

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОРОЗІЇ В ПЛОСКОНАПРУЖЕНИХ ПЛАСТИНАХ ІЗ КРУГОВИМ ВИРІЗОМ

Д.Г. Зеленцов, О.А. Радуль

*ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»,
м. Дніпропетровськ*

Пропонується імітаційна модель, що дозволяє досліджувати локальний корозійний процес у місцях з'єднання стрижневих елементів, у якій вплив концентратора напружень компенсується введенням концентратора швидкості корозії. Проведена ідентифікація цієї моделі за параметром, а саме за коефіцієнтом концентрації корозії. Підтверджена можливість використання імітаційної моделі при дослідженні локальної корозії в місцях з'єднання шарнірно-стрижневих систем.

ВСТУП

При дослідженні поведінки шарнірно-стрижневих систем (ШСС), що експлуатуються в агресивних середовищах, крім корозії стрижневих елементів, необхідно враховувати корозійні процеси в місцях їх з'єднання. Незалежно від конструкційних рішень з'єднувальних елементів у даному випадку виникає необхідність переходу від розрахункової схеми кородуючого стержня при одноосному навантаженні до розрахункової схеми плоскої задачі теорії пружності. Фрагменти місць з'єднань стрижнів являють собою пластини, які ослаблені круговими вирізами для елементів кріплення. У зв'язку з цим виникає проблема побудови моделі корозійного процесу в пластині, товщина якої непостійна як в часі, так і по області. У роботі [1] запропоновані підхід і побудова такої моделі за допомогою модифікованих трикутних скінченних елементів (СЕ) змінної товщини ([2-3]).

Незважаючи на безсумнівну адекватність такої моделі, її побудова являє собою досить складний у реалізації процес і потребує значних обчислювальних ресурсів, які значно перевищують ті, що необхідні для розрахунку стрижневих елементів.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Відомо, що на відстані, що перевищує розмір вирізу, у початковий момент часу напружений стан у стрижні можна вважати однорідним. Наявність же вирізів обумовлює суттєво неоднорідний напружений стан в їх околі.

У роботі пропонується імітаційна модель, що дозволяє досліджувати локальний корозійний процес у місцях з'єднання стрижневих елементів, у якій вплив концентратора напружень компенсується введенням концентратора швидкості корозії.

Для загального випадку корозійного зносу, коли механічні напруження істотно впливають на швидкість корозії, кінетичне рівняння [4], що встановлює зв'язок між параметром пошкодження та часом, має вигляд

$$\frac{d\delta}{dt} = v_0 \cdot (1 + k \cdot \sigma), \quad (1)$$

де δ – глибина корозії (параметр пошкодження); t – час; v_0 – швидкість корозії за відсутності напружень; σ – абсолютна величина напружень; k – коефіцієнт, що зумовлює вплив напружень на

швидкість процесу.

Сформулюємо гіпотезу, що лежить в основі запропонованої моделі: існує єдине значення швидкості корозії v ($v > v_0$), при якому напруження досягають граничного значення в будь-якій точці пластини без вирізу (рис. 1 а) за той же час, що і в околі вирізу досліджуваної пластини (рис. 1 б).

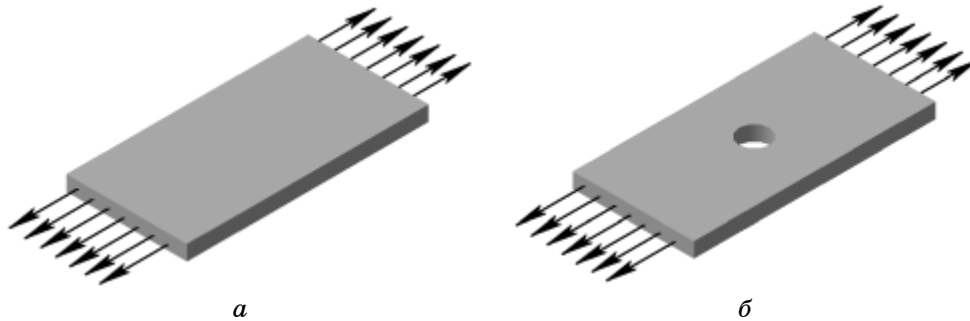


Рисунок 1—Пластина без вирізу (а) та з вирізом (б)

До переваг даної імітаційної моделі необхідно віднести можливість отримання аналітичного розв'язку задачі довговічності (без використання скінченно-елементних процедур при розрахунках напружено-деформованого стану (НДС) та чисельного розв'язання систем диференціальних рівнянь (СДР), які моделюють корозійний процес в елементах конструкції).

Таким чином, основна задача роботи полягає в ідентифікації імітаційної моделі за параметром, а саме за коефіцієнтом концентрації

корозії f , де $f = \frac{v}{v_0}$.

Об'єктом дослідження даної роботи є кородуюча плосконапружена квадратна пластинка, яка ослаблена круговим вирізом, рівномірно розтягнута уздовж осі ОУ зусиллями, розподіленими по площі поперечного перерізу торців, розрахункова схема та скінченно-елементна модель (СЕМ) якої зображені на рис. 2, 3 відповідно.

Параметри пластини та агресивного середовища: $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; $\mu = 0,3$; $L = 20$ см; $R = 1,0$ см; $v_0 = 0,1$ см/год ; $k = 0,005$ МПа⁻¹; $[\sigma] = 240$ МПа. У силу симетрії розглядається чверть пластини, яка зображена на рис. 3.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Достовірність СЕМ підтверджується збіжністю результатів розрахунків, що отримані при згущенні сітки, а отже, і збільшенням розмірності задачі методу скінченних елементів (МСЕ), а також при зменшенні довжини шагу інтегрування при чисельному розв'язанні задачі Коші для СДР виду (1), що описують процес корозії у пластині.

Отримані результати показали, що якщо в початковий момент часу коефіцієнт концентрації дорівнює 3, то в момент руйнування пластини цей коефіцієнт став близьким до 5. Тобто у випадку експлуатації пластини в агресивному середовищі збільшується зона впливу концентратора напружень. При цьому швидкість зміни інтенсивності напружень залежить від величини напруження у початковий момент часу.

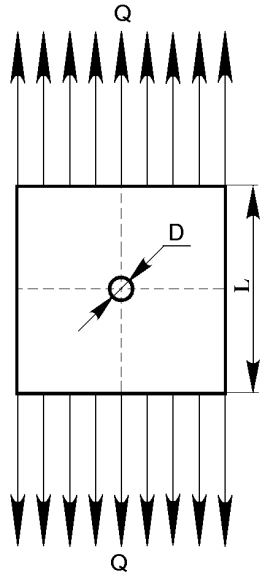


Рисунок 2 – Розрахункова схема пластини

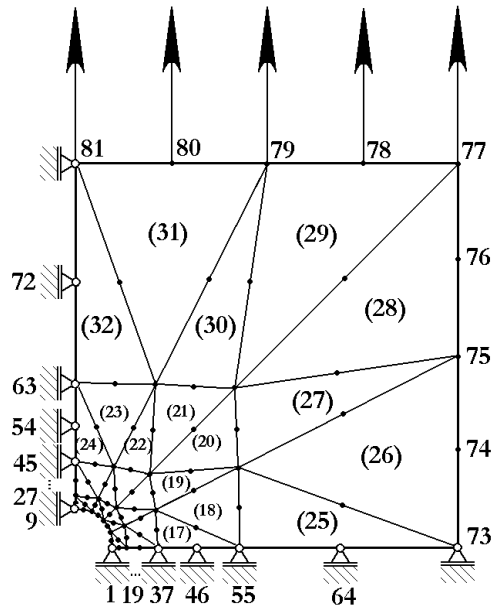


Рисунок 3 – СЕМ модель конструкції

Очевидно, значення концентратора корозії, при якому довговічність гладкої пластини буде такою ж, як і пластини з вирізом, буде залежати від ряду факторів, таких, як початкові значення товщини та напруження в пластині, швидкість корозії та граничні значення напружень.

Розглянемо концентратор корозії у вигляді повного полінома двох аргументів:

$$f = f(X_1, X_2) = A + B \cdot X_1 + C \cdot X_2 + D \cdot X_1^2 + E \cdot X_1 \cdot X_2 + F \cdot X_2^2, \quad (2)$$

$$X_1 = \frac{h_0}{v_0}, \quad X_2 = \frac{[\sigma]}{\sigma_0},$$

де A, B, C, D, E, F – невідомі коефіцієнти полінома; X_1 – аргумент полінома, що показує відношення початкової товщини пластини h_0 до початкової швидкості корозії v_0 ; X_2 – аргумент полінома, що показує відношення граничного значення напружень $[\sigma]$ до його початкового значення σ_0 .

Коефіцієнти A, B, C, D, E, F даної функції можуть бути отримані, наприклад, за допомогою методу найменших квадратів.

У таблиці 1 наведені значення довговічності пластини з вирізом для заданих значень аргументів X_1 і X_2 . Ці значення отримані за допомогою МСЕ та чисельного розв'язання СДР виду (1), що описують процес корозії.

Для імітаційної моделі процесу корозії в плосконапружених пластинках із круговим вирізом розв'язання задачі довговічності може бути отримане аналітично за допомогою формули, що встановлює зв'язок між початковим (σ_{eq0}) і кінцевим (σ_{eq}) значеннями еквівалентного

напруження, початковою товщиною елемента (h_0), параметрами агресивного середовища (v, k) та часом t^* :

$$t^* = \frac{h_0}{v} \cdot \sigma_{eq0} \left[k \cdot \ln \frac{\sigma_{eq0} (1 + k \cdot \sigma)}{\sigma_{eq} (1 + k \cdot \sigma_0)} + \frac{\sigma_{eq} - \sigma_{eq0}}{\sigma_{eq} \cdot \sigma_{eq0}} \right]. \quad (3)$$

Маючи значення довговічності пластини з вирізом t^* , отримане при розв'язанні задачі за допомогою запропонованої СЕМ, та використовуючи формулу (3), можна знайти значення швидкості корозії v , а відповідно і значення концентратора корозії f при цьому. Результати чисельного експерименту при заданих значеннях X_1 і X_2 наведені в інших рядках таблиці 1.

Таблиця 1 – Довговічність пластини з вирізом та коефіцієнт концентратора корозії

X_1	X_2				
	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0
10,0	$t = 4,259$ $f = 2,5140$	$t = 3,783$ $f = 2,5661$	$t = 3,191$ $f = 2,6390$	$t = 2,426$ $f = 2,7402$	$t = 1,390$ $f = 2,8826$
12,5	$t = 5,321$ $f = 3,1448$	$t = 4,726$ $f = 3,2098$	$t = 3,987$ $f = 3,3002$	$t = 3,031$ $f = 3,4264$	$t = 1,736$ $f = 3,6044$
15,0	$t = 6,383$ $f = 3,7755$	$t = 5,668$ $f = 3,8544$	$t = 4,782$ $f = 3,9621$	$t = 3,636$ $f = 4,1126$	$t = 2,082$ $f = 4,3262$
17,5	$t = 7,445$ $f = 4,4063$	$t = 6,611$ $f = 4,4981$	$t = 5,577$ $f = 4,6240$	$t = 4,2040$ $f = 4,7995$	$t = 2,428$ $f = 5,0479$
20,0	$t = 8,506$ $f = 5,0380$	$t = 7,554$ $f = 5,1419$	$t = 6,373$ $f = 5,2852$	$t = 4,845$ $f = 5,4857$	$t = 2,775$ $f = 5,7689$

У результаті обробки даних таблиці 1 були отримані значення коефіцієнтів формули (2), при цьому вона набирає вигляду:

$$f = f(X_1, X_2) = 2,53056 + 0,62416 \cdot X_1 + 0,00196 \cdot X_2 + 0 \cdot X_1^2 + 0,02237 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,02231 \cdot X_2^2. \quad (4)$$

Для перевірки можливості використання отриманої формули довговічність пластини з вирізом була обчислена за двома різними моделями при таких значеннях аргументів X_1 і X_2 , що відрізняються від наведених у таблиці 1. Отримані результати наведені в таблиці 2.

Максимальне значення похибки імітаційної моделі становить $\varepsilon = 1,12\%$.

Таким чином, результати, наведені в таблиці 2, підтверджують можливість використання імітаційної моделі при дослідженні локальної корозії в місцях з'єднання стрижневих елементів.

Таблиця 2 – Довговічність пластини з вирізом та коефіцієнт концентратора корозії

X_1	X_2				
	7,5	6,5	5,5	4,5	3,5
11,0	$t = 4,436$ $f = 2,7928$ $f^* = 2,7913$	$t = 3,857$ $f = 2,8587$ $f^* = 2,8468$	$t = 3,118$ $f = 2,9538$ $f^* = 2,9469$	$t = 2,146$ $f = 3,0861$ $f^* = 3,0917$	$t = 0,783$ $f = 3,2735$ $f^* = 3,2810$
13,5	$t = 5,442$ $f = 3,4293$ $f^* = 3,4266$	$t = 4,729$ $f = 3,5121$ $f^* = 3,5045$	$t = 3,824$ $f = 3,6272$ $f^* = 3,6270$	$t = 2,632$ $f = 2,7887$ $f^* = 2,7941$	$t = 0,961$ $f = 4,0174$ $f^* = 4,0059$
16,0	$t = 6,447$ $f = 4,0667$ $f^* = 4,0620$	$t = 5,602$ $f = 4,1646$ $f^* = 4,1622$	$t = 4,530$ $f = 4,3005$ $f^* = 4,3071$	$t = 3,118$ $f = 4,4914$ $f^* = 4,4966$	$t = 1,138$ $f = 4,7620$ $f^* = 4,7307$
18,5	$t = 7,453$ $f = 4,7032$ $f^* = 4,6973$	$t = 6,476$ $f = 4,8164$ $f^* = 4,8200$	$t = 5,237$ $f = 4,9731$ $f^* = 4,9872$	$t = 3,605$ $f = 5,1933$ $f^* = 5,1991$	$t = 1,315$ $f = 5,5067$ $f^* = 5,4556$
21,0	$t = 8,458$ $f = 5,3406$ $f^* = 5,3327$	$t = 7,350$ $f = 5,4682$ $f^* = 5,4777$	$t = 5,943$ $f = 5,6465$ $f^* = 5,6673$	$t = 4,091$ $f = 5,8960$ $f^* = 5,9016$	$t = 1,493$ $f = 6,2506$ $f^* = 6,1805$

ВИСНОВКИ

У зв'язку з тим, що вплив вирізу в плосконапруженій пластині є відчутним лише на невеликій відстані від нього, немає необхідності кожного разу розв'язувати задачу НДС та довговічності кородуючої пластини за допомогою МСЕ. При використанні імітаційної моделі достатньо ввести коефіцієнт концентрації корозії та отримати для нього наближене, але достатньо близьке до дійсного значення довговічності фрагмента стрижня за допомогою аналітичної формули.

SUMMARY

IMITATING MODELLING OF PROCESS OF CORROSION IN FLAT STRAINED PLATES WITH CIRCULAR CUTOUT

D.G.Zelentsov, O.A. Radul

Ukrainian State Chemical and Technological University, Dniepropetrovsk

The imitating model, allowing investigating local corrosion process in junctions of rod elements in which influence of stress concentrator is compensated by introduction of speed concentrator of corrosion, is offered. Identification of this model on parameter, namely on factor of concentration of corrosion, is lead. Possibility of use of imitating model is confirmed at research of local corrosion in junctions of hinged-rod systems.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Радуль О.А. Дослідження динаміки концентрації напружень у кородуючих пластинах із круговим вирізом // Тези доповідей 5-ої Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів "Наукові розробки молоді на сучасному етапі", 26-28 квітня 2006 р.

- Київ: КНУТД. – С. 114.
2. Зеленцов Д.Г., Радуль О.А. Модифицированный треугольный конечный элемент переменной толщины в задачах моделирования коррозионных процессов в плосконапряженных пластинах // Вопросы химии и химической технологии. – 2005. – № 4. – С. 139 – 143.
 3. Радуль О.А. Расчет корродирующих конструкций с помощью модифицированного треугольного конечного элемента переменной жесткости // Тезисы докладов II Межд. науч.-техн. конф. „Химия и современные технологии”.-Днепропетровск, 2005.– С. 256.
 4. Зеленцов Д.Г. Расчет конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы. – Днепропетровск: УГХТУ, 2002. – 168 с.

Зеленцов Д.Г., доктор техн. наук;
Радуль О.А., ассистент

Надійшла до редакції 10 листопада 2008 р.