

УДК 620.197.3

ІНГІБУВАННЯ КОРОЗІЇ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЮ КОМПОЗИЦІЄЮ НА ОСНОВІ ГУМІАРАБІКУ ТА ЦИНК АЦЕТАТУ

М.-О. М. ДАНИЛЯК, С. А. КОРНІЙ

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

Електрохімічними та гравіметричними методами досліджено інгібувальні властивості екологічно безпечної композиції на основі полісахариду – гуміарабіку та солі ацетатної кислоти – цинк ацетату для підвищення корозійної тривкості алюмінієвого сплаву Д16Т у нейтральному середовищі. Встановлено, що ефективність композиції зростає зі збільшенням концентрації і максимальна за вмісту 2 г/л кожного компонента. Захисна дія зумовлена її адсорбційними властивостями, зокрема, гідроксильними та карбоксильними групами, а також здатністю катіонів Zn^{2+} взаємодіяти з аніонами OH^- з подальшим утворенням гідроксидів цинку, що сприяє блокуванню катодних ділянок та уповільненню корозії. Виявлено, що ступінь захисту сплаву після 168 h експозиції у 0,1%-му розчині NaCl становить 86...89%, що вказує на ефективність обраної композиції.

Ключові слова: корозія, екологічно безпечні інгібітори корозії, природні полімери, полісахариди, синергічні композиції, адсорбція, ефективність інгібування, гуміарабік, цинк ацетат.

The inhibitory properties of an environment-friendly composition based on polysaccharide – gum arabic and acetic acid salt – zinc acetate to increase the corrosion resistance of D16T aluminium alloy in a neutral environment were investigated by electrochemical and gravimetric methods. It was established that the inhibitory efficiency of the composition increased with increasing concentration, and was maximally effective at 2 g/l of each component. The protective effect of the composition can be associated with the adsorption capacity of zinc acetate and gum arabic, due to the presence of hydroxyl and carboxyl groups in them, as well as the ability of Zn^{2+} cations to interact with OH^- anions, with the subsequent formation of zinc hydroxides, which blocks cathode areas and slows down corrosion processes. It is shown that the degree of protection of the D16T aluminium alloy after 168 h of exposure in a 0.1% NaCl solution is 86...89%, which indicates the effective protective effect of the selected inhibitory composition.

Keywords: corrosion, environmentally friendly inhibitors, natural polymers, polysaccharides, synergistic compositions, adsorption, inhibition efficiency, gum arabic, zinc acetate.

Вступ. Алюмінієві сплави часто використовують у машинобудуванні через їх міцність, низьку густину та здатність до механічного оброблення [1]. Дрібні інтерметалідні частинки суттєво впливають на їх локальну корозію, яка починається в місцях, де вони діють як активні катодні ділянки, що пришвидшують руйнування алюмінієвої матриці [1].

У діапазоні рН приблизно 5...8,5 сплави термодинамічно стабільні, що зумовлено утворенням на їх поверхні шару аморфного оксиду завтовшки ~ 2...10 nm, який запобігає подальшому розчиненню алюмінію в агресивному середовищі. Однак ця плівка не може достатньо щільно покривати великі інтерметаліди, тому

підвищується схильність до пітингової корозії. Діаметр і глибина пошкоджень залежать від типу матеріалу та агресивного середовища (рН, температури, концентрації СГ) [2].

Поліпшити корозійну тривкість алюмінієвих сплавів можна з допомогою інгібіторів корозії [3]. Тут перспективні біополімери, зокрема камеді, щоб замінити токсичні та небезпечні інгібітори (імідазол, триазин, тіазол тощо) [4, 5]. Вони містять функціональні групи, що утворюють комплекси з катіонами металів через фізичну та хімічну адсорбцію і забезпечують захист від корозії. Внаслідок адсорбції молекули камедей займають велику площу поверхні, блокуючи доступ корозійно-активних йонів [6].

Гуміарабік (камедь акації) – природний полісахарид, отриманий з дерев акації, що містить гідроксильні (–ОН) та карбоксильні (–COOH) функціональні групи та має розгалужену структуру [7, 8]. Інгібувальні його властивості та інших камедей досліджено раніше [9–13].

Протикорозійну дію камедей підсилюють солями карбонових кислот, які також екологічно безпечні [11]. Вплив ацетатних йонів вивчено у багатьох працях [14–16]. Цинк ацетат ((CH₃COO)₂Zn) – хімічна сполука у вигляді кристалів зі слабким запахом оцтової кислоти, розчинних у воді. Відомо, що катіони цинку є ефективними катодними інгібіторами, що утворюють нерозчинні гідроксиди цинку і формують плівку на поверхні металу в нейтральних хлоридовмісних розчинах та можуть проявляти синергічну дію до інгібування корозії разом з іншими органічними сполуками [17]. Цинк ацетат під час гідролізу утворює слабкі основи і кислоти (рН ≈ 7), тому придатний у нейтральних середовищах для захисту сплаву Д16Т.

Нижче досліджено інгібувальну дію композиції на основі гуміарабіку та солі ацетатної кислоти – цинк ацетату для підвищення корозійної тривкості сплаву Д16Т.

Матеріали та методики експерименту. Корозійну тривкість сплаву досліджували у 0,1%-му розчині NaCl методом потенціодинамічної поляризації, використовуючи потенціостат MTEchCOR-500, електрод порівняння Ag/AgCl та допоміжний платиновий. Швидкість сканування потенціалу під час експериментів 2 mV/s. Робоча площа зразка 1 cm².

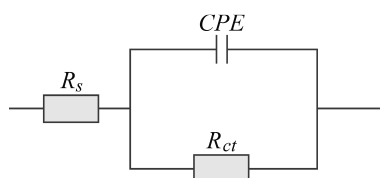


Рис. 1. Еквівалентна схема для розрахунку даних ЕІС.

Fig. 1. Equivalent circuit for calculating EIS data.

Для електрохімічної імпедансної спектроскопії (ЕІС) застосовували потенціостат-аналізатор частотного відгуку Versa STAT 3 (діапазон частот 10000... 0,01 Hz). Триелектродна комірка складалася з хлоридсрібного електрода порівняння, платинового допоміжного та робочого – досліджуваного зразка. Амплітуда прикладеного сигналу 20 mV. Еквівалентна схема зображена на рис. 1, де R_s та R_{ct} – опори електроліту та перенесенню заряду, відповідно, а CPE – елемент сталої фази, який використано замість конденсатора через неідеальну ємнісну поведінку поверхні зразка.

Морфологію поверхні та елементний склад сплаву після витримування в використовуваних розчинах вивчали на сканівному електронному мікроскопі EVO-40XVP зі системою мікроаналізу INCA Energy 350. Для дослідження топографії поверхні зразків застосовували оптичний металографічний мікроскоп ZEISS Stemi-2000, а для фіксації результатів – камеру Sigeta з програмним забезпеченням. Гравіметричні випробування виконували на зразках розміром 20×15 mm та товщиною 2,5 mm. Продукти корозії видаляли, занурюючи зразки в

40%-ий розчин нітратної кислоти на 10 min при 20...21°C. Потім білим ластиком позбувалися їх залишків.

Швидкість корозії K_m ($\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$) визначали після 24; 96 та 168 h експозиції зразків за формулою [4]

$$K_m = \Delta m / (S \cdot \tau), \quad (1)$$

де Δm – зміна маси зразка після експозиції в корозивному середовищі та усунення продуктів корозії, g; S – площа зразка, cm^2 ; τ – час його експозиції, h.

Ступінь захисту розраховували так [4]:

$$Z = \frac{K_m - K_{\text{inh}}}{K_m} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де K_m , K_{inh} – швидкість корозії у неінгібованому та інгібованому середовищах.

Результати та обговорення. Поляризаційні криві сплаву після 3; 24 та 96 h експозиції у 0,1%-му розчині NaCl з додаванням інгібувальної композиції змішаного типу наведено на рис. 2. Її захисна здатність зростає зі збільшенням концентрації і максимальна за вмісту 2 g/l кожного компонента та зберігається впродовж 24 та 96 h витримки у присутності гуміарабіку та цинк ацетату. Корозійна тривкість сплаву після додавання композиції в ~ 5 разів більша, ніж у неінгібованому розчині натрій хлориду після 96 h експозиції (табл. 1).

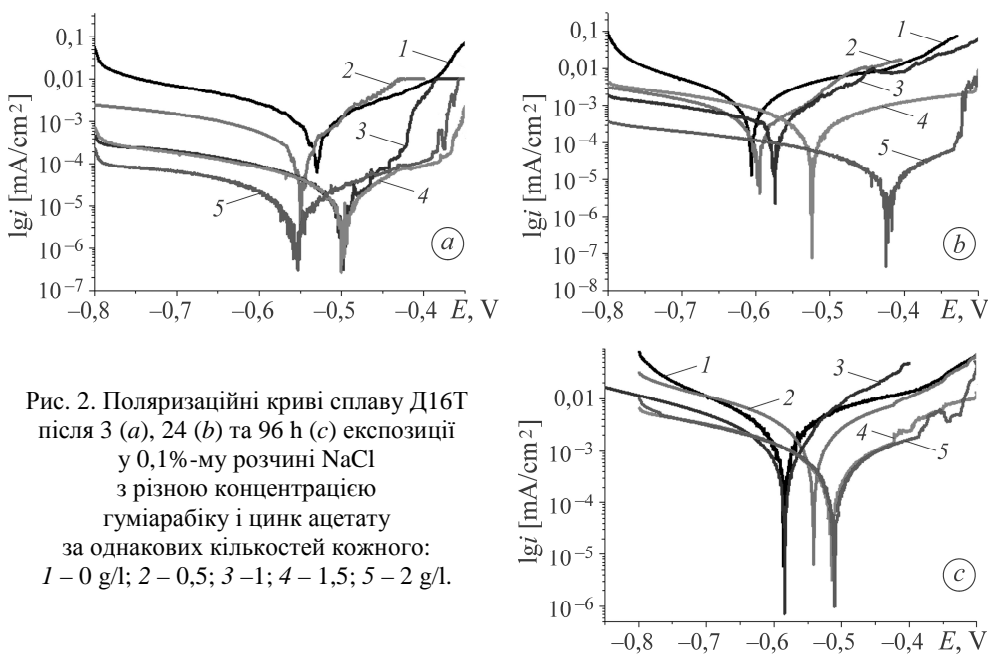


Рис. 2. Поляризаційні криві сплаву Д16Т після 3 (a), 24 (b) та 96 h (c) експозиції у 0,1%-му розчині NaCl з різною концентрацією гуміарабіку і цинк ацетату за однакових кількостей кожного: 1 – 0 g/l; 2 – 0,5; 3 – 1; 4 – 1,5; 5 – 2 g/l.

Fig. 2. Polarization curves of D16T aluminium alloy after 3 (a), 24 (b) and 96 h (c) exposure in a 0.1% NaCl solution with a concentration of gum arabic and zinc acetate in equivalent quantities each: 1 – 0 g/l; 2 – 0.5; 3 – 1; 4 – 1.5; 5 – 2 g/l.

Слід зазначити, що у розчині NaCl після 24 h експозиції з додаванням лише 0,5; 1; 1,5 та 2 g/l гуміарабіку потенціали та струми корозії сплаву Д16Т становлять $-0,56$ V та $7,8 \cdot 10^{-4}$ mA/cm^2 ; $-0,55$ V та $7,6 \cdot 10^{-4}$ mA/cm^2 ; $-0,55$ V та $7,5 \cdot 10^{-4}$ mA/cm^2 ; $-0,54$ V та $2,3 \cdot 10^{-4}$ mA/cm^2 , відповідно (рис. 3). З додаванням лише гуміарабіку значення струмів також зменшуються і за його концентрації 2 g/l корозійна тривкість сплаву приблизно вдвічі менша, ніж у неінгібованому розчині.

Таблиця 1. Електрохімічні характеристики сплаву Д16Т після експозиції у 0,1%-му розчині NaCl з еквівалентними кількостями гуміарабіку і цинк ацетату

Експозиція	3 h			24 h			96 h		
C, g/l	E_{corr} , V	i_{corr} , mA/cm ²	Z, %	E_{corr} , V	i_{corr} , mA/cm ²	Z, %	E_{corr} , V	i_{corr} , mA/cm ²	Z, %
0	-0,53	$8,7 \cdot 10^{-4}$	-	-0,61	$9,1 \cdot 10^{-4}$	-	-0,58	$16,5 \cdot 10^{-4}$	-
0,5	-0,46	$2,1 \cdot 10^{-4}$	75,86	-0,60	$3,0 \cdot 10^{-4}$	67,03	-0,51	$10,8 \cdot 10^{-4}$	34,55
1	-0,55	$1,8 \cdot 10^{-5}$	97,93	-0,65	$2,6 \cdot 10^{-4}$	71,43	-0,58	$6,0 \cdot 10^{-4}$	63,64
1,5	-0,50	$1,7 \cdot 10^{-5}$	98,05	-0,57	$1,6 \cdot 10^{-4}$	82,42	-0,54	$3,5 \cdot 10^{-4}$	78,79
2	-0,46	$8,1 \cdot 10^{-6}$	99,07	-0,55	$1,2 \cdot 10^{-5}$	98,68	-0,52	$3,4 \cdot 10^{-4}$	79,39

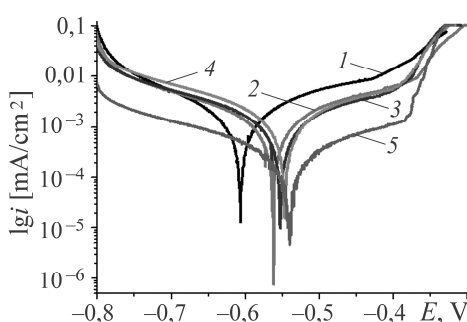


Рис. 3. Поляризаційні криві сплаву Д16Т після 24 h експозиції у 0,1%-му розчині NaCl з різною концентрацією гуміарабіку: 1 – 0 g/l; 2 – 0,5; 3 – 1; 4 – 1,5; 5 – 2 g/l.

Fig. 3. Polarization curves of D16T aluminium alloy after 24 h exposure in 0.1% NaCl solution with different concentration of gum arabic: 1 – 0 g/l; 2 – 0.5; 3 – 1; 4 – 1.5; 5 – 2 g/l.

Результати поляризаційних випроб сплаву узгоджуються з отриманими методом ЕІС (рис. 4 і 5; табл. 2). Зі збільшенням концентрації інгібувальної композиції у 0,1%-му розчині NaCl його модуль імпедансу зростає. Максимальне значення опору перенесенню заряду за вмісту 2 g/l обох її компонентів.

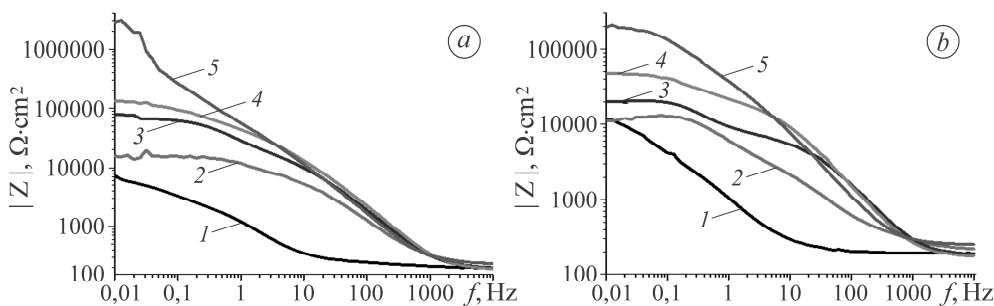


Рис. 4. Імпедансні залежності для сплаву Д16Т після 24 (a) та 96 h (b) експозиції у 0,1%-му розчині NaCl (позначення див. рис. 2).

Fig. 4. Impedance dependences for D16T aluminium alloy after 24 (a) and 96 h (b) exposure in a 0.1% NaCl solution (designations in Fig. 2).

Після 24 h експозиції ступінь неоднорідності поверхні n також зростає зі збільшенням концентрації композиції, що вказує на зменшення гетерогенності поверхні та утворення одноріднішої захисної плівки. Такий протикорозійний ефект, імовірно, викликаний адсорбційною здатністю цинк ацетату та гуміарабіку, що зумовлена гідроксильними та карбоксильними групами, а також довгим вуглеводним ланцюгом гуміарабіку з гідрофобними властивостями.

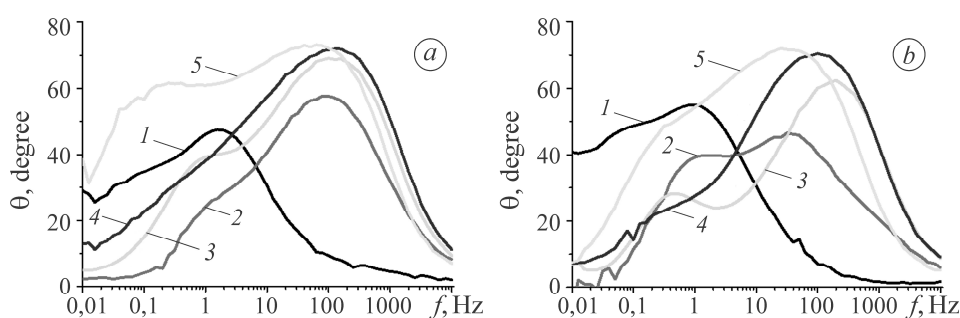


Рис. 5. Залежності фазового кута від частоти для сплаву Д16Т після 24 (а) та 96 h (b) експозиції у 0,1%-му розчині NaCl (позначення див. рис. 2).

Fig. 5. Dependences of the phase angle on the frequency for D16T aluminum alloy after 24 (a) and 96 h (b) exposure in a 0.1% NaCl solution (designations in Fig. 2).

Таблиця 2. Імпедансні характеристики сплаву Д16Т після експозицій у 0,1%-му розчині NaCl з еквівалентними кількостями гуміарабіку і цинк ацетату

C, g/l	R_s, Ω	$R_{ct}, \Omega \cdot \text{cm}^2$	$CPE, \text{s}^n / \Omega \cdot \text{cm}^2$	n
24 h				
0	197,8	8696	$3,05 \cdot 10^{-4}$	0,63
0,5	199,6	15127	$7,61 \cdot 10^{-6}$	0,74
1	148,4	67148	$5,01 \cdot 10^{-6}$	0,74
1,5	141,2	113160	$3,58 \cdot 10^{-6}$	0,77
2	195,0	3849800	$3,33 \cdot 10^{-6}$	0,83
96 h				
0,5	204	13981	$3,38 \cdot 10^{-5}$	0,63
1	122	18339	$1,09 \cdot 10^{-5}$	0,66
1,5	143,8	40672	$4,42 \cdot 10^{-6}$	0,79
2	224,6	197250	$5,41 \cdot 10^{-6}$	0,80

За присутності композиції в корозивному розчині фазовий кут алюмінієвого сплаву зміщується в бік вищих частот змінного струму та збільшується його максимум, що вказує на формування інгібіторної плівки. Однак за концентрації 2 g/l обох компонентів він охоплює широкий діапазон частот, очевидно, через блокування катодних та анодних ділянок. Зокрема, блокування катодних спричинене утворенням нерозчинних гідроксидів цинку, а анодних – комплексів алюміній–інгібітор на основі гуміарабіку та аніонів ацетатної кислоти, замість гідроксидів алюмінію.

Після 96 h експозиції поверхню сплаву досліджували методом сканівної електронної мікроскопії та визначали хімічний склад на ділянках 1 та 2 за допомогою EDX-аналізу (рис. 6; табл. 3). Поверхня після експозиції в середовищі, інгібованому композицією з 0,5 g/l кожного компонента, повністю вкрита продуктами корозії (ділянка 1), зокрема, оксидами/гідроксидами алюмінію, а також виявлено вміст Cl, що пов'язано з утворенням хлоридів алюмінію.

Зі збільшенням концентрації інгібітора на поверхні виявили ділянки, що відповідають інтерметалідним включенням (ділянка 2), а також матриці сплаву (ділянка 3). За вмісту 1 g/l кожного компонента на ній накопичуються оксиди/гідроксидами алюмінію та гідроксидами цинку. Присутність цинку є чіткою ознакою

того, що його катіони безпосередньо осаджуються в зонах, збагачених міддю. За подальшого збільшення концентрації на поверхні чітко проявляються включення (ділянка 2), сформовані легувальними елементами у матриці сплаву (ділянка 3). Таку тенденцію можна пов'язати з більшою кількістю йонізованих молекул, зокрема катіонів цинку, для адсорбції на катодних та анодних ділянках алюмінієвого сплаву, щоб уповільнити корозію.

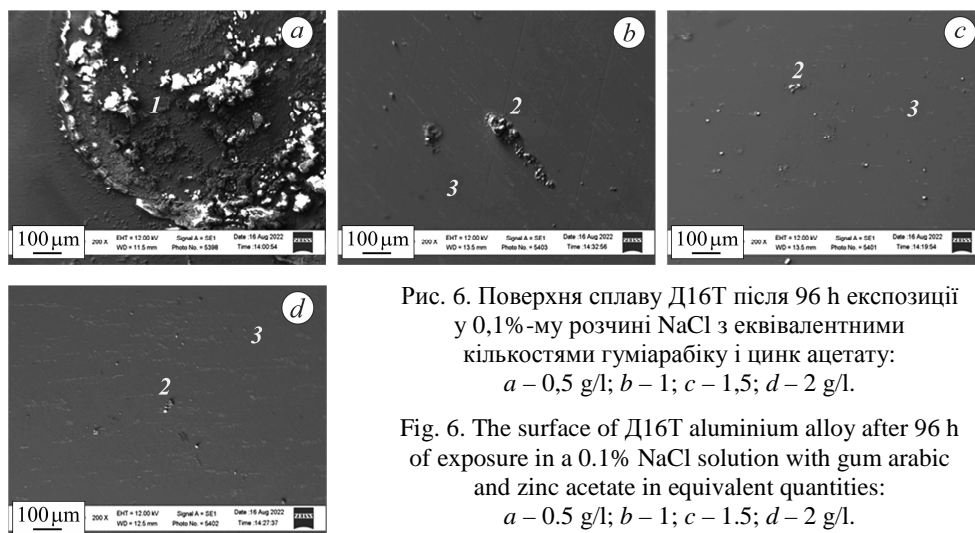


Рис. 6. Поверхня сплаву Д16Т після 96 h експозиції у 0,1%-му розчині NaCl з еквівалентними кількостями гуміарабіку і цинк ацетату: a – 0,5 g/l; b – 1; c – 1,5; d – 2 g/l.

Fig. 6. The surface of D16T aluminium alloy after 96 h of exposure in a 0.1% NaCl solution with gum arabic and zinc acetate in equivalent quantities: a – 0.5 g/l; b – 1; c – 1.5; d – 2 g/l.

Таблиця 3. Хімічний склад поверхні сплаву Д16Т після 96 h експозиції у 0,1%-му розчині NaCl з еквівалентними кількостями гуміарабіку і цинк ацетату

C, g/l	Ділянка	Вміст, wt%									
		Al	C	O	Na	Cl	Fe	Zn	Mn	Cu	Mg
0,5	1	32,81	10,52	52,59	0,18	3,43	–	0,46	–	–	–
	2	25,70	13,12	50,64	–	–	2,81	7,73	–	–	–
1	3	85,75	3,63	3,09	–	–	–	0,45	0,86	4,78	–
	2	65,18	15,41	9,18	–	–	–	6,17	–	2,93	1,13
1,5	3	89,46	2,09	1,51	–	–	–	0,20	–	5,16	–
	2	32,87	9,99	49,35	–	–	–	6,49	–	–	1,29
2	3	92,07	–	2,78	–	–	–	0,40	–	3,29	1,47

Корозійну тривкість сплаву в 0,1%-му розчині NaCl також оцінювали гравіметричним методом (табл. 4), додаючи композиції з 1,5 та 2 g/l цинк ацетату і гуміарабіку, оскільки за цих кількостей протикорозійний ефект найвідчутніший. Швидкість корозії K_m сплаву після 24 h експозиції становила $1,07 \cdot 10^{-5} \text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ у 0,1%-му розчині NaCl без інгібітора, а з додаванням композиції втрат маси не виявили.

Зі збільшенням тривалості контакту з неінгібованим середовищем до 96 h швидкість корозії сплаву уповільнюється, що, очевидно, пов'язано з дифузійними обмеженнями через екранування поверхні продуктами корозії. За експозиції у середовищі з інгібувальною композицією швидкість корозії зменшується у ~2–4 рази залежно від її концентрації, що, ймовірно, спричинено доволі повільним нагромадженням продуктів корозії на поверхні. Тут ступінь захисту за використан-

ня композиції з 2 г/л кожного компонента становить 72,5%, що вказує на її ефективність.

Таблиця 4. Швидкість корозії (K_m , г/(см²·h)) та ступінь захисту (Z , %) алюмінієвого сплаву Д16Т у 0,1%-му розчині NaCl

Середовище	K_m	Z	K_m	Z
	Тривалість експозиції			
	96 h		168 h	
0,1% розчині NaCl	$4,94 \cdot 10^{-6}$	–	$4,17 \cdot 10^{-6}$	–
0,1% розчин NaCl + 1,5 г/л гуміарабіку і 1,5 г/л цинк ацетату	$2,09 \cdot 10^{-6}$	57,7	$0,57 \cdot 10^{-6}$	86,3
0,1% розчин NaCl + 2 г/л гуміарабіку і 2 г/л цинк ацетату	$1,36 \cdot 10^{-6}$	72,5	$0,46 \cdot 10^{-6}$	89,0

Зі збільшенням тривалості експозиції до 168 h швидкість корозії сплаву у 0,1%-му розчині NaCl без інгібувальної композиції уповільнюється, що, імовірно, пов'язано з деякими обмеженнями через екранування поверхні продуктами корозії. Композиція залежно від концентрації зменшує швидкість корозії сплаву у розчині у ~ 7–9 разів. Поверхня сплаву зберігає світло-сірий колір з типовим металевим блиском, порівняно з неінгібованим зразком, що вкритий продуктами корозії (рис. 7).

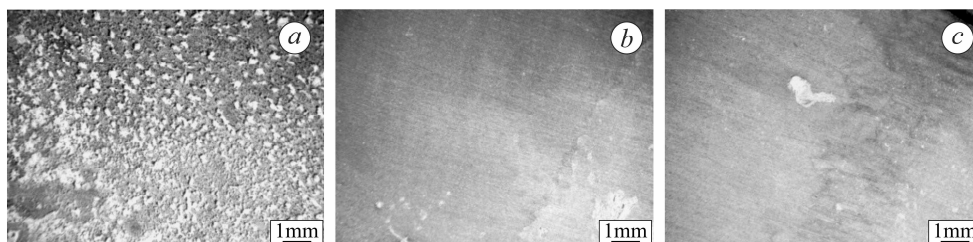


Рис. 7. Поверхня сплаву Д16Т після 168 h експозиції у 0,1%-му розчині NaCl: *a* – неінгібований; *b, c* – з додаванням композиції з 1,5 і 2 г/л цинк ацетату і гуміарабіку, відповідно.

Fig. 7. The surface of D16T aluminium alloy after 168 h of exposure in a 0.1% NaCl solution: *a* – uninhibited; *b, c* – with addition of a composition with 1.5 and 2 g/l zinc acetate and gum arabic, respectively.

ВИСНОВКИ

Таким чином, корозійна тривкість сплаву Д16Т у 0,1%-му розчині NaCl підвищується за використання екологічно безпечної інгібувальної композиції на основі природного полісахариду та солі ацетатної кислоти. Встановлено, що з додаванням композиції вона в ~ 5 разів більша, ніж у неінгібованому розчині після 96 h експозиції. Інгібувальний ефект зумовлений гідроксильними (–OH) та карбоксильними (–COOH) функціональними групами, які формують адсорбційні зв'язки з локальними центрами поверхні сплаву. Катіони Zn^{2+} , взаємодіючи з аніонами OH^- з подальшим утворенням гідроксидів цинку, блокують катодні ділянки та уповільнюють корозію. Підсилює інгібувальну здатність композиції також довгий неполярний “хвіст” гуміарабіку, що може сприяти збільшенню товщини та ефективності гідрофобного бар'єра.

Результати, отримані гравіметрично, узгоджуються з електрохімічними, а екологічно безпечна композиція на основі гуміарабіку та цинк ацетату проявила

тривалу захисну дію. Зокрема, ступінь захисту сплаву Д16Т становить 86...89% після 168 h експозиції у 0,1%-му розчині NaCl.

1. *Corrosion protection mechanism of Ce⁴⁺ / organic inhibitor for AA2024 in 3.5% NaCl* / M. Gohara, A. Baraka, R. Akid, and M. Zorainy // RSC Advanced. – 2020. – **10**, № 4. – P. 2227–2240.
2. *Klodian Khanari and Matjaž Finšgar. Organic corrosion inhibitors for aluminum and its alloys in chloride and alkaline solutions: A review* // Arab. J. Chem. – 2019. – **12**, № 8. – P. 4646–4663.
3. *Cutting fluid corrosion inhibitors from inorganic to organic: Progress and applications* / H. Li, Y. Zhang, C. Li, Z. Zhou, X. Nie, Y. Chen, H. Cao, B. Liu, N. Zhang, Z. Said, S. Debnath, M. Jamil, H. M. Ali, and S. Sharma // Korean J. Chem. Eng. – 2022. – **39**, № 5. – P. 1107–1134.
4. *Екологічно безпечні інгібітори корозії металів на основі природних полімерів (огляд)* / С. А. Корній, І. М. Зінь, М.-О. М. Даниляк, Ю. Я. Різун // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2022. – **58**, № 5. – С. 5–16.
5. *Amrita Biswas, Sagar Pal, and Udayabhanu G. Effect of chemical modification of a natural polysaccharide on its inhibitory action on mild steel in 15% HCl solution* // J. Adhes. Sci. Technol. – 2017. – **31**, № 22. – P. 2468–2489.
6. *Nishad R. Vaidya, Pritish Aklujkar, and Adarsh R. Rao. Modification of natural gums for application as corrosion inhibitor: areview* // J. Coat. Technol. Res. – 2022. – **19**, № 1. – P. 223–239.
7. *Gum arabic nanoparticles as green corrosion inhibitor for reinforced concrete exposed to carbon dioxide environment* / M. A. Asaad, G. F. Huseien, M. H. Baghban, P. B. Raja, R. Fediuk, I. Faridmehr, and F. Alrshoudi // Materials. – 2021. – **14**, № 24. – P. 7867.
8. *Al Kiey S. A., Hasanin M. S., and Heakal F. E. T. Green and sustainable chitosan–gum arabic nanocomposites as efficient anticorrosive coatings for mild steel in saline media* // Scientific reports. – 2022. – **12**, № 1. – P. 1–16.
9. *Danyliak M.-O. M. and Rizun Yu. Ya. Gum arabic as an environmentally friendly inhibitor for corrosion protection of 09G2S steel in neutral media* // Materials Science. – 2022. – **58**, № 1. – P. 47–53.
10. *Corrosion protection of carbon steel by a composition based on natural polysaccharide* / S. A. Korniy, I. M. Zin, M. B. Tymus, O. P. Khlopyk, and M.-O. M. Danyliak // Materials Science. – 2021. – **56**, № 5. – P. 602–607.
11. *Steel corrosion inhibition by microbial polysaccharide and tartrate mixture* / S. A. Korniy, I. M. Zin, M. B. Tymus, O. P. Khlopyk, and M. Y. Holovchuk // J. Bio-Tribo-Corros. – 2022. – **8**. – Article number 6.
12. *A Review of Natural Polysaccharides as Corrosion Inhibitors: Recent Progress and Future Opportunities* / P. I. Murungi, A. A. Sulaimon, O. Ssembatya, and P. Nwankwo // Society of Petroleum Engineers – SPE Nigeria Annual Int. Conf. and Exhibition, NAIC 2022 Lagos, Nigeria, August 2022. doi: <https://doi.org/10.2118/211964-MS>
13. *Guar gum as an eco-friendly corrosion inhibitor for pure aluminium in 1-M HCl solution* / G. Palumbo, K. Berent, E. Proniewicz, and J. Banaś // Materials. – 2019. – **12**. – P. 2620.
14. *Mahdavian M. and Naderi R. Corrosion inhibition of mild steel in sodium chloride solution by some zinc complexes* // Corros. Sci. – 2011. – **53**. – P. 1194–1200.
15. *Güray Kılınçceker. The effects of acetate ions on electrochemical behaviour of brass in chloride solutions* // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. – 2008. – **329**. – P. 112–118.
16. *Ingrid Milošev and Peter Rodič. Cerium chloride and acetate salts as corrosion inhibitors for aluminium alloy AA7075-T6 in sodium chloride solution* // Corrosion. – 2016. – **72**, № 8. – P. 1021–1034.
17. *Molecular/electronic/atomic-level simulation and experimental exploration of the corrosion inhibiting molecules attraction at the steel/chloride-containing solution interface* / S. Akbarzadeh, B. Ramezanzadeh, G. Bahlakeh, and M. Ramezanzadeh // J. Mol. Liq. – 2019. – **296**. – P. 111809.

Одержано 29.11.2022