

УДК 624.014:620.193

*Т.І. Матченко, к.т.н.; Л.Б. Шаміс;
П.Т. Матченко; Л.Ф. Первушова, Київ*

МЕТОДИКА ОЦІНКИ КОРОЗІЙНОГО РЕСУРСУ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

АНОТАЦІЯ

Розроблена методика 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

Взагалі в 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 в зварних з'єднаннях швидкість корозії більша за швидкість корозії основного металу і в багатьох випадках зменшення міцності зварних з'єднань визначає ресурс всієї конструкції.

Складні процеси, що виникають в зонах зварного з'єднання, і їх вплив на процеси корозії досліджені в роботах [2-4] і розрахунки довговічності металевих конструкцій і їх 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 в 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.

У зварному з'єднанні конструкційної сталі можна виділити наступні характерні ділянки: зварний шов, який відрізняється тонкою будовою і дрібнозернистою двофазною структурою (зерно ≈ 8 мкм), що складається з аустеніту з деякою кількістю фериту, який залягає по межах стовбчас-

тих кристалів; зони перегріву, яка складається з крупних зерен аустеніту (зерно $\approx 50-60$ мкм), ширина цієї зони невелика (≈ 600 мкм); зони термічного впливу, що прогривається до температури вище 500°C – зони високотемпературної пластичної деформації; основний метал – зона, що підлягає короткотривалому нагріву до температур $<400^\circ\text{C}$ і в якій не відбуваються структурні зміни. У межах зони термічного впливу не спостерігається різких меж між окремими ділянками з'єднання. Твердість в зоні структурних трансформацій майже в два рази більше ніж у основного металу в зв'язку зі структурними трансформаціями і зміцненням, що обумовлено залишковою пластичною деформацією; двохфазний метал шва має меншу твердість ніж основний метал. Значна пластична деформація в пришовній зоні підтверджується характером розподілу щільності дислокацій. Максимальна залишкова пластична деформація (2-4%) і пов'язана з нею щільність дислокацій та напруженість II роду спостерігається у пришовній зоні, що нагрівається в процесі зварки до температури $500-900^\circ\text{C}$. 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 межі текучості, високим зміцненням при деформації залишкові зварні напруження розтягу можуть перевищувати умовну межу текучості, досягаючи при жорсткому утиску $60-70$ кгс/мм². Напруження розтягу за межами зони, що прогривається нижче 300°C , переходять в напруження стиску.

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

Методика попередньої оцінки швидкості корозії і ресурсу зварного з'єднання

Для ненавантаженого зварного з'єднання швидкість корозії визначається залежністю:

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

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 за таблицею 1;

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

Таблиця 1

| Значення швидкостей корозії конструкційних сталей U_0 | | | |
|---|----------------|--|---|
| Сталь за ГОСТ | U_0 , мм/рік | Марка сталі, що замінюється | ГОСТ або ТУ |
| C235 | 0,04 | ВСт3кп2, ВСт3кп2-1, 18кп | ГОСТ 380-71** ТУ 14-1-3023-80 ГОСТ 23570-79 |
| C245 | 0,03 | 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 |
| C255 | 0,025 | 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 |
| C275 | 0,025 | ВСт3пс6-2 | ТУ 14-1-3023-80 |
| C285 | 0,025 | ВСт3пс5-2, ВСт3Гпс5-2 | ТУ 14-1-3023-80 |
| C345, C345T | 0,02 | 09Г2 | ГОСТ 19281-73* ГОСТ 19282-73* |
| | | 09Г2С, 14Г2 (листовий, фасонний прокат товщиною до 20 мм) 15ХСНД (листовий прокат товщиною до 10 мм, фасонний – до 20 мм) | ГОСТ 19282-73* |
| | | 12Г2С гр.1 | ТУ 14-1-4323-88 |
| | | 09Г2 гр.1, 09Г2 гр.2, 09Г2С гр.1, 14Г2 гр.1 (фасонний – до 20 мм) | ТУ 14-1-3023-80 |
| | | 390 | ТУ 14-15-146-85 |
| | | ВСтТпс | ГОСТ 14637-79* |
| C345К | 0,005 | 10ХНДП | ГОСТ 19281-73* ГОСТ 19282-73* ТУ 14-1-1217-75 |
| C375, C375T | 0,015 | 09Г2С гр.2 | ТУ 14-1-3023-80 |
| | | 12Г2С гр.2 | ТУ 14-1-4323-88 |
| | | 14Г2 гр.1 (фасонний прокат товщиною більше 20 мм), 14Г2 гр.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* |
| C390, C390T | 0,015 | 14Г2АФ, 10Г2С1 термічно зміцнена, 10ХСНД (листовий прокат товщиною більше 10 мм) | ГОСТ 19282-73* |
| C390К | 0,005 | 15Г2АФДпс | ГОСТ 19282-73* |
| C440 | 0,015 | 16Г2АФ, 18Г2АФпс, 15Г2СФ термічно зміцнена | ГОСТ 19282-73* |
| C590 | 0,01 | 12Г2СМФ | ТУ 14-1-1308-75 |
| C590К | 0,005 | 12ГН2МФАЮ | ТУ 14-1-1772-76 |

K_1 – коефіцієнт, який враховує зміну структури шва (зони термічного впливу) в порівнянні із основним металом в залежності від висоти катета (h) шва (див. таблицю 2);

K_2 – коефіцієнт, який враховує режим умов роботи навантаження;

K_3 – коефіцієнт, який визначається в залежності від показника агресивності середовища;

K_4 – коефіцієнт, який враховує інтегральну дозу радіаційного опромінення;

K_5 – коефіцієнт, який враховує вологість;

Таблиця 2

| Коеф. | Ступінь впливу | | | |
|----------------|---|------------------|---------------------|-------------------|
| K ₁ | Висота катета зварного шва, мм | | | |
| | <i>h</i> <5 | 5...8 | 8...12 | <i>h</i> >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, нейтр/см ² | | | |
| | $\varphi < 10^{13}$ | 10 ¹⁵ | 10 ¹⁷ | >10 ¹⁹ |
| | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| K ₅ | Вологість | | | |
| | сухий стан | природний стан | водо-насичений стан | епізод. вологість |
| | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |

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

де K₆ – коефіцієнт концентрації напружень; R – радіус кривизни в вершині корозійної виразки; ρ – товщина фасонки.

Вплив температури зовнішнього середовища на швидкість корозії враховується коефіцієнтом K₇:

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

де T – температура в °C. K₈ – коефіцієнт впливу бруду та продуктів корозії на швидкість корозії K₈=1...2.

Швидкість електрохімічної корозії залежить від різниці електродних потенціалів сталей, їх елементів і зерен металу. При виконанні розрахунків із визначення швидкості корозії з'єднання можна враховувати коефіцієнт прискорення корозії K₉ у

Таблиця 3

| K ₉ коефіцієнт прискорення корозії для корозійного ураження на межі двох структур зварного з'єднання | | | | | | | |
|---|--|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Характеристика корозійного ураження | Значення 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 виразкою | 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 |

відповідності з таблицею 3 і ГОСТ 9.908-85;

K₁₀ – коефіцієнт впливу на швидкість корозії залишкових напружень (σ_{зн}) в порівнянні з напруженнями номінальними (σ_н) визначається залежністю:

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

K₁₁ – коефіцієнт впливу на швидкість корозії номінальних напружень (σ_н):

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

де R_c – міцність сталі.

K₁₂ – коефіцієнт впливу на швидкість корозії зони термічного впливу зварного з'єднання відношення твердості за Віккерсом (HV_{зТВ}) зони термічного впливу до твердості основного металу (HV_М), визначається за формулою:

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

де |HV_{зТВ} – HV_М| – модуль різниці твердості.

K₁₃ – коефіцієнт впливу дії повітряної пари (табл. 4).

Таблиця 4

| Значення коефіцієнта впливу струму пари на швидкість корозії вуглецевої сталі | | | | | | |
|---|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Т пари °C | Швидкість 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 |

K₁₄ – коефіцієнт впливу вологості В% середовища на швидкість корозії сталі, визначається за формулою:

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

Значення впливу замкнутості форми профілю на швидкість корозії K₁₅=1 – для відкритого профілю і K₁₅=2 – для замкнутого, погано вентильованого профілю.

Коефіцієнт впливу інсоляції K₁₆=0,8 – для поверхонь, освітлених сонячним світлом, і K₁₆=1,2 – для поверхонь не освітлених.

Таблиця 5

| Значення коефіцієнтів впливу на швидкість корозії вуглецевої сталі кислотно-лужного балансу (pH) | | | | | |
|--|------------------|--------------------|-----------------|--------------|---------|
| Ступінь агресивності середовища для сталі | Сильно агресивне | Середньо агресивне | Слабо агресивне | Не агресивне | Пасивне |
| Значення pH | pH | | | | |
| | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| K_{18} | 5,0 | 2,0 | 1,0 | 0,75 | 0,5 |

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

Для елементів металевих конструкцій, що знаходяться під водою, коефіцієнт впливу на швидкість корозії визначається за табл.6.

За відсутності дії будь-якого фактора коефі-

Таблиця 6

| Значення K_{19} | | |
|-------------------------------------|---|------------------|
| Середовища | | Долі від одиниці |
| Назва | Склад | |
| Вода дистильована | $\sigma=10^{-7} \text{ом}^{-1} \text{см}^{-1}$ [O ₂]=0,001...0, 1мг/кг | 0,1 |
| Вода звичайна | $\sigma=10^{-7} \text{ом}^{-1} \text{см}^{-1}$ 1 мг/кг < [O ₂] < 5 мг/кг | 1,2 |
| Вода водопровідна насичена повітрям | pH=7,2 [CaCO ₃]=80мг/л [солесод]=150мг/л | 20 |
| Вода знесолена | pH=7 $\sigma=10^{-7} \text{ом}^{-1} \text{см}^{-1}$ [O ₂]=0,2мг/л [H ₂]=0мг/лг | 0,7 |
| Вода морська | Загальний вміст солі 1.79-1.87% | 10 |

цієнт впливу дорівнює одиниці.

Глибина корозії визначається за формулою:

$$y = y_0 + [\nu_0 \tau + \alpha_0 \tau^2] \prod_{i=1}^n (K_i).$$

Або в першому наближенні

$$y = y_0 + (\nu_0 \tau) \prod_{i=1}^n (K_i),$$

де y – глибина корозії, мм; τ – термін, рік; ν_0 , α_0 – швидкість і прискорення корозії, мм/рік, мм/рік²; y_0 – початкова глибина корозії під час обстеження; $\prod (K_i)$ – добуток коефіцієнтів умов роботи.

Довговічність зварного з'єднання, що кородує,

визначається за формулою:

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

де ν_p – швидкість корозії, мм/рік, визначається за формулою (1);

τ_2 – розрахункова довговічність зварного з'єднання відповідно до категорії технічного ста-

ну, років;

τ_1 – мінімальний прогнозований термін збереження захисного антикорозійного шару, років;

h_0, h_τ – відповідно проектна висота катета зварного з'єднання і висота катета після корозії (табл.7)

Таблиця 7

| Категорія | Технічний стан | Глибина корозії y_p , мм | Залишкова товщина h_τ |
|-----------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | Добрий | (0...0.05) h_0 | (1-0.95) h_0 |
| 2 | Задовільний | (0.05...0.10) h_0 | (0.95-0.90) h_0 |
| 3 | Незадовільний | (0.10...0.20) h_0 | (0.90-0.80) h_0 |
| 4 | Вкрай незадовільний | (0.20...0.30) h_0 | (0.80-0.70) h_0 |
| 5 | Аварійний | >0.30 h_0 | <0.70 h_0 |

Висновки

Запропонована проста у використанні інженерна методика, яка дозволяє розрахувати швидкість корозії і залишковий ресурс сталей і зварних з'єднань у сталевих конструкціях, що знаходяться під впливом корозійного і радіаційного середовища і тривалий термін експлуатуються.

ЛІТЕРАТУРА

1. Королёв В.П. Теоретические основы инженерных расчетов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность: Научные труды ДГАСА. Вып.1-95. – Макеевка, 1995. – 110с.ил.
2. Похмурський В.І., Мелехов Р.К., Круцян Г.М., Здановський В.Г. Корозійно-механічне руйнування зварних конструкцій. –К.: Наукова думка, 1995. –264с.
3. Карпенко Г.В. Прочность сталей в коррозионной среде. – К. – Машиз, 1963.
4. Стеклов О.И., Бадаев А.С. Коррозионное

растрескивание сварных соединений стали X18H10T. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970. – 62с.

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./ Будівництво України, 2005. – №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./ Будівництво України, 2005. – №7. – С.29-32.

АННОТАЦІЯ

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.

ANNOTATION

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.

УДК 624.07;6.07

Я.Д. Кислюк, ЛНТУ, Луцьк;

Р.В. Шмігель, ЛНТУ, Луцьк;

В.І. Савенко, д. т. н.;

Г.М. Сухоросов, ВАТ «ДБК-3», Київ

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КЛЕЄМЕТАЛЕВИХ З'ЄДНАНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

АНОТАЦІЯ

У даній роботі викладені результати досліджень з'єднань елементів дерев'яних конструкцій на саморізах, клеї та клеєметалеви́х конструкцій. Проведена порівняльна характеристика цих з'єднань.

Ключові слова: дослідження, характеристики, з'єднувальні елементи, клей, конструкції.

З'єднання є одними з найбільш відповідальних частин дерев'яних конструкцій тому, що для їх виготовлення в елементах часто роблять отвори та врізи, які послаблюють поперечні перерізи і при цьому виникає концентрація напружень. Руйнування конструкцій, як правило, відбувається в місцях з'єднання окремих елементів. Тому таким частинам конструкцій потрібно приділити особливу увагу у розрахунку і конструюванні. Особливо це стосується елементів, які працюють на розтяг і сколювання. Основними способами з'єднань таких елементів є нагельні та клейові з'єднання.

Нагельні з'єднання можна виготовляти як в заводських умовах, так і на будівельному майданчику з деревини будь-якої вологості, але недоліком є ослаблення поперечних перерізів та концентрація напружень у місцях безпосереднього з'єднання конструкцій, їх піддатливість.

У клейових з'єднаннях нема ослаблень поперечних перерізів. Такі з'єднання можна вважати монолітними (суцільними), бо вони є не менш міцними ніж реальна деревина. Також перевагою клейових з'єднань є те, що можна з дощок обмеженого розміру поперечного перерізу і довжини виготовляти дощатоклеєні елементи несучих конструкцій практично будь-яких розмірів і форм. Клейові з'єднання є водостійкими. Недоліком таких з'єднань є те, що їх виготовлення повинно проходити в заводських умовах за наявності пресового обладнання, що впливає на загальну вартість