

Висновки

Таким чином, “послідовна” оптимізація і оптимізація з використанням методу Гауса-Зейделя дають близькі результати, що теоретично підтверджує достовірність експериментально отриманих результатів. Поряд з цим, внаслідок взаємодії факторів між собою, значення оптимальних концентрацій, розрахованих за рівнянням регресії, дещо менші оптимальних концентрацій параметрів нейтралізації та фарбування, знайдених експериментально.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мельников Б.Н., Морыганов П.В. Теория и практика интенсификации процессов крашения. –М.: Легк. индустрия, 1969, – 272с.
2. Шиканова И.А., Технология отделки шерстяных тканей. –М.: Легк. индустрия, 1972, – 364с.
3. Лаптев Н.Г., Богословский Б.М. Химия красителей. –М.: Изд-во “Химия” /Под ред. Л.И.Беленького, 1970.
4. Кирилков Е.А. Цветоведение.- М.: Легпромиздат, 1987.
5. Бондарь А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии. – К.: Изд-ое об’єднання «Вища школа», 1976, – 184с.

УДК 539.3 – 620.1

ДЕЯКІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ АСПЕКТИ У ДЕФЕКТОСКОПІЇ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

М.Г. СТАЩУК¹, В.Г. ГОРОПАЦЬКИЙ², В.Ф. ЛАЗАР³

¹ Національний університет „Львівська політехніка”, м. Львів, Україна

² ДП «НДІ «Система», м. Львів, Україна

³ Мукачівський технологічний інститут

Запропоновано математичну модель та відповідну методичку для врахування залежності показів засобу вимірювання від фізико-механічних характеристик металу давача та фізико-хімічних характеристик середовища. Наведено результати аналітичних досліджень, що підтверджують доцільність врахування фізико-механічних та фізико-хімічних аспектів під час вимірювань та атестування засобів вимірювань.

Постановка задачі

Засоби вимірювання та діагностики використовуються здебільшого у складних умовах експлуатації: дії механічних навантажень, впливу електромагнітного, температурного полів, фізико-хімічних факторів середовища тощо. Основні функційні

елементи цих приладів – первинні перетворювачі (або давачі) (рис. 1) – перебувають під дією означених чинників. Крім того, оскільки ці елементи виготовлені з металу, то вони мають свої фізико-механічні властивості, вони здатні кородувати і т.п. Все це є причиною появи додаткових похибок у результатах вимірювань (діагностування).

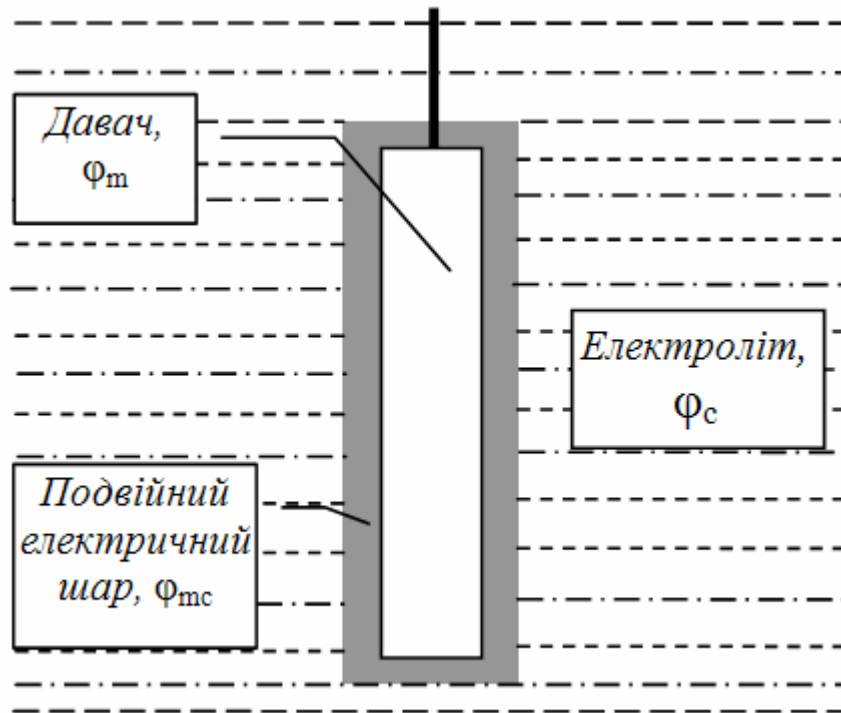


Рис. 1. Давач засобу вимірювання у електропровідному середовищі (Φ_m – електричний потенціал металу давача, Φ_c – електричний потенціал електроліту, Φ_{mc} – розподіл електричного потенціалу у подвійному електричному шарі)

З іншого боку, металеві елементи інженерних конструкцій працюють також, як правило, в умовах одночасної дії механічних навантажень (тиску, розтягу, згину, кручення), впливу електромагнітного, температурного полів та зовнішнього середовища. Різноманітні неоднорідності й дефекти на поверхні та в об'ємі матеріалів (порожнини, раковини, щілини, пітинги тощо) є концентраторами напружень та місцями найбільш ймовірного руйнування деталей машин і конструкцій. Зовнішнє середовище є додатковим істотним чинником, що впливає на міцність, несучу здатність та руйнування виробів (рис. 2). Силове навантаження і відповідне йому неоднорідне поле напружень є причиною просторового перерозподілу носіїв струму в металевих тілах. Так, під час розтягу твердого тіла вершина тріщини, тобто місце найбільшої концентрації напружень, стає анодом, а вся інша поверхня матеріалу, в тому числі й менш напружені стінки тріщини, – катодом.

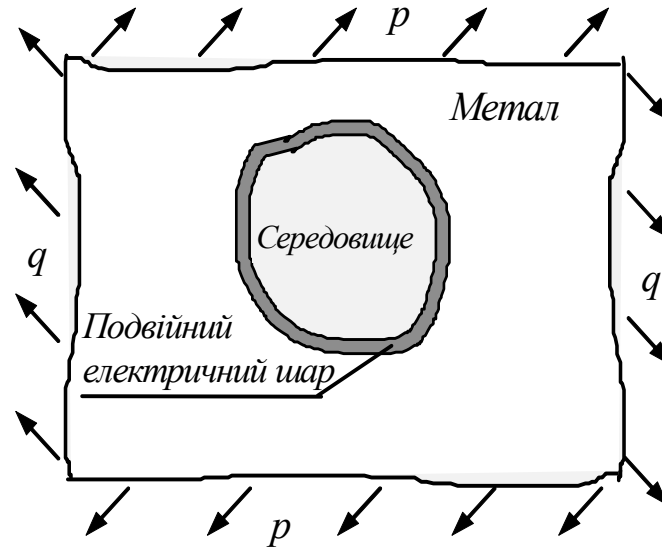


Рис.2. Навантажене зусиллями p і q металеве тіло з дефектами у робочому середовищі.

Однак, існуючі методики атестування засобів вимірювання, а також методики діагностування металевих конструкцій не враховують електричні ефекти, що виникають на поверхні як давача засобу вимірювань, так і металевого виробу внаслідок взаємодії металу та зовнішнього електропровідного середовища. Це призводить до отримання недостовірних даних про об'єкт діагностування. Тому під час дефектоскопії металевих виробів та конструкцій є необхідність використовувати аналітичні методи, які б дозволяли враховувати зазначені вище фізико-механічні аспекти взаємодії zdeформованого металу і зовнішнього електропровідного середовища та усувати можливі похибки у вимірюваннях.

В основу таких методів може бути покладено аналітично-розрахункову модель досліджування впливу неоднорідності деформації на величину і розподіл електричних і електродних потенціалів на межі контакту металевих тіл з рідкими електропровідними середовищами. Вихідні положення цієї моделі описано у роботах [1, 2]. В роботах [3, 4] наведено співвідношення для кількісного оцінювання величини електричних потенціалів в металевих тілах, середовищі, що контактує з ними, а також електродних потенціалів вздовж плоских поверхонь розділу тіл і середовища та в околі дефектів кругової форми залежно від величини прикладеного силового навантаження. В роботі [5] наведено результати досліджень зміни електродних потенціалів в околі заповненого електропровідним середовищем еліптичного дефекту поверхні металевієї пластини, яка перебуває під дією розтягальних зусиль інтенсивності p .

У цьому повідомленні описано математичну модель, яка дозволяє оцінити величину впливу взаємодії умов експлуатації на достеменність результатів вимірювань, а також наведено деякі приклади застосування цієї моделі.

Розглядається металевий виріб у зовнішньому електропровідному середовищі (рис. 1). Як відомо [6], на межі розділу двох електропровідних фаз виникає подвійний електричний шар, що спричинює появу електродного потенціалу $\Delta\varphi = \varphi_m - \varphi_c$ (φ_m – електричний потенціал металу, φ_c – електричний потенціал електроліту). Поверхня металу перебуває під дією механічних навантажень, що викликає додаткове відхилення електродного потенціалу. Тому виникає проблема оцінки впливу зазначених факторів на покази засобу вимірювань.

В основі розробленого в роботах [1, 2] аналітичного підходу до визначення електродного потенціалу вздовж поверхонь та меж дефектів напруженого металевого тіла, заповнених агресивним середовищем, є термодинаміка нерівноважних процесів, положення фізико-хімічної механіки матеріалів та електропровідних явищ, що відбуваються в неферромагнетному пружному ізотропному тілі [7], та теорії розчинів Дебая-Гюккеля [8].

Вихідні співвідношення. Розглянемо навантажене неферромагнетне металеве тіло в електропровідному середовищі (електроліті). У момент контакту між металом і середовищем виникає обмін іонами, що спричинює появу подвійного електричного шару і, отже, – різниці потенціалів, тобто електродного потенціалу [6]. Потрібно визначити характер зміни електродного потенціалу $\Delta\varphi$ у полі статичних навантажень.

Для визначення розподілу електричного потенціалу в металі використаємо модель бездомішкового електропровідного твердого тіла, що враховує процеси деформації та перерозподілу електричних зарядів – електропровідності, а для макроскопічного опису цих процесів застосуємо гіпотезу рівноважного стану в межах фізично малого елемента тіла [7]. Рівняння розподілу електричного потенціалу в навантаженому металевому тілі запишемо у вигляді [7]:

$$\nabla^2\varphi_m = \chi_m^2\varphi_m + \beta K\varepsilon_\sigma/\varepsilon_0 \quad (\chi_m^2 = \rho_m C_m/\varepsilon_0), \quad (1)$$

де ε_0 – діелектрична стала, β – електрострикційний коефіцієнт, K – модуль об'ємного розширення, ε_σ – відносне об'ємне розширення, C_m – питома електроємність металу, ρ_m – густина розподілу заряду.

Для визначення розподілу електричного потенціалу в середовищі треба оцінити взаємодію між зарядженими частинками (іонами) в рідкому середовищі, використовуючи модель електроліту Дебая-Гюккеля [6, 8]. Якщо вважати сили взаємодії між іонами електростатичними, а до розподілу іонів застосувати принцип Больцмана, то рівняння для встановлення розподілу потенціалу φ_c можна записати у вигляді:

$$\nabla^2 \varphi_c = \chi_c^2 \varphi_c \quad (\chi_c^2 = e^2 \sum z_i^2 n_i / (kT \epsilon \epsilon_0)), \quad (2)$$

де ϵ – відносна діелектрична проникність середовища, ez_i – заряд i -го сорту іонів, n – число зарядів, k – постійна Больцмана, T – абсолютна температура.

Розподіл потенціалу φ_{mc} по подвійному електричному шару визначає рівняння Пуассона-Больцмана [9]:

$$\nabla^2 \varphi_{mc} = \chi_{mc}^2 \varphi_{mc} \quad (\chi_{mc}^2 = 2F^2 I / (\epsilon_{mc} RT)), \quad (3)$$

де F – число Фарадея, I – іонна сила розчину, обчислена за теорією розчинів Дебая-Гюккеля, ϵ_{mc} – відносна діелектрична проникність подвійного електричного шару, $R = kN_A$ (де N_A – число Авогадро, k – константа швидкості елементарної реакції).

З рівнянь електродинаміки випливає, що на лінії контакту електропровідних фаз неперервні нормальні складники струмів та неперервні самі електричні потенціали в цих фазах [10]. Тобто на межі «метал–подвійний електричний шар» повинні виконуватись умови

$$\sigma_m \partial \varphi_m / \partial n = \sigma_{mc} \partial \varphi_{mc} / \partial n, \quad \varphi_m = \varphi_{mc}, \quad (4)$$

а на межі подвійний електричний шар–середовище –

$$\sigma_{mc} \partial \varphi_{mc} / \partial n = \sigma_c \partial \varphi_c / \partial n, \quad \varphi_{mc} = \varphi_c, \quad (5)$$

де $\partial / \partial n$ – похідна по нормалі до межі контакту, $\sigma_m, \sigma_{mc}, \sigma_c$ – електропровідності металу, подвійного електричного шару та середовища відповідно.

Співвідношення (1)-(3) з умовами (4), (5) є повною системою рівнянь крайової задачі для визначення електричних потенціалів в металі, подвійному електричному шарі й у середовищі.

Зміна електродного потенціалу вздовж поверхні контакту металу і середовища. Розглянемо два навантажених зусиллями інтенсивності p_1 і p_2 електропровідних неферомагнетних тіла, проміжок між паралельними площинами яких, що має ширину $2h$, заповнений середовищем, а подвійний електричний шар біля поверхні першого тіла має товщину λ_1 , біля другого – λ_2 (рис.3). Розв'язок такої крайової задачі наведено в роботі [3].

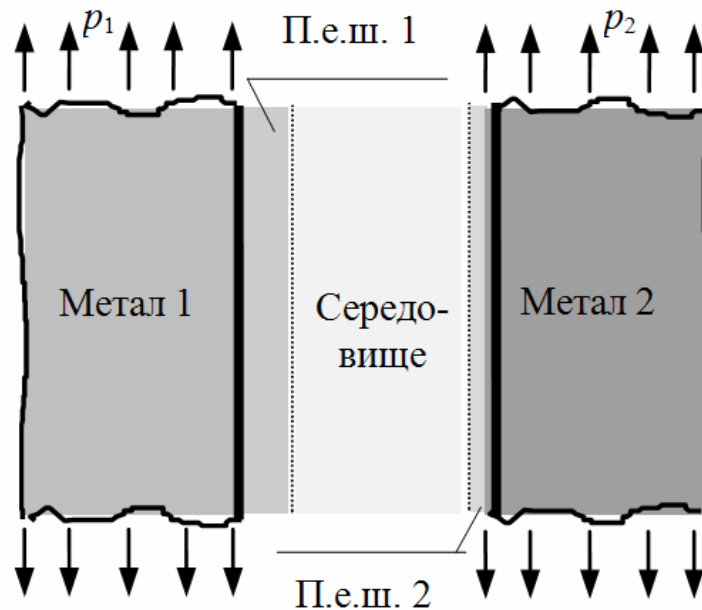


Рис.3. Два металевих тіла під дією одновісних розтягувальних навантажень.

Дослідження зміни електродних потенціалів залежно від зміни віддалі між тілами [11] показує, що для навантажених металевих тіл, віддалей між плоскими поверхнями яких хоча б незначно перевищує сумарну ширину подвійних електричних шарів, обчислювати зміни електродних потенціалів в системі "металеве тіло 1 – середовище – металеве тіло 2" можна без врахування цієї віддалі. Крім того, за цієї умови вираз для обчислення електродного потенціалу в системі можна подати у вигляді [11]:

$$\Delta\varphi_i - \Delta\varphi_{0i} = \gamma_{\lambda_i} p_i, \quad (i = 1, 2) \quad (6)$$

де $\Delta\varphi_i - \Delta\varphi_{0i}$ – електродний потенціал вздовж поверхні i -го тіла, викликаний дією зовнішніх навантажень без урахування $\Delta\varphi_{0i}$ – електродного потенціалу на межі i -ве металеве тіло – середовище, що обумовлений тільки їх електрохімічною взаємодією ($i = 1, 2$),

$$\gamma_{\lambda i} = \frac{2\beta_i(1 + \nu_i)}{3(1 + 4\nu_i)\epsilon_0\chi_{mi}^2} \frac{\sigma_{mi}\chi_{mi}\sigma_{mci}\chi_{mci}(1 - ch\chi_{mci}\lambda_i) - \sigma_c\chi_c\sigma_{mi}\chi_{mi}sh\chi_{mci}\lambda_i}{(\sigma_{mci}^2\chi_{mci}^2 + \sigma_c\chi_c\sigma_{mi}\chi_{mi})sh\chi_{mci}\lambda_i + \sigma_{mci}\chi_{mci}(\sigma_c\chi_c + \sigma_{mi}\chi_{mi})ch\chi_{mci}\lambda_i}, \quad (7)$$

$\Phi_{mi}, \Phi_{mci}, \Phi_c, \chi_{mi}, \chi_{mci}, \chi_c$ ($i = 1,2$) – електричні потенціали та характеристичні параметри металів, подвійних електричних шарів і середовища (які обчислюються за виразами (1)-(3)), $\sigma_{mi}, \sigma_{mci}$ – електропровідності металів та відповідних подвійних електричних шарів, β_i – електрострикційні коефіцієнти об'ємного розширення металів, ν_i – коефіцієнти Пуассона металів ($i = 1,2$).

У робочих умовах електропровідність металу і середовища під дією зовнішніх чинників (наприклад, температури) може змінюватись. Дослідження показує [11], що із збільшенням відношення електропровідностей середовища і тіла росте (за абсолютною величиною) електродний потенціал вздовж плоскої межі взаємодії навантаженого тіла й середовища.

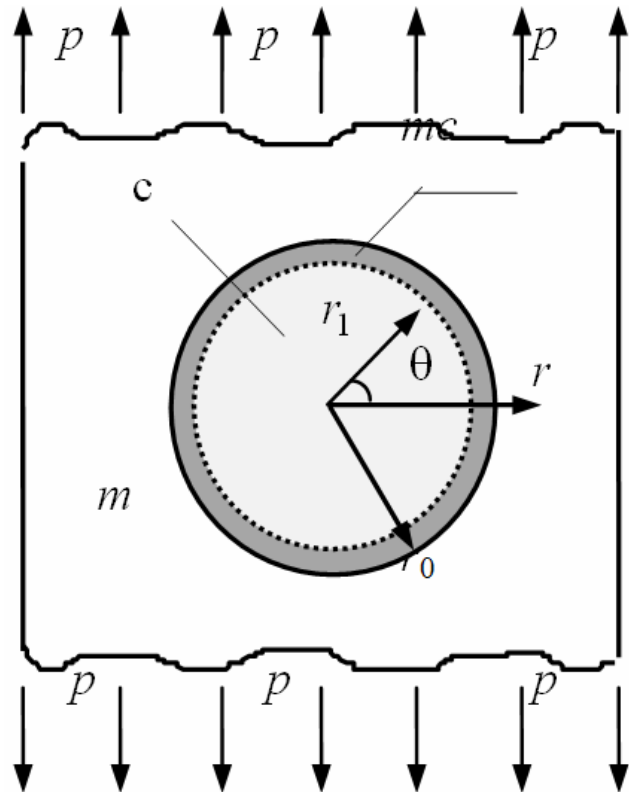


Рис. 4. Металеве тіло з заповненим електропровідним середовищем круговим отвором радіуса r_0 під дією навантаження p : m – метал; mc – подвійний електричний шар шириною λ ; c – зовнішнє електропровідне середовище; (r, θ) – полярні координати; $r_1 = r_0 - \lambda$.

Подібні результати отримані також для випадку, коли поверхня контакту металу й середовища має форму колового отвору.

Для достатньо великого радіуса отвору вираз для обчислення електродного потенціалу вздовж контура контакту навантаженого металевго тіла і середовища (без урахування $\Delta\phi_0$ – електродного потенціалу на межі металеве тіло – середовище, що обумовлений тільки їх електрохімічною взаємодією) можна подати у вигляді [11]:

$$\Delta\phi - \Delta\phi_0 = \gamma_\lambda p(1 + 2 \cos 2\theta), \quad (8)$$

де γ_λ обчислюється за виразом (7), в якому нижній індекс i не враховується, θ – кут, що відраховується від напрямку, перпендикулярному дії навантажень, проти годинникової стрілки (рис. 4).

Аналіз виразу (8) показує, що під дією навантаження інтенсивності p на поверхні отвору утворюються катодні та анодні ділянки [1, 4]. Розглянувши вирази (6) і (8), можна переконатись, що величина електродного потенціалу вздовж плоскої поверхні навантаженого металевго тіла відповідає середньому арифметичному значенню алгебричної суми електродних потенціалів в анодній (при $\theta = 0^0$) і катодній (при $\theta = 90^0$) зонах поверхні колового отвору достатньо великого радіуса. Крім того, збільшення відношення електропровідності середовища до електропровідності тіла призводить до зростання (за абсолютним значенням) електродного потенціалу в околі поверхні заповненого середовищем отвору.

Застосування описаного аналітичного підходу дало можливість визначити зміни електричних потенціалів в околі заповненого електропровідним середовищем еліптичного отвору навантаженої розтягальними зусиллями металевго пластини [5]. Розв'язок відповідної крайової задачі у цій роботі наведено через функції Мат'є в наближенні нульового та другого порядків в еліптичній системі координат і для граничного випадку, коли $a = b$, з нього можна отримати розв'язок для задачі з коловим отвором. На рисунку 5 наведено графіки розподілів електричних потенціалів в металі для цих випадків. Як видно з цих графіків, наявність еліптичного дефекту суттєвіше впливає на зміну електричного потенціалу, ніж наявність колового дефекту, оскільки останній ініціює меншу концентрацію напружень. Зокрема, якщо співвідношення півосей еліпса задовольняє умові $a/b = 7$, то у зоні концентрації напружень зміна електричного потенціалу у 5 разів перевищує зміну електричного потенціалу в околі колового дефекту [12].

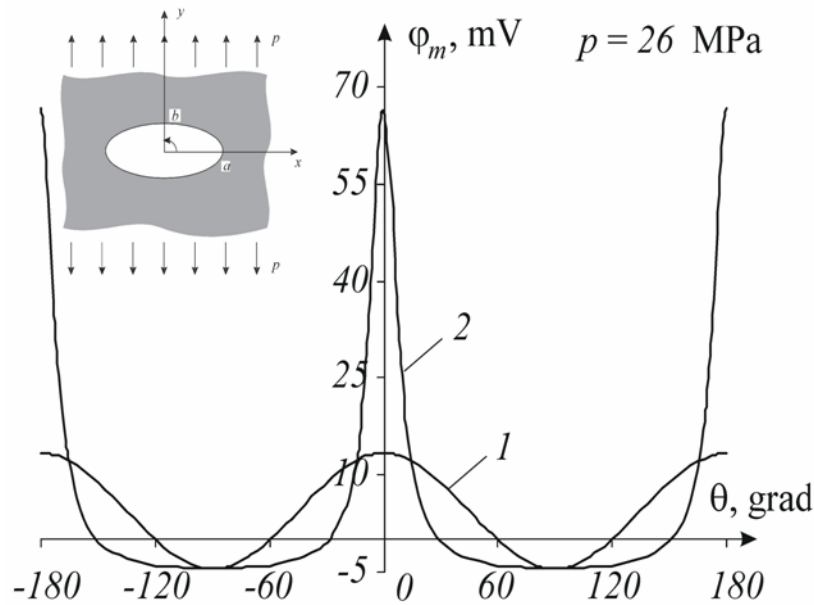


Рис. 5. Розподіл електричного потенціалу вздовж границі отвору: крива 1 – коло радіуса $r = a$; крива 2 – еліптичний отвір при $a/b = 7$

У роботі [13] розглядається вплив механічних навантажень на розподіли електричних потенціалів в околі граничного випадку заповненого середовищем еліптичного дефекту – витягнутого еліпса (рис. 6, 7). Для спрощення аналітичного оцінювання зміщення електродного потенціалу в околі вершини еліптичного отвору у розв’язках для подвійного електричного шару та середовища використано умову малозмінності координати y вздовж зміни координати x . Це дозволяє побудувати розв’язок рівняння для внутрішності порожнини, витягнутої уздовж осі Ox , звівши задачу до одновимірної.

Оцінювання зміни електродного потенціалу в околі вершини такого еліпса показує, що під час взаємодії поверхні навантаженого металевого тіла з середовищами різної активності максимальна зміна електродного потенціалу у вершині тріщиноподібного дефекту досягається за співвідношення півосей еліпса $b/a = 0,01$ (рис. 6, криві 1–4). Серед розглядуваних випадків електродний потенціал найбільше зміщується під час контакту металу з 3% розчином NaCl ($\Delta\phi \approx 20$ mV)

На рисунку 7 наведено залежності зміни електродного потенціалу у вершині “витягнутого” еліпса ($b/a = 0,01$, $a = 7 \cdot 10^{-3}$ м, $p = 1,8$ МПа, $\square \square \square 0,2$ %) від концентрації C_{NaCl} середовища. Як видно з цього рисунка, зі збільшенням вмісту іонів Na^+ та Cl^- від 0 до $0,5 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ в розчині, електродний потенціал $\Delta\phi$ спочатку швидко росте, а потім, починаючи з 0,2, змінюється плавно, досягаючи значення ≈ 20 mV.

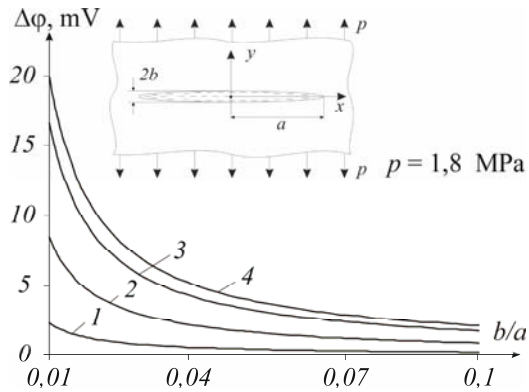


Рис. 6. Зміна електродного потенціалу у вершині витягнутого еліпса від співвідношення півосей еліпса b/a (якщо $b/a = 0,01$ досягається відносна деформація 0,2 % для навантаження $p = 1,8$ МПа): 1 – 0,03 % NaCl; 2 – 0,3 % NaCl; 3 – 1 % NaCl; 4 – 3 % NaCl.

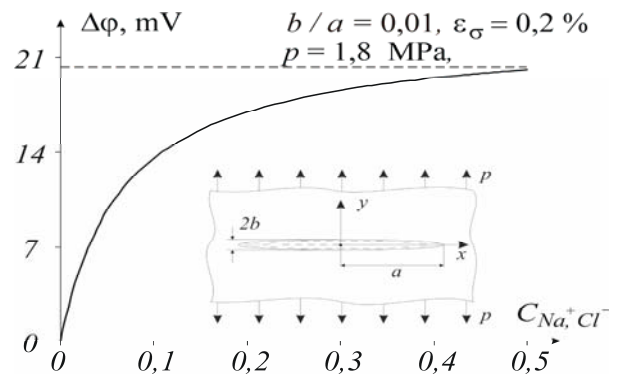


Рис. 7. Залежність зміщення електродного потенціалу у вершині витягнутого еліпса від концентрації C_{NaCl} середовища.

Висновки

Наведені результати аналітичних досліджень та результати обчислень свідчать про те, що фізико-механічні та фізико-хімічні ефекти, які виникають під час взаємодії металу з електропровідним середовищем і викликають перерозподіл носіїв електричних зарядів, можуть позначатися на показах засобів вимірювання й діагностики. Тому ці явища доцільно враховувати у відповідних методиках вимірювання та атестування засобів вимірювання. Для цього потрібно виконати такі дослідження й обчислення:

- визначити напружено-деформований стан як первинного перетворювача, так і металевого виробу, спричиненого дією силових навантажень;
- встановити вплив напружено-деформованого стану на величину і характер зміни електродного потенціалу на границі контакту як первинного перетворювача, так і металевого виробу з рідким електропровідним середовищем;
- оцінити вплив зміни електродного потенціалу на величину електричного сигналу, тобто оцінити систематичну похибку вимірювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стащук М. Г. Визначення електродного потенціалу та струмів корозії уздовж поверхонь концентраторів напружень // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій (випуск 2): В 3-х т. / Під заг. ред. Панасюка В. В. – Львів: Каменяр, 1999. – Т. 2. – С. 213–219.
2. Стащук М.Г. Електродний потенціал на межі “напружений метал-

середовище”//Проблеми корозії та корозійного захисту матеріалів.– 2000. №1.– С. 222–225.

3. Горопацький В.Г., Дмитрах І.М., Стащук М.Г., Коваленко Р.В. Аналітичне визначення впливу пружних деформацій на електродні потенціали біля плоских поверхонь металевих тіл//Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій.– 2001.– №3.– С.61-76.

4. Жовтанецький М.І., Стащук М.Г., Паракуда В.В., Горопацький В.Г., Стащук А.М. Електродний потенціал вздовж криволінійної межі контакту електроліту з напружено-деформованим металом//Журнал фізичних досліджень.– 2001.– Т.5, №2.– С. 139–144.

5. Стащук М.Г., Малик О.М. Розподіл електричного потенціалу в тілі з еліптичним отвором при механічному навантаженні//Машинознавство.– 2006.– №4 (106).– С. 15-19.

6. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. – К.: Либідь, 1993.– 544 с.

7. Бурак Я.Й., Галапац Б.П., Гнідець Б.М. Фізико-механічні процеси в електропровідних тілах.– Київ: Наук. думка, 1978.– 232 с.

8. Измайлов Н.А. Электрохимия растворов. – М.: Химия, 1976.– 488 с.

9. Иоссель Ю.Я., Кленов Г.Э. Математические методы расчета электрохимической коррозии и защиты металлов. Справ. изд.– М.: Металлургия, 1984. – 272 с.

10. Матвеев А. Н. Электродинамика.– М.: Высш. школа, 1981.– 383 с.

11. Горопацький В.Г., Стащук М.Г. Зміна електродного потенціалу вздовж поверхні взаємодії деформованого металевого тіла з електролітом//Фіз.-хім. механіка матеріалів.– 2005.– №3.– С.41–50.

12. Малик О.М. Оцінювання роботоздатності та довговічності елементів трубопроводів, підданих дії статичних навантажень та корозійних середовищ. Автореф. дис...канд. техн. наук: 01.02.04 / Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України.– Львів, 2007.– 21 с.

13. Стащук М.Г., Горопацький В.Г., Малик О.М. Моделювання заповненої середовищем тріщиноподібної порожнини витягнутим еліпсом //Фіз.-хім. механіка матеріалів.– 2006.– №6.– С.81–85.

УДК 685.34.02

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБТІКАННЯ МАТЕРІАЛОМ КОЛОДКИ ПРИ ШНУРОВІЙ ЗАТЯЖЦІ ЗАГОТОВКИ ВЕРХУ ВЗУТТЯ

Р.В. РОСУЛ

Мукачівський технологічний інсти тут

У статті розглядається спосіб прецизійного дослідження факторів, що впливають на якість формування деталей верху взуття при шнуровій затяжці верху. Пропонується новий спосіб для розрахунку динаміки несталих течій за допомогою методу маркерів і комірок, які будуються як кінцеві різності на сітці фіксованих комірок.

В окремих галузях промисловості при розрахунку впливу технологічного зусилля на матеріал під дією інструменту, наприклад, деревини, гарячого металу,