

УДК 621.791.052:620.693

ОЦІНКА КІНЕТИКИ ЛОКАЛІЗОВАНИХ КОРОЗІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБ ЕЛЕМЕНТІВ ПАРОВОДЯНОГО ТРАКТУ

І. М. Дмитрах, Б. І. Колодій, О. Л. Білий, Р. Л. Лещак
*Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України;
79601, Львів, вул. Наукова, 5*

Різноманітні локальні корозійно-механічні та корозійні пошкодження труб елементів пароводяного тракту суттєво впливають на термін їх безпечної експлуатації. У даній роботі для дослідження було взято комбіновані зварні з'єднання труб зі сталей 12ХІМФ (малолегована сталь перлітного класу) та Х18Н10Т (неіржавіюча сталь аустенітного класу). Запропоновано методика розрахунку та прогностичні оцінки максимальної глибини корозійної пошкоджуваності компонентів зварного з'єднання, а також довжини зони корозійної активності зварного з'єднання різнорідних труб залежно від планованого терміну експлуатації в середовищах різного складу, що стануть базовими для побудови критерію руйнування стінки труби.

Ключові слова: *пароводяний тракт, малолегована сталь перлітного класу, неіржавіюча сталь аустенітного класу, комбіноване зварне з'єднання труб, локальні корозійні пошкодження, густина корозійного струму, чисельно-аналітична модель, глибина корозійної пошкоджуваності.*

Вступ

Різноманітні локальні корозійно-механічні та корозійні пошкодження труб елементів пароводяного тракту суттєво впливають на термін їх безпечної експлуатації. Особливо гострою є проблема корозійної пошкоджуваності зварних з'єднань [1].

Оскільки, зварне з'єднання є об'єктом, що складається з основного матеріалу, матеріалу зварного шва та деякої перехідної зони термічного впливу, то з корозійної (електрохімічної) точки зору його можна розглядати як складну багатоелектродну систему. В такій системі [2], з тим чи іншим ступенем імовірності, може протікати цілий спектр, часто конкуруючих між собою, фізико-хімічних процесів, що призводять до деградації механічних властивостей зварного з'єднання як шляхом інтенсивного анодного розчинення матеріалу (виникнення пітингів, корозійних виразок і т.п.), так і шляхом водневого окрихлення зварної зони (прискорення процесів утворення мікротріщин та зародження та розвиток макротріщин). Для таких об'єктів необхідно розвивати методи прогнозування розвитку локалізованих корозійних пошкоджень.

Результати досліджень та їх обговорення



Рис. 1. Об'єкт досліджень

У даній роботі для дослідження було взято комбіновані зварні з'єднання труб зі сталей 12X1MФ (малолегована сталь перлітного класу) та X18H10T (неіржавіюча сталь аустенітного класу) типорозміром $\varnothing 38 \times 4$ (комбіноване зварне з'єднання труб в стані поставки, що експлуатується на Бурштинській ТЕС за температури 545°C та тиску 140 атм.) та $\varnothing 42 \times 4$ (комбіноване зварне з'єднання труб, яке відпрацювало свій ресурс і було замінено через значні локальні корозійні пошкодження, що експлуатувалося на Вуглегірській ТЕС протягом 185 тис. год. за температури 540°C та тиску 38 атм.). Досліджуваний об'єкт зображений на рис. 1.

Використовуючи одержані експериментальним шляхом [3] стандартні електрохімічні параметри (потенціали корозії φ , анодні та катодні питомі поляризаційні опори b , питома електропровідність середовища σ), геометричні розміри досліджуваного об'єкту (півширина зварної зони l і внутрішній радіус r_0) і застосовуючи метод вирівнювання поляризації [3, 4], були одержані розрахункові співвідношення для визначення густини корозійного струму на внутрішній поверхні трубчатих зварних з'єднань сталей 12X1MФ–X18H10T у кожному з компонентів досліджуваного зварного з'єднання (1 - 12X1MФ; 2 - зварна зона; 3 - X18H10T [4]:

$$j_1(l, Z) = \frac{\sigma}{r_0} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{[(\varphi_2 - \varphi_1 - \tilde{\varphi}_1) \exp(\lambda_m l) + (\varphi_3 + \tilde{\varphi}_3 - \varphi_2) \exp(-\lambda_m l)] \exp(\lambda_m Z)}{K_2^2 \lambda_m^2 + 1}; \quad (1)$$

$$j_2(l, Z) = \frac{\sigma}{r_0} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{[(\varphi_3 + \tilde{\varphi}_3 - \varphi_2) \exp(\lambda_m Z) + (\varphi_1 + \tilde{\varphi}_1 - \varphi_2) \exp(-\lambda_m Z)] \exp(-\lambda_m l)}{K_2^2 \lambda_m^2 + 1}; \quad (2)$$

$$j_3(l, Z) = \frac{\sigma}{r_0} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{[(\varphi_2 - \varphi_3 - \tilde{\varphi}_3) \exp(\lambda_m l) + (\varphi_1 + \tilde{\varphi}_1 - \varphi_2) \exp(-\lambda_m l)] \exp(-\lambda_m Z)}{K_2^2 \lambda_m^2 + 1}; \quad (3)$$

де $K_2, \lambda, \tilde{\varphi}_1, \tilde{\varphi}_3$ - змінні, що впливають з методу вирівнювання поляризації [4].

Одержаний розподіл за співвідношеннями (1)-(3) застосуємо для прогнозування кінетики корозійних пошкоджень. Для такого прогнозування використаємо поняття: фронт, глибина і швидкість корозії [5]. Фронт корозії – поверхня, яка обмежує зі сторони середовища об'єм металу без корозійного пошкодження. В нашому випадку цим фронтом є кінцева поверхня із змінною по осі Z твірною, бо густина корозійного струму на внутрішній поверхні труби залежить від Z і не залежить від

кутової координати. Глибина корозії (h) – нормальна координата точки фронту корозії, відраховувана від вихідної поверхні сплаву. В нас h є функція Z і часу t . Швидкість корозії – величина, яка визначається рівністю

$$v(Z, t) \approx h(Z, t)/t. \quad (4)$$

При аналітичному визначенні $v(Z, t)$ для сплавів приймемо два постулати. 1) Відносний вміст іонів окремих компонентів сплаву на його поверхні такий же, як і в його об'ємі. 2) Вклад окремих компонентів сплаву в сумарний струм електрохімічної корозії пропорційний відносному вмісту іонів цих компонентів на поверхні.

Використавши ці постулати та провівши ряд математичних перетворень прийдемо до співвідношення

$$m^{(p)}(Z, t) = \frac{1}{F} \cdot \frac{j(Z) \cdot S \cdot t}{\sum_{p=1}^P \frac{d_p \cdot Z_p}{A_p}}, \quad (5)$$

де d_p – відносний вміст по масі, A_p – маса атома в атомних одиницях, Z_p – валентність металу F – постійна Фарадея; p – порядковий номер у сплаві із P металів.

Якщо врахувати, що $m = D \cdot S \cdot h$ (D – густина сплаву), то із (4) і (5) одержимо швидкість корозії в m/c :

$$v(Z) = \frac{1}{F \cdot D} \cdot \frac{j(Z)}{\sum_{p=1}^P \frac{d_p \cdot Z_p}{A_p}}. \quad (6)$$

На практиці швидкість корозії визначають в $mm/рік$. Для одержання швидкості в таких одиницях треба m/c перевести в $mm/рік$. Тоді, врахувавши і величину F , одержимо із рівності (6) швидкість корозії в $mm/рік$:

$$v(Z) = \frac{326,8}{D} \cdot \frac{j(Z)}{\sum_{p=1}^P \frac{d_p \cdot Z_p}{A_p}}. \quad (7)$$

Описавши зміну в часі електрохімічних параметрів b, φ для кожного з компонентів з'єднання в першому наближенні за лінійним законом в та використавши співвідношення (1)-(3), (7), було одержано базу даних для визначення в часі глибини пошкодження елементів досліджуваного з'єднання. Використовуючи дану базу, були одержані залежності, за якими можна прослідкувати як змінювалися пошкодження елементів з'єднання різнорідних труб у часі. Схематично це зображено на рис.2.

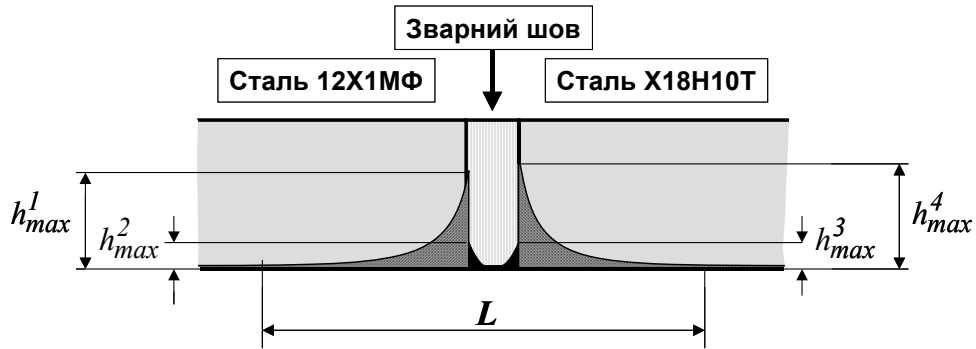


Рис.2. Схематичне представлення пошкоджень на стінках різнорідних труб, зварених кільцевим швом: $h_{\max}^i, i = 1-4$ - максимальна глибина пошкоджень на стиках: 1 – труба зі сталі 12Х1МФ – зварна зона; 2 – зварна зона - труба зі сталі 12Х1МФ; 3 – труба зі сталі Х18Н10Т – зварна зона; 4 – зварна зона - труба зі сталі Х18Н10Т; L - довжина зони корозійної активності зварного з'єднання різнорідних труб

Слід відзначити, що при визначенні L брали до уваги, що величина корозійних пошкоджень не повинна перевищувати $1 \mu\text{m}$. Наведені нижче розрахункові дані подані для довжини зварної зони, що рівна 10 мм (що найкраще відповідає експериментальним дослідженням). Приклад такого розрахунку для різних середовищ з терміном експлуатації в 200 тис.год зображений на рис.3.

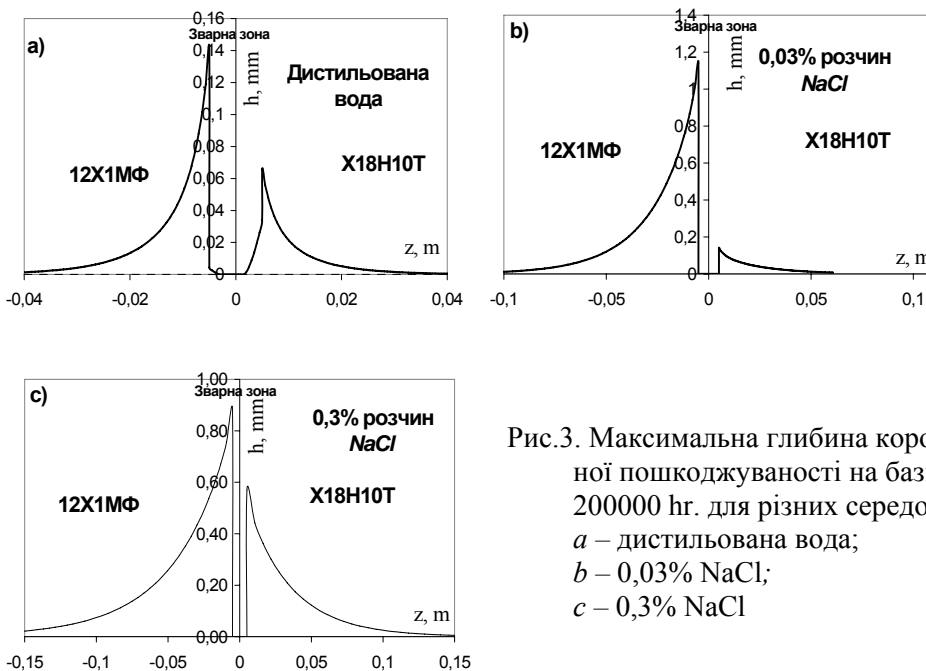


Рис.3. Максимальна глибина корозійної пошкодуваності на базі 200000 год. для різних середовищ: а – дистильована вода; б – 0,03% NaCl; в – 0,3% NaCl

Як основний результат розрахунків, наведено залежності максимальної глибини пошкоджень на стиках в часі у зварному з'єднанні різнорідних труб та залежність довжини зони корозійної активності зварного з'єднання різнорідних труб, що подані у табл.1 і 2 та на рис.4 і 5.

Таблиця 1. Значення максимальної глибини корозійної пошкоджуваності компонентів зварного з'єднання різнорідних труб в середовищах різного складу в залежності від планованого терміну експлуатації

Елемент з'єднання	T, hours	h_{max}, mm		
		Дистильована вода	0,03 % NaCl	0,3 % NaCl
Сталь 12X1МФ	100 000	0,12389	0,712	0,47553
	200 000	0,14122	1,14026	0,88226
	300 000	0,14122	1,28505	*
Сталь 12X1МФ – зварна зона	100 000	0	0	0
	200 000	0,00426	0	0
	300 000	0,101	0	0
Зварна зона – X18Н10Т	100 000	0,0341	0	0
	200 000	0,0341	0	0
	300 000	0,0341	0	0
X18Н10Т	100 000	0	0,00289	0,00399
	200 000	0,0657	0,14065	0,56951
	300 000	0,31855	0,60358	*

* – значення h_{max} більше від товщини стінки труби

Таблиця 2. Значення максимальної глибини корозійної пошкоджуваності компонентів зварного з'єднання

T, hr	L, mm		
	Дистильована вода	0,03 % NaCl	0,3 % NaCl
50000	58,15	175,02	363,52
100000	60,16	196,72	496,69
150000	98,04	307,24	623,84
200000	112,31	334,87	639,35
250000	117,89	350,65	639,35
300000	121,61	364,47	639,35
350000	124,09	380,26	639,35
400000	125,95	388,15	639,35

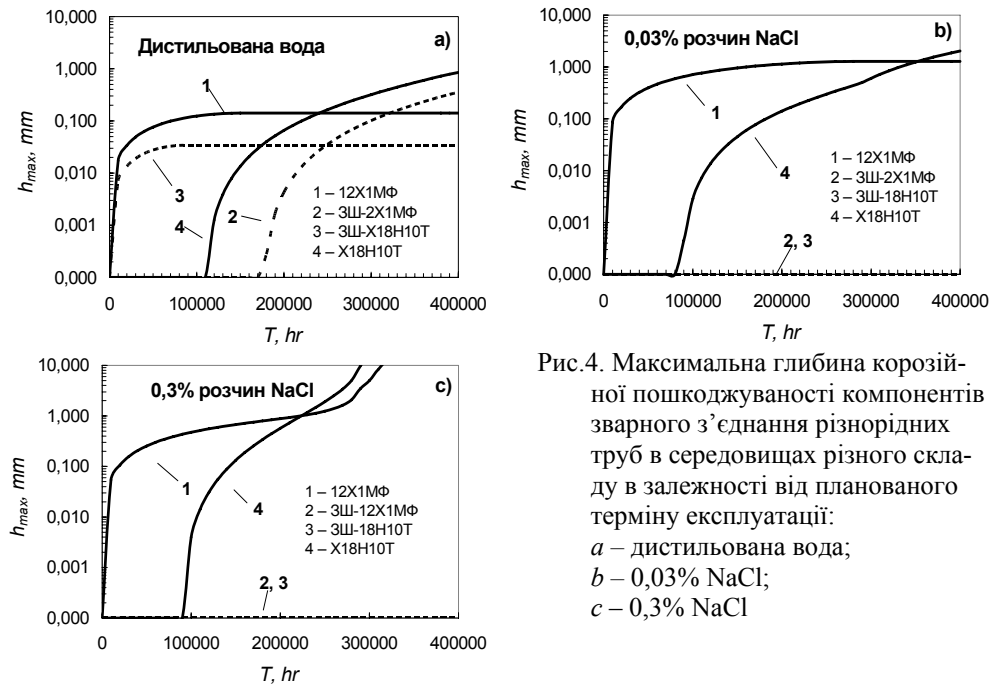


Рис.4. Максимальна глибина корозійної пошкоджуваності компонентів зварного з'єднання різнорідних труб в середовищах різного складу в залежності від планованого терміну експлуатації:
 а – дистильована вода;
 б – 0,03% NaCl;
 с – 0,3% NaCl

На рис.4 показано, коли і які компоненти зварного з'єднання руйнуються. Можна визначити такі моменти, коли частина труби, що виготовлена зі сталі 12X1MФ, переходить з анодної області в катодну. Також видно, що при довготривалій експлуатації частина труби, що виготовлена за сталі X18Н10Т, пошкоджується значно швидше. Це фактично неможливо спрогнозувати на основі короткотривалих експериментальних досліджень. Причому, це притаманно всім середовищам, які були використанні в розрахунках. Слід також зауважити, що для матеріалу зварної зони небезпечним є середовище без вмісту агресивних домішок, хоча при довготривалій експлуатації пошкодження є дещо меншими від 1 mm.

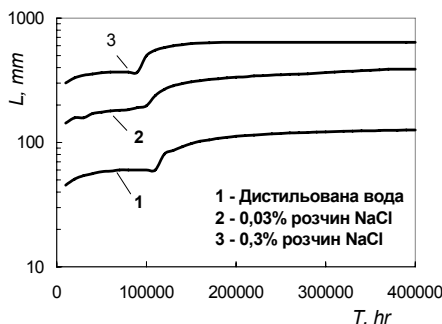


Рис.5. Довжина зони корозійної активності зварного з'єднання різнорідних труб у середовищах різного складу в залежності від планованого терміну експлуатації

Встановлено, що для всіх середовищ існує певний момент часу, коли відбувається стрибок у зростанні довжини зони корозійної активності зварного з'єднання труб. Якщо в більш агресивних середовищах початкове значення довжини цієї зони є відповідно більше, то цікаво зазначити, що згаданий стрибок відбувається майже в один і той самий момент часу, який рівний приблизно 100 тис. год.

Висновки

Запропоновано методику розрахунку та прогнозні оцінки максимальної глибина корозійної пошкоджуваності компонентів зварного з'єднання, а також довжини зони корозійної активності зварного з'єднання різнорідних труб залежно від планованого терміну експлуатації в середовищах різного складу. Наведені залежності дають можливість проаналізувати, коли і в яких елементах відбудеться руйнування стінок труби, а також визначити довжину зони корозійної активності в залежності від глибини дефекту. Дослідження показали, що труба зі сталі X18H10T руйнується за досягнення терміну експлуатації в 280 тис.год., а труба зі сталі 12X1MФ – 300 тис. год.

Глибина корозійної пошкоджуваності компонентів зварного з'єднання різнорідних труб у середовищах різного складу в залежності від планованого терміну експлуатації і довжина зони корозійної активності зварного з'єднання стануть базовими для побудови критерію руйнування стінки труби.

Література

1. Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. Посібник / Під заг. ред. В.В.Панасюка. Том 7: Надійність та довговічність елементів конструкцій теплоенергетичного устаткування / І.М.Дмитрах, А.Б.Вайнман, М.Г.Стащук, Л.Тот. Під ред. І.М. Дмитраха. – Київ: Академперіодика, 2005. – 378 с.
2. Дмитрах І.М. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень / І.М.Дмитрах, В.В.Панасюк. – Львів: Національна академія наук України. Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка. – 1999 р. – 341 с.
3. Иоссель Ю.Я. Математические методы расчета электрохимической коррозии и защиты металлов. Справ / Ю.Я.Иоссель, Г.Э.Кленов. – М.: Металлургия, 1984. – 272 с.
4. Новаковский В.М. К стандартной научной системе коррозионно-электрохимических понятий и терминов. I. Общие понятия / В.М.Новаковский // Защита металлов. – 1980. - № 3. – С. 250-264.
5. Білий О.Л. Чисельна оцінка густини корозійного струму на внутрішній поверхні трубчатих зварних з'єднань сталей 12X1MФ–X18H10T / О.Л.Білий, Р.Л.Лещак // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – Спец. вип. №5.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 10.11.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Петриною Ю.Д.*

KINETICS ASSESSMENT OF LOCALISED CORROSION DAMAGES IN PIPE WELDS OF WATER-STEAM CIRCUIT ELEMENTS**I. M. Dmytrakh, B. I. Kolodiy, O. L. Bilyy, R. L. Leshchak***Karpenko Physico-Mechanical Institute, National Academy of Sciences of Ukraine; 79601, Lviv, Naukova st., 5*

Localised damaging of power unit components under long-term exploitation essentially impact on their reliability and safety. Nowadays, there are number problems among which the localised corrosion of water-steam circuit elements is the actual. Present work is devoted to problem of local corrosion of the welded joints of dissimilar pipes (low-alloyed pearlite steel 12X1MΦ and austenitic stainless steel X18H10T). Based on analytical determination of corrosion current density distribution on the external pipe's surface, the model and numerical procedure for kinetics assessment of localised corrosion damages was developed. As results the depth of corrosion damaging as function of time has been received for the welded zone area with take into account the environmental composition variables and materials degradation during term of exploitation. The length of corrosion activity zone at the weld has been also assessed. Evaluated model and received data can be served as basis for prediction of the given welded joint behaviour during long-term exploitation with the aim to prevent the catastrophic situations.

Key words: *power unit, water-steam circuit, low-alloyed pearlite steel, stainless austenitic steel, welded joints of dissimilar pipes, localised-corrosion damaging, corrosion current density,, numeric-analytical model, depth of corrosion damaging.*