

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ КОРОЗІЙНОГО РЕСУРСУ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

© 2010 р. Т. І. Матченко<sup>1</sup>, Л. Б. Шаміс<sup>1</sup>, П. Т. Матченко<sup>2</sup>, Л. Ф. Первушова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ВАТ «Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», Київ

<sup>2</sup>ЗАТ «Науково-технічний центр «Ресурс», Київ

Розроблено методику оцінки довговічності або залишкового ресурсу зварних з'єднань будівельних металевих конструкцій, яка враховує вплив основних факторів на швидкість корозії.

*Ключові слова:* ресурс, корозія, сталь, з'єднання.

### Вступ

У державі мільйони тонн металу щорічно втрачаються внаслідок корозії [1]. Визначення залишкового ресурсу будівельних металевих конструкцій є важливою господарською задачею для об'єктів першої категорії відповідальності.

Відомо, що у зварних з'єднаннях швидкість корозії більша за швидкість корозії основного металу й у багатьох випадках зменшення міцності зварних з'єднань визначає ресурс усієї конструкції.

Складні процеси, що виникають у зонах зварного з'єднання, і їхній вплив на процеси корозії досліджено в роботах [2 - 4]. Розрахунки довговічності металевих конструкцій та їхніх зварних з'єднань повинні ґрунтуватися на випробуванні зразків і моделюванні кінетики корозійного процесу.

Для інженерних оцінок довговічності конструкцій, що проектуються, і для оцінки залишкового ресурсу конструкцій, що знаходяться в експлуатації, необхідні прості у використанні інженерні методики попередньої оцінки ресурсу зварних з'єднань за статистичними швидкостями корозії конструкційних сталей і за значеннями коефіцієнтів впливу факторів середовища, структури, режиму навантаження на швидкість корозії зварних з'єднань.

### Основний зміст

У зварному з'єднанні конструкційної сталі можна виділити такі характерні ділянки: зварний шов, який відрізняється тонкою будовою і дрібнозернистою двофазною структурою (зерно  $\approx 8$  мкм), що складається з аустеніту з деякою кількістю фериту, що залягає по границях стовбчастих кристалів; зону перегріву, яка складається з крупних зерен аустеніту (зерно  $\approx 50 - 60$  мкм), ширина цієї зони невелика ( $\approx 600$  мкм); зону термічного впливу, що прогрівається до температури вище  $500$  °С – зону високотемпературної пластичної деформації; основний метал – зону, що підлягає короткотривалому нагріву до температур  $< 400$  °С і в якій не відбуваються структурні зміни. У межах зони термічного впливу не спостерігається різних границь між окремими ділянками з'єднання. Твердість у зоні структурних трансформацій майже в два рази більша, ніж в основного металу, у зв'язку зі структурними трансформаціями та зміцненням, що обумовлено залишковою пластичною деформацією; двофазний метал шва має меншу твердість, ніж основний метал. Значна пластична деформація в зоні термічного впливу підтверджується характером розподілу щільності дислокацій. Максимальна залишкова пластична деформація (2 - 4 %) і пов'язана з нею щільність дислокацій та напруженість II роду спостерігається в зоні термічного впливу, що нагрівається у процесі зварки до температури  $500 - 900$  °С. Нерівномірність розподілу макропластичної деформації в об'ємі тіла призводить до напруженості I роду. У зв'язку зі специфічними теплофізичними властивостями, відсутністю в конструкційній сталі фізичної границі текучості, високим зміцненням при деформації залишкові зварні напруження розтягу можуть перевищувати умовну межу текучості, досягаючи при жорсткому утиску  $60 - 70$  кгс/мм<sup>2</sup>. Напруження розтягу за межами зони, що прогрівається нижче  $300$  °С, переходять у напруження стиску.

Для інженерних розрахунків ресурсу зварних з'єднань доцільно застосовувати просту методику.

### Методика попередньої оцінки швидкості корозії та ресурсу зварного з'єднання

Для ненавантаженого зварного з'єднання швидкість корозії визначається залежністю

$$v_p = v_0 \cdot \prod_{i=1}^n K_i, \quad (1)$$

де  $v_p$  – швидкість корозії металу шва або зони термічного впливу зварного з'єднання, мм/рік;

$v_0$  – швидкість корозії основного металу в нормальних умовах експлуатації, мм/рік (табл. 1);

$\prod_{i=1}^n$  – знак добутку коефіцієнтів  $K$  із номером від 1 до  $n$ .

Таблиця 1

Сталь за ГОСТ 27772-88	Марка сталі	ГОСТ або ТУ	$v_0$ , мм/рік
C235	ВСт3кп2 ВСт3кп2-1 18кп	ГОСТ 380-71** ТУ 14-1-3023-80 ГОСТ 23570-79	0,04
C245	ВСт3пс6 (листовий прокат товщиною до 20 мм, фасонний – до 30 мм) ВСт3пс6-1 18пс	ГОСТ 380-71**  ТУ 14-1-3023-80 ГОСТ 23570-79	0,03
C255	ВСт3сп5, ВСт3Гпс5, ВСт3пс6 (листовий прокат товщиною з 20 до 40 мм, фасонний – більше 30 мм) ВСт3пс5-1, ВСт3Гпс5-1, 18сп, 18Гпс, 18Гсп	ГОСТ 380-71**  ТУ 14-1-3023-80 ГОСТ 23570-79	0,025
C275	ВСт3пс6-2	ТУ 14-1-3023-80	0,025
C285	ВСт3пс5-2, ВСт3Гпс5-2	ТУ 14-1-3023-80	0,025
C345, C345T	09Г2	ГОСТ 19281-73* ГОСТ 19282-73*	0,02
	09Г2С, 14Г2 (листовий, фасонний прокат товщиною до 20 мм) 15ХСНД (листовий прокат товщиною до 10 мм, фасонний – до 20 мм)	ГОСТ 19282-73*	
	12Г2С група 1	ТУ 14-1-4323-88	
	09Г2 група 1, 09Г2 група 2, 09Г2С група 1, 14Г2 група 1 (фасонний – до 20 мм)	ТУ 14-1-3023-80	
	390	ТУ 14-15-146-85	
	ВСтГпс	ГОСТ 14637-79*	
C345К	10ХНДП	ГОСТ 19281-73* ГОСТ 19282-73* ТУ 14-1-1217-75	0,005
C375, C375T	09Г2С група 2	ТУ 14-1-3023-80	0,015
	12Г2С група 2	ТУ 14-1-4323-88	

	14Г2 група 1 (фасонний прокат товщиною більше 20 мм), 14Г2 група 2 (фасонний прокат товщиною до 20 мм)	ТУ 14-1-3023-80	
	14Г2 (листовий, фасонний прокат товщиною більше 20 мм), 10Г2С1, 15ХСНД (фасонний прокат товщиною більше 20 мм, листовий – більше 10 мм), 10ХСНД (фасонний прокат без обмеження товщини, листовий – товщиною до 10 мм)	ГОСТ 19281-73* ГОСТ 19282-73*	
С390, С390Т	14Г2АФ, 10Г2С1 термічно зміцнена, 10ХСНД (листовий прокат товщиною більше 10 мм)	ГОСТ 19282-73*	0,015
С390К	15Г2АФДпс	ГОСТ 19282-73*	0,005
С440	16Г2АФ, 18Г2АФпс, 15Г2СФ термічно зміцнена	ГОСТ 19282-73*	0,015
С590	12Г2СМФ	ТУ 14-1-1308-75	0,01
С590К	12ГН2МФАЮ	ТУ 14-1-1772-76	0,005

\* У документ було внесено зміни; \*\* – зміни внесено двічі.

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує зміну структури шва (зони термічного впливу) в порівнянні з основним металом залежно від висоти катета ( $h$ ) шва (табл. 2).

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує режим умов роботи навантаження (табл. 2).

$K_3$  – коефіцієнт, що визначається залежно від показника агресивності середовища (табл. 2).

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує інтегральну дозу радіаційного опромінення (табл. 2).

$K_5$  – коефіцієнт, що враховує вологість (табл. 2).

Таблиця 2

$K_1$	Висота катета зварного шва, мм			
	$h < 5$	5...8	8...12	$h > 12$
	1,2	1,35	1,5	2,0
$K_2$	Режим умов роботи навантаження			
	відсутній	легкий	середній	важкий
	1,0	1,25	1,5	2,0
$K_3$	Рівень агресивності середовища			
	відсутній	слабкий	середній	сильний
	1,0	1,25	1,5	2,0
$K_4$	Радіаційне опромінення, нейтрон/см <sup>2</sup>			
	$\varphi < 10^{13}$	$10^{15}$	$10^{17}$	$> 10^{19}$
	1,0	1,1	1,2	1,3
$K_5$	Вологість			
	сухий	природний стан	водонасичена	епізодична вологість
	0,5	1,0	1,5	2,0

$K_6$  – коефіцієнт концентрації напружень визначається за формулою

$$K_6 = \frac{[(R/\rho) + 1](R/\rho)^{\frac{1}{2}}}{[(R/\rho) + 1] \arctg(R/\rho)^{\frac{1}{2}} + (R/\rho)^{\frac{1}{2}}}$$

де  $R$  – радіус кривизни у вершині корозійної язви;  $\rho$  – товщина фасонки.

$K_7$  – коефіцієнт впливу температури зовнішнього середовища на швидкість корозії, обчислюється за формулою

$$K_7 = 0.5 + \frac{0.5}{900}(T - 50)^2,$$

де  $T$  – температура в °С.

$K_8$  – коефіцієнт впливу бруду та продуктів корозії на швидкість корозії  $K_8 = 1 \dots 2$ . Швидкість електрохімічної корозії залежить від різниці електродних потенціалів сталей, їхніх елементів і зерен металу. При виконанні розрахунків по визначенню швидкості корозії з'єднання можна враховувати коефіцієнт прискорення корозії для корозійного враження на межі двох структур зварного з'єднання  $K_9$ , у відповідності з табл. 3 і ГОСТ 9.908-85.

Таблиця 3

Характеристика корозійного враження	Значення $K_9$ при різниці електродного потенціалу						
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Обидві структури	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Одна структура з язвою	1,0	1,15	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5
Одна структура міжкристалічна	1,0	1,2	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0

$K_{10}$  – коефіцієнт впливу на швидкість корозії залишкових напружень ( $\sigma_{zn}$ ) в порівнянні з напруженнями номінальними ( $\sigma_n$ ) визначається залежністю

$$K_{10} = 1 + \left| \frac{\sigma_{zn} - \sigma_n}{\sigma_n} \right| \cdot 0,15.$$

$K_{11}$  – коефіцієнт впливу на швидкість корозії номінальних напружень ( $\sigma_n$ )

$$K_{11} = 1 + 0,15 \frac{\sigma_n}{R_c},$$

де  $R_c$  – міцність сталі.

$K_{12}$  – коефіцієнт впливу на швидкість корозії зони термічного впливу зварного з'єднання відношення твердості за Віккерсом ( $HV_{zmv}$ ) зони термічного впливу до твердості основного металу ( $HV_m$ ), визначається за формулою

$$K_{12} = \left| \frac{HV_{zmv} - HV_m}{HV_m} \right| \cdot 0,8 + 1,$$

де  $|HV_{zmv} - HV_m|$  – модуль різниці твердості.

$K_{13}$  – коефіцієнт впливу дії повітряної пари (табл. 4).

Таблиця 4

Температура пари, °С	Значення $K_{13}$ при швидкості струму, м/с					
	0,00	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0
100	10,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0
200	20,0	40,0	80,0	120,0	160,0	200,0
300	30,0	60,0	120,0	180,0	240,0	300,0
400	40,0	80,0	160,0	240,0	320,0	400,0
500	50,0	100,0	200,0	300,0	400,0	500,0

$K_{14}$  – коефіцієнт впливу вологості В% середовища на швидкість корозії сталі, визначається за формулою

$$K_{14} = 1 + \frac{B \% - 60 \%}{60 \%},$$

де 60 % – вологість середовища для швидкостей корозії, приведених в табл.1.

Значення впливу замкнутості форми профілю на швидкість корозії  $K_{15} = 1$  – для відкритого профілю і  $K_{15} = 2$  – для замкнутого, погано вентильованого профілю.

Коефіцієнт впливу інсоляції  $K_{16} = 0,8$  – для поверхонь освітлених сонячним світлом і  $K_{16} = 1,2$  – для поверхонь не освітлених.

Значення впливу підйому капілярної вологи від поверхні землі на висоту до 0,7 м  $K_{17} = 50$ , а при висоті більше 0,7 м  $K_{17} = 1$ .

$K_{18}$  – коефіцієнт впливу кислотно-лужного балансу рН (табл. 5).

Таблиця 5

Значення рН (агресивність середовища)	$K_{18}$
4 (сильно агресивне)	5,0
6 (середньо агресивне)	2,0
8 (слабо агресивне)	1,0
10 (неагресивне)	0,75
12 (пасивне)	0,5

Для елементів металевих конструкцій, що знаходяться під водою, коефіцієнт впливу на швидкість корозії  $K_{19}$  визначається за табл. 6.

Таблиця 6

Середовище	Характеристика	$K_{19}$
Вода дистильована	$\sigma = 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ [O <sub>2</sub> ] = 0,01...0,1 мг/кг	0,1
Вода звичайна	$\sigma = 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ 1 мг/кг < [O <sub>2</sub> ] < 5 мг/кг	1,2
Вода водопровідна, насичена повітрям	pH = 7,2 [CaCO <sub>3</sub> ] = 80 мг/л [солесод] = 150 мг/л	20
Вода знесолена	pH = 7 $\sigma = 10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ [O <sub>2</sub> ] = 0,2 мг/л [H <sub>2</sub> ] = 0	0,7
Вода морська	Загальний вміст солі 1,79 - 1,87 %	10

При відсутності дії будь-якого фактора коефіцієнт впливу дорівнює одиниці. Глибина корозії визначається за формулою

$$y = y_0 + [v_0 \tau + \alpha_0 \tau^2] \prod_{i=1}^n (K_i)$$

або в першому наближенні

$$y = y_0 + (v_0 \tau) \prod_{i=1}^n (K_i),$$

де  $y$  – глибина корозії, мм;  $\tau$  – термін, рік;  $v_0, \alpha_0$  – швидкість і прискорення корозії, мм/рік, мм/рік<sup>2</sup>;  $y_0$  – початкова глибина корозії під час обстеження;  $\prod (K_i)$  – добуток коефіцієнтів умов роботи.

Довговічність зварного з'єднання, що кородує, визначається за формулою

$$\tau_2 = \tau_1 + (h_0 - h_\tau) / v_p \quad (2)$$

де  $v_p$  – швидкість корозії, мм/рік, визначається за формулою (1);  $\tau_2$  – розрахункова довговічність зварного з'єднання відповідно до категорії технічного стану, рік;  $\tau_1$  – мінімальний прогнозований термін збереження захисного антикорозійного шару, рік;  $h_0, h_\tau$  – відповідно проєктна висота катета зварного з'єднання та висота катета після корозії (табл. 7).

Таблиця 7

Категорія	Технічний стан	Глибина корозії $y_\tau$ , мм	Залишкова товщина $h_\tau$
1	Добрий	$(0 \dots 0,05) h_0$	$(1 - 0,95) h_0$
2	Задовільний	$(0,05 \dots 0,10) h_0$	$(0,95 - 0,90) h_0$
3	Незадовільний	$(0,10 \dots 0,20) h_0$	$(0,90 - 0,80) h_0$
4	Вкрай незадовільний	$(0,20 \dots 0,30) h_0$	$(0,80 - 0,70) h_0$
5	Аварійний	$> 0,30 h_0$	$0,70 < h_0$

### Висновки

У результаті проведеної роботи запропоновано просту у використанні інженерну методику, яка дає змогу розрахувати швидкість корозії і залишковий ресурс сталей і зварних з'єднань у сталевих конструкціях, що знаходяться під впливом корозійного та радіаційного середовища й тривалий термін експлуатуються.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Королёв В.П.* Теоретические основы инженерных расчетов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность: Науч. тр. ДГАСА. Вып. 1-95. – Макеевка, 1995. - 110 с.
2. *Похмурский В.И., Мелехов Р.К., Круцан Г.М., Здановський В.Г.* Корозійно-механічне руйнування зварних конструкцій. – К.: Наук. думка, 1995. – 264 с.
3. *Карпенко Г.В.* Прочность сталей в коррозионной среде. – Киев: Машгиз, 1963.
4. *Стеклов О.И., Бадаев А.С.* Коррозионное растрескивание сварных соединений стали X18H10T. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970. – 62 с.
5. *Верюжський Ю.В., Матченко Т.І., Дмитрієнко М.В., Рожновська О.С.* Аналіз факторів пошкодження зварних з'єднань облицювання шахти реактора // Будівництво України. - 2005. - № 6. - С. 21 - 27.
6. *Матченко Т.І., Дмитрієнко М.В., Родченко О.В., Матченко П.Т.* Розрахунок і вимір критичних параметрів міжкристалічної корозії облицювання шахти реактора // Там же. - № 7. - С. 33 - 38.
7. *Матченко Т.І., Дмитрієнко М.В., Зубець А.В., Матченко П.Т.* Алгоритм визначення швидкості контактної і щільної корозії конструктивних елементів облицювання шахти реактора і басейну витримування // Там же. - С. 29 - 32.

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОРРОЗИОННОГО РЕСУРСА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

**Т. И. Матченко, Л. Б. Шамис, П. Т. Матченко, Л. Ф. Первушова**

Разработана методика оценки долговечности либо остаточного ресурса сварных соединений строительных металлических конструкций, которая учитывает влияние основных факторов на скорость коррозии.

*Ключевые слова:* ресурс, коррозия, сталь, соединение.

**ESTIMATION PROCEDURE OF THE CORROSIVE RESOURCE  
OF THE WELDED JOINTS IN CONSTRUCTIONAL STEEL**

**T. I. Matchenko, L. B. Shamis, P. T. Matchenko, L. F. Pervushova**

Longevity evaluation procedure of welded joints in metal constructions is worked out, which allows for influence of basic factors to corrosion speed.

*Keywords:* resource, corrosion, steel, joint.

Надійшла до редакції 11.05.10