

УДК 620.197

ЗАХИСНІ ІНГІБОВАНІ ПОКРИВИ НА ПОЛІУРЕТАНОВІЙ ОСНОВІ

Л. М. БІЛИЙ, Я. І. ЗІНЬ

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

Встановлено синергізм інгібування корозії сталі композицією пігментів на основі цинку/заліза фосфату та воластоніту в слабокислому корозивному середовищі. Запропоновано механізм їх захисної дії. Досліджено вплив наповнення поліуретанового ґрунту сумішшю цинку/заліза фосфату й воластоніту на його протикорозійні та фізико-механічні характеристики. За результатами експериментальних досліджень розроблено новий поліуретанперхлорвініловий ґрунт для захисту проблемних ділянок трубопроводів на переходах земля–повітря.

Ключові слова: *інгібувальні пігменти, воластоніт, поліуретанперхлорвініловий ґрунт, ударостійкість, підплівкова корозія, імпеданс, адгезійна міцність.*

Ресурс магістральних газонафтопроводів визначається в основному їх протикорозійним захистом. Підвищення вимог до ефективності протикорозійного захисту трубопроводного транспорту, відображене у вітчизняних нормативних документах [1] і в стандарті Євросоюзу [2], зумовлене зростанням впливу корозійних чинників унаслідок техногенного забруднення довкілля. Особливої уваги заслуговує підвищення ресурсу та надійності протикорозійних покриттів на відкритих ділянках магістральних трубопроводів і в місцях переходу земля–повітря [3, 4]. У світовій практиці на них наносять поліуретанові покриття з високою атмосферною та хімічною стійкістю [5, 6]. Перспективними в цьому плані є покриття на основі поліуретанової емалі, модифікованої перхлорвініловою смолою [7], які мають високі бар'єрні характеристики в багатьох агресивних середовищах. Однак за наскрізного пошкодження покриттів і проникнення середовища до субстрату активно розвивається підплівкова корозія металу. Тому необхідно розробити ефективно інгібований ґрунт під поліуретановий емалевий покриття.

Аналіз патентної та науково-технічної літератури показав, що надійними інгібувальними пігментами для поліуретанових ґрунтів на сталі можуть бути недорогі та екологічно безпечні малотоксичні цинку/заліза фосфати, якщо їх поєднати з відповідними активними неорганічними сполуками, здатними підсилити їх захисну дію за рахунок взаємодії з компонентами мінерального наповнювача.

Мета роботи – розробити ефективний синергічно інгібований ґрунт на поліуретановій основі з підвищеними механічними та протикорозійними характеристиками.

Матеріали та методи досліджень. Інгібувальні ґрунти одержували на основі поліуретанової емалі, яка складається (mass.%) з лапролу 1052 (15), перхлорвінілової смоли ПСХ-ЛС (7), хрому оксиду (12,9), розчинника Р-5 (суміш ацетону, О-ксилолу і бутилацетату) (48) і поліізоціанатного затверджувача (17,1). Як модифікатор використовували перхлорвінілову смолу ПСХ-ЛС – олігомерний модифікатор, який утворює з поліуретаном взаємопроникні сітки щільної структури з сильною міжмолекулярною взаємодією, що підвищує тривкість поліуретанових покриттів у робочих середовищах. Інгібувальним пігментом слугувала су-

міш цинку/заліза фосфату (actigox 213). Щоб порівняти ефективність інгібування, використовували хромоксидний пігмент. Як мінеральний наповнювач-синергіст вибрали воластоніт – природний кальцію силікат CaSiO_3 , який здатний поставляти іони кальцію в розчин за наявності середовища та завдяки голчастій структурі підвищувати фізико-механічні властивості покриття.

Вивчали шість варіантів ґрунтувальних композицій, які містили хрому оксид (X), цинку/заліза фосфат (A), воластоніт (B), а також суміші цинку/заліза фосфату з воластонітом (AB) і хрому оксидом (AX), хрому оксиду з воластонітом (XB) за оптимальної об'ємної концентрації. Ґрунтувальні композиції мінерального наповнювача та інгібувального пігменту сукупно з поліуретанперхлорвініловим в'язучим перетирали впродовж 30 min у кульовому вібраційному млині. Підкладкою для нанесення покриттів слугували пластини сталі 09Г2С ($50 \times 150 \times 2$ mm), які очищували піскоструменевим методом, знежирювали розчинником і фарбували пневматичним розпилювачем. Товщина шару ґрунту на зразках – в межах 50...70 μm . Після його підсихання до відлипання I стадії за ДСТУ 4219: 2003 [1] на нього наносили шар поліуретанового лаку товщиною 50...70 μm .

Захисні властивості покриттів досліджували імпедансним методом [8]. Вимірювали за кімнатної температури на приладі Р-5083 за частот змінного струму 0,1; 0,2; 1 і 10 kHz, використовуючи платиновий протиелектрод. Досліджували суцільні покриття та покриття з дефектами. Для цього в них зробили наскрізні отвори $\varnothing 1$ mm. Корозивним середовищем слугував слабокислий розчин з рН $\sim 4,5$ (3,18 mg/l сірчаної кислоти + 4,62 mg/l амонію сульфату + 3,20 mg/l натрію сульфату + 1,58 mg/l азотної кислоти + 2,13 mg/l натрію нітрату + 8,48 mg/l натрію хлориду), який імітує дощові опади в промислових районах України.

Корозійно-електрохімічні властивості сталі досліджували в слабокислому дощовому розчині та у витяжках інгібувальних пігментів. Витяжки готували, додаючи 1 g кожного з компонентів до одного літра корозивного розчину, який відстоювали впродовж 48 h і двічі фільтрували. Для досліджень використовували потенціостат ІРС-ПроМ, з'єднаний з комп'ютерним управлінням, триелектродну електрохімічну комірку, насичений каломельний електрод порівняння та платиновий допоміжний електрод.

Поверхневий аналіз захисних плівок, утворених на сталі 09Г2С після 24 h витримання в інгібованих розчинах, досліджували на сканівному електронному мікроскопі EVO 40XVP із системою мікроаналізу INCA Energy 350.

Адгезію поліуретанових ґрунтів до сталі визначали на адгезиметрі АДГМ 20–“Техно-Ресурс” [9] з високою точністю вимірювань. Грибки приклеювали епоксидним клеєм Araldite Precision. Досліджували покриття непошкоджені та зі штучно проробленими наскрізними дефектами $\varnothing 1$ mm. Покриття з дефектом витримували в середовищі впродовж 1000 h, а суцільні – 365 days.

Визначали ударостійкість покриттів на копрі У-2, використовуючи напівсферичний сталевий індентор $\varnothing 16$ mm. Діелектричну суцільність покриттів встановлювали електроіскровим дефектоскопом “Пульсар–2Г”.

Результати досліджень та їх обговорення. Незахищена сталь 09Г2С у слабокислому дощовому розчині швидко кородує. При цьому на її поверхні спостерігають утворення плівки продуктів корозії, яка рихла, не суцільна, має недостатню адгезію до металу та слабкі бар'єрні властивості, а тому не перешкоджає протіканню електрохімічних реакцій. Інгібувальні пігменти, дисперговані в ґрунтувальному шарі, сповільнюють підплівкову корозію металу [10]. Фосфатний інгібувальний пігмент після проникнення середовища крізь дефекти поліуретанового покриття до металу повільно гідролізується, спричинюючи утворення на анодних ділянках металу стійкої фосфатної плівки, а на катодних – осадження малорозчинних гідроксидів. Однак інгібувальна дія фосфатних пігментів часто недостат-

ня для ефективного захисту сталі 09Г2С. Тому доцільно розглянути можливість її підсилення шляхом додавання в поліуретанову ґрунтувальну композицію іншого протикорозійного компонента. У літературі відзначають позитивний вплив на захисні властивості лакофарбових покривів мінерального наповнювача – воластоніту [11], який має лужну реакцію, що сприяє пасивації сталі під покривом [12].

Кінетичні залежності потенціалу корозії зразків сталі 09Г2С в слабокислому середовищі з витяжками цинку/заліза фосфату та кальцію силікату знаходяться нижче діапазону значень, характерних для неї в неінгібованому розчині (рис. 1а), що свідчить про перевагу анодного контролю корозії металу. Однак, якщо порівняти вплив витяжки суміші воластоніту та цинку/заліза фосфату на потенціал корозії металу кожного окремо, то можна побачити більшу пасивацію поверхні сталі 09Г2С під впливом кальцію силікату.

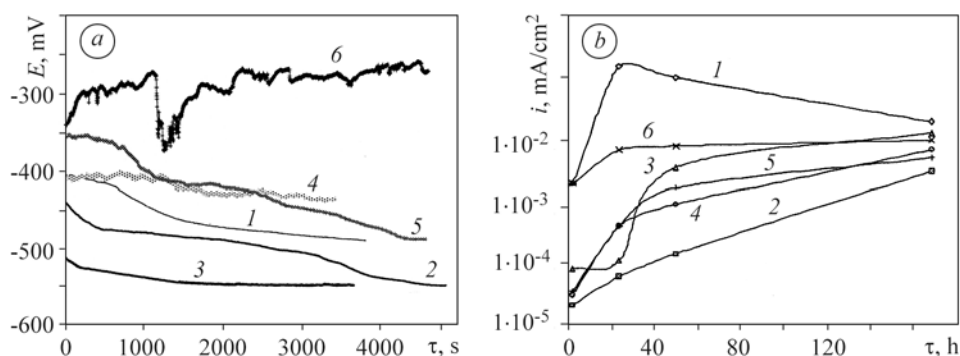


Рис. 1. Кінетичні залежності потенціалу (а) та густини струму (б) корозії сталі 09Г2С від часу витримання в слабокислому дощі, інгібованому витяжками суміші цинку/заліза фосфату (1) та воластоніту за співвідношення 1:4 (2); 1:5 (3); 1:6 (4); 1:8 (5) й екстрактом воластоніту (6).

Fig. 1. Time dependences of corrosion potential (a) and corrosion current (b) for 09Г2С steel in acid rain solution inhibited by zinc/iron phosphate extract (1), extract of zinc phosphate + iron phosphate/wollastonite blend under ratio of 1:4 (2); 1:5 (3); 1:6 (4); 1:8 (5) and single wollastonite extract (6).

У фосфатній витяжці внаслідок осадження на катодних ділянках металу захисної плівки за участі двовалентних іонів цинку/заліза можливий також катодний контроль корозії, на що вказує незначне позитивне відхилення потенціалу відкритого кола від його значень у неінгібованому середовищі. Водночас така кінетика потенціалу сталі в фосфатовмісному розчині може свідчити і про недостатнє інгібування корозії. Вигляд потенціодинамічних поляризаційних вольтамперних залежностей для зразків сталі 09Г2С в інгібованих розчинах вказує на збільшення контролю катодної та анодної реакцій у розчинах, інгібованих сумішшю цинку/заліза фосфату і воластоніту, де анодні та катодні струми є менші, ніж в інгібованих одинарними сполуками. При цьому струм саморозчинення за співвідношення 1:4 між фосфатним пігментом і природним кальцієм є найменший (рис. 1b), а на поляризаційних кривих з'являється плато пасивності.

Імовірно, що за оптимальної кількості кальцію силікату в розчині потрібна менша кількість цинку/заліза фосфату для ефективно пасивації металу. Це узгоджується з результатами [12], і вказує на можливість появи ефекту синергізму воластоніту в композиціях з іншими інгібіторами. Виходячи із залежності, наведеної на рис. 2, збільшення відносного вмісту воластоніту в інгібувальній суміші не призводить до суттєвого зменшення струму саморозчинення металу. Водночас надлишок силікату може погіршити технологічність поліуретанової композиції та утруднити її нанесення на поверхню металу розпиленням.

Важливим чинником інгібування корозії сталі 09Г2С витяжкою суміші фосфатного пігменту та воластоніту може бути збільшення рН корозивного розчину внаслідок розчинення кальцію силікату. Це створює умови для пасивації сталі 09Г2С за меншої концентрації кисню в розчині.

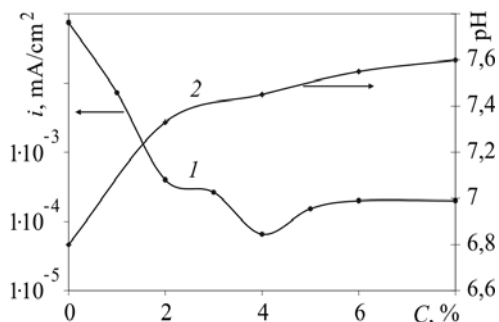


Рис. 2. Залежність густини струму корозії (1) сталі 09Г2С у корозивних розчинах і значення їх рН (2) після 24 h експозиції від відносного вмісту воластоніту в інгібувальній суміші за сталого вмісту фосфатного пігменту 1 g/l.

Fig. 2. Dependence of corrosion current density (1) for 09Г2С steel in corrosion solutions and their pH (2) on the relative concentration of wollastonite in inhibiting blend at fixed concentration of phosphate pigment 1 g/l after 24 h exposure.

Електронно-мікроскопічні дослідження сталі 09Г2С після 24 h витримування в середовищі, інгібованому сумішшю фосфатного пігменту та воластоніту за співвідношення 1:4, виявили адсорбовані на її поверхні кристалоподібні агломерати (рис. 3а). Після 24 h експозиції вони не створюють суцільну плівку.

Мікрорентгеноспектральний аналіз показав, що продукти корозії мають у своєму складі атоми цинку, кремнію, фосфору та кальцію. Найімовірніше, що ці поверхневі утворення складаються з двох сполук – кальцію силікату та цинку/заліза фосфату, які утворюють механічну суміш (рис. 3б).

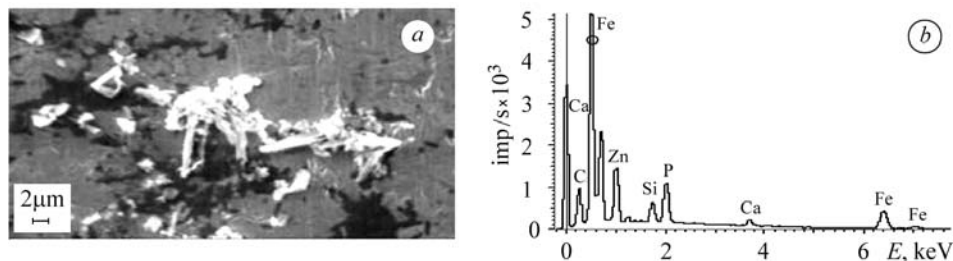


Рис. 3. Електронно-мікроскопічне зображення (а) та мікрорентгенівський спектр (b) кристалоподібних осаджень на поверхні сталі 09Г2С після 24 h витримування в слабкокислому розчині, інгібованому сумішшю фосфатного пігменту та силікату кальцію.

Fig. 3. Scanning electron microscopy image (a) and X-ray energy dispersive spectrum (b) of crystal-like deposits on the mild 09Г2С steel surface after 24 h exposure in corrosion solution, inhibited by phosphate pigment and calcium silicate blend.

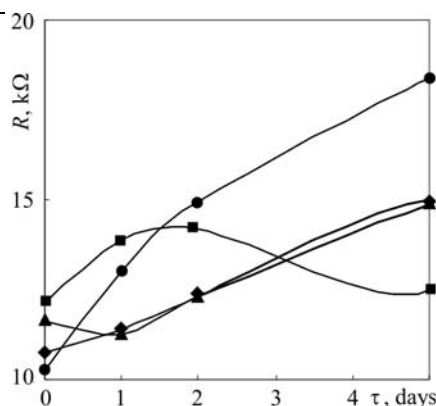
Однак постійна присутність у цих утвореннях Si та P засвідчує певну взаємодію між цинку/заліза фосфатом і кальцію силікатом. Часто її пояснюють хемосорбцією фосфат іонів на поверхні кристалів кальцію силікату. Така хемосорбційна взаємодія може призвести до суттєвого підвищення захисних властивостей і корозійної тривкості поверхневої плівки на сталі. Таким чином, на основі корозійно-електрохімічних досліджень можна припустити, що внаслідок введення воластоніту та фосфатного пігменту в поліуретанову ґрунтувальну композицію за їх оптимальних концентрацій захисні властивості ґрунтувальних поліуретанових покриттів можуть суттєво поліпшитись.

Вимірювання імпедансних характеристик (ємності, опору) – найефективніший метод пришвидшених досліджень захисних властивостей полімерних покривів на металічних поверхнях у різних корозивних середовищах. Він оцінює покрив за широкого діапазону частот прикладеного струму та інформує про стан і властивості міжфазної поверхні полімер–метал, а також про об’єм органічного шару. Опір діелектриків, зокрема, полімерних покривів, зменшується зі збільшенням частоти прикладеного струму, що пов’язано зі зростанням діелектричних втрат внаслідок дипольної поляризації [8]. Отже, покрив, що має високі бар’єрні характеристики, повинен зберігати суттєву залежність активного опору від частоти. Електричний опір покриття також знижується внаслідок сорбції полімерним шаром корозивного середовища та утворенням у ньому мікропор, а його частотна залежність стає менш вираженою. Після формування в покритті наскрізних дефектів його опір практично перестає залежати від частоти струму, а отримане на приладі його інтегральне значення складається з опорів корозивного середовища, електроліту в порах покриття та переносу заряду на поверхні металу в місцях дефектів. За низьких частот струму появу дефектів у покритті можна визначити задовго до того, коли відшарування можна виявити візуально.

Щоб встановити протикорозійний ефект від введення інгібувальних пігментів, досліджували поліуретанперхлорвінілові покриття (грунт + верхній шар), в яких проробили наскрізні дефекти $\varnothing 1$ mm. Як видно із рис. 4, найбільший опір і відповідно вищий захисний ефект спостерігають у покритті на основі композиції (AB), інгібованої сумішшю цинку/заліза фосфату та кальцію силікату. Композиції (A) та (B), що окремо містять цинку/заліза фосфат та кальцію силікат, мають гірші захисні властивості. Поєднання в поліуретанперхлорвініловому покритті (AB) фосфатного інгібітору та кальцію силікату зумовлює ефект синергізму захисної дії, по-перше, за рахунок локального підлужування середовища в місці дефекту через часткове розчинення воластоніту та поліпшення умов для пасивування поверхні сталі [11, 12], по-друге, внаслідок формування корозійнотривкішої фосфатної плівки за рахунок іонів кальцію та цинку.

Рис. 4. Залежність опору змінному струмові (0,1 kHz) покриттів з дефектами $\varnothing 1$ mm, інгібованих витяжками цинку/заліза фосфату (◆), воластоніту (■), хрому оксиду (▲) та суміші цинку/заліза фосфату з воластонітом (●), від часу витримування в слабкислому дощі.

Fig. 4. Dependences of alternating current resistance (0.1 kHz) for coatings with $\varnothing 1$ mm defects inhibited by extracts of zinc/iron phosphate (◆), wollastonite (■), chromium oxide (▲) and zinc/iron phosphate + wollastonite blend (●) on the time of exposure in acid rain.



Частотні залежності опору та ємності інгібованих покриттів з наскрізним дефектом після різних експозицій у слабкислому розчині також підтверджують позитивний вплив комбінації цинку/заліза фосфату та воластоніту на захисні властивості поліуретанперхлорвінілового ґрунту.

Це відбувається за рахунок ефекту синергізму захисних характеристик за сумісного використання фосфатного інгібітору та дрібнодисперсного наповнювача воластоніту. Жодна з цих сполук, використана окремо в покритті, не може забезпечити йому таку корозійну тривкість. Після 5 days найнижчий захисний ефект спостерігають для кальцію силікату, опір якого значно менший порівняно з іншими варіантами використаних інгібувальних пігментів.

Поєднання кальцієвмісної та фосфатної складової в інгібувальній суміші сприяє підвищенню опору покритву зі штучними дефектами та зменшенню його ємності. Ці зміни в основному пов'язані зі збільшенням опору переносу заряду на сталі в місці наскрізного дефекту та закриттям там електрохімічно активної поверхні внаслідок формування фосфатної плівки з підвищеними захисними властивостями.

Часові залежності імпедансу (частота 0,1 kHz) непошкоджених інгібованих покриттів (рис. 5a) засвідчують стабільність їх бар'єрних характеристик під час випробувань у корозивному розчині впродовж 365 days. Усі розроблені покриття мають приблизно співмірні захисні властивості, а їх опір у слабкислому дощі знаходиться на рівні 100...120 МΩ·см². Кращі параметри імпедансу спостерігають для суміші фосфатного пігменту та воластоніту.

Високі захисні характеристики запропонованих покриттів підтверджуються порівняннями кінетичних залежностей ємності в середовищі слабкислого дощу (рис. 5b). У перші 10 days ємність зразків з інгібованими ґрунтами зростає. Такий швидкий ріст спричинений проникненням компонентів середовища в мікропори полімерного покритву. Далі ємність стабілізується. Найнижчі її значення мають інгібовані покриття з сумішшю пігменту цинку/заліза фосфату з воластонітом.

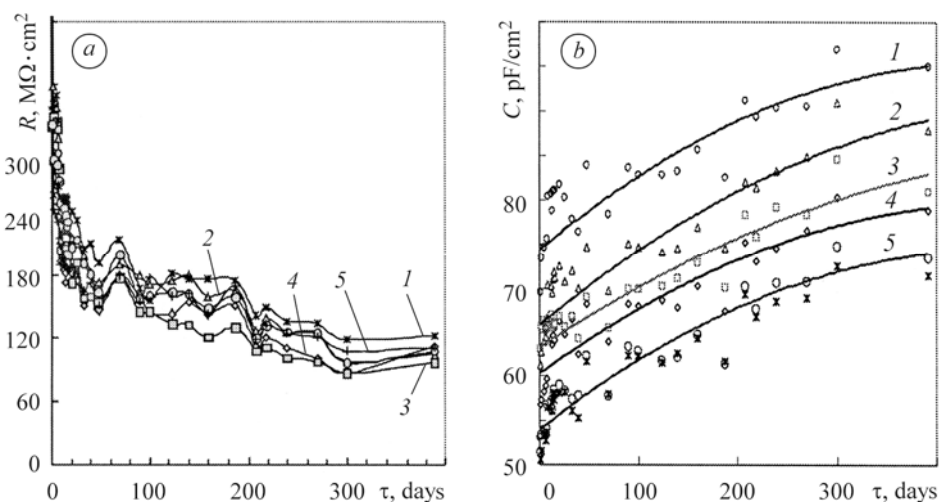


Рис. 5. Залежність опору змінному струмові (a) та ємності (b) (0,1 kHz) непошкоджених покриттів з різними інгібувальними пігментами від часу витримування в середовищі слабкислого дощу: суміші цинку/заліза фосфату та хрому оксиду (1); хрому оксиду (2); воластоніту (3); цинку/заліза фосфату (4) і суміші цинку/заліза фосфату та воластоніту (5).

Fig. 5. Time dependences of alternating current resistance (a) and capacitance (b) (0.1 kHz) of undamaged coatings with different inhibiting pigments in acid rain solution: zinc/iron phosphate and chromium oxide blend (1); chromium oxide (2); wollastonite (3); zinc/iron phosphate (4); zinc/iron phosphate and wollasonite blend (5).

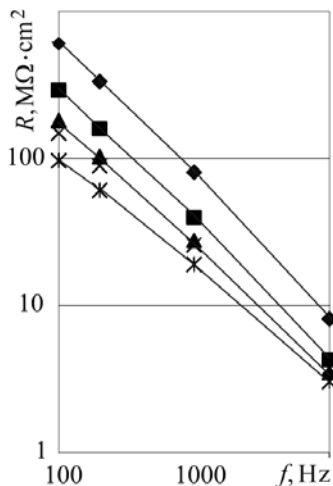
Встановлено чітко виражену обернено пропорційну залежність опору покриттів, інгібованих воластонітом і фосфатним пігментом (рис. 6), від частоти, що свідчить про їх високі захисні характеристики. Пористість покриттів незначна, середовище практично не проникає до поверхні металу і тому пігментовані покриття мають кращі захисні властивості.

Ємність покритву практично не залежить від частоти змінного струму в інтервалі 0...365 days. Хоча спостерігають незначне її підвищення за довготривалої дії слабкислого дощу. Очевидно, що тут важливу роль відіграють бар'єрні властивості поліуретанперхлорвінілового в'язучого, який сам по собі має

підвищену хімічну тривкість. Такі довготривалі імпедансні дослідження підтверджують високі захисні властивості покриттів у робочих умовах і перспективність їх застосування для трубопровідного транспорту.

Рис. 6. Частотні залежності опору змінному струмові покриття з сумішшю цинку/заліза фосфату та воластоніту на початку (◆) і після 2 (■); 40 (▲); 160 (×) і 300 (*) days витримування в слабокислому дощі.

Fig. 6. Frequency dependences of alternating current resistance for the coating with zinc/iron phosphate and wollastonite blend at the beginning (◆) and after 2 (■); 40 (▲); 160 (×) and 300 (*) days of exposure in acid rain.



Підвищені захисні характеристики поліуретанперхлорвінілових покриттів підтверджують випробування на діелектричну суцільність, яка майже на порядок вища від значення 5 kV/mm, яке вимагає ДСТУ 4219:2003 [1].

Дослідження впливу інгібування на адгезійну міцність поліуретанперхлорвінілового ґрунту показали, що для всіх комбінацій інгібувальних пігментів вона має високі значення. Після витримування інгібованих дефектних покриттів (Ø1 mm) впродовж 1000 h у слабокислому розчині адгезійна міцність зменшилась у середньому на 20%. Витримка зразків без штучних дефектів у слабокислому дощі впродовж 365 days (див. таблицю) призвела до зменшення адгезійної міцності майже на 25% для всіх ґрунтів, окрім ґрунту з воластонітом, адгезійна міцність якого зменшилась у 2,5 рази.

Адгезійна міцність інгібованих поліуретанових покриттів

Умови випробувань зразків ґрунтувальних покриттів	A	B	X	AB	XB	AX
	MPa					
Вихідний стан	8,42	6,95	8,65	8,43	7,70	6,92
Після витримування 1000 h у слабокислому розчині. Покритв з дефектом Ø1 mm	7,10	4,55	7,05	7,50	6,25	5,85
Після витримування 365 days у слабокислому розчині. Покритв без дефекту	6,10	2,85	6,80	6,65	5,50	5,65

Адгезійна міцність ґрунтів з іншими інгібіторами після довготривалого витримування в слабокислому розчині впродовж 365 days перевищує значення такої для полімерних покриттів у вихідному стані на 0,5...1,8 МПа.

Дослідження ударостійкості показали високі значення розроблених поліуретанперхлорвінілових покриттів. Найстійкіші – покритви з додаванням як інгібітора чистого цинку/заліза фосфату (А) та цинку/заліза фосфату сумісно з воластонітом (АВ). Таким чином, додавання суміші цинку/заліза фосфату та воластоніту за співвідношення 1:4 за масою в поліуретанперхлорвінілове в'язуче підтверджує перспективність їх застосування для проблемних ділянок магістральних трубопроводів.

ВИСНОВКИ

Виявлено, що поєднання комплексного пігменту цинку/заліза фосфату та кальцію силікату в складі поліуретанперхлорвінілового ґрунту багатократно підвищує його захисні властивості завдяки ефекту синергізму.

Встановлено, що за співвідношення 1:4 цинку/заліза фосфату і воластоніту найефективніше інгібування корозії сталі 09Г2С у робочому слабкокислому середовищі. Синергізм захисної дії суміші цинку/заліза фосфату з воластонітом визначається двома одночасними процесами: підлужування корозивного слабкокислого середовища та пришвидшення пасивації сталі; осадження на металі корозійно-тривкої фосфатної плівки з домішками кальцію силікату.

Показано, що за фізико-механічними властивостями розроблювана композиція із запасом відповідає вимогам ДСТУ 4219:2003 до покриттів магістральних трубопроводів. Діелектрична суцільність отриманих покриттів знаходиться на рівні 30...55 kV/mm за потреби 5 kV/mm, ударостійкість сягає 10,5 J за норми 8 J. Адгезійна міцність покриттів навіть після витримування їх впродовж 365 days у слабкокислому дощі перевищує на 1,5...1,8 МПа значення адгезії за вимогами стандарту до покриттів у вихідному стані.

РЕЗЮМЕ. Установлен синергизм ингибирования коррозии стали композицией пигментов на основе цинка/железа фосфата и воластонита в слабкокислой коррозионной среде. Предложен механизм их защитного действия. Исследовано влияние наполнения полиуретанового грунта смесью цинка/железа фосфата и воластонита на его противокоррозионные и физико-механические характеристики. По результатам экспериментальных исследований разработан новый полиуретанперхлорвиниловый грунт для защиты проблемных участков трубопроводов на переходах земля-воздух.

SUMMARY. Synergistic effect of steel corrosion inhibition in acid rain solution by zinc/iron phosphate and calcium silicate blend was established. Mechanism of the blend protection action has been proposed. Effect of the blend on anticorrosion and mechanical properties of polyurethane primer was studied. New polyurethane based primer for protection of gas pipelines weak sections was developed.

1. *ДСТУ 4219:2003.* Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. – К.: Держ. комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003. – С. 9–11.
2. *EN ISO 12944-5* “Фарби і лаки. Антикоровійний захист сталевих конструкцій системами покриттів”. – 2008. – 9 с.
3. *Похмурський В. І., Зінь І. М., Гнип І. П.* Збільшення ресурсу високотемпературних ділянок газопроводів застосуванням нових антикорозійних покриттів // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій. Зб. наук. статей. – К., 2006. – С. 115–119.
4. *Вплив інгібувальних пігментів на захисні властивості поліуретанових грунтів* / І. Зінь, Л. Білий, Н. Ласковенко та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2008. – Спец. вип. № 7. – С. 424–429.
5. *Омельченко С. И., Кадурина Т. М.* Модифицированные полиуретаны. – К.: Наук. думка, 1983. – 238 с.
6. *Модифицированные материалы на основе полиуретанов* / Под. ред. Дж. М. Бьюнстона. – М.: Химия, 1982. – 274 с.
7. *Перхлорвинилполиуретановые пленкообразователи* / Н. Н. Ласковенко, С. И. Омельченко, В. П. Привалко и др. // ЛКМ и их применение. – 1992. – № 6. – С. 14–17.
8. *Карякина М. И.* Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. – М.: Химия, 1988. – 272 с.
9. *Патент UA № 17205.* Адгезиметр АДГМ 20–“Техно-ресурс” / І. П. Гнип. – Опубл. 15.09.2006; Бюл. № 9.
10. *Leidheizer H. Jr.* Mechanism of corrosion inhibition with special attention to inhibitors in organic coatings // J. Coatings Technology. – 1981. – 53. – P. 29–39.
11. *Hare C. H.* Inhibitive primers for metals: Practical formulating and service problems // J. Protective Coatings and Linings. – 1998. – June. – P. 31–62.
12. *Hare C. H.* Mechanisms of corrosion protection with surface-treated wollastonite pigments // Paint & Coatings Industry. – 1998. – March. – P. 74–82.

Одержано 15.03.2012