

Моделювання корозійних процесів у системі «метал–електроліт» з урахуванням дифузійного імпедансу

Володимир Юзевич¹, Ігор Огірко², Роман Джала³

¹ д. ф.-м. н., професор, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, Львів, 79061, e-mail: yuzevych@ipm.lviv.ua

² д. ф.-м. н., професор, Українська академія друкарства, вул. Підголоско, 19, Львів, 79020, e-mail: ogirko@ukr.net

³ д. т. н., Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, Львів, 79061, e-mail: dzhala@ipm.lviv.ua

Отримано вихідні співвідношення для дослідження корозійних процесів у системі «метал–розчин електроліту», через яку проходить змінний струм, з урахуванням дифузійного імпедансу Варбурга. На межі розділу «метал–розчин електроліту» з використанням узагальнених умов спряження фізико-механічних полів отримано співвідношення для міжфазних натягу й енергії, від яких залежать умови проходження корозійних струмів, що супроводжуються переходом частинок металу в розчин електроліту.

Ключові слова: метал, електроліт, корозійні струми, дифузійний імпеданс.

Вступ. Дослідження корозійних струмів у підземних трубопроводах (ПТ) базується на вимірюваннях характеристик просторового розподілу зовнішнього електромагнітного поля. Врахування міжфазних ефектів на границі «метал–розчин ґрунтового електроліту» розкриває нові можливості визначення параметрів та оперативного контролю стану протикорозійного захисту ПТ без руйнування конструкцій, які у процесі експлуатації зазнають теплових і силових навантажень. Не втратили актуальності проблема діагностики ПТ безконтактними електромагнітними методами, пов'язаними з вимірюванням параметрів змінних струмів, і використання методів нерівноважної термодинаміки для визначення низки механічних, електричних і дифузійних параметрів, вивчення яких дозволить оптимізувати умови протикорозійного захисту трубопроводів.

Відомо, що структурні механічні напруження у міжфазному шарі на межі розділу системи «метал–розчин електроліту» відіграють важливу роль. Однак природу цих напружень недостатньо вивчено. Існують лише загальні модельні уявлення щодо механізмів виникнення відповідних напружень [1-3]. При цьому, зазвичай, приймають, що внутрішні напруження зумовлені нерівноважністю процесу конденсації, рекристалізацією та взаємодією конденсатів із залишковими газами, які проникають у міжфазну область між електродом і електролітом.

Тому результати відповідних оцінок несуть наближену інформацію лише про інтегральні потенціали та макронапруження, що встановлюються на межі середовищ. Такі післятехнологічні оцінки не дають повної інформації про кількісний

вклад кожної компоненти (як механічної, так і електричної) в інтегральне значення напружень. Відсутній також комплексний достатньо обґрунтований термодинамічний аналіз процесів формування структурних напружень, енергетичних та адгезійних зв'язків, а також потоків корозійних частинок у системі «метал–розчин електроліту» в умовах змінних струмів, які відповідають теорії сповільненого розряду.

Тому метою цієї праці було моделювання міжфазних зв'язків у системі «метал–розчин електроліту», корозійних струмів і розробка відповідної термодинамічної моделі для аналізу закономірностей їх змін за умови, що кінетика переносу заряду електрохімічної (корозійної) реакції повністю контролюється дифузією активних частинок. Такого типу дослідження допоможуть провести коректні розрахунки ефективності дії катодного захисту трубопроводів.

1. Формулювання задачі

В основу досліджень характеристик міжфазної взаємодії у системі «метал–розчин електроліту» закладено макроскопічний підхід, що приводить до співвідношень нерівноважної термодинаміки та фізики поверхні твердого тіла [1-3].

Із використанням закономірностей механічних, дифузійних та електричних процесів у поверхневих шарах запропоновано систему рівнянь і граничних умов для описування електричних (постійних, змінних) струмів і змін енергетичних та міжфазних параметрів, що характеризують термодинамічний стан системи «метал–електроліт» під час електрохімічної корозії, у лінійному наближенні залежності між густиною струму та потенціалом поверхні металу (електрода) [4].

2. Елементи методики визначення поверхневої енергії в металі

Співвідношення термодинамічної моделі поверхневого шару в області металу ($x > 0$), який контактує з водним розчином електроліту ($x < 0$), у декартових координатах x, y, z подамо у вигляді [1, 3]

$$\operatorname{div} \hat{\sigma} + \rho \omega \vec{E} = 0, \quad (1)$$

$$\Delta \phi = \rho C_{\phi} \phi / \varepsilon_0, \quad (2)$$

$$\sigma_h = \int_0^h \sigma_y dx, \quad \sigma_y = \sigma_z, \quad (3)$$

$$\sigma_y + p = 0 \quad (\text{для } x = h) \quad (p = 100 \text{ кПа} \text{ — атмосферний тиск}), \quad (4)$$

$$\gamma = \gamma_1 + \xi \gamma_2, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial k} = \frac{\partial (\gamma_1 + \xi \gamma_2)}{\partial k} = 0, \quad k = \sqrt{\frac{\rho C_{\phi}}{\varepsilon_0}}, \quad (6)$$

$$\sigma_{ij} = 2G e_{ij} + \left[\left(K - \frac{2}{3} G \right) e - \alpha_t K \theta - K (\beta \phi + \beta_c c) \right] \delta_{ij}, \quad (7)$$

$$\omega_V = \rho \omega = \rho C_{\phi} (\phi - \gamma_t \theta) + \beta K e - \rho \eta_c c. \quad (8)$$

$$\mu_c = d_c c + d_t \theta + \beta_c K \frac{e}{\rho} - \eta_c \phi, \quad (9)$$

$$\phi = -\Phi_0; \quad \phi + \psi = const; \quad \sigma_x = -\frac{\epsilon_0}{2} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right)^2 \quad \text{для } x = 0. \quad (10)$$

Тут σ_h — поверхневий натяг; γ — поверхнева енергія (ПЕ); $\gamma_1 = \int_0^h w_1 dx$ — елект-

ричний складник ПЕ; $\gamma_2 = \int_0^h w_2 dx$ — механічний складник ПЕ; $w_1 = \frac{\epsilon_0}{2} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right)^2$;

$w_2 = \frac{\sigma_x (\sigma_x - 4\nu\sigma_y)}{2E} - \frac{(1-\nu)\sigma_y^2}{E}$; w_1, w_2 — густини електричного та механічного

складників ПЕ; h — ефективна товщина поверхневого шару; σ_{ij}, e_{ij} — компоненти тензорів напружень $\hat{\sigma}$ і деформацій $\hat{e}(i, j = \overline{1,3})$; $\sigma_{11} = \sigma_x$; $\sigma_{22} = \sigma_y$; μ_c, c — хімічний потенціал і концентрація домішки; $\xi, k, \alpha_t, \beta, \beta_c, C_\varphi, \gamma_t, \eta_c, d_c, d_t$ — характеристики матеріалу; δ_{ij} — символи Кронекера; e — перший інваріант тензора деформацій; ρ — питома густина матеріалу; ω_v, ω — просторова та масова густини електричного заряду відповідно; $\varphi = \Phi - \Phi_0$ — відхилення модифікованого потенціалу Φ електричних зарядів від його рівноважного значення Φ_0 в об'ємі тіла далеко від поверхні (у праці [1] цей потенціал введено як параметр стану для локального елемента твердого деформівного тіла та названо «термодинамічний електричний»); Ψ — скалярний потенціал напруженості електричного поля; $\psi = \Psi - \Psi_0$ — відхилення потенціалу Ψ від його рівноважного значення Ψ_0 ; $\vec{E} = -\nabla\Psi$ — напруженість електричного поля; ϵ_0 — електрична постійна; $\theta = T - T_0$ — збурення температури; K, G — коефіцієнти всестороннього стиску та зсуву.

Співвідношення (1)-(6) складають систему рівнянь для визначення характеристик матеріалу $\xi, k, \alpha_t, \beta, \beta_c, C_\varphi, \gamma_t, \eta_c, d_c, d_t$ та товщини h поверхневого шару.

Використовуючи рівняння рівноваги (1), співвідношення (2), яке впливає з рівнянь Максвелла, рівняння стану (7)-(9) і граничні умови (4), (10), напруження в поверхневому шарі знаходимо, розкладаючи їх і деформації в ряди за малим параметром $b_m = \beta\Phi_0$ [1, 3]. Вирази (3), (5) подають означення міжфазних натягу σ_h та енергії γ , (6) — умову квазірівноваги міжфазного шару (стосовно перерозподілів механічних напружень і електричних зарядів).

3. Балансові співвідношення для електромагнітної енергії

Запишемо рівняння Максвелла, які виконуються в системі «метал–розчин електродоліту» [1-3]

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}, \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad \nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad \nabla \cdot \vec{E} = \rho\omega = \omega_V, \quad (11)$$

де \vec{B}, \vec{H} — вектори індукції та напруженості магнітного поля; \vec{D} — електрична індукція (електричне зміщення); $\vec{j} = \vec{I}/S_p$, \vec{I} — густина електричного струму та струм відповідно; S_p — поперечний переріз елемента конструкції (трубопроводу), по якому проходить електричний струм \vec{I} . Для однорідного середовища $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E} + \vec{P}$, $\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$, $\vec{j} = \lambda \vec{E}$, \vec{P} — вектор поляризації, λ — питома провідність середовища; $\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu$ — електрична та магнітна проникності середовищ; μ_0, ϵ_0 — електрична та магнітна постійні.

У цій моделі електромагнітне поле є зовнішнє відносно локального елемента металу чи електроліту [1-3].

Співвідношення (2) впливає з четвертого рівняння Максвелла (11), якщо у (8) знехтувати впливами $\Delta T, e, c$ на ϕ . Умови такого нехтування обґрунтовані у праці [1].

Якщо ввести скалярний Ψ та векторний \vec{A} потенціали електромагнітного поля, то $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$, $\vec{E} = -\nabla \Psi - \partial \vec{A} / \partial t$.

Векторний добуток $\vec{E} \times \vec{H}$ — густина потоку енергії. Його позначають символом \vec{S} і називають вектором Пойнтінга. Тоді рівняння балансу енергії електромагнітного поля має вигляд [1, 2]

$$\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} (\vec{E} \cdot \vec{D} + \vec{H} \cdot \vec{B}) = -\nabla \cdot (\vec{E} \times \vec{H}) - \vec{I} \cdot \vec{E} = -\text{div}(\vec{E} \times \vec{H}) - \vec{j} \cdot \vec{E}. \quad (12)$$

Останній доданок у (12) подамо у вигляді

$$\vec{j} \cdot \vec{E} = \lambda E^2 + \lambda \vec{E} \cdot \vec{E}_{\text{стор}}. \quad (13)$$

Тут перший вираз λE^2 характеризує джоулеві втрати (Вт/м^3 , потужність розігріву середовища); $\vec{E}_{\text{стор}}$ — напруженість поля сторонніх сил; $\lambda \vec{E} \cdot \vec{E}_{\text{стор}}$ — втрати, пов'язані зі сторонніми силами.

4. Елементи методики визначення поверхневої енергії в електроліті

Співвідношення для опису параметрів механічного й електричного полів у розчині електроліту аналогічні (1)-(13). Оскільки у водному розчині електроліту поблизу поверхні металу поляризація атомів може бути доволі велика, то прийmemo, що окрім механічного, поверхневій енергії належить також складник, який відповідає зв'язаним електричним зарядам.

Теорію зв'язаних електричних зарядів для об'ємних середовищ подано, зокрема, у монографії [3]. Для розчину електроліту аналогічно як для діелектрика [3] уведено: Z_e — модифікований хімічний потенціал зв'язаних електричних зарядів. Потенціал Z_e у виразі зміни внутрішньої енергії [3] « $dU = Z_e d\omega_e + \dots$ » — спряжений термодинамічний параметр до густини ω_e зв'язаних електричних зарядів. Для водного середовища поблизу поверхні металу (як для діелектрика)

запишемо: $w_{1c} = \frac{\varepsilon_0}{2} \left(\frac{\partial Z_e}{\partial x} \right)^2$ — питома енергія поля зв'язаних електричних зарядів;

$z_e = Z_e - Z_{e0}$ — зміна потенціалу Z_e (відхилення потенціалу Z_e від його рівноважного значення Z_{e0} далеко від поверхні в об'ємі тіла [3]); $b_{me} = \beta_e \cdot Z_e$ — малий параметр.

Усі величини, пов'язані з розчином електроліту, відзначатимемо індексом e . Основні співвідношення (рівняння рівноваги, стану та граничні умови) для водного розчину електроліту (як діелектрика) запишемо у вигляді [3]

$$\nabla \cdot \hat{\sigma}_e - \rho_e \omega_e \nabla Z_e = 0; \quad \Delta \phi_e = \rho_e C_{\phi e} z_e / \varepsilon_0, \quad (14)$$

$$\sigma_{eij} = \left[\left(K_e - \frac{2}{3} G_e \right) e_e - \alpha_{et} K_e \Delta T_e - K_e (\beta_e z_e + \beta_{ee} c) \right] \delta_{ij} + 2G_e e_{ij}, \quad (15)$$

$$\omega_{ve} = \rho_e \omega_e = \rho_e C_{\phi e} (z_e - \gamma_{te} \Delta T) + \beta_e K_e e_e - \rho_e \eta_{ce} c, \quad (16)$$

$$\mu_{ce} = d_{ce} c + d_{te} \Delta T + \beta_{ce} K_e \frac{e}{\rho_e} - \eta_{ce} z_e, \quad \Delta T = T - T_0, \quad (17)$$

$$z_e = -Z_{e0}; \quad z_e + \psi = const; \quad \sigma_x = -\frac{\varepsilon_0}{2} \left[\left(\frac{\partial Z_e}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x} \right)^2 \right] \quad \text{для } x = 0, \quad (18)$$

де $\xi_e, k_e, \alpha_{te}, \beta_e, \beta_{ce}, C_{\phi e}, \gamma_{te}, \eta_{ce}, d_{ce}, d_{te}$ — характеристики розчину електроліту; вирази для поверхневого натягу σ_{he} та поверхневої енергії $\gamma_e = \gamma_{e1} + \xi_e \gamma_{e2}$, аналогічні, як у (3)-(6); $i, j = \overline{1,3}$.

Обґрунтування методики оцінювання поверхневої енергії та її змін під час навантаження для металу ґрунтується на співвідношеннях методу атомних взаємодій [3] з урахуванням радіально-симетричного потенціалу центральних сил $u_{\alpha\beta}$ за Борном-Майєром [3]

$$u_{\alpha\beta} = \frac{q^2}{R_{\alpha\beta}} - \frac{c_{\alpha\beta}}{R_{\alpha\beta}^6} - \frac{d_{\alpha\beta}}{R_{\alpha\beta}^8} + b_{\alpha\beta} \exp\left(-\frac{R_{\alpha\beta}}{\rho_q}\right). \quad (19)$$

Тут q — електричний заряд частинок; $R_{\alpha\beta}$ — відстань між частинками « α » і « β »; $c_{\alpha\beta}, d_{\alpha\beta}, b_{\alpha\beta}$ — постійні; ρ_q — параметр «жорсткості».

5. Визначення міжфазних енергій та натягу

Міжфазні енергію γ_m і натяг σ_m на границі «метал–розчин електроліту» визначимо аналогічно, як у праці [3]

$$\gamma_m = \gamma_4 + \xi_m \gamma_5; \quad \gamma_4 = \int_{-H_1}^{H_2} w_1 dx; \quad \gamma_5 = \int_{-H_1}^{H_2} w_2 dx; \quad \sigma_m = \int_{-H_1}^{H_2} \sigma_y dx, \quad \sigma_y = \sigma_z. \quad (20)$$

Тут ξ_m — характеристика матеріалу міжфазного шару на границі «метал–розчин електроліту»; $H_1 + H_2$ — ефективна товщина міжфазного шару ($-H_1 < x < H_2$).

Для визначення фізичних величин у (20) та їх змін у процесі корозії використовуємо (1)-(19).

Умову рівноваги перехідного шару (тобто енергетичної характеристики γ_m) і наближені співвідношення на уявних границях, що обмежують область міжфазного шару (для $x = H$ та $x = -H$) запишемо так [3]

$$\frac{\partial \gamma_m}{\partial k} = \frac{\partial (\gamma_4 + \xi_m \gamma_5)}{\partial k}; \quad \sigma_y^+ + p = 0 \quad (x = +H_1); \quad \sigma_y^- + p = 0 \quad (x = -H_2). \quad (21)$$

Тут індекс (+) відповідає параметрам електрода (сталі), а (-) — параметрам водного середовища (розчину електроліту); $p = 100$ МПа — гідростатичний тиск.

Якщо значення міжфазної енергії γ_m відоме, то з допомогою співвідношень (20), (21) можна визначити фізичну характеристику ξ_m і ефективну товщину $H_1 + H_2$ міжфазного шару.

6. Граничні співвідношення

Запишемо граничні умови для межі розділу середовищ (для $x = 0$), які частково подані у [2, 3]

$$\begin{aligned} \Phi_+ &= -\Phi_0; & z_- &= -Z_e; & J_x^+ &= J_{xe}^-; & \sigma_y^+ &= \sigma_y^-; & \sigma_x^+ &= \sigma_x^-; & \bar{u}^+ &= \bar{u}^-; \\ q_{cx}^+ &= q_{cx}^-, & \tilde{\mu}_c^+ &= \tilde{\mu}_{ce}^-; & \tilde{\mu}_c^+ &= \mu_c^+ + \zeta^+ q_0 \Psi^+; & \tilde{\mu}_c^- &= \mu_c^- + \zeta^- q_0 \Psi^-; \\ E_\tau^+ &= E_\tau^-; & D_x^+ - D_x^- &= \Omega + \Omega_p; & \Omega_p &= P_x^+ - P_x^-; & B_x^+ &= B_x^-; & H_\tau^+ - H_\tau^- &= 0, \end{aligned} \quad (22)$$

де $\sigma_x^\pm, \sigma_y^\pm = \sigma_z^\pm$ — нормальні та дотичні напруження відповідно; \bar{u}^\pm — переміщення; q_{cx}^\pm — потоки по нормалі (вздовж осі x) частинок, які задіяні у корозійних процесах; $\tilde{\mu}_c^\pm$ — електрохімічні потенціали; $q_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — елементарний заряд; $\zeta^\pm = q_c^\pm / q_0$ — заряди частинок, які беруть участь у корозійних процесах (безрозмірні відносні величини); E_τ^\pm, H_τ^\pm — дотичні складники напруженостей електричного та магнітного полів; $D_x^\pm, B_x^\pm, P_x^\pm$ — складники векторів індукції електричного та магнітного полів і поляризації, які спрямовані по нормалі до межі розділу середовищ ($x = 0$); Ω — густина поверхневих зарядів (вільних); Ω_p — поверхнева густина зарядів, надлишкових відносно зв'язаних зарядів самої речовини.

Як видно з умов на границі (22), задачі визначення розподілу вільних електричних зарядів (у металі), а також зв'язаних (у розчині електроліту) — граничні, а задача визначення механічних напружень — контактна. Таким чином, співвідношення (1)-(22) — основа контактної-граничної задачі.

7. Дифузійний імпеданс Варбурга в умовах змінного струму

Розглянемо проходження корозійного струму в системі «електроліт–метал (електрод)» із погляду теорії сповільненого розряду [4]. Опираючись на результати

експериментів [4], прийемо таку нелінійну залежність між густиною струму j_e та потенціалом $\Delta\psi$ електрода

$$j_e = j_0 \left\{ \exp \left[(1 - \alpha) \frac{nF}{RT} \Delta\psi \right] - \exp \left[-\alpha \frac{nF}{RT} \Delta\psi \right] \right\}. \quad (23)$$

Тут j_0 — струм обміну електрохімічної реакції; α — коефіцієнт переносу ($0 \leq \alpha \leq 1$); $\Delta\psi = \psi - \psi_*$ — поляризація електрода (відхилення потенціалу від рівноважного значення ψ_*); n — кількість електронів, задіяних в елементарному акті електрохімічної реакції; F — постійна Фарадея; R — універсальна газова постійна.

Поляризація електрода (металу) пов'язана з корозійними струмами співвідношеннями [5]

$$\Delta\psi = b_k \lg \frac{j_k}{j_{cor}}, \quad \Delta\psi = b_a \lg \frac{j_{cor}}{j_a}, \quad \Delta\psi_* = \frac{2,303RT}{F} \lg \frac{100}{100 - P}, \quad (24)$$

$$\zeta = \frac{j_{cor}}{j_a}, \quad P = \frac{j_{cor} - j_a}{j_{cor}}, \quad \eta = \frac{j_{pol}}{j_{cor}}, \quad \psi_k = a_k - b_k \lg j_k, \quad (25)$$

де j_{cor} — струм корозії; j_{pol} — струм поляризації; j_a — струм анодний; j_k — струм катодний; P — ступінь захисту; ζ — коефіцієнт гальмування корозії; ψ_* — рівноважне значення потенціалу; a_k — константа, що включає величину рівноважного потенціалу даної реакції; $\psi_k = a_k - b_k \lg j_k$ — формула Тафеля; b_k — константа, що визначає кут нахилу кривої катодної поляризації, побудованої в напівлогарифмічних координатах. У співвідношеннях (24), (25) величини j_k, j_{cor}, j — густини струмів по нормалі до поверхні.

За умови, що кінетика переносу заряду на границі між металом і електролітом контролюється дифузією активних частинок, у лінійному наближенні залежності (23) між густиною струму j_e та потенціалом $\Delta\psi$ електрода вводять дифузійний імпеданс Варбурга [3]

$$\begin{aligned} \Delta\psi &= \frac{RT}{nF} \ln \frac{c_s}{c_0}; & c_s &= c_0 + \Delta c_s; & \Delta c_s &= c_0 \frac{nF}{RT} \Delta\psi; \\ q_c &= -D \left(\frac{\partial \Delta c}{\partial z} \right) \Big|_{z=0}; & q_c &= \frac{j_e}{nF}; & \Delta\psi &= \Delta\bar{\psi} \exp(j\omega t); \\ j\omega \Delta\bar{c} &= D \frac{\partial^2 \Delta\bar{c}}{\partial z^2}; & \bar{q}_c &= -D \left(\frac{\partial \Delta\bar{c}}{\partial z} \right) \Big|_{z=0}; & \bar{q}_c &= \frac{\bar{j}_e}{nF}; \\ \Delta\bar{\psi} &= \frac{RT}{nFc_0 \sqrt{i\omega D}} \bar{q}_c; & Z_W &= \frac{\Delta\bar{\psi}}{\bar{j}_e} = \frac{RT}{(nF)^2 c_0 \sqrt{i\omega D}}. \end{aligned} \quad (26)$$

Тут q_c — потік дифузійної речовини на границі ($z=0$); i — уявна одиниця; c_s — концентрація електрохімічно активної (дифузійної) речовини поблизу поверхні

електрода; c_0 — рівноважне значення концентрації електрохімічно активної речовини поблизу поверхні електрода; D — коефіцієнт дифузії; Z_W — дифузійний імпеданс Варбурга; ω — частота гармонічних коливань; \bar{j}_e — комплексна амплітуда густини дифузійного струму в електроліті; $q_c = j_e / (nF)$ — закон Фарадея (це співвідношення можна вважати граничним відносно виразу $j\omega\Delta\bar{c} = D\partial^2\Delta\bar{c}/\partial z^2$, який є рівнянням дифузії корозійно активних частинок). Риска зверху над параметром стану означає, що амплітуда цієї величини комплексна.

Висновки. Подано співвідношення між параметрами фізико-механічних полів для вивчення корозійних процесів у системі «метал–розчин електроліту» з урахуванням міжфазних натягу й енергії в околі межі розділу середовищ за умов накладання змінної електричної напруги. При цьому прийнято, що електрохімічна реакція у поверхневому шарі контролюється дифузією активних частинок, яка описується дифузійним імпедансом Варбурга.

На основі записаних вище рівнянь можна досліджувати залежності електричних струмів і ступеня електрохімічного захисту металу від корозії в умовах катодної чи анодної поляризації поверхні механічно навантажених металевих конструкцій з урахуванням параметрів стану.

Література

- [1] Бурак, Я. Й. Фізико-механічні процеси в електропровідних тілах / Я. Й. Бурак, Б. П. Галапац, Б. М. Гнідець. — Київ: Наук. думка, 1978. — 272 с.
- [2] Lucowski, J. The electrode potential in modelling of transport processes in aqueous electrolytes // J. Lucowski, E. Chaplia // Фіз.-мат. моделювання та інформаційні технології. — 2007. — № 6. — С. 7-18.
- [3] Сопрунюк, П. М. Діагностика матеріалів і середовищ. Енергетичні характеристики поверхневих шарів / П. М. Сопрунюк, В. М. Юзевич. — Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2005. — 292 с.
- [4] Графов Б. М. Электрохимические цепи переменного тока / Б. М. Графов, Е. А. Укше. — Москва: Наука, 1973. — 128 с.
- [5] Визначення параметрів корозійного стану ділянки підземного трубопроводу / Р. Джала, Л. Дикмарова, С. Савула та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2006. — Спецвипуск № 5, Т. 1. — С. 305-309.

Modelling of corrosive processes in the system metal–electrolyte solution» taking into account the diffusive impedance

Volodymyr Yuzevych, Igor Ohgirko, Roman Dzhala

Initial relations for investigation of corrosion processes in the «metal-electrolyte solution» system through which an alternating current is passing, taking into account the diffusive Warburg impedance, are obtained. The relations for interface tension and interface energy at the interface «metal-electrolyte solution» are obtained using the generalized conditions of conjugation of physical and mechanical fields. The conditions of corrosive currents passing, which are accompanied by the transition of metal particles to electrolyte solution depend on the interface tension and interface energy.

Моделирование коррозионных процессов в системе «металл–электролит» с учетом диффузионного импеданса

Владимир Юзевич, Игорь Огирко, Роман Джала

Получены исходные соотношения для исследования коррозионных процессов в системе «металл–раствор электролита», через которую проходит переменный ток, с учетом диффузионного импеданса Варбурга. На границе раздела «металл–раствор электролита» с использованием обобщенных условий сопряжения физико-механических полей получены соотношения для межфазного натяжения и межфазной энергии, от которых зависят условия прохождения коррозионных токов, которые сопровождаются переходом частиц металла в раствор электролита.

Отримано 08.12.10