

УДК 620.197

ВИВЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ ДІЇ ІЗОПРОПАНОЛЬНОГО ЕКСТРАКТУ ШРОТУ РІПАКУ НА АТМОСФЕРНУ КОРОЗІЮ МІДІ

О. Е. ЧИГИРИНЕЦЬ¹, Ю. Ф. ФАТЄЄВ¹, В. І. ВОРОБІЙОВА¹, М. І. СКИБА²

¹ Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут";

² Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпропетровськ

Гравіметричними та електрохімічними поляризаційними дослідженнями виявлено, що ізопропанольний екстракт шроту ріпаку є ефективним летким інгібітором атмосферної корозії міді. Встановлено, що під час формування ефективність дії поверхневої плівки залежить від складу парогазової фази, а в умовах зволоження поверхні металу швидкість корозії визначає швидкість катодного процесу відновлення атмосферного кисню. Під час оцінки адсорбційної активності органічних молекул за індексами реакційної здатності, а також вивчення морфології поверхні зразків зроблено припущення, що ефективність дії ізопропанольного екстракту на початковій стадії обумовлена хемосорбцією летких органічних компонентів шроту ріпаку, які в подальшому взаємодіють між собою і трансформуються в поверхневу фазову плівку, яка містить іони міді, воду і органічні речовини.

Ключові слова: *атмосферна корозія, шрот ріпаку, ізопропанольний екстракт, леткий інгібітор, мідь, адсорбція, плівка, катодний процес.*

Одним із найбільш простих, технологічних і ефективних методів протикорозійного захисту металевих виробів в умовах атмосферної корозії (АК) є використання летких інгібіторів. З урахуванням екологічних вимог та дефіциту більшості високоефективних летких інгібіторів атмосферної корозії (ЛІАК) встановили [1–3], що перспективною сировиною для їх створення є природні сполуки рослинного походження. Одним із таких джерел є шрот насіння ріпаку (родина *Brássica párus*). Виявили [4], що ізопропанольний екстракт летких сполук шроту ріпаку впродовж 20 діб в умовах періодичної конденсації вологи забезпечував ефективний захист вуглецевої сталі (Сталь 20) від АК. Оскільки під час виготовлення приладів і апаратури використовують різні метали, то доцільно дослідити придатність ЛІАК на основі цього екстракту для захисту від АК кольорових металів, зокрема міді.

Матеріали та методики. Ізопропанольний екстракт шроту ріпаку готували, настоюючи в ізопропанолі впродовж доби у закритій ємності заздалегідь подрібнене його насіння за співвідношення шроту до спирту 1 g на 10 cm³. Для вивчення ефективності його дії на корозійно-електрохімічну поведінку міді використовували зразки, виготовлені з міді марки М0 (99,95% Cu) (ГОСТ 859-2001). Перед дослідженнями швидкості корозії гравіметричним методом зразки зачищали шліфувальним папером різної зернистості та знежирювали ацетоном. Продукти корозії усували механічно за допомогою гумки.

Застосовували два методи формування поверхневих плівок ЛІАК. За першим конденсовані плівки органічних ЛІАК утворювали в ізольованій атмосфері ізопропанольного екстракту. Для цього мідні зразки загортали на три доби в заздалегідь просочений ним крафт-папір та поліетиленовий пакет. Після виникнення

плівки вільні від паперу зразки розміщали в ексікаторі зі склянкою дистильованої води або 1%-го розчину NaCl. Періодично зволожували поверхню міді, застосовуючи в термокамері режим циклічної зміни температури (при 40°C упродовж 8 h, а при 25°C – 16 h). Загальна тривалість випробувань 60 діб.

За другим методом плівки ЛІАК формували в парогазовій фазі за одночасного випаровування органічних речовин з ізопропанольного екстракту та водяної пари, в тому числі з 1%-го розчину NaCl. Насичення внутрішнього замкненого простору в ексікаторі парою ЛІАК і водяною відбувалося в умовах їх природного випаровування при кімнатній температурі впродовж трьох діб. Далі зразки випробовували на корозію із циклічним зволоженням, як і в першому методі. Ефективність інгібіторів оцінювали за коефіцієнтами гальмування корозії (γ) та ступенем захисту (Z) від корозії [1–4].

Для встановлення впливу захисних поверхневих плівок на катодні і анодні електродні процеси АК міді знімали потенціодинамічні поляризаційні криві в триелектродній електрохімічній комірці в повітрі, відділяючи аноліт від католіту (об'єм робочого розчину 60 см³). Використовували мідний електрод циліндричної форми, запресований у тефлонову обойму, а за допоміжний – платинову пластину. Робочою поверхнею електрода був дисковий торець площею 0,385 см². Поляризаційні криві знімали в 0,01 М розчині NaCl, що моделював агресивне середовище АК металів. Особливістю електрохімічних досліджень було те, що торцеву дискову поверхню робочого електрода занурювали в поверхневі шари робочого розчину тільки на 1...2 mm. Це давало можливість точніше моделювати АК, що виникала на поверхні металу у тонких прошарках конденсованої вологи. Капіляр від електрода порівняння підводили до поверхні робочого електрода знизу. Робочий електрод перед обробкою в парі ЛІАК полірували і знежирювали ацетоном. Плівку ЛІАК на поверхні заздалегідь формували в парах ізопропанольного екстракту і дистильованої води впродовж 24 h.

Поляризаційні дослідження виконували, застосовуючи потенціостат ПИ-50-1.1 і програматор ПР-8. Потенціал міді визначали відносно хлоридсрібного електрода порівняння. Наведені потенціали електродів перераховані відносно нормального водневого електрода. Морфологію поверхні зразків металу без плівки і після формування плівки ЛІАК та корозійних випробувань вивчали на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И зі збільшенням у 100 разів.

Результати та їх обговорення. *Привидшені корозійні випробування.* Гравіметричні дослідження виявили, що ізопропанольний екстракт так само ефективно захищає від АК не тільки сталь, але і мідь [4] (табл. 1). Ступінь захисту, залежно від умов формування плівки із летких фракцій екстракту, знаходиться в межах 84,4...97,43%, що дає можливість рекомендувати його для захисту міді та її сплавів.

Таблиця 1. Вплив умов формування захисних плівок ЛІАК з ізопропанольного екстракту шроту ріпаку на ступінь захисту (Z , %) та коефіцієнт гальмування (γ) АК міді за періодичної конденсації вологи впродовж 60 діб

Умови формування плівки	Періодична конденсація вологи			
	дистильована вода		1% NaCl	
	Z , %	γ	Z , %	γ
Атмосфера безводного екстракту	97,43	38,9	91,38	11,6
Атмосфера в екстрактно-водяній фазі	95,73	23,4	84,40	6,26

Найефективнішими виявились плівки, сформовані в атмосфері ізопропанольного екстракту за відсутності водяної пари. Найменший ступінь захисту при-таманний плівкам, утвореним в екстрактно-водяній атмосфері, коли водяна пара випаровується із 1%-го розчину NaCl. Попередня витримка міді в атмосфері індивідуального ізопропанолу не впливає на швидкість корозії під час АК. Такий характер впливу водяної пари та хлорид-іонів на формування плівок на поверхні міді і їх захисні властивості під час АК металів можна пояснити так.

В атмосферних умовах корозія міді протікає за участі молекулярного кисню. При цьому її інтенсивність за наявності на поверхні металу різних за товщиною шарів електроліту може визначати або швидкість анодного розчинення металу (товщина шару електроліту менше 10 μm), або швидкість катодного процесу відновлення атмосферного кисню (товщина шару електроліту більше 20...30 μm) [5]. Під час пришвидшених корозійних випробувань на поверхні міді циклічно утворювалася різна за товщиною плівка конденсованої вологи. Тому корозію тут може контролювати швидкість і анодного, і катодного процесів.

Формування плівки суттєво залежить від стану та активності поверхні. В атмосфері сухої пари адсорбція легких компонентів екстракту відбувається на поверхні зразків з природним мономолекулярним шаром продуктів окиснення металу. На ній в першу чергу адсорбуватимуться адсорбційно-активніші сполуки, а менш активні, якщо вони спорідненіші до первинно адсорбованих сполук, вже – на них.

Під час дослідження за допомогою газової хромато-мас-спектрометрії хімічного складу ізопропанольного екстракту встановили [4], що серед основних його сполук домінують глікозиди (29%): сахароза, гуанозин, ксантозин; бузковий альдегід (14%), кетон-3,5-диметоксиацетофенон (18%), фітостерини (β - і γ -ситостерол, кампестерол) (4,6%), а також насичені і ненасичені жирні кислоти, представлені пальмітиною (гексадеканова), олеїною (цис-9-октадеценнова), лінолевою (октадекадієнова) і оцтовою кислотами (21,0%).

Адсорбційну активність органічних молекул, а отже, схильність до хемосорбції згідно з літературними даними [6, 7] можна оцінити за індексами реакційної здатності (IPЗ), отриманими квантово-хімічними розрахунками з урахуванням електронних і енергетичних характеристик як інгібітора, так і металу. Ґрунтуючись на них, встановили [7], що для багатьох металів і їх оксидів залежність адсорбції молекул органічних сполук від перших потенціалів іонізації проходить через максимум, який має назву “резонансного потенціалу” (I_p) металу.

Метал від корозії захищають сполуки, які адсорбуються на поверхні з $I_p = 7,2; 7,9$ та $9,5$ eV [7]. Резонансний потенціал 7,2 eV відповідає, на думку цих авторів, адсорбції на чистій поверхні металу, а значення 7,9...9,5 eV відносяться до появи екстремумів, пов'язаних з максимальною адсорбцією молекул на поверхні оксидів.

Концепцію резонансних потенціалів найбільш обґрунтовано можна застосовувати для трактування хемосорбції ПАР, коли фізична адсорбція має другорядне значення. Якщо адсорбція відбувається внаслідок електростатичних сил, особливо під час адсорбції ПАР на металах зі значними негативними потенціалами корозії, то ця концепція не пояснює ефективність дії ПАР. Дійсно, в праці [5] виявили, що вона не розкриває низьку ефективність захисту цинку від корозії за допомогою досліджених ПАР.

Раніше встановили [1–4], що захист сталі від АК ізопропанольним екстрактом обумовлений хемосорбцією легких органічних сполук. Згідно з діаграмами Пурбе в нейтральних середовищах в області рН ~ 7 під час АК на поверхні міді, яка має досить позитивний потенціал корозії, можуть утворюватися оксиди і гідроксиди. Тому під час АК адсорбція ПАР відбуватиметься як на поверхні металу,

так і на продуктах його окиснення, а для пояснення механізму захисної дії ПАР можна використати концепцію резонансних потенціалів [7]. Зіставлення значень резонансних потенціалів міді і її сполук із потенціалами іонізації основних органічних сполук екстракту (табл. 2) виявило, що останні адсорбційно активніші до окисненої поверхні.

Оскільки екстракт містить різні за складом і адсорбційною здатністю органічні сполуки, то можна припустити, що на першій стадії на поверхні міді на ділянці з $I_p = 9,5$ eV відбувається спочатку адсорбція бузкового альдегіду та гуанозину. Далі, враховуючи здатність міді до утворення хімічних сполук, вона переходить у хемосорбцію. Крім того, беручи до уваги те, що олеїнова та пальмітинова кислоти під дією атмосферного кисню схильні до плівкоутворення [8], можна вважати, що з часом на поверхні металу, поверх плівок, до складу яких входять іони міді і органічні сполуки, виникає шар поліконденсованих сполук із жирних кислот. Тому захисна дія плівок, що формуються в атмосфері ізопропанольного екстракту, може наростати в часі, що і встановили раніше [4]. Стадійний процес їх виникнення за участі органічних ПАР може ускладнюватися в присутності водяної пари.

Таблиця 2. Відносна різниця між потенціалом іонізації молекул основних компонентів екстракту шроту ріпаку і “резонансними потенціалами” міді та її оксиду

Склад летких сполук екстракту	Потенціал іонізації летких сполук екстракту, eV	Відносна різниця між “резонансними потенціалами” (I_p) та потенціалом іонізації летких сполук екстракту, %	
		мідь $I_p = 7,2$ eV	оксид міді $I_p = 9,5$ eV
Ксантозин	8,973	24,60	5,54
Гуанозин	9,620	33,61	1,26
3,5-диметоксиацетофенон	9,081	26,10	4,41
Бузковий альдегід	9,440	31,11	0,63
Олеїнова кислота	9,883	37,26	4,03
Пальмітинова кислота	11,183	55,30	17,70

Дослідження морфології поверхні міді до та після корозійних випробувань в умовах АК засвідчили, що на поверхні зразків без плівок можна виділити тільки сліди від механічної обробки поверхні (рис. 1a). Після їх витримки впродовж 24 h в парі летких сполук екстракту на ній виникає захисна плівка (рис. 1b), яка містить сферичні крапління, діаметр яких в декілька разів перевищує товщину плівки.

Формування краплень, вірогідно, пов'язано з тим, що органічні сполуки екстракту (першочергово альдегіди) спочатку адсорбуються на окиснених ділянках (активних центрах). Поступово органічні сполуки перетворюються в хемосорбовані сполуки із іонами міді, які спричиняють адсорбцію інших сполук. Оскільки в газовій фазі окремі органічні сполуки екстракту не взаємодіють між собою, а під час послідовної адсорбції на міді починають взаємодіяти, то можна вважати, що первинні поверхневі хемосорбовані сполуки із міддю набувають властивостей каталізаторів. Цьому сприяє і більша зволоженість окисненої поверхні проти металевої. Каталітичні осередки зумовлюють виникнення плівок спочатку навколо активних центрів, а з часом вони заповнюють всю поверхню, утворюючи суцільну плівку, яка і захищає мідь від АК.

Висновок про те, що у формуванні сферичних крапель у плівці бере участь водяна пара, підтверджує зміна морфології поверхневих плівок під час циклічних корозійних досліджень, коли плівка періодично зволожується і висихає. За зволоження відбувається гідратація плівки і вона стає об'ємнішою, тобто розбухає. Під час підвищення температури висихає, зморщується і, можливо, частково втрачає суцільність, утворюючи плівку типу “шагренева шкіра” (рис. 1с), через що погіршуються її захисні властивості.

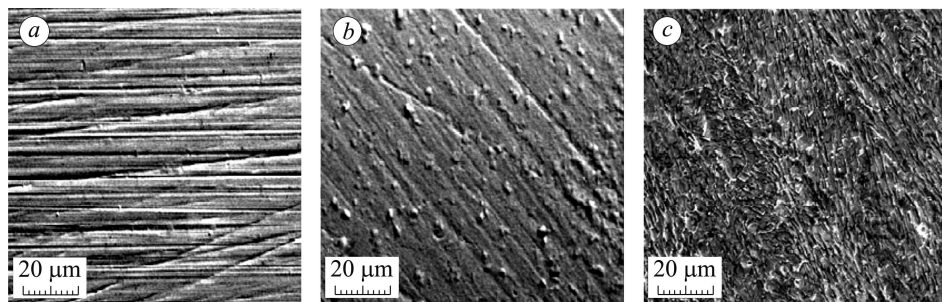


Рис. 1. Морфологія поверхні мідних зразків: *a* – після механічної обробки; *b* – після формування плівки впродовж 24 h у газопаровій атмосфері в присутності дистильованої води; *c* – після циклічних випробувань упродовж 20 діб за конденсації вологи в присутності дистильованої води.

Fig. 1. The morphology of the copper samples surface: *a* – after machining; *b* – after forming a film during 24 h in the gas-steam atmosphere in the presence of distilled water; *c* – after cyclic tests during 20 days under conditions of moisture condensation in the presence of distilled water.

Припущення про участь водяної пари в утворенні поверхневих плівок пояснює погіршення їх захисних властивостей під час формування в присутності водного розчину NaCl. По-перше, хлорид-іони сприяють гідратації плівки органічних сполук, що гальмує її висихання, знижує щільність і захисні характеристики. По-друге, не виняток, що гідратація органічних сполук екстракту ріпаку може відбуватися і в парогазовій фазі, послаблюючи їх адсорбційну здатність. А оскільки вона інтенсивніша на твердій поверхні металу, то можна вважати, що саме окиснена поверхня полегшує утворення хемосорбційних сполук. По-третє, внаслідок конкурентної адсорбції хлорид-іони погіршують адсорбційну здатність легких компонентів екстракту. Тому на поверхні металу з'являються пухкіші плівки з погіршеними захисними властивостями. І, врешті-решт, під час окиснення міді адсорбовані хлорид-іони, імовірно, можуть формувати менш щільні хлорвмісні поверхневі продукти, ніж окси- та гідроксисполуки.

Отже, можна стверджувати, що формування плівок в атмосфері ізопропанольного екстракту на поверхні міді досить складне і багатоступеневе. В результаті, залежно від умов, утворюються плівки, до складу яких можуть входити як хімічні сполуки міді, органічні сполуки екстракту ріпаку, молекули води, так і полімерні структури внаслідок модифікації присутніх в екстракті жирних кислот.

Електрохімічні дослідження парціальних електродних процесів. Вивчаючи вплив плівок ЛІАК на швидкість парціальних електродних процесів анодного окиснення міді і катодного відновлення молекулярного атмосферного кисню в 0,01 М розчині NaCl у присутності та без захисних плівок, виявили, що незалежно, чи є на поверхні міді плівки ЛІАК, чи ні, швидкість анодних процесів суттєво перевищує швидкість катодних. При цьому і на катодних, і на анодних поляризаційних кривих, незалежно від стану поверхні, є ділянки з декількома екстремальними значеннями густини струму (рис. 2). Така зміна густини струму від потен-

ціалів електродів вказує на досить складні багатоступеневі процеси за катодної і анодної поляризації міді.

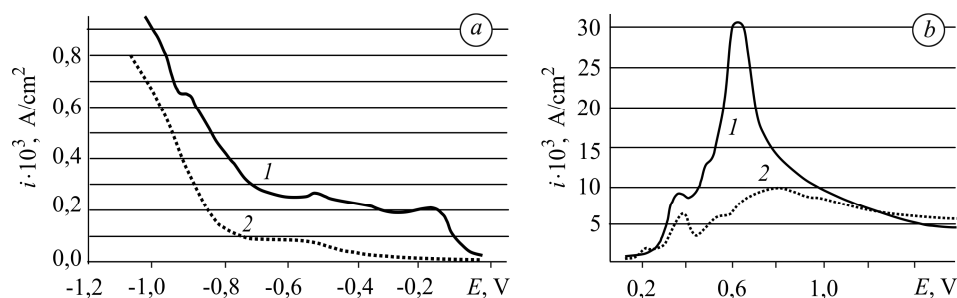


Рис. 2. Поляризаційні катодна (а) та анодна (b) криві міді в 0,01 М NaCl без (1) та в присутності (2) на поверхні металу плівок ЛІАК, сформованих упродовж 24 h у паровій фазі ізопропанольного екстракту шроту ріпаку.

Fig. 2. Polarization cathode (a) and anode (b) curves of copper in 0.01 M NaCl without (1) and with the presence (2) on the metal surface of the films of volatile inhibitors of atmospheric corrosion formed within 24 h in the vapour phase of the izopropanol extract of rapeseed oil cake.

Поява на катодних поляризаційних кривих (рис. 2а), знятих на міді без плівки ЛІАК, двох максимумів у межах потенціалів граничної густини струму свідчить, що одночасно із відновленням кисню, яке в умовах АК міді протікає на граничному струмі, відбуваються також і інші процеси, наприклад, відновлюються продукти корозії, які утворилися під час формування плівки. Виявили [9], що такими речовинами можуть бути хлоридутримувальні сполуки та оксиди і гідроксиди одно- і двовалентної міді, зокрема CuCl , Cu_2O , CuO , а також $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$, $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$. Збільшення густини катодного струму, починаючи від потенціалу $-0,6 \text{ V}$, відповідає виділенню водню із води [5].

У присутності на поверхні міді плівки на катодній поляризаційній кривій виникає тільки одна хвиля густини струму в межах потенціалів від $-0,48$ до $-0,67 \text{ V}$. Характер цієї кривої та поява на ній тільки однієї хвилі за від'ємніших потенціалів, для якої гранична густина струму в 2,5 рази менша, ніж катодного струму для чистої поверхні міді, вказує на те, що плівка практично повністю гальмує відновлення кисню. При цьому відновлюються тільки продукти окиснення міді.

Відсутність на катодних кривих максимумів у межах граничного струму та підвищення перенапруги виділення водню з води говорить про те, що плівка гальмує проникнення кисню і вологи до поверхні металу. Якщо припустити, що плівка під час формування та контакту з розчином електроліту піддається гідратації, то в ній накопичуватиметься волога, яка і відновлюється до водню із більшою перенапругою. Водень, який виділяється під час катодної поляризації, може сприяти підриву плівки і втраті нею захисних властивостей.

Анодне розчинення міді складніше, ніж катодне. На анодній поляризаційній кривій (рис. 2b) за відсутності плівки під час зміщення потенціалу в бік позитивних значень послідовно з'являються три різних за висотою максимуми. Це обумовлено стадійністю процесу з поступовим перетворенням одного поверхневого продукту на інший, кожен із яких стійкіший, ніж попередній. Найбільшу густину анодного струму ($i_a = 30,1 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$) зафіксовано за потенціалу $0,6 \text{ V}$ на третьому максимумі, який, з одного боку, сприяє розчиненню міді, а з іншого – обумовлює пасивування поверхні металу. За подальшої анодної поляризації густина струму розчинення міді різко зменшується і за потенціалу $1,4 \text{ V}$ досягає сталого значення $i_a = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{cm}^{-2}$.

У присутності на поверхні міді плівки ЛІАК густина анодного струму різко зменшується, особливо за потенціалу максимуму 0,6 V. При цьому на анодній кривій можна виділити практично чотири її максимуми. Оскільки перші, найімовірніше, пов'язані з утворенням хлоридвмісних продуктів, а третій – із формуванням оксидів, або хлороксидів чи хлоридгідроксидів [9, 10], то можна припустити, що плівка більше гальмує проникнення молекул води, ніж хлорид-іонів, тобто перешкоджає розчиненню міді.

Практично однакову густина анодного струму під час пасивування міді за потенціалу 1,4 V у присутності або за відсутності на поверхні плівки пояснюють тим, що в цих умовах швидкість її розчинення визначають не захисні характеристики плівки, а властивості шару продуктів розчинення міді. Не виключено, що плівка за високої поляризації втрачає цілісність або зривається з поверхні. Оскільки поверхня під плівкою під час анодної поляризації менше розтравлюється і на ній накопичується менше продуктів, то після зриву плівки ЛІАК швидкість анодного розчинення металу підвищується.

Зміна нахилу анодних поляризаційних кривих у межах потенціалів між максимумами анодних густин струму вказує на те, що утворення поверхневих сполук контролюють різні стадії, при цьому природа контролюючої найбільш чітко змінюється, коли є плівка. Оскільки швидкість анодних процесів розчинення міді як за відсутності, так і в присутності на поверхні плівки значно вища, ніж катодних, то можна стверджувати, що плівка не змінює природу контролюючого парціального процесу корозії міді в тонких прошарках 0,01 M розчину NaCl. Тобто в умовах АК розчинення міді контролює катодний процес.

ВИСНОВКИ

Ізопропанольний екстракт шроту ріпаку можна використовувати як ефективний легкий інгібітор атмосферної корозії міді і в присутності, і за відсутності в газовій атмосфері водяної пари, а також за періодичного зволоження поверхні металу. Плівки ЛІАК формуються поступово та пошарово. Спочатку із газової фази ізопропанольного екстракту на поверхні міді хемосорбуються альдегіди (бузковий альдегід) та глікозиди (гуанозин), а далі адсорбуються інші леткі органічні сполуки. Останніми – жирні кислоти, які утворюють зовнішні полімерні шари. Водяна пара, яка з'являється в парогазовій фазі, знижує ефективність захисних властивостей плівок ЛІАК внаслідок каталітичної гідратації органічних плівок і збільшення їх вологонасичення. Хлор-іони комплексно впливають як на збільшення гідратації плівок, так і на адсорбцію летких сполук, що ще відчутніше погіршує захисні властивості плівок ЛІАК. Плівки ЛІАК з ізопропанольного екстракту в умовах моделювання атмосферної корозії міді інтенсивніше гальмують швидкість анодного процесу, ніж катодного. При цьому швидкість корозії контролює катодний процес відновлення молекулярного кисню повітря.

РЕЗЮМЕ. Гравиметрическими и электрохимическими поляризационными исследованиями обнаружено, что изопропанольный экстракт шрота рапса является эффективным летучим ингибитором атмосферной коррозии меди. Установлено, что при формировании эффективности действия поверхностной пленки зависит от состава парогазовой фазы, а в условиях увлажнения поверхности металла скорость коррозии определяет скорость катодного процесса возобновления атмосферного кислорода. Во время оценки адсорбционной активности органических молекул за индексами реакционной способности, а также изучения морфологии поверхности образцов сделано предположение, что эффективность действия изопропанольного экстракта на начальной стадии обусловлена хемосорбцией летучих органических компонентов шрота рапса, которые в дальнейшем взаимодействуют и трансформируются в поверхностную фазовую пленку, содержащую ионы меди, воду и органические вещества.

SUMMARY. Gravimetric and electrochemical polarization studies have shown that the izopropanol extract of rapeseed oil cake can be used as an effective volatile inhibitor of atmospheric corrosion of copper, both in the presence and in the absence of water vapor in the gas atmosphere, as well as in the case of periodic wetting the metal surface. It is established that when forming the surface film the effectiveness of its actions depends on the composition of gas and vapor phase, and in the case of wetting the metal surface the corrosion rate is determined by the speed of the cathodic reduction of atmospheric oxygen. Evaluation of adsorption activity of organic molecules according to indices of reactivity as well as the study of the surface morphology of samples enable us to assume that the effectiveness of the izopropanol extract at an early stage is due to the chemisorption of volatile organic components of rapeseed oil cake, which then interact and are transformed into the surface phase film that contains copper ions, water and organic materials.

1. Чигиринець Е. Э., Воробьева В. И., Гальченко Г. Ю. Исследование защитной способности пленок летучих ингибиторов коррозии, разработанных на основе растительного сырья // Вопросы химии и хим. технологии. – 2011. – № 4 (2). – С. 273–276.
2. Чигиринець О. Е., Воробйова В. І. Визначення протикорозійної ефективності рослинних екстрактів // Наук. вісті “КПІ”. – 2010. – № 6. – С. 152–155.
3. Чигиринець О. Е., Гальченко Г. Ю., Воробйова В. І. Протикорозійні властивості шишок хмелю // Наук. вісті “КПІ”. – 2012. – № 3. – С. 152–155.
4. Чигиринець О. Е., Воробйова В. І. Протикорозійні властивості екстракту шроту ріпаку як легкого інгібітора атмосферної корозії сталі // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2013. – 49, № 3. – С. 39–45.
(Chyhyrynets’O. E. and Vorob’iova V. I. Anticorrosion properties of the extract of rapeseed oil cake as a volatile inhibitor of the atmospheric corrosion of steel // Materials Science. – 2013. – 49, № 3. – P. 318–325.)
5. Розенфельд И. Л. Атмосферная коррозия металлов. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 372 с.
6. Летучие ингибиторы атмосферной коррозии черных и цветных металлов. Ч. 1. Физико-химические аспекты выбора исходных продуктов и реакций синтеза / А. И. Алцыбева, В. В. Бурлов, Н. С. Федорова, Т. М. Кузинова, Г. Ф. Палатик // Коррозия: материалы, защита. – 2009. – № 9. – С. 22–29.
7. Нечаев Е. А. Хемосорбция органических веществ на оксидах и металлах. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1989. – 144 с.
8. Шель Н. В., Арзамасцев, А. А. Некоторые аспекты защиты углеродистой стали от атмосферной коррозии // Вестник Тамбовск. ун-та. Сер. Естественные и техн. науки. – 1999. – 4, вып 3. – С. 287–299.
9. Ларин В. И., Хоботова Э. Б. Физико-химические закономерности химического и электрохимического растворения меди и ее сплавов в различных растворах // Вісник Харківськ. ун-ту. Сер. Хімія. – 2004. – № 626, вип. 11 (34). – С. 155–178.
10. Чернов Б. Б., Кузовлева К. Т., Овсянникова А. А. Коррозионное поведение меди в 3%-ном растворе хлорида натрия и морской воде // Защита металлов. – 1985. – 21, № 1. – С. 52–57.

Одержано 20.08.2015