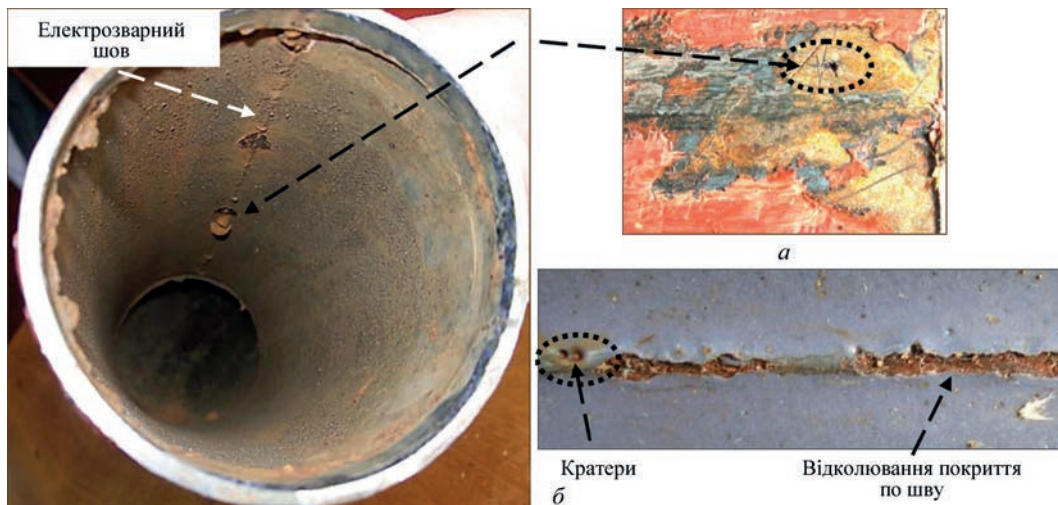


Рис. 1. Зовнішня (а) та внутрішня (б) поверхні труби

експлуатації. Вздовж електрозварного шва виявлено дефекти покриття у вигляді кратерів діаметром до 1 мм (рис. 1, б), що утворилися під час виготовлення покриття. Під покриттям на зварних швах виявлено низку дефектів зварювання: грат, ненаскрізні дефекти зварювання – несплавлення кромок у вигляді щілини довжиною до 15 мм та розкриттям кромок шириною приблизно 1 мм, несплавлення кромок довжиною до 4 мм. Висота грату – приблизно 0,2 мм, що є допустимою згідно з ГОСТ 10705 (висота грату для труб з товщиною стінки понад 3 мм повинна бути не більше 0,5 мм [9]). Грат на шві, місцями несплющений, сприяв утрудненню нанесення покриття і, як наслідок, слабкому зчепленню з металом в цій області. Ймовірно також потоншення покриття на верхівках грату. В місцях відколювання покриття від шва, в тому числі в області кратерів видно корозійні ураження внаслідок перебігу щілинної корозії.

На зовнішній поверхні в області електрозварного шва виявлені тріщиноподібні наскрізні корозійні ураження довжиною 3...4 мм, навколо яких розвивалася корозійна виразка.

На основі проведеного аналізу зовнішнього вигляду зразків, корозію ідентифіковано як внутрішню щілинну [10] в області електрозварного шва внаслідок дефекту з'єднання – несплавлення кромок, який, імовірно, утворився від нещільного прилягання покриття до верхівок грату та перебігу корозії в кратероподібних дефектах під покриттям.

Фізико-механічні властивості емалевого покриття визначали на зразку без візуально видимих пошкоджень покриття на ділянках без шва та зі швом (табл. 2).

Аналіз результатів дослідження (табл. 2), показав, що покриття, як на основному металі так і на зварному шві, не гладке: наявні включення фрити, що надають йому шорсткість, яка виявляється тактильно.

Середня товщина силікатноемалевого покриття на основному металі труби становила 0,223 мм, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.5-30 [3] (більше 0,2 мм). Проте, товщина емалі на електрозварному шві становила приблизно 0,140 мм.

Перехідний питомий електричний опір покриття, що є показником його захисних властивостей, на поверхні основного металу становив 907 Ом·м², що майже в 1,8 разів більше нормованого [6] (500 Ом·м²); на поверхні, яка містила електрозварний шов – 1,5 Ом·м², що майже в 333 рази менше нормованого. Низький перехідний питомий електричний опір на поверхні зі зварним швом свідчить про наявність наскрізних мікродефектів у покритті в області шва.

У результаті випробувань міцності під час удару експлуатованого впродовж 5 років покриття виявлено його відколювання в місці удару, внаслідок чого під час експлуатації можливий розвиток корозії виразками.

Електрохімічні дослідження. Для дослідження корозії в дефекті зварювання в роботі змодельовано умови щілинної корозії у зазорі діаметром 2 мм та глибиною 2 мм у 3 %-му розчині NaCl. Потенціал корозії сталі відносно хлоридсрібного електроду порівняння в об'ємі розчину через 30 хв становив -0,670 В, у щілині – -0,701 В, тобто в щілині потенціал змістився у бік від'ємніших потенціалів на 0,031 В, що є передумовою пришвидшення корозійного процесу. Швидкість корозії сталі в об'ємі розчину та в щілині визначали з поляризаційних кривих методом їх екстраполяції. Встановлено (рис. 2), що процес відбувається з дифузійним контролем. Швидкість корозії сталі в струмових одиницях в об'ємі розчину становить 0,192 А/м², у щілині – 0,379 А/м², тобто в щілині швидкість корозії у майже 2 рази вища.

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості силікатноемалевого покриття

Назва показника	Норма	Характеристика зразка	
		Без шва	Зі швом
Зовнішній вигляд згідно з ДСТУ Б В.2.5-30, пункт 7.3.8.3 [3]	Суцільна, рівномірна оплавлена, гладка, блискуча поверхня. Не допускається наявність тріщин, пор, пухирів й інших дефектів, що оголюють метал і видимі неозброєним оком	Суцільна, рівномірна оплавлена, шорстка на дотик, блискуча поверхня	Суцільна, рівномірна оплавлена, шорстка на дотик, блискуча поверхня. Відсутність покриття на ділянках електрозварного шва довжиною до 15 мм
Товщина, мм, згідно з ДСТУ Б В.2.5-30 [3]*	0,2	0,216	0,230
Перехідний питомий електричний опір згідно з ТУ 1390-001-01297858 [6], Ом·м ²	500	907,5**	1,5**
Міцність під час удару, Дж, згідно з ДСТУ Б В.2.5-30 [3]	2,0	Не витримує	Не витримує
Примітки. *Товщина одного шару покриття. **Під час вимірювань використовували порожнистий циліндр діаметром 0,034 м (площа 0,000907 м ²).			

Механізм щілинної корозії, яка відбувається всередині чи навколо вузького отвору, щілини або проміжку (ДСТУ 3830) [11], добре відомий. Спочатку в зазорі накопичуються агресивні іони (наприклад, хлорид-іони) і кисень витісняється з розчину всередині зазору внаслідок чого зазор працює як анод, а матеріал поза зазором – як катод. Корозія перебігає в зазорі через руйнування пасивної плівки на поверхні металу та прискорюється за недостатчі кисню та зміни рН середовища (з часом кислотність в зазорі зростає) через гідроліз в анодній зоні [12]:



Щілинна корозія найбільш інтенсивна в умовах водних середовищ, що не течуть. Саме на процеси корозії внаслідок недостатньої циркуляції води вказує шар відкладень, що містять продукти корозії, на внутрішній поверхні труби (рис. 1).

Аналіз поверхні зламу. Для отримання даних щодо походження дефектів проаналізували та оцінили характер поверхні зламу зразка труби, який виконали по зварному шву. На фотографії (рис. 3) видно дефект, вкритий шаром продуктів корозії бурого кольору, та частина шва металевого кольору. Руйнування зразка, відбулося по щілиноподібному дефекту – несплавленню кромek. Частина поверхні зламу, що прилягає до внутрішньої стінки труби вкрита шаром продуктів корозії бурого кольору. Це обумовлено потраплянням води в щілину, утворену в дефекті покриття (внаслідок наявності ґрату та кратероподібних дефектів покриття). Зважаючи на те, що товщина стінки труби 4 мм, а виток води з труби відбувся через 5 років експлуатації, можна вважати, що швидкість щілинної корозії становить приблизно 0,8 мм/рік. Стійкість досліджуваної сталеві труби в щілині згідно з ГОСТ 9.502 [13] «понижена» (від 0,5 до 1,0 мм/рік).

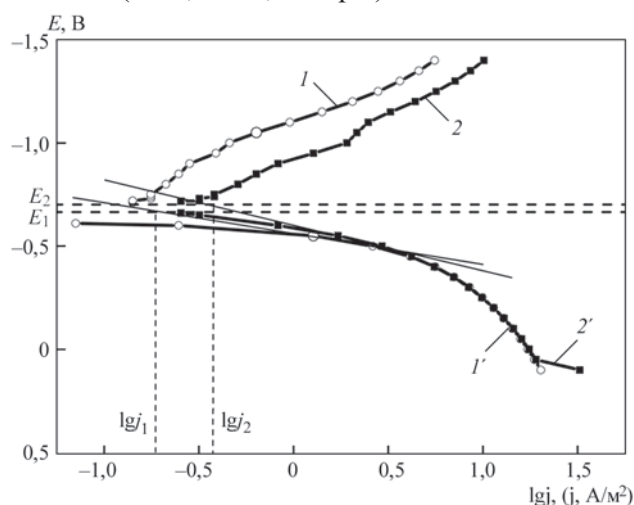


Рис. 2. Катодні (1, 2) та анодні (1', 2') поляризаційні криві на сталі Ст1кп у 3 %-му розчині NaCl за різних умов: 1 – об'єм розчину; 2 – змодельована щілина. E_1 та E_2 – потенціали корозії; j_1 та j_2 – щільність струму корозії

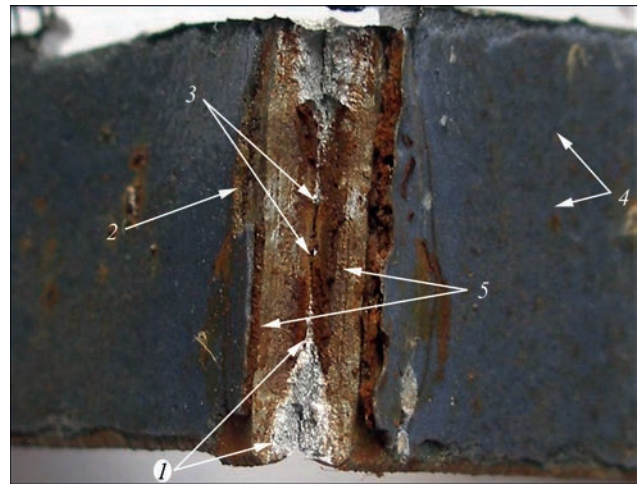


Рис. 3. Злам зварного з'єднання труби в області з наскрізним дефектом: 1 – проникнення корозії в області шва на глибину від 1 до 4 мм; 2 – відкол покриття; 3 – наскрізний дефект довжиною 3 мм; 4 – залишки продуктів корозії на нерівностях покриття; 5 – несплавлення кромek

Металографічні дослідження. Зовнішній вигляд перерізу частини труби на макрошліфі наведено на рис. 4, а, з якого видно, що з боку внутрішньої поверхні наявний дефект несплавлення кромek. Загалом, внутрішня поверхня зразка рівна, що вказує на відсутність внутрішньої корозії труби під покриттям. У перерізі середньої частини зразка виявлено ненаскрізний щілиноподібний дефект глибиною до приблизно 1,5 мм, що утворився під час її виготовлення (рис. 4, а).

Структура дослідженого зразка відповідає маловуглецевій сталі феритно-перлітного типу (рис. 4, б). Згідно з ГОСТ 5639 [14] розмір зер-

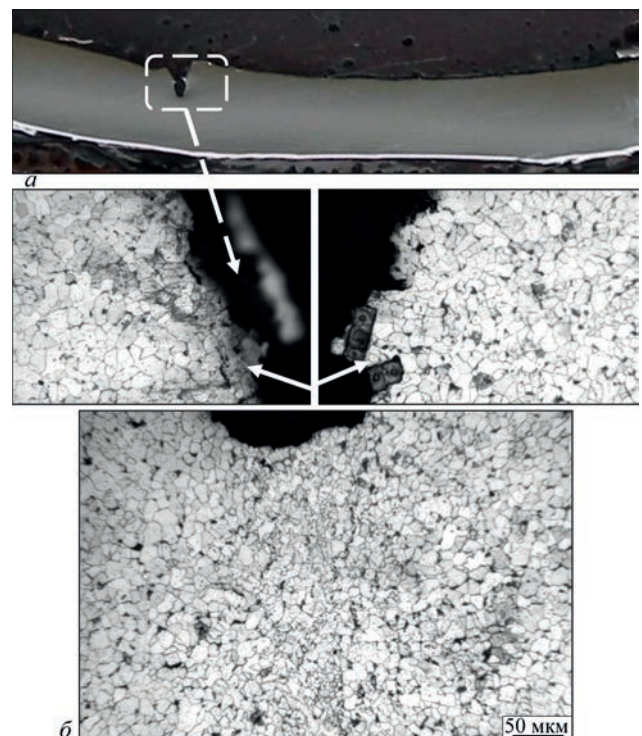


Рис. 4. Металографічний макрошліф (а) та мікроструктура областей електрозварного шва труби (б), $\times 200$

на основного металу відповідає 9 номеру (середній діаметр зерна 0,015 мм), в зоні шва – 10 (0,011 мм). Будова структури та розташування дефекту підтверджують, що щілиноподібний дефект утворився у зоні недостатнього стиснення кромок. Стінки дефекту (несплавлення кромок) уражені корозією (рис. 4, б), тобто внаслідок розвитку корозійного процесу в щілині при контакті з водою під час експлуатації водопроводу.

Таким чином встановлено, що витікання води на ділянці прокладення емальованих труб під час експлуатації відбулося внаслідок щілинної корозії, спричиненої несплавленням кромок при зварюванні труб на підприємстві-виробнику. Це призвело до виникнення аварійної ситуації в системі холодного водопостачання.

Висновки

1. Встановлено, що корозія емальованих електрозварних труб з вуглецевої сталі феритно-перлітної структури Ст1кп системи холодного водопостачання громадської будівлі – внутрішня. Корозійні ураження утворилися внаслідок несплавлення кромок листа при зварюванні та перебігу щілинної корозії під час контакту з водою.

2. Розвиток щілинної корозії супроводжується зниженням рН в щілині, яка є анодом, що локально прискорює корозійні процеси. За 5 років експлуатації, швидкість щілинної корозії становила 0,8 мм/рік та призвела до утворення наскрізних уражень, а корозійна стійкість сталі Ст1кп в щілині, згідно з ГОСТ 9.502 оцінена як «понижена» (від 0,5 до 1,0 мм/рік).

3. Перехідний питомий електричний опір покриття на основному металі становив $907 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$, на електрозварному шві – $1,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$, що в 333 рази менше нормованого згідно з ТУ 1390-001-01297858 ($500 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$). Відмінності обумовлені різною товщиною покриття на основному металі (0,223 мм) та електрозварному шві (0,140 мм), а також наявністю дефектів покриття в зоні шва.

4. Корозійна стійкість та довговічність дослідженої емальованої труби визначається якістю виконання електрозварного з'єднання. Внаслідок недоліків технології зварювання при виготовленні труби відбулося утворення дефектів у зварному шві у вигляді несплавлення кромок. Незадовільне зчеплення силікатно-емалеваного покриття в області заводського шва викликало його руйнування з утворенням щілин зсередини труби та розвитку корозії при контакті з середовищем.

5. При закупівлі електрозварних труб для систем водопостачання рекомендовано підвищити якість вхідного контролю труб (вибірковий контроль зварних швів руйнівними методами); запропонувати заводу-виробнику труб підготувати

додаткові вимоги, які попереджують утворення щілиноподібних дефектів в зварних швах електрозварних труб при їх виготовленні чи сприяють їх своєчасному виявленню неруйнівними методами.

Список літератури

1. Tyrala, D., Pawlowski, B. (2021) Failure analysis of premature corrosion of HF seam-welded steel pipe in central heating system. *Fail. Anal. and Preven.*, 21, 772–778. DOI: 10.1007/s11668-021-01134-6
2. Živković, D., Mišina, N., Ljumović, P. (2017) Corrosion damage of seam welded galvanized hot water pipelines. *Tehnički vjesnik*, 24, 4, 1007–1012. DOI:10.17559/TV-20170112142442
3. ДСТУ Б В.2.5-30:2006 *Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі. Трубопроводи сталеві підземні систем холодного і гарячого водопостачання. Загальні вимоги до захисту від корозії*.
4. Шайер Л.Л. (1981) *Коррозия. Справочник*. Москва, Металлургия.
5. ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT) *Зварювання та споріднені процеси. Класифікація геометричних дефектів у металевих матеріалах. Частина 1. Зварювання плавленням*.
6. ТУ 1390-001-01297858-96 *Трубы стальные с двухсторонним силикатно-эмалевым покрытием. Технические условия*.
7. ДСанПіН 2.2.4-171-10 *Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною*.
8. ДСТУ 2651:2005 *Сталь вуглецева звичайної якості. Марки (ГОСТ 380-2005)*.
9. ГОСТ 10705-80 *Трубы стальные электросварные. Технические условия*.
10. ГОСТ 9.908-85 *Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости*.
11. ДСТУ 3830-98 *Коррозія металів і сплавів. Терміни та визначення основних понять*.
12. Жук Н.П. (2006) *Курс теории коррозии и защиты металлов*. Москва, ООО «Альянс».
13. ГОСТ 9.502-82 (СТ СЭВ 6194-88) *Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов для водных систем. Методы коррозионных испытаний*.
14. ГОСТ 5639-82 *Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна*.

References

1. Tyrala, D., Pawlowski, B. (2021) Failure analysis of premature corrosion of HF seam-welded steel pipe in central heating system. *Fail. Anal. and Preven.*, 21, 772–778. DOI: 10.1007/s11668-021-01134-6
2. Živković, D., Mišina, N., Ljumović, P. (2017) Corrosion damage of seam welded galvanized hot water pipelines. *Tehnički vjesnik*, 24(4), 1007–1012. DOI:10.17559/TV-20170112142442
3. DSTU B V.2.5-30:2006 *Engineering equipment of buildings and structures. External networks. Underground steel pipelines of cold and hot water supply systems. General requirements for protection against corrosion* [in Ukrainian].
4. Shajer, L.L. (1981) Corrosion. In: Refer. book. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
5. DSTU EN ISO 6520-1:2015 (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT) *Welding and allied processes. Classification of geometric imperfections in metallic materials. Pt 1: Fusion welding* [in Ukrainian].
6. TU 1390-001-01297858-96 *Steel pipes with double-sided silicate enamel coating. Specifications* [in Russian].
7. DSanPiN 2.2.4-171-10 *Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption* [in Ukrainian].
8. DSTU 2651:2005 *Common quality carbon steel. Grades (GOST 380-2005)* [in Ukrainian].

9. GOST 10705-80 *Electrically welded steel tubes. Specifications* [in Russian].
10. GOST 9.908-85 *Unified system of corrosion and ageing protection. Metals and alloys. Methods for determination of corrosion and corrosion resistance indices* [in Russian].
11. DSTU 3830-98 *Corrosion of metals and alloys. Terms and definitions of basic concepts* [in Ukrainian].
12. Zhuk, N.P. (2006) *Course in the theory of corrosion and protection of metals*. Moscow, Alliance [in Russian].
13. GOST 9.502-82 (СТ СМЕА 6194-88) *Unified system of corrosion and ageing protection. Inhibitors of metals corrosion for aqueous systems. Methods of corrosion tests* [in Russian].
14. GOST 5639-82 *Steels and alloys. Methods for detection and determination of grain size* [in Russian].

INVESTIGATION OF CORROSION OF ENAMEL COLD WATER SUPPLY PIPES

S.O. Osadchuk, L.I. Nyrkova, L.V. Goncharenko

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

E-mail: svetlanaosadchuk@meta.ua

The pipe of carbon steel with inner silicate-enamel coating was investigated, which was damaged during operation in the system of cold water supply during 5 years. According to the results of the visual inspection, it was revealed that the electric welded pipe and corrosion damages in the form of crevices were formed after damage to the protective coating on the electric weld. It is shown that the transitional specific electric resistance on the surface with an electric weld is low ($1.5 \text{ Ohm} \cdot \text{m}^2$) compared to this indicator on the base metal ($907 \text{ Ohm} \cdot \text{m}^2$), which indicates the practical absence of its protective ability. Metallographic examinations showed that the cause of fracturing the pipe specimen is defects of non-fusion of the sheet edges during manufacture. The identified type of corrosion is a crevice that propagated on the inner surface of the pipe at the points of non-fusion of weld edges. Over the 5 years of operation, the rate of crevice corrosion was 0.8 mm/year and was accompanied by the formation of through lesions, and the corrosion durability in the crevice was estimated in accordance with GOST 9.502, as "reduced" (from 0.5 to 1.0 mm/year). It was concluded that the corrosion durability and fatigue life of the studied enamel pipe is determined by the quality of producing electric welded joint. 14 Ref., 2 Tabl., 4 Fig.

Keywords: enamel pipes, carbon steel, silicate-enamel coatings, electric weld, corrosion durability, corrosion rate

Надійшла до редакції 29.03.2023

ПЕРЕДПЛАТА 2023



Журнал «**Автоматичне зварювання**» є міжнародним науково-технічним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень за напрямками: матеріалознавство та металургія зварювання, наплавлення та інших споріднених технологій; технології та матеріали для зварювання конструкційних матеріалів; виробництво зварних металоконструкцій для різних галузей промисловості; відновлювальний ремонт для подовження ресурсу зварних конструкцій і вузлів; проблеми міцності, конструювання та оптимізації зварних конструкцій; технології 3D друку, які базуються на зварювальних процесах; гібридні технології зварювання. В журналі публікується також інформація про нові зварювальні матеріали, джерела живлення та технології; звіти про виставки, конференції та семінари, анонси нових книг та винаходів, новини від відомих компаній та інше.



Журнал «**Сучасна електрометалургія**» є міжнародним науково-теоретичним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень у сферах: металургія чорних і кольорових металів та сплавів; спеціальна електрометалургія (електрошлакова, електронно-променева, плазмово- та вакуумно-дугова технології); нові матеріали; енерго-і ресурсозбереження; матеріалознавство, 3D технології у спеціальній електрометалургії. Публікується також допоміжна інформація з тематики журналу.



Журнал «**Технічна діагностика та неруйнівний контроль**» є міжнародним науково-технічним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень з діагностики матеріалів і конструкцій та методи неруйнівного контролю для оцінки стану матеріалів і конструкцій; теорія, методи і засоби технічної діагностики. Розміщуються матеріали з моніторингу конструкцій та подовження ресурсу та працездатності засобами НК. Публікується супутня інформація з тематики журналу, а також інформація про події та новини в Українському товаристві НК та ТД.

РЕКЛАМА В ЖУРНАЛАХ

Реклама публікується на обкладинках і внутрішніх вклейках журналів.

Перша сторінка обкладинки – $200 \times 200 \text{ мм}$.

Друга, третя і четверта сторінки обкладинки – $200 \times 290 \text{ мм}$.

Перша, друга, третя, четверта сторінки внутрішньої обкладинки – $200 \times 290 \text{ мм}$.

Вклейка А4 – $200 \times 290 \text{ мм}$. Розворот А3 – $400 \times 290 \text{ мм}$.

А5 – $185 \times 130 \text{ мм}$.

Розміри журналів після обрізу $200 \times 290 \text{ мм}$.

Всі файли в форматі IBM PC, кольорова модель СМУК, роздільна здатність 300 dpi.

ВАРТІСТЬ РЕКЛАМИ

Ціна договірна. Передбачена система знижок. Вартість публікації статті на правах реклами становить половину вартості рекламної площі. Публікується тільки профільна реклама з тематики журналів. Відносно вартості, знижок та термінів публікації прохання звертатися у видавництво.

ВИДАВНИЦТВО

Міжнародна Асоціація «Зварювання»
03150, Київ, вул. Казимира Малевича, 11
Тел./факс: 38044 205-23-90
E-mail: journal@paton.kiev.ua
<https://patonpublishinghouse.com>