

ІНГІБУВАННЯ КОРОЗІЇ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ КОМПОЗИЦІЄЮ ГУАРОВОЇ КАМЕДІ ТА СЕГНЕТОВОЇ СОЛІ

М. Б. ТИМУСЬ¹, І. М. ЗІНЬ^{1,2}, О. П. ХЛОПІК¹, В. І. ПОХМУРСЬКИЙ¹,
М. Я. ГОЛОВЧУК¹, С. А. КОРНІЙ¹

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² Національний університет "Львівська політехніка"

Досліджували інгибування корозії дюралюмінієвого сплаву природним полімером – гуаровою камеддю (ГК). Встановлено, що її ефективність інгибування корозії в 0,1% розчині хлориду натрію суттєво збільшується поєднанням в одній композиції зі сегнетовою сіллю (СС). Згідно з результатами електрохімічної імпедансної спектроскопії та рентгенівського енергодисперсійного мікроаналізу поверхні сплаву, в корозивному розчині, інгибованому композицією ГК + СС, формується адсорбційна плівка, яка забезпечує ступінь захисту металу понад 90%. Досліджувана інгібіторна композиція ефективно діє на механічно активованій поверхні дюралюмінієвого сплаву, що робить її перспективною для застосування в умовах трибокорозії.

Ключові слова: корозія, алюмінієвий сплав, хлоридовмісне середовище, гуарова камедь, сегнетова сіль, електрохімічна імпедансна спектроскопія, сканівна електронна мікроскопія, ступінь захисту.

Inhibition of corrosion of duralumin alloy by natural polymer guar gum (GG) was investigated. It was found that the effectiveness of its corrosion inhibition in 0.1% sodium chloride solution significantly increased by its combination in one composition with tartrate salt (TS). According to the data of electrochemical impedance spectroscopy and X-ray energy dispersion microanalysis of the alloy surface in a corrosive solution inhibited by the composition of GG and TS, an adsorption film is formed, which provides a degree of the metal protection over 90%. The investigated inhibitory composition effectively acts on the mechanically activated surface of the duralumin alloy, which makes it promising for use in conditions of tribocorrosion.

Keywords: corrosion, duralumin alloy, chloride solution, guar gum, tartrate salt, electrochemical impedance spectroscopy, scanning electron microscopy, degree of protection.

Вступ. Завдяки малій густині та високим механічним властивостям термозміцнені алюміній-мідні сплави широко використовують у багатьох галузях промисловості. Поряд із низькою густиною, високою тепло- та електричною провідністю, естетичним зовнішнім виглядом, вони мають задовільну корозійну тривалість, зумовлену утворенням на їх поверхні в атмосферних умовах тонкого оксидного шару. Однак цей захисний шар в агресивному середовищі руйнується, що призводить до локальної корозії дюралюмінію в околі інтерметалічних включень [1, 2]. Механічне пошкодження оксидної плівки в умовах експлуатації також сприяє інтенсивній корозії дюралюмінію. Одним з найпрактичніших та економічно вигідних методів зменшення корозії алюмінієвих сплавів є використання інгібіторів, молекули яких блокують доступ корозивного середовища до металу, адсорбуючись на його поверхні або пасивуючи її. Такі неорганічні інгібітори, як хромати, дихромати, фосфати мають високу протикорозійну ефективність. Проте

вони шкідливі для навколишнього середовища. Тому багато дослідників звернули увагу на використання екологічно безпечних інгібіторів корозії, зокрема біополімерів на основі рослинної сировини [3–7]. Наявність у структурі біополімерів полярних функціональних груп забезпечує їх адсорбційну здатність, що важливо для запобігання корозії металу [6, 8]. Біополімери завдяки багатьом центрам адсорбції можуть покривати більші площі поверхні металу, забезпечувати краще зчеплення з металевою поверхнею та бути ефективнішими інгібіторами корозії, ніж мономерні сполуки [9].

Одним із біополімерів, які є перспективними для інгібування корозії металів, є гуарова камедь (ГК) – природний полісахарид, який екстрагується з насіння гуарової рослини *Cyamopsis tetragonolobus* родини бобових [10]. Цей відносно недорогий полісахарид, зазвичай, використовують у харчовій, фармацевтичній та косметичній галузях промисловості як зв'язувальний компонент, стабілізатор і загущувач [11]. Попередні праці [12–14] засвідчили, що гуарова камедь інгібує корозію металів у кислих середовищах, будучи природною нетоксичною біодеградабельною сполукою, яка відповідає основним вимогам і нормам екологічної безпеки. Однак у нейтральних хлоридовмісних середовищах ефективність інгібування корозії металу цим біополімером недостатня. Раніше встановлено [15], що за поєднання в одній композиції природного гідроксилвмісного полімеру (ксантанової камеді) та сегнетової солі (СС) існує синергічний протикорозійний ефект на сталі в 0,1%-му розчині NaCl. Оскільки гуарова камедь також містить у своїй структурі гідроксильні групи, цікавими є дослідження можливості покращення її захисної дії на алюмінієвому сплаві в нейтральному хлоридовмісному середовищі додаванням солі винної кислоти. Тому мета роботи – дослідити протикорозійну ефективність композиції гуарової камеді зі сегнетовою сіллю та встановити особливості механізму її захисної дії стосовно дюралюмінієвого сплаву в хлоридовмісному корозивному середовищі.

Методика досліджень та матеріали. Алюмінієвий сплав Д16Т (ГОСТ 4784-97), який широко застосовують в авіації, на транспорті та у будівельній промисловості досліджували у 0,1%-му розчині NaCl за кімнатної температури, в який як інгібітори корозії додавали природний полісахарид – гуарову камедь та сегнетову сіль – тетрагідрат подвійної натрієво-калієвої солі винної кислоти $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. У корозивний розчин додавали як окремі речовини, так і їх композицію.

Гуарова камедь – природний полімер, який містить основу з мономерних одиниць D-манопіранози, приєднаних одна до одної через β -зв'язок (1 \rightarrow 4), та бічну гілку з одною α -D-галактопіранозою, пов'язаною з манозною одиницею за α -зв'язком (1 \rightarrow 6) (рис. 1) [16].

Характеристики корозійних процесів вивчали у потенціодинамічному режимі, застосовуючи потенціостат Gill AC. Електрод порівняння – хлоридсрібний типу ЭВЛ-1М1, робочий – дюралюмінієвий сплав Д16Т, допоміжний – платиновий. Швидкість розгортки потенціалу 2 mV/s. Струми корозії металу визначали екстраполяцією тафелевських ділянок поляризаційних кривих за допомогою комп'ютерної програми АСМ Analysis v4. Ефективність інгібування корозії сплаву Д16Т досліджували методом електрохімічної імпедансної спектроскопії за потенціалу відкритого кола у діапазоні частот 10000...0,01 Hz. Амплітуда прикладеного сигналу становила 10 mV. Площа робочої поверхні зразків металу 1 cm². Зразки металу перед зануренням у середовище обробляли шліфувальним папером марки P320 та знежирювали ацетоном. Досліджували ефективність інгібіторів корозії на стадії репасивації алюмінієвого сплаву Д16Т на спеціальному пристрої, згідно з методикою [17]. Для випробувань використовували зразки у вигляді дроту з діаметром 2 mm. Прокородовану поверхню дюралюмінієвого сплаву після

витримки в корозивному середовищі обстежували на USB-мікроскопі Kronos за збільшення у 25 разів. Поверхню зразків сплаву Д16Т після витримки в досліджуваних розчинах вивчали на сканівному електронному мікроскопі Zeiss EVO-40XVP зі системою рентгенівського енергодисперсійного мікроаналізу INCA Energy 350.

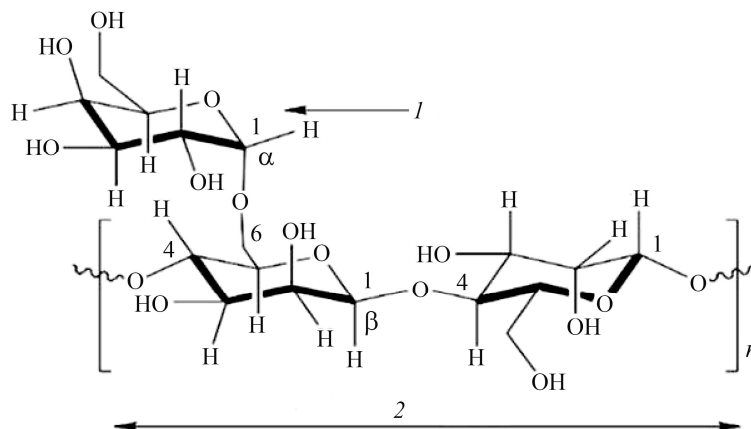


Рис. 1. Хімічна структура гуарової камеді [16]: 1 – галактоза; 2 – манозна основна.

Fig. 1. Chemical structure of guar gum [16]: 1 – galactose; 2 – mannose basic.

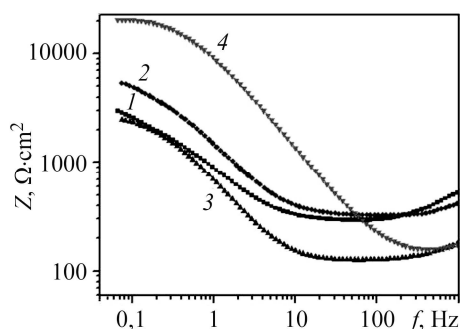
Результати досліджень та їх обговорення. Електрохімічні дослідження показали (рис. 2), що модуль імпедансу дюралюмінієвого сплаву за частоти струму 0,1 Hz після 24 h витримки у хлоридовмісному корозивному середовищі, інгібованому 4 g/l ГК, становив $\sim 4800 \Omega \cdot \text{cm}^2$. При цьому ступінь захисту металу не перевищував 53%. Сегнетова сіль взагалі неефективна за цих умов. Водночас композиція ГК + СС мала високі протикорозійні характеристики, зокрема, модуль імпедансу дюралюмінієвого сплаву в інгібованому нею хлоридному розчині зріс до $20500 \Omega \cdot \text{cm}^2$, що відповідає ступеню захисту 91%. Отже, сумісне використання природного гуарового полісахариду та сегнетової солі забезпечує підвищений протикорозійний ефект стосовно сплаву Д16Т в 0,1%-му розчині NaCl, що дає змогу говорити про синергізм цієї композиції.

Рис. 2. Імпедансні залежності сплаву Д16Т після експозиції 24 h:

- 1 – неінгібований 0,1% NaCl;
- 2 – 0,1% NaCl + 4 g/l ГК;
- 3 – 0,1% NaCl + 4 g/l СС;
- 4 – 0,1% NaCl + по 2 g/l ГК та СС.

Fig. 2. Impedance dependences of AA2024 alloy after a 24 h exposure in:

- 1 – uninhibited 0.1% NaCl;
- 2 – 0.1% NaCl + 4 g/l GG;
- 3 – 0.1% NaCl + 4 g/l TS;
- 4 – 0.1% NaCl + 2 g/l GG + 2 g/l TS.



Максимум фазового кута θ дюралюмінієвого сплаву після 24 h експозиції в корозивному розчині, інгібованому композицією ГК та СС (по 2 g/l), зміщується в діапазон середніх частот – від 5 до 10 Hz. В інших розчинах цей максимум знаходиться в межах 0,5...2 Hz (рис. 3). Його значення в корозивному середовищі, інгібованому синергічною композицією, досягає 75° , що вдвічі більше, ніж у

неінгібованому та за використання кожного з компонентів окремо. Збільшення максимуму частотної залежності фазового кута дюралюмінію та його зміщення в бік вищих частот змінного струму можна пояснити формуванням на поверхні металу в інгібованому корозивному розчині адсорбційної плівки з поліпшеними бар'єрними властивостями [18].

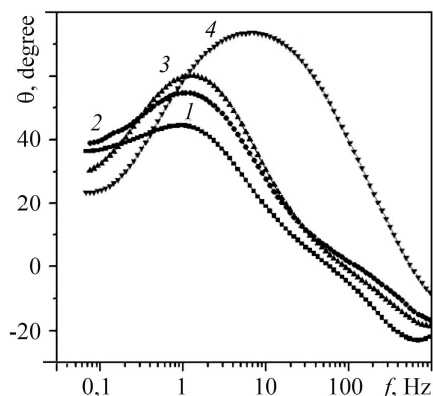


Рис. 3. Залежності фазового кута зразків сплаву Д16Т після витримки 24 h:
 1 – у неінгібованому 0,1% NaCl;
 2 – 0,1% NaCl + 4 g/l ГК;
 3 – 0,1% NaCl + 4 g/l СС;
 4 – 0,1% NaCl + по 2 g/l ГК та СС.

Fig. 3. Dependences of phase angle of samples of AA2024 alloy after a 24 h exposure:
 1 – uninhibited 0.1% NaCl;
 2 – 0.1% NaCl + 4 g/l GG;
 3 – 0.1% NaCl + 4 g/l TS;
 4 – 0.1% NaCl + 2 g/l GG + 2 g/l TS.

За результатами поляризаційних досліджень найнижчий струм корозії дюралюмінієвого сплаву після експозиції 7 days спостерігали в корозивному розчині, інгібованому композицією ГК + СС. Під дією композиції струм корозії (i_{corr}) Д16Т зменшився приблизно в 5,7 рази порівняно з контрольним 0,1% розчином натрію хлориду (табл. 1). Потенціал вільної корозії зразків дюралюмінієвого сплаву в інгібованих розчинах змістився у бік від'ємних значень, що може вказувати на зменшення швидкості катодної реакції корозії металу більшою мірою, ніж анодної. В корозивному середовищі за додавання композиції інгібіторів таке зміщення потенціалу найбільше.

Таблиця 1. Корозійно-електрохімічні характеристики сплаву Д16Т після 7 days витримки в інгібованому хлоридовмісному середовищі

Середовище	$i_{\text{corr}} \cdot 10^{-3}$, mA/cm ²	E, mV
0,1% NaCl	8,5	-672
0,1% NaCl + 4 g/l ГК	2,4	-783
0,1% NaCl + 4 g/l СС	4,3	-749
0,1% NaCl + 2 g/l ГК + 2 g/l СС	1,5	-825

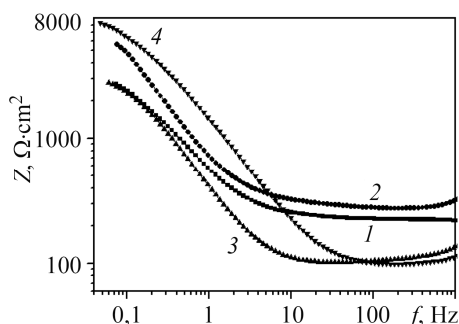
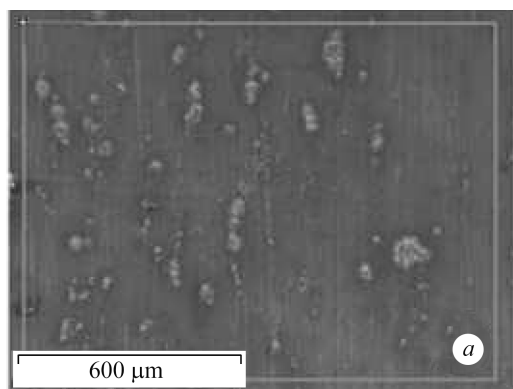


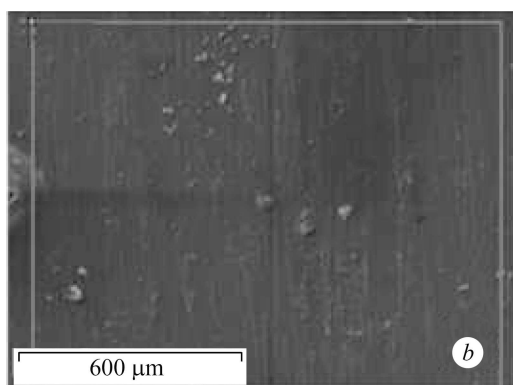
Рис. 4. Імпедансні залежності сплаву Д16Т після експозиції 7 days:
 1 – неінгібований 0,1% NaCl;
 2 – 0,1% NaCl + 4 g/l ГК;
 3 – 0,1% NaCl + 4 g/l СС;
 4 – 0,1% NaCl + по 2 g/l ГК та СС.

Fig. 4. Impedance dependences of AA2024 alloy after a 7 day exposure in:
 1 – uninhibited 0.1% NaCl;
 2 – 0.1% NaCl + 4 g/l GG;
 3 – 0.1% NaCl + 4 g/l TS;
 4 – 0.1% NaCl + 2 g/l GG + 2 g/l TS.

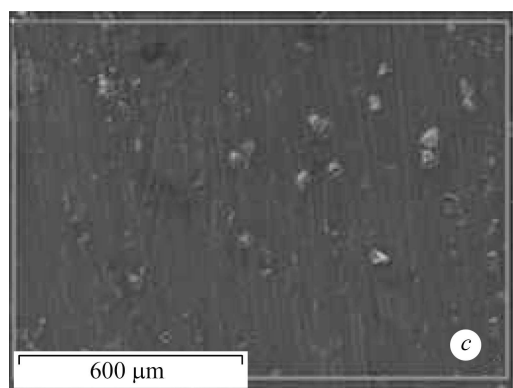
Імпедансні залежності за тривалішої експозиції (рис. 4) засвідчують досить високі протикорозійні характеристики синергічної композиції порівняно з неінгібованим середовищем та за окремого використання ГК та СС. Так, модуль імпедансу Д16Т в хлоридному розчині, інгібованому синергічною композицією, становить $6600 \Omega \cdot \text{cm}^2$, що відповідає 70% ступеню захисту, водночас за використання ГК і СС захисна ефективність становить 56% і 6,8%, відповідно.



Element	mass%
C	11,05
O	14,57
Mg	1,26
Al	68,02
Mn	0,39
Fe	0,5
Cu	3,83
Cl	0,8
Total	100



Element	mass%
C	17,76
O	15,38
Mg	1,27
Al	60,11
Si	0,35
Cl	0,38
Mn	0,5
Fe	0,48
Cu	3,56
Total	100



Element	mass%
C	21,18
O	18,66
Mg	1,32
Al	54,18
Mn	0,44
Fe	0,40
Cu	3,82
Total	100

Рис. 5. Електронно-мікроскопічні зображення та результати рентгенівського енергодисперсійного мікроаналізу поверхні сплаву Д16Т після 3 days експозиції:
a – неінгібований 0,1% NaCl; *b* – за додавання 4 g/l ГК;
c – за додавання 2 g/l ГК + 2 g/l СС.

Fig. 5. Electron microscopy images and results of X-ray energy dispersion microanalysis of AA2024 alloy surface after a 3 day exposure : *a* – uninhibited 0.1% NaCl;
b – 0.1% NaCl + 4 g/l GG; *c* – 0.1% NaCl + 2 g/l GG + 2 g/l TS.

Електронно-мікроскопічними дослідженнями та EDX-аналізом виявлено (рис. 5), що на поверхні алюмінієвого сплаву Д16Т у корозивному середовищі, інгібованому композицією ГК + СС, на відміну від контрольного розчину, відсутні сліди аніонів СГ, що свідчить про утворення на поверхні металу захисної плівки з хорошими бар'єрними властивостями. Водночас тут у два рази збільшується вміст вуглецю та суттєво зменшується вміст алюмінію порівняно з неінгібованим розчином, що також вказує на формування захисної органічної плівки. Цей же ефект, однак меншою мірою, проявляється на зразку дюралюмінієвого сплаву, витриманого у корозивному розчині, що містив лише ГК. Із результатів EDX-аналізу видно, що після додавання ГК та СС кількість атомів кисню та вуглецю на поверхні збільшується (рис. 5). Враховуючи, що вуглець входить до складу досліджуваних інгібіторів, підвищення його вмісту за введення композиції ГК + СС у корозивне середовище, ймовірно, обумовлене адсорбцією їх органічних молекул на поверхні алюмінієвого сплаву. Візуальний огляд зразків підтвердив найвищу ефективність синергічної композиції 2 г/л ГК + 2 г/л СС. За результатами оптичної мікроскопії поверхня зразків залишається непрокородованою і без продуктів корозії (рис. 6).

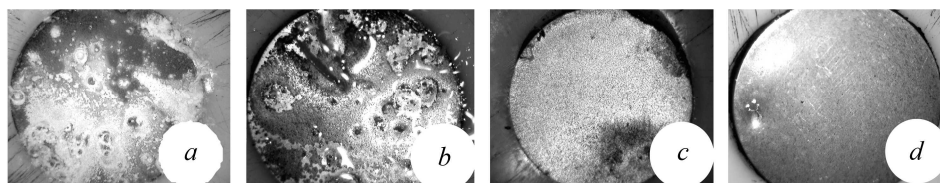


Рис. 6. Поверхня зразків сплаву Д16Т ($\times 25$) після експозиції 30 days:
a – у неінгібованому 0,1% NaCl; *b* – інгібованому 2 г/л ГК; *c* – інгібованому 2 г/л СС;
d – інгібованому композицією 2 г/л ГК + 2 г/л СС.

Fig. 6. Surface of the AA2024 alloy samples ($\times 25$) after 30 days exposure:
a – uninhibited 0.1% NaCl; *b* – inhibited by the 2 g/l GG;
c – inhibited by the 2 g/l TS; *d* – inhibited by the composition 2 g/l GG + 2 g/l TS.

Надалі досліджували протикорозійну ефективність інгібіторної композиції ГК + СС за механічного руйнування пасивної оксидної плівки на алюмінієвому сплаві. Це відбувається тоді, коли алюмінієва конструкція працює в умовах трибокорозії або корозійної втоми. Для цього вивчали густину струму анодної поляризації дроту зі сплаву Д16Т за потенціалу вільної корозії після його розрізання на пристрої-гільйотині (рис. 7). У момент гільйотинування зразка у корозивному середовищі густина струму різко зростала на п'ять порядків упродовж кількох ms, а потім поступово зменшувалася за степеневим законом. Така залежність густини струму свідчить про відновлення на поверхні металу захисної плівки без її повторної механічної активації. Під час репасивації металу після гільйотинування експоненціальна кінетична залежність густини струму складається з двох характерних частин (крутої і пологої). Тому для теоретичного наближення кінетичних залежностей репасивації використали подвійну експоненціальну функцію $i = i_1 \cdot \exp(-\tau/t_1) + i_2 \cdot \exp(-\tau/t_2) + i_3$, де τ – час, s; i_1 та i_2 – максимуми густин струмів двох експоненціальних кривих, mA/cm²; t_1 та t_2 – часові константи, які характеризують швидкість зниження експоненціальної функції відповідно на крутій та пологій її частинах; i_3 – густина струму поляризації металу за статичних умов, mA/cm². Згідно з працею [19], перший етап – це екстенсивне відновлення оксидного шару на поверхні металу, другий – його потовщення та ущільнення. Перша частина подвійної експоненціальної залежності $i_1 \cdot \exp(-\tau/t_1)$ належить до відновлення оксидного шару на алюмінієвому сплаві, а друга $i_2 \cdot \exp(-\tau/t_2)$ – описує потовщення та ущільнення оксидної плівки. На основі розрахованих значень t_1 та t_2

(табл. 2) можна зробити висновок, що поверхнева захисна плівка на першому етапі дещо швидше відновлюється в 0,1% розчині натрію хлориду, ніж в інгібованих розчинах. Можливо присутність інгібіторів створює певні обмеження для дифузії розчиненого кисню до поверхні металу. Натомість найменше значення параметра t_2 (32,44) у корозивному розчині з композицією ГК + СС на другому етапі репасації свідчить, що найшвидше потовщується та краще ущільнюється захисна плівка саме у цьому середовищі (табл. 2). Після 500 s репасації свіжоутвореної поверхні сплаву Д16Т в інгібованих розчинах густина струму поляризації у 8–12 разів менша порівняно з неінгібованим середовищем. За додавання в корозивний розчин інгібіторної композиції ГК + СС струм поляризації дюралюмінію знижується найбільше. Причиною цього може бути формування на поверхні сплаву високощільного оксидо-органічного шару.

Рис. 7. Часові залежності густини струму поляризації за потенціалу вільної корозії зразка сплаву Д16Т після активування у середовищах:

- 1 – неінгібований 0,1% NaCl;
- 2 – 0,1% NaCl + 4 g/l ГК;
- 3 – 0,1% NaCl + 4 g/l СС;
- 4 – 0,1% NaCl + по 2 g/l ГК та СС.

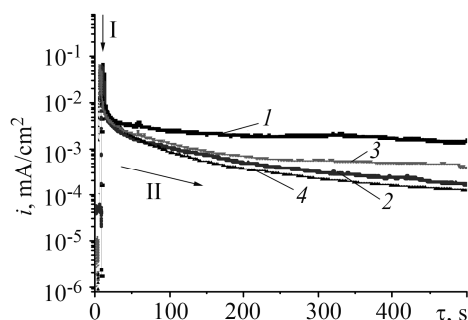


Fig. 7. Time dependences of the polarization current density on the free corrosion potential of the AA2024 alloy sample after activation in: 1 – uninhibited 0.1% NaCl; 2 – 0.1% NaCl + 4 g/l GG; 3 – 0.1% NaCl + 4 g/l TS; 4 – 0.1% NaCl + 2 g/l GG + 2 g/l TS.

Таблиця 2. Параметри репасації t_1 і t_2 зразка алюмінієвого сплаву після його активації, отримані через експоненціальну залежність $i = i_1 \cdot \exp(-\tau/t_1) + i_2 \cdot \exp(-\tau/t_2) + i_3$

Параметри репасації	Корозивне середовище			
	0,1% NaCl	0,1% NaCl + 4 g/l ГК	0,1% NaCl + 4 g/l СС	0,1% NaCl + 2 g/l ГК + 2 g/l СС
t_1	1,48	2,12	2,11	2,33
t_2	83,46	84,19	75,57	32,44

Раніше встановлено [20, 21], що в порах та тріщинах оксидної плівки на дюралюмінієвому сплаві відбувається анодний процес. Ділянки сплаву з товстим оксидним шаром – електрохімічно інертні. Водночас існують включення інтерметалічної фази, вкриті тонкою оксидною плівкою, яка не пропускає йони, але здатна пропускати електрони. Ці включення відіграють роль катодів стосовно основи сплаву – твердого розчину міді в алюмінії. Внаслідок того, що молекули гуарової камеді є достатньо великими і містять у своїй структурі численні полярні функціональні групи, а їх адсорбція є багатоточковою, слід очікувати певних перешкод для повного перекривання поверхні алюмінієвого сплаву біополімером. Пори та тріщини в оксидному шарі можуть бути незахищені, а в адсорбційному шарі з'являються мікродфекти та неоднорідності, що спричиняє розвиток підплівкової корозії підсиленої присутністю в корозивному розчині хлорид-йонів. Тому важливо збільшити протикорозійний ефект гуарової камеді додаванням СС. Згідно з результатами праці [22], СС діє як хороший синергіст для інгі-

бування корозії. Електрохімічні дослідження [23] свідчать, що композиція тартрат-йону та пропаргілового спирту проявляє синергізм захисної дії на алюмінієвому сплаві 3003. З огляду на результати праці [24, 25], можна припустити, що в нейтральному хлоридному розчині можливе формування комплексних сполук, які містять катіони металу, калій натрій тартрат та полісахарид. Такі комплексні сполуки можуть заповнювати пори в поверхневій плівці і роблять її корозійно-стійкішою. Отже, підвищений протикорозійний ефект композиції ГК + СС в хлоридному розчині ймовірно викликаний утворенням одинарних або подвійних комплексів сегнетової солі з катіонами алюмінію та гуаровими молекулами.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що ефективність інгібування корозії дюралюмінієвого сплаву природним полімером (гуаровою камеддю) в 0,1% розчині хлориду натрію суттєво збільшується її поєднанням в одній композиції зі сегнетовою сіллю. Згідно з результатами електрохімічної імпедансної спектроскопії та рентгенівського енергодисперсійного мікроаналізу, на поверхні сплаву в корозивному розчині, інгібованому композицією ГК + СС, формується адсорбційна плівка, яка забезпечує ступінь захисту металу понад 90%. Досліджувана інгібіторна композиція поліпшує протикорозійні властивості оксидної плівки, яка формується на дюралюмінієвому сплаві на стадії репасивації, що робить її перспективною для застосування в умовах трибокорозії.

1. *Yasakau K. A., Zheludkevich M. L., and Ferreira M. G. S.* Role of intermetallics in corrosion of aluminum alloys. Smart corrosion protection // *Intermetallic Matrix Composites. Properties and Applications.* – 2018. – P. 425–462.
2. *Wasąg J. and Grabarczyk M.* Application of adsorptive stripping voltammetry based on PbFE for the determination of trace aluminum released into the environment during the corrosion process // *Talanta.* – 2021. – **233.** – P. 122565.
3. *Inhibiting action of biogenic surfactants in corrosive media / V. I. Pokhmurs'kyi, O. V. Karpenko, I. M. Zin', M. B. Tymus', and H. H. Veseliv'ska* // *Materials Science.* – 2014. – **50,** № 3. – P. 448–453.
4. *Slobodyan Z. V., Zin I. M., and Korniy S. A.* New environment friendly corrosion inhibitor based on plant extracts and technology of chemical cleaning of thermal power equipment with its use // *Science and Innovations.* – 2021. – **17,** № 2. – P. 15–24.
5. *Influence of the extracts of plant raw materials on the corrosion-fatigue fracture of steels in fresh water / Z. V. Slobodyan, L. A. Mahlatyuk, Ya. M. Khaburs'kyi, and R. B. Kupovych* // *Materials Science.* – 2016. – **52,** № 1. – P. 132–139.
6. *Umoren Saviour and Eduok Ubong M.* Application of carbohydrate polymers as corrosion inhibitors for metal substrates in different media: A review // *Carbohydrate Polymers.* – 2015. – **140.** – P. 314–341.
7. *A comprehensive study of grape pomace extract and its active components as effective vapour phase corrosion inhibitor of mild steel / V. Vorobyova, O. Chygyrynets', M. Skiba, T. Zhuk, I. Kurmakova, and O. Bondar* // *Int. J. of Corrosion and Scale Inhibition.* – 2018. – **7,** № 2. – P. 185–202.
8. *Chitosan biopolymer effect on copper corrosion in 3.5 wt.% NaCl solution: Electrochemical and quantum chemical studies / Y. S. Brou, N. H. Coulibaly, N'G. Y. S. Diki, J. Creus, and A. Trokourey* // *Int. J. of Corrosion and Scale Inhibition.* – 2020. – **9,** № 1. – P. 182–200.
9. *Abdallah M.* Guar gum as corrosion inhibitor for carbon steel in sulfuric acid solutions // *Portugaliae Electrochimica Acta.* – 2004. – **22.** – P. 161–175.
10. *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. – P. 2–19.
11. *Mudgil D., Barak S., and Khatkar B. S.* X-ray diffraction, IR spectroscopy and thermal characterization of partially hydrolyzed guar gum // *Int. J. of Biological Macromolecules.* – 2012. – **50.** – P. 1035–1039.
12. *Guar gum as efficient non-toxic inhibitor of carbon steel corrosion in phosphoric acid medium: Electrochemical, surface, DFT and MD simulations studies / M. Messali, H. Lgaz,*

- R. Dassanayake, R. Salghi, S. Jodeh, N. Abidi, and O. Hamed // *J. of Molecular Structure.* – 2017. – **1145**. – P. 43–54.
13. *Palumbo G. and Banaś J.* Inhibition effect of guar gum on the corrosion behaviour of carbon steel (K-55) in fracturing fluid // *Solid State Phenomena.* – 2015. – **227**. – P. 59–62.
 14. *Peter A., Sharma S. K., and Obot I. B.* Anticorrosive efficacy and adsorptive study of guar gum with mild steel in acidic medium // *J. of Analytical Sci. and Technol.* – 2016. – **7**. – P. 26.
 15. *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. – С. 602–607.
 16. *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.
 17. *Патент* України на корисну модель МПК G01N 17/00, C23F 11/00. Спосіб експрес-оцінки ефективності інгібіторів корозії за умов механічного руйнування пасивної плівки на поверхні металу / В. І. Похмурський, І. М. Зінь, А. І. Кондир, О. П. Хлопик. – Опубл. 25.06.2013; Бюл. № 12.
 18. *Imidazoline* derivatives based on coffee oil as CO₂ corrosion inhibitor / J. Porcayo-Calderon, L. M. Martinez de la Escalera, J. Canto, and M. Casales-Diaz // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 2015. – **10**. – P. 3160–3176.
 19. *Sin J. R.* Investigation of the corrosion and tribocorrosion behaviour of metallic biomaterials: PhD Thesis, Lulee University of Technology. – Lulee, 2015. – 196 p.
 20. *Influence* of Fe-Rich intermetallic inclusions on pit initiation on aluminum alloys in aerated NaCl / J. O. Park, C. H. Paik, Y. H. Huang, and R. C. Alkire // *J. Electrochem. Soc.* – 1999. – **146**. – P. 517.
 21. *Peltier F. and Thierry D.* Localised corrosion of intermetallic particles on aluminium AA2099-T8 // *Corr. Eng., Sci. and Technol.* – 2021. DOI: 10.1080/1478422X.2021.1931645.
 22. “*N,N-bis(phosphonomethyl) glycine, Zn²⁺* and tartrate” – A new ternary inhibitor formulation for corrosion control of carbon steel / B. V. Appa Rao, M. Venkateswara Rao, S. Srinivasa Rao, and B. Sreedhar // *Int. J. of Materials and Chemistry.* – 2013. – **3**, № 2. – P. 17–27.
 23. *Yazdzad A. R., Shahrabi T., and Hosseini M. G.* Inhibition of 3003 aluminum alloy corrosion by propargyl alcohol and tartrate ion and their synergistic effects in 0.5% NaCl solution // *Materials Chemistry and Physics.* – 2008. – **109**. – P. 199–205.
 24. *Gunasekaran G., Natarajan N., and Palaniswamy N.* The role of tartrate ions in the phosphonate based inhibitor system // *Corr. Sci.* – 2001. – **43**. – P. 1615–1626.
 25. *Influence* of zinc sulphate on the corrosion resistance of L80 alloy immersed in sea water in the absence and presence of sodium potassium tartrate and trisodium citrate / A. Grace Baby, S. Rajendran, V. Johnsirani, A. Al-Hashem, N. Karthiga, and P. Nivetha // *Corros. Scale Inhib.* – 2020. – **9**, № 3. – P. 979–999.

Одержано 14.04.2021