

УДК 667.64:678.026 *Ст. викл. М.В. Браїло, канд. техн. наук; доц. А.П. Бень, канд. техн. наук; асист. В.О. Скирденко, канд. техн. наук; проф. Г.В. Рудакова, д-р техн. наук; ст. викл. О.В. Акімов – Херсонська державна морська академія*

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ ТРИВКОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ З ДВОКОМПОНЕНТНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Епоксикомпозитні покриття, що застосовуються як у виробництві, так і в побуті, повинні мати якісні адгезійні і когезійні характеристики. Цих вимог можна досягти застосовуючи захисні покриття з кількома наповнювачами, що різняться собою як за природою, так і за дисперсністю. Маючи відмінні механічні характеристики, покриття повинні також мати і кращі експлуатаційні характеристики. Насамперед це стосується їх корозійної тривкості. У роботі досліджено корозійну тривкість епоксикомпозитних покриттів, наповнених порошками залізного сурику, що попередньо пройшов магнітну обробку, та вугільним шлаком. Встановлено, що порівняно з епоксидною матрицею та іншими наповнювачами, як однокомпонентними, так і багатоконпонентними, зазначені наповнювачі підвищують механічні і захисні властивості епоксикомпозитних покриттів.

Ключові слова: епоксидний композит, дисперсні наповнювачі, корозійна тривкість.

Постановка проблеми. Використання новітніх досягнень науки і техніки у виробництві є однією з умов зростання темпів технічного прогресу. Підвищення якості, збільшення кількості продукції, що випускається, потребує удосконалення існуючих і створення нових високопродуктивних і надійних методів контролю параметрів і режимів формування захисних покриттів. Якість покриття у багатьох випадках визначає надійність при експлуатації виробу загалом. З огляду на це, точність методів контролю властивостей захисних покриттів має особливе значення для забезпечення надійності і довговічності виробів. На сьогодні важко зазначити галузь виробництва, у якій не застосовували б захисні покриття. Це стосується як електролітичних покриттів металів, так і полімерних композитних адгезивів. У цьому аспекті варто виокремити захисні полімерні покриття, які відрізняються добрими адгезійними властивостями. Важливими факторами, що забезпечують необхідну якість покриттів, є виконання вимог раціонального підбору інгредієнтів адгезивів, технології та методів їх нанесення на основу, а також ефективних якісних і швидкісних методів контролю динаміки властивостей покриттів під час експлуатації. Визначальне значення у цьому аспекті має корозійна тривкість полімерних композитних покриттів, зокрема на епоксидній основі, у різних агресивних середовищах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для характеристики корозійної тривкості захисних покриттів, як правило, використовують здатність покриттів зберігати адгезійну та когезійну міцність під дією зовнішніх факторів і часу. Окрім цього, важливою є швидкість проникнення агресивного середовища через адгезив до субстрату та утворення продуктів хімічної корозії в об'ємі та на поверхні покриття. Під дією агресивних середовищ, зазвичай, змінюються електрохімічні та діелектричні властивості захисних покриттів, контролюючи які можна стверджувати про їх якість і надійність в умовах експлуатації [1-4].

Результати дослідження залежності корозійної тривкості полімерних композитів від вмісту і природи наповнювачів наведено у працях [5, 6], де підтверджено високу хімічну стабільність матеріалів на основі епоксидного зв'язувача у різних агресивних середовищах. Показано, що найбільш агресивним середовищем до полімерного зв'язувача є розчини азотної та сірчаної кислот. Значна деструкція зв'язувача у розчинах кислот пояснюється сорбцією полімером компонент агресивного середовища, внаслідок зміни структури зв'язувача та розпаду нестійких зв'язків. Зменшення вмісту полімерної матриці в загальному об'ємі композитного матеріалу (КМ) внаслідок введення наповнювачів у зв'язувач, як доведено у праці [6], сприяє підвищенню хімічної тривкості захисних покриттів.

Згідно з результатами дослідження авторів [7-9] встановлено, що вода при взаємодії з покриттям по-різному впливає на поверхню наповнювача, проміжний шар і полімер в об'ємі покриття. Аналіз праць [10, 11] свідчить, що рівень адгезійної взаємодії на межі поділу фаз "покриття-основа" може істотно впливати на захисні властивості полімеркомпозитних покриттів. Зазвичай, низька адгезія покриття до металевої основи знижує захисні властивості адгезивів. Це відбувається за рахунок підпльовкової корозії, яка починає розвиватися внаслідок розклинювальної дії агресивного середовища на межі поділу фаз "захисне покриття-металева основа". У праці [6] із застосуванням методу імпедансної спектроскопії досліджено корозійну тривкість епоксидних захисних покриттів у 3 %-му розчині хлористого натрію і експериментально встановлено часову залежність електроопору та електроємності покриття.

Мета роботи – дослідити корозійну тривкість епоксикомпозитних покриттів з двокомпонентним наповнювачем.

Матеріали та методика дослідження. Як основний компонент для зв'язувача під час формування КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78), що дає змогу затверджувати матеріали за кімнатних температур. Зшивали КМ, вводючи твердник у композицію у стехіометричному співвідношенні компонент за вмісту (мас. ч.) – ЕД-20: ПЕПА – 100: 10.

Як наповнювачі під час формування КМ використано частки вугільного шлаку (ВШ) з дисперсністю 63-80 мкм і залізного сурику (ЗС) з дисперсністю 10-20 мкм. Попередньо до введення у епоксидний олігомер феромагнітні наповнювачі обробляли високочастотним магнітним імпульсним полем (ВМІП) на розробленій установці. Установку налаштовували на такі параметри ВМІП: напруженість магнітного поля – $H = 1265$ А/м, частота – $f = 2,25$ МГц, тривалість оброблення $\tau = 900$ с.

Епоксидні покриття формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20 і наповнювача та подальше введення його в епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомеру ЕД-20 і дисперсних часток; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції впродовж часу $\tau = 300^{\pm 10}$ с. Надалі затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання впродовж часу $\tau = 12,0^{\pm 0,1}$ год

за температури $T = 293^{\pm 2}$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 0,05$ К/с до температури $T = 393^{\pm 2}$ К, витримування КМ впродовж часу $\tau = 2,0^{\pm 0,05}$ год, повільне охолодження до температури $T = 293^{\pm 2}$ К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували впродовж часу $\tau = 24$ год на повітрі за температури $T = 293^{\pm 2}$ К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

Корозійна тривкість – це здатність матеріалів протидіяти хімічному або електрохімічному руйнуванню під дією агресивних середовищ. Корозійну тривкість можна оцінювати якісно і кількісно. До якісних методів оцінювання корозії відносять, насамперед, візуальний метод та мікродослідження. Візуальне спостереження за зміною зовнішнього вигляду поверхні покриття застосовують тоді, коли продукти корозії залишаються на зразках у вигляді нерозчинного осаду. Зміни, що відбуваються, реєструють за допомогою фотографування і наступного короткого опису результатів спостереження. Мікродослідження застосовують для ретельнішого вивчення та аналізу покриттів, що піддавались корозії. Для цих досліджень, зазвичай, застосовують біокулярні мікроскопи. Кількісно корозійну тривкість оцінюють такими параметрами: часом появи першого корозійного центру та кількістю корозійних центрів на одиницю поверхні. У деяких випадках корозійні процеси оцінюють за зміною механічних властивостей, електричного опору та ємності. Поширеним і простим методом є визначення втрати маси зразка (зміна товщини покриття) після його витримки в агресивному середовищі. Також доступним методом, поширеним у практиці дослідження корозійної тривкості покриттів, є випробування зразків у відкритому посуді (метод занурення). Зразки підвішують за нитку з інертного матеріалу. Зазвичай, для цього використовують шовкові або капронові нитки. Методика проведення таких досліджень вимагає, щоб в одній ємкості паралельно випробовували кілька зразків. Концентрацію агресивного розчину обирають залежно від площі зразків та передбаченої швидкості корозійного руйнування і часу. Для проведення дослідження, зазвичай, на 1 см^2 поверхні зразка використовують від 20 до 200 мл розчину. При цьому зразок може бути повністю занурений в агресивний розчин або наполовину. В останньому випадку корозійні процеси відбуватимуться швидше на межі поділу фаз "розчин-повітря".

Випробування корозійної тривкості часто проводять з прискоренням завдяки перемішуванню розчину. Значного прискорення корозійних випробувань у деяких випадках можна досягнути періодичним зануренням зразків. Цей принцип можна використати для автоматизації корозійних досліджень. Прийнято час перебування зразків у розчинах та на повітрі обирати у співвідношеннях 1:1, 1:10, 10:1. Враховуючи, що інтенсивне корозійне руйнування відбувається саме на межі поділу фаз "агресивне середовище-повітря", доцільно проводити визначення корозійної тривкості досліджуваних покриттів при зміні середовища. Для цього у дослідженні зразки потрібно витримувати впродовж часу $\tau = 12$ год в агресивному середовищі і аналогічно впродовж часу $\tau = 12$ год на повітрі у підвішеному стані. У вигляді розчинів агресивного середовища у роботі використано: дистильовану воду, морську воду (Чорне море, смт Залізний порт), стічні води, дизельне паливо, мінеральне мастило та 50 %-й розчин гідроксиду калію (КОН).

Виходячи з наведеного вище, у роботі корозійну тривкість епоксикомпозитних покриттів досліджували за загальноприйнятою методикою з використанням методу імпедансної спектроскопії. В агресивне середовище з наведеною вище періодичністю занурювали зразки зі сталі Ст. 3, на які було нанесено досліджувані захисні покриття. Час занурення і просушування у дослідженні вибрано у співвідношенні 1:1, що, відповідно, становило – витримка впродовж часу $\tau = 12$ год у агресивному середовищі (дистильована вода) і аналогічно впродовж часу $\tau = 12$ год на повітрі у підвішеному стані. Через рівний проміжок часу $\tau = 5$ діб експериментально визначали абсолютні значення електричного опору покриття та його електричної ємності. Як передбачає методика проведення імпедансних досліджень, усі вимірювання проводили за частоти струму 1 кГц. У дослідженні для вимірювання опору покриттів використовували вимірювач швидкості корозії Р 5035, принципову схему якого наведено на рис. 1.

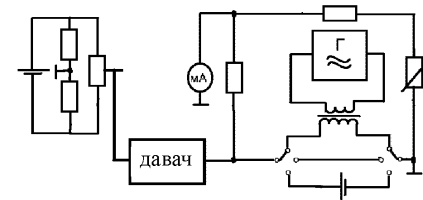


Рис. 1. Принципова електрична схема приладу Р 5035 з виміральною коміркою-давачем

Результати досліджень та їх обговорення. Вміст основного та додаткового наповнювачів під час формування КМ вибрано на основі попередніх результатів постановки активного експерименту. Досліджували незалежно епоксидну матрицю (контрольний зразок) та композитні покриття (КП) за різного вмісту двокомпонентного бідисперсного наповнювача (q_1+q_2), мас. ч.: КП 1 – ВШ (20) + ЗС (30), КП 2 – ВШ (10) + ЗС (40), КП 3 – ВШ (30) + ЗС (20).

На початковому етапі корозійну тривкість розроблених покриттів досліджували ваговим методом, визначаючи зміну маси зразків з покриттями, які містять двокомпонентний бідисперсний наповнювач. Аналіз проведених досліджень (табл.) показує, що для усіх досліджуваних покриттів з різним вмістом вугільного шлаку та залізного сурику найменш агресивним середовищем є 50 %-й розчин гідроксиду калію. Отримані результати добре узгоджуються з даними експерименту, наведеними у працях [6, 12]. Найбільшою проникністю у покриття відзначається дистильована, стічна та морська вода. Проміжні значення зміни маси, а отже, й проникності у покриття спостерігали для таких середовищ як дизельне паливо та мастило І-20 (див. табл.).

Окрім цього, доведено, що найменшою корозійною тривкістю характеризується епоксидна матриця. Встановлено (див. табл.), що після витримки зразків з матрицею у морській воді впродовж часу $\tau = 720$ год втрата маси становила $\Delta m/m = 5,72$ %. Введення двокомпонентного бідисперсного наповнювача у епоксидний зв'язувач забезпечує створення покриттів з поліпшеними антикорозійними властивостями. Показано (див. табл.), що для КП 1 і КП 2 втрата маси становить $\Delta m/m = 3,17$ % і $\Delta m/m = 3,06$ % відповідно. При цьому найкращими властивостями характеризується покриття КП 3 з частками ВШ (30 мас. ч.) і ЗС (20 мас. ч.), витримка якого у морській воді призводить до втрати маси

$\Delta m/m = 2,92\%$. Тобто можна опосередковано вважати, що використання цього покриття забезпечує зменшення проникності морської води, порівняно з епоксидною матрицею, у 2,0 рази.

Табл. Відносна зміна маси досліджуваних КП впродовж часу досліджень $\tau = 720$ год

Агресивне середовище	Зміна маси КП, %			
	Матриця	КП 1	КП 2	КП 3
Дист. вода	5,67	3,10	3,07	2,86
Морська вода	5,72	3,17	3,06	2,92
Стічна вода	5,74	3,22	3,20	3,17
Гідроксид калію (50 %-й розчин)	2,32	1,86	1,54	1,37
Дизельне паливо	2,56	2,12	2,07	1,93
Масило I-20	2,64	2,13	1,92	1,76

Отримані результати можна пояснити сорбцією компонент агресивного середовища і зміною структури матриці внаслідок розпаду нестійких зв'язків [6]. Підвищення хімічної тривкості полімерних композитів, як зазначено у працях [5, 6], відбувається внаслідок зменшення полімеру в об'ємі композиту за рахунок введення дисперсних наповнювачів. При цьому варто зазначити, що однією з основних причин зменшення проникності епоксикомпозитних матеріалів є процеси дифузії, які приводять до збільшення шляху проникнення молекул агресивних речовин до основи. На рис. 2 наведено залежності відносної зміни маси зразків, занурених у дистильовану воду. Дослідження проводили за нормальних умов.

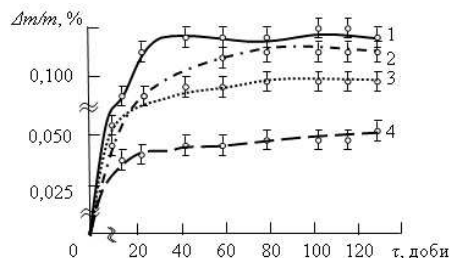


Рис. 2. Залежність відносної зміни маси зразків від часу витримки їх у дистильованій воді: 1) матриця; 2) КП 1; 3) КП 2; 4) КП 3

Аналізуючи результати проведених досліджень, варто зазначити, що низькою хімічною тривкістю у дистильованій, морській та стічній воді характеризуються покриття, які містять значну кількість залізного сурику (КП 1 і КП 2). Це можна пояснити адсорбцією молекул води на поверхні гідрофільних окислів у вигляді гідроксильних груп, які утримуються водневими зв'язками. У працях авторів [7-9] встановлено, що при взаємодії води з композитом, середовище буде по-різному впливати, як на поверхню наповнювача, так і на сам полімер в об'ємі покриття. Зазначено [6], що на межі поділу фаз "матриця-наповнювач" відбувається накопичення вологи в гідрофільних центрах твердої фази. Це зумовлює виникнення осмотичного тиску, який є достатнім для розшарування і

руйнування композиту. Завдяки дії дифузійних сил волога проникає у покриття. Внаслідок цього руйнуються адгезійні зв'язки епоксидної матриці з наповнювачем, що зумовлює погіршення когезійної міцності захисного покриття. Окрім цього, адгезійні зв'язки у такому напруженому стані з часом також руйнуються, утворюючи тріщини на поверхні покриття. Реагенти агресивного середовища, проникаючи в тріщини, відповідно до ефекту Ребіндера, спричиняють їх поглиблення і подальший розвиток [13, 14].

Захисні властивості покриття, як правило, з підвищенням адгезійної міцності адгезиву до субстрату покращуються. Очевидно, що незначні адгезійні властивості покриття до металевої основи передбачають розвиток хімічних реакцій підплівкової корозії, яка, своєю чергою, підсилюється розклинювальною дією реагентів агресивного середовища [6, 10, 11].

На наступному етапі досліджували часову залежність електричного опору і ємності покриттів. Експериментально встановлено (рис. 3), що на початку дослідження опір покриттів знаходився в межах $R = 6,3...7,6$ Ом·см². Найбільший опір на початку дослідження характерний для матриці та покриття КП 3. При витримванні зразків у агресивному середовищі (дистильована вода) спостерігали тенденцію до зниження абсолютної величини початкового опору. Зокрема, після витримки матриці впродовж часу $\tau = 20...25$ діб спостерігали зниження опору від $R = 7,6$ Ом·см² до $R = 6,4$ Ом·см². Упродовж зазначеного часу знижується і величина опору захисних покриттів, хоча з різною інтенсивністю. Найбільшу інтенсивність зниження опору покриттів спостерігали для зразків з покриттям КП 3. Встановлено, що після витримки у агресивному середовищі зразків впродовж часу $\tau = 25$ діб (рис. 3) опір покриттів КП 3 знижується від $R = 7,5$ Ом·см² до $R = 4,0$ Ом·см².

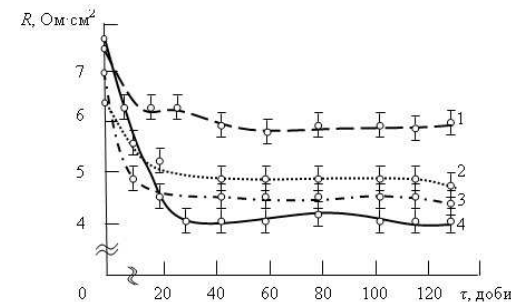


Рис. 3. Часова зміна електричного опору захисних покриттів (агресивне середовище – дистильована вода): 1) матриця; 2) КП 1; 3) КП 2; 4) КП 3

Стабілізацію опору в часі спостерігали після $\tau = 20...30$ діб знаходження зразків у агресивному середовищі. При цьому встановлюється рівноважний процес проникнення води у композит і надалі впродовж всього дослідження впродовж часу $\tau = 130$ діб опір змінювався неістотно. Цю стабілізацію величини електричного опору усіх досліджуваних покриттів, на наш погляд, можна пояснити зменшенням процесів дифузії дистильованої води, внаслідок часткового набухання матеріалу захисного покриття.

Електричний опір та ємність покриттів за відсутності корозії та механічного пошкодження покриття, як правило, характеризують його діелектричні властивості. Ємність, практично, не залежить від частоти прикладеного струму. Це є характерним для електричних конденсаторів у ланцюгу змінного струму [15]. Після витримки покриттів у корозійному середовищі впродовж часу $\tau = 20 \dots 30$ діб ємність зразків істотно зростає, що особливо характерно для матриці, показники ємності якої зростають від $C = 4,8 \times 10^2$ Пф/см² до $C = 18,8 \times 10^2$ Пф/см². На наш погляд, це пов'язано зі зміною діелектричної проникності об'єму покриття внаслідок сорбції води.

Експериментально встановлено, що найменшими показниками ємності характеризується покриття КП 3 (рис. 4).

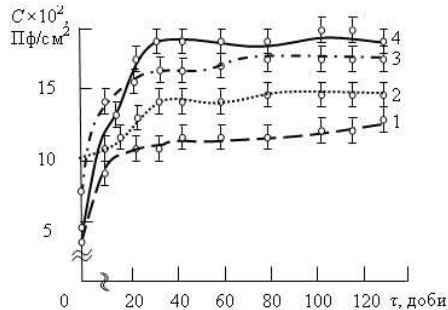


Рис. 4. Часова зміна електричної ємності захисних покриттів (агресивне середовище – дистильована вода): 1) матриця; 2) КП 1; 3) КП 2; 4) КП 3

Показано, що формування покриттів (КП 3) на основі епоксидної матриці і модифікованих імпульсним магнітним полем часток вугільного шлаку (30 мас. ч.) та залізного сурику (20 мас. ч.) забезпечує формування захисних покриттів, ємність яких після витримки у середовищі дистильованої води впродовж $\tau = 130$ діб становить $C = 12,2 \times 10^2$ Пф/см². Тобто ємність такого покриття в 1,5 раза менша, порівняно з ємністю епоксидної матриці.

Візуальне спостереження поверхні зразків дає змогу зробити висновок про значні корозійні руйнування поверхні покриття, характерні для епоксидної матриці, що супроводжуються втратою адгезійної міцності системи "адгезив-субстрат". Для покриттів КП 1 і КП 2 після витримки в дистильованій воді впродовж $\tau = 100$ діб виявлені характерні області корозійного руйнування. Найбільша площа враженої корозією ділянки була характерною для покриття КП 1. Встановлено, що наявність тріщин та області нестійкого адгезійного з'єднання покриття з основою була джерелом утворення кратерів хімічної корозії. Водночас слід зазначити, що для покриття КП 3 ділянок корозійного руйнування практично не виявлено. Це додатково свідчить про його поліпшені антикорозійні властивості.

Висновки. На основі результатів дослідження можна констатувати таке:

1. Забезпечення необхідних антикорозійних властивостей захисного покриття в основному залежить від технології їх формування, раціонального вибору інгредієнтів композиції та матеріалу основи.

2. Корозійна тривкість є здатністю матеріалу протидіяти хімічному або електрохімічному руйнуванню. Процеси, що відбуваються на поверхні чи в об'ємі захисного покриття під час впливу на нього агресивного середовища, як правило, визначають за зміною механічних і електричних (електроопору та ємності) властивостей, які можуть слугувати відносною оцінкою швидкості корозійного руйнування композитного покриття.

3. Доведено, що найменшою корозійною тривкістю характеризується епоксидна матриця. Встановлено, що після витримки зразків з матрицею у морській воді впродовж часу $\tau = 720$ год втрата маси становила $\Delta m/m = 5,72$ %. Введення двокомпонентного бідисперсного наповнювача у епоксидний зв'язувач забезпечує створення покриттів з поліпшеними антикорозійними властивостями. Найкращими властивостями характеризується покриття на основі епоксидного зв'язувача з частками вугільного шлаку (30 мас. ч.) і залізного сурику (20 мас. ч.), витримка якого у морській воді призводить до втрати маси $\Delta m/m = 2,92$ %. Тобто, можна вважати, що використання цього покриття забезпечує зменшення проникності морської води, порівняно з епоксидною матрицею, у 2,0 рази. Отримані результати можна пояснити сорбцією компонент агресивного середовища і зміною структури матриці внаслідок розпаду нестійких зв'язків [6]. Підвищення хімічної стабільності полімерних композитів, порівняно з матрицею, відбувається за рахунок зменшення проникності епоксикомпозитних матеріалів внаслідок поліпшення когезійної міцності покриттів і збільшення шляху проникнення молекул агресивних речовин до основи.

4. Встановлено, що найбільшим опором і найменшими показниками ємності характеризується покриття на основі епоксидної матриці і модифікованих імпульсним магнітним полем часток вугільного шлаку (30 мас. ч.) та залізного сурику (20 мас. ч.). Доведено, що після витримки у агресивному середовищі зразків впродовж часу $\tau = 130$ діб опір покриття становить $R = 6,4$ Ом·см², що в 1,6 раза перевищує опір епоксидної матриці. Після витримки покриття у середовищі дистильованої води впродовж $\tau = 130$ діб показники його ємності становлять $C = 12,2 \times 10^2$ Пф/см², що в 1,5 раза менше, порівняно з ємністю епоксидної матриці.

Література

1. Муров В.А. Полимерные защитные покрытия / В.А. Муров // Журнал Всесоюзного химического об-ва им. Менделеева. – 1988. – Т. 33, № 3. – С. 264-271.
2. Тынный А.Н. Прочность и разрушение при воздействии жидких сред / А.Н. Тынный. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1975. – 194 с.
3. Воробьева Г.А. Химическая стойкость полимерных материалов / Г.А. Воробьева. – М. : Изд-во "Химия", 1981. – 259 с.
4. Воробьева Г.Я. Химическая стойкость полимеров / Г.А. Воробьева. – Л. : Изд-во "Химия", 1981. – 295 с.
5. Манин В.Н. Физико-химическая стойкость полимерных материалов в условиях эксплуатации / В.Н. Манин, А.Н. Громов. – М. : Изд-во "Химия", 1980. – 248 с.
6. Букетов А.В. Розроблення полімеркомпозиційних захисних покриттів із самоорганізуючою структурою : дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.01 / А.В. Букетов. – Луцьк, 2001. – 175 с.
7. Мокиенко Р.Л. Исследование влияния растворителей на некоторые свойства связующего на основе эпоксидного олигомера / Р.Л. Мокиенко и др. // Композиционные полимерные материалы. – 1982. – Вып. 14. – С. 44-47.

8. Носов А.М. Влияние режима отверждения эпоксидных олигомеров на их стойкость к окислительному термостарению / А.М. Носов, Н.И. Новиков // Пластические массы. – 1981. – № 7. – С. 58-61.

9. Бейда В.И. Кислотостойкие эпоксидные связующие для стеклопластиков / В.И. Бейда и др. // Пластические массы. – 1988. – № 8. – С. 61-63.

10. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий / А.Д. Зимон. – М. : Изд-во "Химия", 1977. – 194 с.

11. Шехтер Ю.Н. Защита металлов от коррозии / Ю.Н. Шехтер. – М. : Изд-во "Химия", 1964. – 120 с.

12. Справочник по композиционным материалам. – В 2-х кн., Кн. 1, 2 / под ред. Дж. Любина / пер. с англ. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта; под ред. Б.Э. Геллера. – М. : Изд-во "Машиностроение", – 1988. – 448 с.

13. Ребиндер П.А. Промежуточные слои / П.А. Ребиндер // Журнал Всесоюзного химического об-ва им. Менделеева. – 1963. – Т. 162, № 8. – С. 317-320.

14. Рейтлингер С.А. Проницаемость полимерных материалов. – М. : Изд-во "Химия", 1974. – 270 с.

15. Розенфельд И.Л., Рубинштейн Ф.И. Антикоррозионные грунтывки и ингибирование лакокрасочных покрытий. – М. : Изд-во "Химия", 1980. – 200 с.

Брайло Н.В., Бень А.П., Скирденко В.О., Рудакова А.В., Акимов А.В. Исследование коррозионной стойкости эпоксикомпозитных покрытий с двухкомпонентным наполнителем для деталей судовых энергетических установок

Эпоксикомпозитные покрытия, применяемые как в производстве, так и в быту, должны иметь качественные адгезионные и когезионные характеристики. Эти требования можно достичь применяя защитные покрытия с несколькими наполнителями, различающихся между собой как по природе, так и по дисперсности. Имея отличные механические характеристики покрытия должны также иметь и лучшие эксплуатационные характеристики. В первую очередь это касается их коррозионной стойкости. В работе проведено исследование коррозионной стойкости эпоксикомпозитных покрытий, наполненных порошками железного сурика, предварительно прошел магнитную обработку, и угольным шлаком. Установлено, что по сравнению с эпоксидной матрицей, и целым рядом других наполнителей, как однокомпонентных так и многокомпонентных, указанные наполнители повышают механические и защитные свойства эпоксикомпозитных покрытий.

Ключевые слова: эпоксидный композит, дисперсные наполнители, коррозионная стойкость.

Brailo M.V., Ben A.P., Skirdenko V.O., Rudakova G.V., Akimov A.V. The Study of Corrosion Resistance of Epoxy Composite Coatings with Two-component Filler for the Details of Ship Power Plants

Epoxy composite coating applied both in production and in everyday life must have adhesive and cohesive properties of high quality. These requirements can be achieved by applying protective coatings with several fillings that differ as a nature and dispersion. With excellent mechanical properties, the coating must also have better performance. First of all it concerns their corrosion resistance. The paper studied corrosion resistance of epoxy composite coatings filled with iron powder, which previously held a magnetic processing, and coal slag. It is found that in comparison with the epoxy matrix, and a number of other excipients as one-component and multi-mentioned fillers improve the mechanical and protective properties epoxy composite coatings.

Keywords: epoxy composite dispersion fillers, corrosion resistance, epoxy composite coating.

УДК 360*363.3

Асист. В.М. Гобела – НЛТУ України, м. Львів

ОПТИМАЛЬНОЕ РОЗМІЩЕННЯ КОЛОДИ ВІДНОСНО КРУГЛОЇ ПИЛКИ У КРЯЖУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ МАЯТНИКОВОГО ТА БАЛАНСИРНОГО ТИПІВ

Проаналізовано вплив розміщення колоди відносно круглої пилки у кряжувальних верстатах маятникового та балансирного типів на умови їхньої роботи. Проаналізовано траєкторію руху різального зубця під час кряжування колоди. Розглянуто зміну товщини стружки, яка знімається різальним зубцем у характерних положеннях поперечного перерізу колоди № 1, 2, 3 у круглопилкових кряжувальних верстатах. Проаналізовано напрямки дії сили різання та подачі залежно від розміщення колоди. Обґрунтовано оптимальне положення колоди під час її кряжування.

Одним із найпоширеніших видів механічного оброблювання деревини є різання та пиляння. Пиляння – це процес закритого різання багатозовим інструментом з утворенням стружки для поділу деревини на недеформовані частини. На сьогодні не знайдено гідної альтернативи, яка змогла б повністю витіснити такий вид механічного оброблювання деревини. Розроблено і використовують велику кількість верстатів, пристосувань, механізмів, у яких робочим інструментом є пилки різних типів з різноманітною конфігурацією зубців.

Серед всієї гами типів пилок особливе місце належить круглим дисковим пилкам, які успішно протягом кількох століть надійно слугують як у виробничих, так і в побутових умовах. Якщо проаналізувати їх розвиток та застосування в історичному плані, то видно, що з кожним роком вони стають дедалі досконалішими і надійнішими в роботі, що, своєю чергою, розширює їхні можливості та сфери застосування. Так, саме наукові дослідження в галузі технології виготовлення круглих дискових пилок великого діаметра дали змогу успішно застосовувати їх у верстатах, півавтоматичних лініях та установках для кряжування колод.

Варто зазначити, що до пилок великого діаметра ставляться певні вимоги щодо їхньої міцності, стійкості та геометричних розмірів, оскільки ці пилки, порівняно з пилками малих діаметрів, працюють у високодинамічних режимах зі значними навантаженнями. Однак відповідні теоретичні та експериментальні дослідження у сфері визначення стійкості та надійності роботи круглих пилок великих діаметрів дали змогу успішно використовувати їх для кряжування стовбурної деревини.

Однак практика експлуатації верстатів у виробничих умовах показала, що робота круглих пилок великого діаметра під час кряжування деревини твердолистяних порід є вкрай незадовільна. Часто відбуваються зупинка, заклинювання пилки у пропилі, згинання або виламування різальних зубців, втрата стійкості диску тощо. Виходячи з цього, очевидним стає той факт, що питання кряжування деревини твердих порід круглими пилками великих діаметрів потребує певних наукових досліджень і насамперед аналізу причин, які негативно впливають на роботу пилок, а відтак і кряжувального верстата загалом.

Зрозуміло, що найбільша продуктивність різального інструмента буде за умови, коли кожен різальний зубець працює максимально ефективно, тобто плавно знімає стружку однакової розрахункової товщини по дузі контакту пил-