

APPLICATION OF POLARIZATION RESISTANCE METHOD FOR THE CORROSION MONITORING OF ALUMINUM ALLOYS

Buket O.I, Bilousova N.A., Chornobryva N.O., Kushmyruk A. I.

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Peremogy av. 37, 03056

The problem of the resource of bearing structures from aluminum and its alloys is one of the priorities in modern technology, since atmospheric corrosion causes up to 85% of damages. Therefore, the development of corrosion monitoring systems for the aggressiveness of the internal compartments of aircrafts is an important problem. Known sensors for such corrosion monitoring systems are based on the measuring of polarization resistance method. In such sensors, electrodes of noble metals (for the determination of moisture) and alloys used in aircraft engineering are most often used. The purpose of the work is to investigate the corrosion polarization resistance of common aluminum alloys D16T and D1T in aqueous solutions of different composition for modeling and facilitating the interpretation of results in tests of corrosion sensors under conditions of moisture condensation. It is shown that the change of the polarization resistance in time, depending on the composition of the medium and the type of material, adequately reflects the corrosion resistance of alloys D16T and D1T, which are similar in properties. It was established that reduction of corrosivity of solutions of sodium sulfate with decrease in their concentration causes more significant increase of polarization resistance on D1T compared to D16T. This can be explained by the doubly lower content of magnesium in the D1T alloy compared to D16T. It was observed an unexpected increase in polarization resistance in the presence of hydrocarbonates. An explanation of this phenomenon requires further research, since such electrolytes are present at atmospheric corrosion of structures near internal combustion engines.

Keywords: corrosion, polarization resistance, monitoring, aluminum alloys, solutions, hydrocarbonates.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ОПОРУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ КОРОЗІЇ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Букет О.І., Білоусова Н.А., Чернобрива Н.О., Кушмирук А.І.
*National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kyiv,
Peremogy av. 37, 03056*

Проблема ресурсу несучих конструкцій з алюмінію та його сплавів є однією з пріоритетних у сучасній техніці, оскільки атмосферна корозія є відповідальною за 85 % ушкоджень авіаційних конструкцій [1]. Тому розробка систем моніторингу корозійної агресивності середовища внутрішніх відсіків літальних апаратів є важливою задачею.

На сучасному етапі виявлення корозійних пошкоджень проводять при технічному обслуговуванні за допомогою методів неруйнівного контролю, що включають візуальний огляд, ультразвукове та рентгенівська сканування, вихроструменевий метод, нейтронну радіографію, мікрохвильову спектроскопію, комп'ютерну томографію та інші. Ці методи є достатньо надійними, проте дуже затратні й не дозволяють виявити корозію на ранній стадії. Новий підхід до вирішення цієї задачі, який дістав назву Structural Health Monitoring, передбачає постійний і автономний контроль корозійних пошкоджень у комплексі з інформацією щодо умов експлуатації повітряного судна від системи закріплених чи вбудованих сенсорів на конструкційних елементах [2]. Враховуючи електрохімічну природу корозійних руйнувань літальних апаратів, найбільш інформативними для оцінки

інтенсивності ушкоджень є датчики, засновані на вимірі електричних характеристик – електроопору пластини із конструкційного матеріалу, електрохімічного імпедансу, (гальванічного) струму корозії, електрохімічного шуму, поляризаційного опору [3]. Для уточнення корозивності повітряного середовища розміщують кластери датчиків, які вимірюють температуру, відносну вологість, час зволоження поверхні, рН і провідність поверхневої вологи, а також концентрацію агресивних газових компонентів [4]. При цьому, датчики поляризаційного опору виконують переважно з благородних металів, внаслідок чого неможливо стверджувати, що вимірюється поляризаційний опір корозійного процесу.

Аналіз літератури через призму досвіду у галузі технічної електрохімії показує, що вимірювання поляризаційного опору корозійного процесу на поверхні алюмінію та його сплавів може бути оптимальним методом, який при мінімальних витратах на виготовлення й експлуатацію датчика дозволить одержати найбільш адекватну інформацію. Реалізація цього методу вимагає вирішення цілого комплексу технічних і наукових задач, основною з яких є забезпечення адекватності одержаної інформації про корозійну агресивність аналізованого середовища.

Важливими етапами в оцінці адекватності метода поляризаційного опору є вивчення впливу омичного опору пасивних плівок алюмінію та локальних видів корозії на показання датчика. Тому на першому етапі досліджень для спрощення інтерпретації одержаних результатів досліди проводили у водних розчинах, які забезпечують помірну й

швидку рівномірну та пітингову корозію найбільш поширених конструкційних алюмінієвих сплавів.

Мета роботи: дослідити вплив природи алюмінієвих сплавів Д16Т і Д1Т та складу водного розчину на поляризаційний опір корозійного процесу.

1. Методика експерименту

Циліндричні електроди зі сплавів Д16Т і Д1Т діаметром 8 мм і довжиною робочої частини 35 мм розміщували попарно в скляних стаканах з розчинами й поляризували індикатором поляризаційного опору Р5126. Вище робочої частини електроди ізолювали від розчину кислотостійким лаком, а для нетривалої роботи в лужних розчинах додатково ізолювали полімерною трубкою, посадженою з застосуванням термічного стягування. Робоча поверхня електродів була занурена на 20 мм глибше дзеркала розчинів.

Розчин сульфату натрію обрали з огляду на відсутність у нього схильності до провокування локальних видів корозії сплавів алюмінію. Розчин 3 % хлориду натрію обрали для забезпечення пітингової корозії алюмінієвих сплавів. Розчини карбонату калію внаслідок лужної реакції мали забезпечувати швидку рівномірну корозію з повільним газовиділенням, яке не мало суттєво впливати на ефективну площу поверхні електрода. Свіжий розчин K_2CO_3 мав рН 11,3, а після тривалої карбонізації на повітрі – рН 8,5.

2. Результати експерименту та їх обговорення

Вплив товщини пасивних шарів сплавів алюмінію на поляризаційний опір аналізували таким чином: після зачистки поверхні

електродів тонкодисперсним наждачним папером їх випробовували у розчинах або практично одразу (приблизно за 15 хв після зачищення), або через дві доби, протягом яких атмосферна корозія в кімнатних умовах мала суттєво потовщити оксидні шари. Як видно з порівняння кривих 1 і 3 на рис. 1, більш товсті шари забезпечують суттєво вищий поляризаційний опір рівномірної корозії в сульфатному розчині.

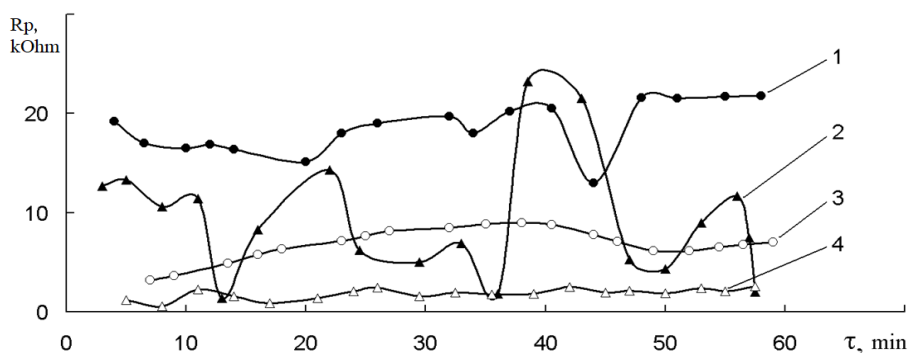


Рис. 1. Вплив стану пасивних шарів сплаву Д16Т і аніонного складу розчину на поляризаційний опір корозії після механічного зачищення поверхні перед дослідом за час, год: 1, 2 – 50; 3, 4 – 0.25. Розчини 0.5 М: 1, 3 – Na_2SO_4 ; 2, 4 – NaCl .

У хлоридному розчині корозія сплаву з тонкими пасивними шарами проходить очікувано швидше (крива 4 рис. 1). Цікаво, що товщі пасивні шари, які самовільно утворюються при тривалому зберіганні електродів на повітрі, демонструють на кривій 2 періодичні пробої з падінням поляризаційного опору до відповідних величин на кривій 4. Це вказує на той факт, що хлорид-іони сприяють пробою старих оксидних шарів до товщини не менше утвореної одразу після механічного зачищення поверхні. Справедливість цього твердження слідує зі здатності приладу Р5126 чітко відрізнити поляризаційний опір

від омичного опору будь-якої природи [5]. При незмінних за складом і, в значній мірі, за структурою поверхневих шарів на електродах, незмінним має бути і будова подвійного електричного шару. Тому відношення поляризаційного опору до швидкості корозії є константою у проведених дослідах. Тобто, на рис. 1 поляризаційний опір всіх кривих є прямопропорційним до швидкості корозії. Оскільки швидкість корозії при незмінній поляризації визначається сумою всіх опорів, які її гальмують, то при рівному значенні поляризаційного опору й рівних швидкостях корозії рівними мають бути й омичні опори пасивних шарів у місцях пробоїв (мінімуми кривої 2) та свіжоутвореної пасивної плівки (крива 4, рис. 1).

Відмінності у корозійній поведінці сплавів Д16Т і Д1Т незначні, лише сплав Д16Т виявляє дещо вищу корозійну стійкість у 0.5 М сульфатному розчині (рис. 2).

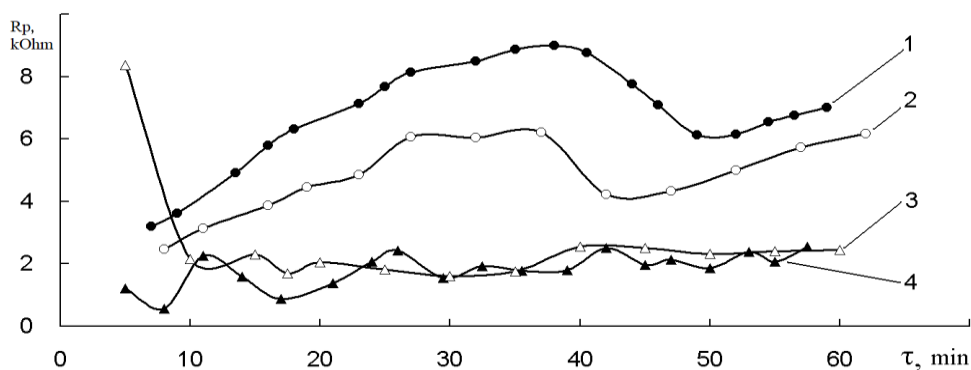
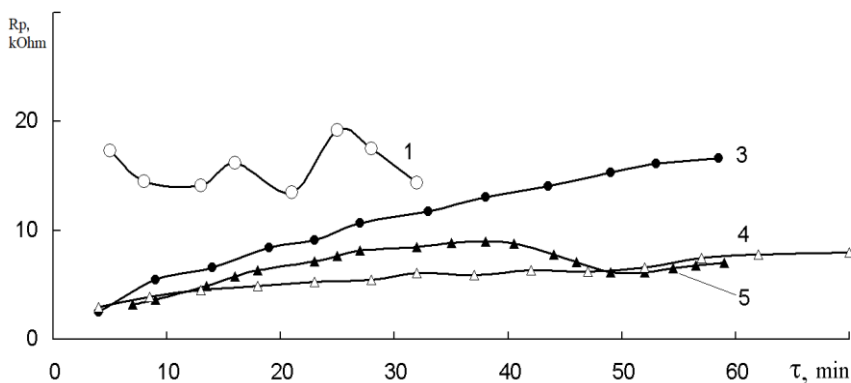


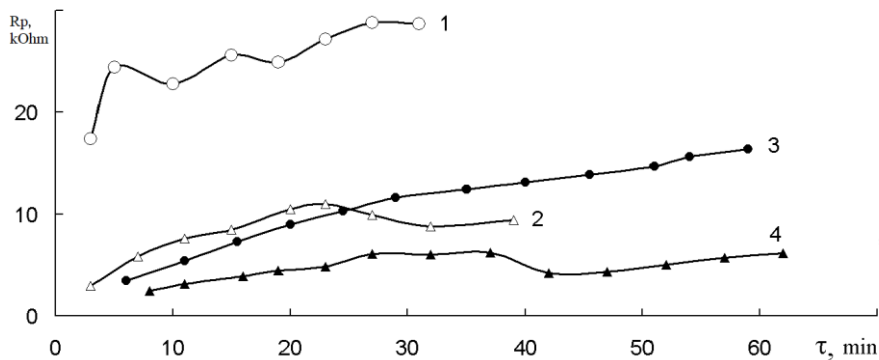
Рис. 2. Поляризаційний опір корозії сплаву Д16Т (1, 4) та Д1Т (2, 3) у 0.5 М розчинах Na_2SO_4 (1, 2) і NaCl (3, 4).

При розведенні сульфатних розчинів швидше зростає поляризаційний опір на Д1Т, порівняно з Д16 (рис. 3). При цьому Д1Т диференціює поляризаційний опір за величиною по мірі розведення,

порівняно з Д16Т. Вірогідно, така корозійна поведінка пов'язана з єдиною суттєвою відмінністю цих сплавів – вміст магнію у Д1Т (0.4...0.8 %) в два-три рази менший за такий в Д16Т (1.2...1.8 %) при практично однаковому відсотку всіх інших компонентів згідно ГОСТ 4784-97. Пояснення цього явища вимагає додаткових досліджень.



А

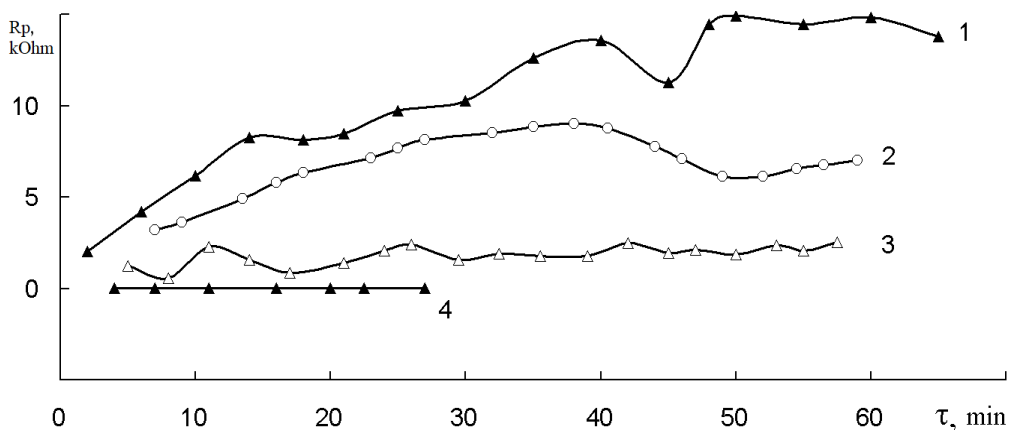


В

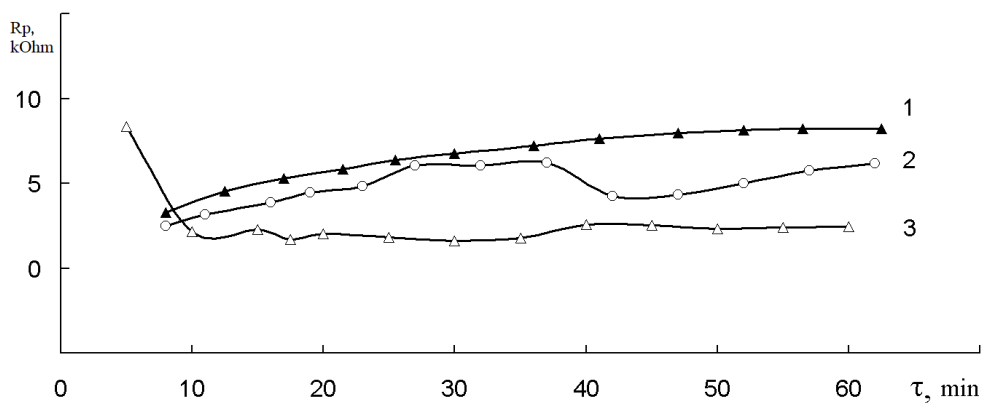
Рис. 3. Вплив концентрації розчину Na_2SO_4 на поляризаційний опір корозії сплаву Д16Т (А) і Д1Т (В). Концентрація, моль/л: 1 – $5 \cdot 10^{-8}$; 2 – $5 \cdot 10^{-6}$; 3 – $5 \cdot 10^{-3}$; 4, 5 – 0.5.

На рис. 4 наведено результати дослідження впливу природи розчину й рН на поляризаційний опір. Поляризаційний опір очікувано зростає

при переході від лужних з рН 11.3 до нейтральних хлоридних та нейтральних сульфатних розчинів. Швидка корозія при рН 11.3 (на рис. 4 величина R_p для кривої 4 становить 20...30 Ом) супроводжувалася значним візуально видимим виділенням газоподібного водню. В хлоридних розчинах утворювався візуально видимий пітинг, пори якого заповнював драглистий осад, частина якого осідала на дні стакану. Неочікуваним є лише зростання поляризаційного опору при рН 8.5 (криві 1 на рис. 4А і рис. 4В). Можливо це зв'язано з відомою здатністю гідрокарбонатів до утворення комплексів з іонами металів, що викликає прямий вплив на швидкість корозійного процесу [6], або змінює структуру подвійного електричного шару, внаслідок чого відбувається суттєва зміна коефіцієнту пропорційності між дійсною швидкістю корозії та вимірним значенням поляризаційного опору.



A



B

Рис. 4. Вплив природи розчину на поляризаційний опір корозії сплаву Д16Т (А) і Д1Т (В): 1 – карбонізований K_2CO_3 до рН 8.5; 2 – 0.5 М Na_2SO_4 ; 3 – 0.5 М $NaCl$; 4 – K_2CO_3 рН 11.3

Таким чином, за одержаними результатами можна стверджувати, що метод поляризаційного опору є придатним для визначення поляризаційного опору на сплавах алюмінію з результатами, що адекватно відповідають корозійному процесу.

3. Висновки

Корозійна поведінка алюмінієвих сплавів Д16Т і Д1Т у водних розчинах є досить близькою й адекватно відображається методом поляризаційного опору. Додаткового дослідження вимагає зміна поляризаційного опору при розведенні електроліту корозійного середовища, що сприятиме подальшій оцінці адекватності обраного методу в умовах атмосферної корозії у тонких плівках електроліту. Також необхідно детально дослідити неочікуване збільшення поляризаційного опору в слаболужних гідрокарбонатних розчинах. Це надзвичайно важливо для оцінки адекватності вимірювань дійсної швидкості атмосферної корозії у присутності вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання, що характерно для умов насичення вуглекислим газом тонких плівок електроліту на поверхні силових конструкцій, розміщених поряд або за двигунами літальних апаратів.

Література

- [1] V. Samoylenko, D. Kochkin, O. Zubov, Nauchniy vesnik MGTU GA [Bulletin of MSTU CA] 217 (2015) 63-67.
- [2] M. Buderath, J. McFeat, H. Azzam, Structural Health Monitoring 6(13) (2014) 581-590.
- [3] V. Agarwal, Sensors & Transducers 221(3) (2018) 1-8.
- [4] W.D. Ganther, D.A. Paterson, C. Lewis and at., Procedia Engineering 188 (2017) 369-376.
- [5] N. Belousova, Yu. Gerasimenko, R. Redko, I. Vichkan, Energotehnologii i resursosberezhenie [Energy technologies and resource saving] 2 (2016) 37-43.
- [6] O. Buket, O. Vashchenko, E. Goloversa, International conference of chemistry and chemical technology. Kyiv: NTUU "KPI", 2010, pp. 139.