

УДК 521.592

DOI: 10.18372/0370-2197.3(108).20444

О. М. ВУДВУД

*Національний університет «Одеська політехніка», Україна***КОРОЗІЙНІ ПРОЦЕСИ В ПАРАХ ТЕРТЯ ГАЛЬМ**

У матеріалах статті розглянуто теоретичні дослідження корозійних процесів у спряжених пар тертя гальм, що застосовуються в підйомно-транспортній техніці у замкненому та розімкненому стані. Електрохімічна корозія - гетерогенний і багатостадійний процес, спричинений термодинамічною нестійкістю робочих поверхонь пар тертя в даному корозійному середовищі. Основними розрахунковими параметрами корозійних процесів у спряженнях пар тертя гальмових пристроїв є: локальна зона дії; максимально допустима швидкість; допустима глибина впливу; зношування плям контактів мікровиступів за одиницю часу; втрати маси мікровиступів. Встановлено, що джерелом контактної корозії є: енергетичні рівні матеріалів (трибоефект), повітря і вода, утворення електроліту на робочій поверхні накладки під час деструкції її матеріалів. Пара тертя "метал - полімер" є катодом (-) і анодом (+). Процес електрохімічної корозії являє собою сукупність двох пов'язаних протікаючих реакцій: анодної (окиснення) і катодної (відновлення). Представлено принципову схему електрохімічного руйнування робочої поверхні накладки. Електрохімічна корозія на неоднорідній (гетерогенній) поверхні накладки - аналогічна роботі коротко-замкнутого гальванічного елемента. Виділено такі особливості електрохімічного способу корозії, уявляємо його як два одночасно протікаючі, але значною мірою незалежні електродні процеси: анодний (іонізація накладки) і катодний. Кінетика анодного та катодного процесів, а відтак і швидкість корозії залежать від величини електродного потенціалу металу; електродні процеси локалізуються на різних зонах робочої поверхні накладки, де їх протікання полегшене; встановити матеріальні втрати можливо переважно на анодних зонах поверхні накладки.

Ключові слова: гальмовий пристрій, пара тертя, "метал - полімер", корозія, типи контактів, електричний струм.

Вступ. Боротьба з корозією матеріалів пар тертя гальмових пристроїв є однією з найважливіших проблем підйомно-транспортної техніки. Вплив корозії залежить від середовища, в якому перебувають локальні зони плям контактів мікровиступів пар тертя в замкненому та розімкненому стані. Корозійний процес за електротермомеханічного тертя має електрохімічний характер. Останній уявляємо як два незалежних анодних (на накладці) і катодних (на металі) електродних процеси, які протікають одночасно, в різних зонах фрикційної взаємодії.

Аналіз літературних джерел і стан проблеми. У роботі [1] розглянуто корозійні струми на катодних і анодних ділянках циліндричної оболонки, яка перебуває під дією механічних напружень, спричинених деформаціями стиску і розтягу. Інтенсивність зовнішнього навантаження становила 120 МПа, що дало змогу визначити зміщення електродного потенціалу і зміну механічних

напружень. В якості корозійного середовища було обрано різну кількість солі NaCl з неоднаковим вмістом іонів.

Більшість дослідників корозійних процесів у парі "метал-метал" з неоднаковим потенціалом застосовують методи розрахунку закономірностей розподілу корозійного потенціалу та електричного струму: зображень, Гріна, поділу змінних, інтегральних перетворень, характеристичних поверхонь, малих параметрів, суперпозиції, вирівнювання поляризуємостей, еквівалентних параметрів, "зшивання", розподілу під тонкою плівкою середовища тощо [2]. У роботі зазначено, що останнім часом замість терміна "поляризація" стали користуватися терміном "перенапруження" з відповідними позначеннями η_k і η_a . Так концентраційну поляризацію називають перенапруженням дифузії, електрохімічну - перенапруженням переходу, а хімічну поляризацію - перенапруженням реакції. Перелічені види перенапруження можуть виникнути в певних умовах, і в теорії електрохімічної корозії вони є найважливішими. Такий підхід до назв є неправильним, оскільки поляризація та напруження є різними поняттями і мають неоднаковий фізичний зміст.

У роботах [3-6] запропоновано метод взаємодії складових генерованих електричних струмів у металополімерних парах тертя, який базується на розрахунково-експериментальних даних. На кожному з етапів визначалися такі сумарні електричні струми: термічний, за рахунок тертя ковзання та контакту мікровиступів пар тертя, утвореного рухом заряджених продуктів зносу пари; за масопереносу, спричиненого сорбційно-десорбційними процесами в поверхневих шарах накладки за температур, вищих за допустиму для її матеріалів. Однак дослідники не звернули увагу на сумарні корозійні струми.

Параметри корозійних процесів у парах тертя гальм. Корозія - це процес фізико-хімічного руйнування металевого спряженого елемента (катода) і робочої поверхні фрикційної накладки (анод) гальмового пристрою під впливом зовнішнього середовища (вологого повітря, води). За характером процесу хімічної корозії в першому випадку процес окиснення металу відбувається за безпосереднього впливу середовища, що дотикається до нього, без появи електричного струму, а в другому випадку корозія протікає в електролітах і супроводжується появою електричного струму. Залежно від характеру агресивного середовища електрохімічна корозія може бути атмосферною, структурною (внаслідок неоднорідності металу за структурою), лужною, кислотною, контактною (під час контакту двох різнорідних металів), корозією, викликану блукаючими струмами. Стійкість проти корозії залежить від хімічного складу, структури, стану площ плям контактів (омічного, нейтрального, блокуючого) мікровиступів пар тертя, еквівалентного напруженого стану пари "метал - полімер", а також хімічного складу, концентрації, температури і швидкості переміщення агресивного середовища по плямах поверхні локальних мікровиступів.

Електрохімічна корозія - гетерогенний і багатостадійний процес, що викликаний термодинамічною нестійкістю робочих поверхонь пар тертя в даному корозійному середовищі.

Основними параметрами корозійних процесів у спряженнях пар тертя гальмових пристроїв є: зона корозійної дії; максимально допустима швидкість; допустима глибина впливу; зношування плям контактів мікровиступів за одиницю часу; втрати маси мікровиступів унаслідок корозії.

У табл. 1 наведено розрахункові залежності для оцінки локальної корозії мікровиступів пар тертя гальм.

Зазначені вище параметри δ' , V і M' є взаємопов'язаними, тому знайшовши одну з них, можна визначити дві інші величини, а також площу зони дії S . Під час розрахунків електрохімічної корозії зазвичай визначається величина швидкості V , а величини M' і δ' є заданими.

Таблиця 1

Залежності для розрахунку корозії

№ п/п	Основні показники	Площі *
1.	Зона дії (S)	Плями контактів мікровиступів
2.	Допустима максимальна швидкість (V)	$V = \partial \delta' (S, t) / \partial t$ (1)
3.	Максимальна глибина впливу (δ')	$\delta' = St$ (2)
4.	Маса матеріалів, що взаємодіють із середовищем (P_m)	$P_m = M'(S, t)/t$ (3)
5.	Втрати маси мікровиступів унаслідок корозії за Г. Г. Удінгом (u')	$u' = (K_0 N^{0,5} - K_1 N) \frac{n}{f_0} + K_1 l_1 n N$ (4)

* Умовні позначення: t - час перебування матеріалів у корозійному середовищі; x - координати точки на плямі контакту мікровиступів; K_0 , K_1 , K_2 - константи; N - імпульсне нормальне зусилля; n - кількість циклів тертя; l_1 - частота коливань мікровиступів під час зміщення; f_0 - динамічний коефіцієнт тертя.

Контактна корозія в парах тертя. Контактна корозія є результатом з'єднання елементів пар тертя з різним електродним потенціалом у цьому середовищі. Елемент з більш благородним (позитивним) стає анодом, а з менш благородним - катодом. Різниця потенціалів, що виникає в парі, майже завжди призводить до посилення корозії на аноді та зменшення її на катоді.

Джерелами контактної корозії є механічні з'єднання різномірних металів, що знаходяться в острівцях електроліту на робочій поверхні накладки після деструкції її матеріалів.

Електродний потенціал металів, а отже, і різниця потенціалів, що виникає в парі, залежить від природи електроліту. Тому ці величини в принципі мають у кожному випадку визначитися експериментально.

Найкраще піддається прогнозуванню контактна корозія в атмосферних умовах і воді, у випадках, що мають дуже важливе практичне значення.

Розглянемо два ряди матеріалів, розташованих у порядку зростання електродного потенціалу в атмосферних умовах і воді за даними роботи [2]: *атмосферні умови*: 1) магній, 2) алюміній, цинк, кадмій; 3) залізо, вуглецеві сталі, свинець, олово; 4) нікель, хром, корозійні сталі (в пасивному стані) типу Х17 і 18-8; 5) сплави Cu-Ni, сплави Cu-Zn, мідь, срібло, золото.

Кожен наступний матеріал, з'єднаний із попереднім, посилює його корозію. Посилення корозії відбувається тим більшою мірою, чим далі розташовані матеріали один від одного.

Ряд, що відповідає корозії в атмосферних умовах, розділений на п'ять груп. Це означає, що контактна корозія в межах кожної групи невелика.

Як впливає з наведених даних, корозійні сталі в пасивному стані відносяться до матеріалів з більш позитивним електродним потенціалом по відношенню до багатьох інших металів, за виключенням благородних металів, а також міді та її сплавів для дослідження в атмосферних умовах. У контакті з матеріалами, що мають нижчий електродний потенціал, корозійностійкі сталі відіграватимуть роль катода і сприятимуть їхній корозії. Особливістю контактної корозії в атмосферних умовах є велика глибина корозійного ураження безпосередньо в місці контакту за відносно невеликих загальних матеріальних втрат. Це пов'язано зі специфікою розподілу густини струму поверхню сухого гальванічного елемента металів, що контактують (рис. 1).

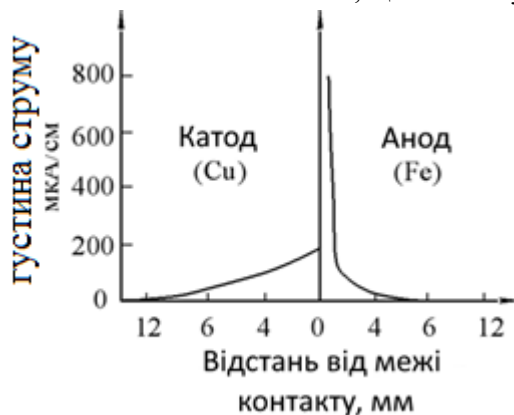


Рис. 1 - Розподіл густини струму на поверхні контактного елемента мідь-залізо: товщина електроліту 0,1 мм (І. Л. Розенфельд)

За атмосферної корозії, коли йдеться про досить тонкі шари електроліту, на поверхні, що зазнала корозії, електроопір різко збільшується з віддаленням від місця локального контакту, що призводить до відповідного падіння густини струму. При цьому густина струму в місці контакту на стороні анода в кілька разів більша, ніж на катоді. Зазвичай контакти в даному випадку впливають на відстані від лінії їхнього розташування, що досягає кілька міліметрів. На більшій відстані корозія обох частин гальванічної пари протікає незалежно на

інших локальних контактах. Подібний характер контактної корозії призводить до того, що на локальні матеріальні втрати не впливають площі катодних і анодних ділянок; за інших рівних умов вони визначаються зонами контактів.

Для контактної корозії в об'ємі електролітів з хорошою електропровідністю (наприклад, дощова вода), особливо під час її потрапляння на катод, густина струму розподіляється досить рівномірно, що може призвести до досить великих втрат від загальної корозії, а в деяких випадках до виникнення ефекту пітінга. Питомі корозійні втрати на анодній ділянці гальванічної пари, як правило, тим вищі, чим більше відношення локальної площі плям контакту катода до анода.

Зазвичай методи боротьби з контактною корозією включають створення конструкцій, що виключають безпосередньо з'єднання різнорідних металів, наявних у парах тертя під час електротермомеханічної фрикційної взаємодії. У зв'язку з цим необхідно змінювати рецептуру складу компонентів, що істотно знизить трибоекфekt. Останній складається з постійної та змінної складових. Постійна складова - кількість зарядів електрики, що накопичується поверхневими шарами пар тертя під час їхньої фрикційної взаємодії. Змінна складова - локальні зарядно-розрядні імпульси, що утворюються за допомогою омичних плям контактів різних металів, що містяться в парах тертя. Цей ефект викликає температуру спалаху, створюючи локальні зони перегріву елементів тертя, підвищуючи їхню енергонавантаженість.

Термодинаміка електрохімічної корозії. Процес електрохімічної корозії являє собою сукупність двох реакцій, що спряжено протікають: анодної (окиснення) $Me \rightarrow Me^{n+} + n\bar{e}$ і катодної (відновлення) $Me \rightarrow Me^{n+} + n\bar{e}$, де Ox - деполаризатор (окиснювач), що приєднує n електронів, які звільняються внаслідок анодної реакції (іонізації металу), Red - відновлена форма окиснювача.

Термодинамічну можливість протікання електрохімічної корозії визначають за зміною вільної енергії Гіббса:

$$\Delta G = -nFE, \quad (5)$$

де F - число Фарадея; E - різниця потенціалів, що характеризують катодну й анодну реакції:

$$E = \varphi_k - \varphi_a. \quad (6)$$

Відповідно до рівняння Нернста:

$$\varphi_k = \varphi_{Ox/Red}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{Ox}}{a_{Red}}, \quad (7)$$

$$\varphi_a = \varphi_{Me^{n+}/Me}^0 + \frac{RT}{nF} \ln a_{Me^{n+}}, \quad (8)$$

де φ_0 - стандартні потенціали; R - універсальна газова стала; T - абсолютна поверхнева температура; a - активність відповідних іонів.

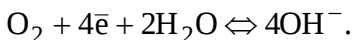
Величини стандартних електродних потенціалів $\varphi_{Me^{n+}/Me}^0$ різних металевих фрикційних елементів дають змогу приблизно судити про термодинамічну нестабільність металів, чим електронегативніший потенціал металу, тим активніший він. Водночас ці величини не є, природно, показником реальної стійкості металів. Наприклад, потенціал алюмінію більш ніж на 1,0 В негативніше потенціалу заліза ($\varphi_{Al^{3+}/Al} = -1,66\text{В}$, $\varphi_{Fe^{2+}/Fe} = -0,44\text{В}$). Проте вироби з алюмінієвих сплавів стійкі у звичайній атмосфері та в нейтральних середовищах, тоді як швидкість корозії заліза в цих умовах значна. Це пояснюється тим, що корозія алюмінію гальмується утворенням на його поверхні оксидної плівки.

Реакція катодної деполаризації протікає під час взаємодії електронів, що звільняються, з іонами (водню, металу, аніонами кислот), з нейтральними молекулами (киснем, пероксидом водню, галогенами), нерозчинними оксидами і гідроксидами, з органічними сполуками.

У водних розчинах окислювачами (деполаризаторами), як правило, є іони водню і молекули кисню. Тому основні катодні реакції такі: відновлення (розряд) іонів водню (воднева деполаризація)



і відновлення (іонізація) молекул кисню (киснева деполаризація)

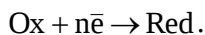


Виходячи з рівняння (8), вираз для розрахунку рівноважного потенціалу реакції водневої деполаризації має вигляд

$$\varphi_{H^+/H_2} = \varphi_{H^+/H_2}^0 + 2,3(RT/nF) \lg a_{H^+} / P_{H_2}^{1/2},$$

де $\varphi_{H^+/H_2}^0 = 0,0\text{ В}$, $n=1$, і роль другого сполученого відновного процесу

полягає в їхній асиміляції відповідним окислювачем Ox з утворенням стійкої сполуки Red:



Іонізація накладки (анодна реакція) і процес відновлення окисного компонента корозійного середовища (катодна реакція) - це електрохімічні процеси. Отже, трактування процесів корозії накладки в електролітично провідному корозійному середовищі можливе лише на базі електрохімічної кінетики.

На відміну від хімічної реакції електрохімічні процеси контролюються не тільки концентрацією реагуючих речовин, температурними та іншими параметрами, а й головним чином залежать від потенціалу корозійного середовища в накладці. Це рівною мірою стосується анодного, і катодного процесів.

На рис. 2 наведено принципову схему електрохімічного руйнування робочої поверхні накладки. На анодних ділянках (+) атоми втрачають $n\bar{e}$ і в розчин переходять утворені іони Me^{n+} , а вивільнені електрони переміщуються від анодних ділянок до катодних (-). З розчину до катодних ділянок підходять молекули окислювача (деполяризатора) Ox і приєднують $n\bar{e}$, утворюється відновлена форма окислювача - Red .

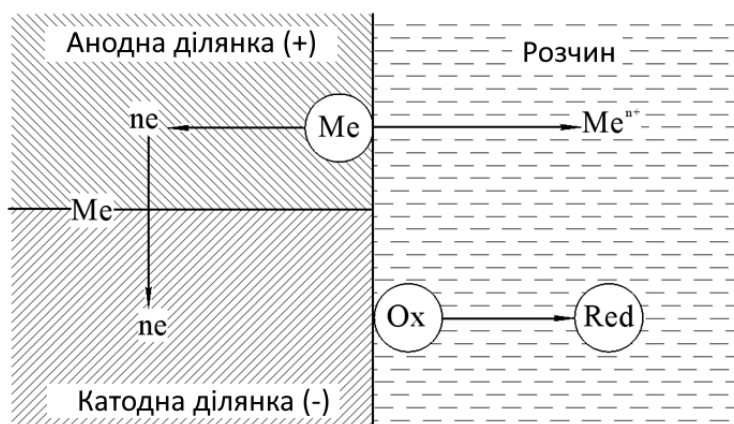


Рис. 2 - Схема електрохімічного корозійного процесу

Таким чином, електрохімічна корозія на неоднорідній (гетерогенній поверхні) накладки аналогічна роботі коротко-замкнутого гальванічного елемента.

Підсумовуючи вищесказане, виділимо такі особливості електрохімічного способу корозії металів:

- електрохімічний процес корозії можна уявити як два одночасно протікаючі, але значною мірою незалежні електродні процеси: анодний (іонізація накладки) і катодний (асиміляція надлишкових електронів окислювачем);
- кінетика анодного і катодного процесів, а отже, і швидкість корозії залежить від величини електродного потенціалу металу;
- електродні процеси локалізуються на різних ділянках робочої поверхні накладки, де їх протікання полегшено;
- встановити матеріальні втрати процесу можливо переважно на анодних ділянках.

Коли $P_{H_2} = 1,0$ атм, і з урахуванням того, що $-\lg a_{H^+} = pH$, для температури $25^\circ C$ отримуємо:

$$\varphi_{H^+/H_2}^0 = -0,059 pH. \quad (9)$$

При зміні pH на одиницю потенціал водневого електрода змінюється на 59,0 мВ. Потенціал кисневого електрода позитивніший за водневий на 1,23 В:

$$\varphi_{O_2/OH^-}^0 = 1,23 - 0,059 \text{pH}. \quad (10)$$

У кислотному середовищі ($\text{pH} < 7$), якщо $\text{pH} = 0$, то $\varphi_{H^+/H_2}^0 = 0,0 \text{ В}$,
 $\varphi_{OH^-/O_2}^0 = 1,23 \text{ В}$.

У нейтральному середовищі ($\text{pH} = 7$), $\varphi_{H^+/H_2}^0 = -0,415 \text{ В}$,
 $\varphi_{OH^-/O_2}^0 = 0,815 \text{ В}$.

У лужному середовищі ($\text{pH} > 7$), якщо $\text{pH} = 14$, то $\varphi_{H^+/H_2}^0 = -0,83 \text{ В}$,
 $\varphi_{OH^-/O_2}^0 = 0,40 \text{ В}$.

Таким чином, враховуючи анодну і катодну реакції, користуючись рівняннями (9) і (10), можна визначити можливість протікання процесу корозії.

Корозія можлива, якщо $\Delta G < 0$, тобто якщо $\varphi_k > \varphi(a)$. Корозія неможлива, якщо $\varphi_k < \varphi(a)$. На рис. 3 наведено лінії рівноважного потенціалу водневого (лінія 1) і кисневого (лінія 2) електродів, розраховані за рівняннями (5) і (6), і позначено значення стандартних потенціалів деяких металів.

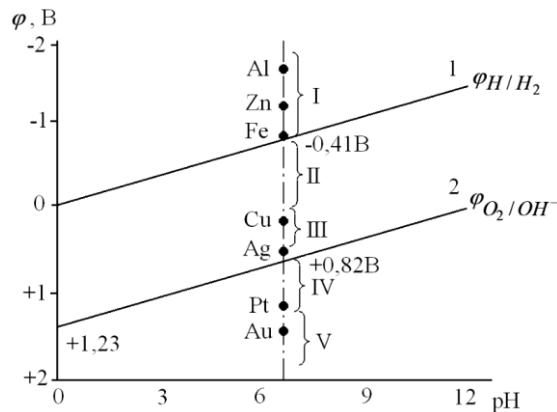


Рис. 3 - Залежність потенціалів водневого і кисневого електродів від pH середовища

Метали, потенціали яких розташовані вище за лінію 1, можуть кородувати під дією окиснювачів H^+ (H_2O_4) та розчиненого O_2 , тому що $\varphi_{Me} < \varphi_{O_2/OH^-}$.

Якщо потенціал металу перебуває між лініями 1 і 2, то метал може кородувати лише з кисневою деполаризацією ($\varphi_{Me} < \varphi_{O_2/OH^-}$). Метали,

потенціали яких нижчі за лінію 2, кородувати не повинні. Вони будуть кородувати тільки в тому разі, якщо в розчині буде перебувати сильніший окислювач, ніж H^+ і O_2 , потенціал відновлення якого буде позитивнішим за потенціали цих металів.

Таким чином, співставляючи рівноважні потенціали металів передбачуваного окислювача, можна зробити висновок про ймовірність протікання корозійного процесу.

Висновки. Теоретичні дослідження корозійних процесів у спряженнях пар тертя гальм у замкненому й розімкнутому стані, що застосовуються в підйомно-транспортній техніці, показали таке.

Електрохімічна корозія - гетерогенний і багатостадійний процес, який спричинений термодинамічною нестійкістю робочих поверхонь пар тертя в даному корозійному середовищі.

Основними розрахунковими параметрами корозійних процесів у спряженнях пар тертя гальмових пристроїв є: локальна зона дії; максимально допустима швидкість; допустима глибина впливу; зношування плям контактів мікрровиступів за одиницю часу; втрати маси мікрровиступів. Встановлено, що джерелом контактної корозії є: енергетичні рівні матеріалів (трибоекфет), повітря і вода, утворення електроліту на робочій поверхні накладки під час деструкції її матеріалів. Пара тертя "метал - полімер" є катодом (-) і анодом (+).

Процес електрохімічної корозії являє собою сукупність двох пов'язаних реакцій, що протікають: анодної (окиснення) $Me \rightarrow Me^{n+} + n\bar{e}$ і катодної (відновлення) $Ox + n\bar{e} \rightarrow Red$, де Ox - деполяризатор (окислювач), що приєднує n електронів, які вивільняються внаслідок анодної реакції (іонізації металу), Red - відновлена форма окислювача. Представлено принципову схему електрохімічного руйнування робочої поверхні накладки. На анодних ділянках (+) атоми втрачають $n\bar{e}$ і в розчин переходять утворені іони Me^{n+} , а вивільнені електрони переміщуються від анодних ділянок до катодних (-). З розчину до катодних ділянок підходять молекули окислювача (деполяризатора) Ox і приєднують $n\bar{e}$, утворюється відновлена форма окислювача - Red . Виходить, що електрохімічна корозія на неоднорідній (гетерогенній) поверхні накладки - аналогічна роботі коротко-замкнутого гальванічного елемента. Виділимо такі особливості електрохімічного способу корозії: електрохімічний процес корозії можна уявити як два одночасно протікаючі, але значною мірою незалежні електродні процеси: анодний (іонізація накладки) і катодний. Кінетика анодного і катодного процесів, а отже і швидкість корозії залежить від величини електродного потенціалу металу; електродні процеси локалізуються на різних зонах робочої поверхні накладки, де їхнє протікання полегшено; встановити матеріальні втрати можливо переважно на анодних зонах поверхні накладки.

Список літератури

1. Стащук М. Г. Корозійні струми на катодних та анодних ділянках кругового концентратора напружень / М. Г. Стащук // Фізико-хімічна механіка матеріалів. №3, 2013. – С. 96 – 101.

-
2. Perez, N. Electrochemical Corrosion. In: Materials Science: Theory and Engineering. Springer, Cham. 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57152-7_16.
 3. Кіндрачук, М. В.; Вольченко, Д. О.; Скрипник, В. С.; Присяжний, А. В.; Ніщук, В. В. Фізичні процеси при надпровідності у парах тертя гальм // Проблеми тертя та зношування. № 2(99), 2023. – С. 14-24.
 4. Криштопа С. І. Контактно-імпульсна фрикційна взаємодія / С. І. Криштопа //ІФНТУНГ, 2015. – 252 с.
 5. Коррозия в парах трения тормозов / А. Х. Джанахмедов, К. Т. Набизаде, Д. А. В [и др.] / Баку: APOSTROFF-A, 2024. – 351 с.
 6. Chen, D., Zhou, W., Ji, Y., & Dong, C. Applications of density functional theory to corrosion and corrosion prevention of metals: A review. Materials Genome Engineering Advances, 3(1), e83. 2025.
 7. Complex Heat Exchange in Friction Steam of Brakes / Ivan Kernytsky, Aleksandr Volchenko, Olga Szlachetka, Orest Horbay, Vasyl Skrypnyk, Dmytro Zhuravlev, Vasyl Bolonnyi, Volodymyr Yankiv, Ruslan Humenuyk, Pavlo Polyansky, Aleksandra Le'sniewska, Darius Walasek, Eugenius Koda. Energies 2025, 15, 7412, 1 – 11. <https://doi.org/10.3390/en15197412>.
 8. Influence the Laser Thermal Cycling on Structure Evolution and Tribological Properties of Plasma Coatings M. V. Kindrachuk V.V/ Kharchenko, O. I. Volchenko, Y. Ye. Marchuk, I. A/ Humeniuk, A. V. Vosnyal of nano- and electronic physics , Vol. 17 2No 2, 2025. P. 0213- 1- 0213-5.

Стаття надійшла до редакції 02.09.2025.

Вудвуд Олександр Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри підйомно-транспортного та робототехнічного обладнання, Національний університет «Одеська політехніка», Україна, 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1. ORCID: 0000-0002-4807-3634. E-mail: o.m.vudvud@op.edu.ua

O. VUDVUD

CORROSION PROCESSES IN BRAKE FRICTION PAIRS

The article discusses theoretical studies of corrosion processes in brake friction pairs in closed and open states used in lifting and transport equipment. Electrochemical corrosion is a heterogeneous and multistage process caused by the thermodynamic instability of the working surfaces of friction pairs in a given corrosive environment. The main calculation parameters of corrosion processes in friction pairs of brake devices are: local area of action; maximum permissible speed; permissible depth of influence; wear of micro-protrusion contact spots per unit of time; loss of micro-protrusion mass. It has been established that the sources of contact corrosion are: energy levels of materials (triboelectric effect), air and water, and the formation of electrolyte on the working surface of the lining during the destruction of its materials. The metal-polymer friction pair is a cathode (-) and an anode (+). The process of electrochemical corrosion is a combination of two related reactions: anodic (oxidation) $Me \rightarrow Me^{n+} + n\bar{e}$ and cathodic (reduction) $Ox + n\bar{e} \rightarrow Red$, where Ox is a depolarizer (oxidizer) that attaches n electrons released as a result of the anodic reaction (metal ionization), Red is the reduced form of the oxidizer. A schematic diagram of the electrochemical destruction of the working surface of the overlay is presented. At the anodic sites (+), atoms lose $n\bar{e}$ and the ions formed pass into the solution Me^{n+} , while the released electrons move from the anodic sites to the cathodic sites (-). Oxidizing agent (depolarizer) molecules Ox approach the cathode areas from the solution and attach themselves, forming the reduced form of the oxidizing agent - Red . It turns out that electrochemical corrosion on a heterogeneous surface of the overlay is similar to the operation of a short-circuited galvanic cell. The following features of the electrochemical corrosion process have been identified, which can be represented as two simultaneously occurring but largely independent electrode processes: anodic (ionization of the overlay) and cathodic. The kinetics of the anodic and cathodic processes, and therefore the corrosion rate, depend on the electrode potential of the metal; the electrode processes are localized in different areas of the working surface of the lining, where their flow is facilitated; material losses can be established mainly in the anodic areas of the lining surface.

Key words: brake device, friction pair, “metal-polymer”, corrosion, types of contacts, electric current.

References

1. Stashchuk M. H. Koroziini strumy na katodnykh ta anodnykh diliankakh kruhovoho kontsentratora napruzhen / M. H. Stashchuk // *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv*. №3, 2013. – S. 96 – 101.
2. Perez, N. Electrochemical Corrosion. In: *Materials Science: Theory and Engineering*. Springer, Cham. 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57152-7_16.
3. Kindrachuk, M. V.; Volchenko, D. O.; Skrypnyk, V. S.; Prysiazhnyi, A. V.; Nishchuk, V. V.. Fizychni protsesy pry nadprovidnosti u parakh tertia halm // *Problemy tertia ta znoshuvannia*. № 2(99), 2023. – S. 14-24.
4. Kryshchtopa S. I. Kontaktно-impulsna fryktsiina vzaiemodiia / S. I. Kryshchtopa // *IFNTUNH*, 2015. – 252 s.
5. Koroziia v parakh trenyia tormozov / A. Kh. Dzhanakhmedov, K. T. Nabyzade, D. A. V [y dr.] / Baku: APOSTROFF-A, 2024. – 351 s.
6. Chen, D., Zhou, W., Ji, Y., & Dong, C. Applications of density functional theory to corrosion and corrosion prevention of metals: A review. *Materials Genome Engineering Advances*, 3(1), e83. 2025.

7. Complex Heat Exchange in Friction Steam of Brakes / Ivan Kernytsky, Aleksandr Volchenko, Olga Szlachetka, Orest Horbay, Vasyl Skrypnyk, Dmytro Zhuravlev, Vasyl Bolonnyi, Volodymyr Yankiv, Ruslan Humenuyk, Pavlo Polyansky, Aleksandra Le'sniewska, Darius Walasek, Eugenius Koda. *Energies* 2025, 15, 7412, 1 – 11. <https://doi.org/10.3390/en15197412>.

8. Influence the Laser Thermal Cycling on Structure Evolution and Tribological Properties of Plasma Coatings. M. V. Kindrachuk, V.V. Kharchenko, O. I. Volchenko, Y. Ye. Marchuk, I. A. Humeniuk/ *Journal of nano- and electronic physics* , Vol. 17 2No 2, 2025. P. 0213- 1- 0213-5.

Oleksandr Vudvud – Ph.D., Associate Professor of the Department of Hoisting and Conveying Machines and Robotics Equipment, Odesa Polytechnic National University, Ukraine, 65044, Odesa, Shevchenko Ave., 1. ORCID: 0000-0002-4807-3634. E-mail: o.m.vudvud@op.edu.ua