

Factors of forest certification development as instrument of sustainable forest management are considered. Initiatives for sustainable development of other branches of economy are analysed. Correlation between perception of ecological problems and social-economic development of population that results in appearing of ecologically conscious consumer category in order to provide demand for certified products and services is presented due to Kuznets' curve applying. Certification of environment is justified, including its constituents and methodological approaches for its introducing.

Keywords: forest management, forest certification, sustainable development, ecologically conscious consumer, environment certification.

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 667.64:678.026

*Проф. А.В. Букетов, д-р техн. наук;
асист. О.О. Сапронов; доц. Л.Л. Моїсєнко, канд. техн. наук;
доц. Т.І. Івченко, канд. техн. наук; доц. К.М. Клевиов, д-р техн. наук –
Херсонська державна морська академія*

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ ІЗ ПІДВИЩЕНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Розроблено захисні покриття і технології їх формування, які безпосередньо впроваджені на підприємстві Херсонської області. Це дало змогу підвищити гідроабразивну стійкість, антикорозійні властивості, збільшити міжремонтний ресурс експлуатації механізмів, агрегатів промислового устаткування.

Ключові слова: епоксидний олігомер, покриття, адгезійний шар, поверхневий шар.

Постановка проблеми. У процесі експлуатації на поверхні деталей машин і механізмів технологічного устаткування діють механічні навантаження, високі та низькі температури, агресивні середовища та гідроабразивне руйнування, що призводить до зменшення ресурсу їх роботи. Основними напрямками підвищення ресурсу роботи машин і механізмів є розроблення нових матеріалів, зокрема і захисних покриттів, які забезпечують необхідний комплекс фізико-механічних властивостей, корозійну тривкість і зносостійкість, а також багаторазове відновлення робочих поверхонь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У нашій країні та за кордоном створено широкий спектр композитних матеріалів (КМ) на епоксидній основі з необхідними експлуатаційними властивостями, використання яких дає змогу ефективно захищати поверхню технологічного устаткування від впливу агресивних середовищ, що істотно підвищує зносостійкість і експлуатаційні характеристики [1]. Важливе значення мають технологічність нанесення покриття на деталі складного профілю, економічність і довговічність при експлуатації, що дає змогу значно скоротити трудові і матеріальні затрати на ремонтні роботи.

Мета роботи – розробити покриття з підвищеними експлуатаційними характеристиками для впровадження їх у промисловість.

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. Відомо [2], що ПЕПА є низькомолекулярною речовиною, яка складається з таких взаємозв'язаних компонентів: $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-]_n$. Зшивали КМ, вводячи твердник у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмісту (мас.ч.) – ЕД-20: ПЕПА – 100: 10.

Як наповнювачі використано частки двоокису цирконію (ZrO_2), оксиду алюмінію (Al_2O_3) з дисперсністю 63 мкм та дрібнодисперсні частки пічної сажі (ПГМ-33) і бору кристалічного (БК) з дисперсністю 8.12 мкм. Двоокис цирконію застосовують у виготовленні вогнетривких матеріалів. Стосовно оксиду алюмінію треба зазначити, що, окрім вогнетривкості, матеріали з цим наповнювачем мають високу твердість і антифрикційні властивості. Пічна сажа ПГМ-33 – це вуглецевий матеріал, що утворюється внаслідок неповного згоряння або термічного розкладу вуглеводнів. Останні містяться в природному або промисловому газі, у рідких продуктах (оливах) нафтового або кам'яновугільного походження. Елементарний склад ПГМ-33, %: С – 98,9; Н – 0,4; S < 0,1; О – 0,6; мінеральний залишок – 0,1 [3]. Бор кристалічний має ромбоєдричну форму (густина $\rho = 2,45 \text{ г/см}^3$), яка складається з майже правильних ікосаєдрів B_{12} із частково деформованим кубічним щільним формуванням. Ця фаза формується за присутності вуглецю або азоту і залежно від способу отримання набуває такого вигляду – $B_{50}C_2$ або $B_{50}N_2$.

Додатково у композицію вводили частки нанодисперсні частки спеченого композиту (ННСК) з дисперсністю 5 нм. Хімічний склад елементів ННСК, %: карбонат кальцію ($CaCO_3$) – 47,46; вуглець (графіт, сажа) (С) – 11,27; карбонат калію (K_2CO_3) – 37,97; хлорид калію (KCl) – 3,29.

Епоксидний КМ для нанесення покриття, формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20, підігрівання смоли до температури $T = 353 \pm 2 \text{ К}$ і її витримка за цієї температури упродовж часу $\tau = 20^{\pm 0,1} \text{ хв.}$; дозування наповнювачів та подальше введення їх в епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомера ЕД-20 і наповнювачів упродовж часу $\tau = 1^{\pm 0,1} \text{ хв.}$; УЗО композиції упродовж часу $\tau_3 = 1,5^{\pm 0,1} \text{ хв.}$; охолодження композиції до кімнатної температури упродовж часу $\tau = 60^{\pm 5} \text{ хв.}$; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції упродовж часу $\tau = 5^{\pm 0,1} \text{ хв.}$ Надалі затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання упродовж часу $\tau = 12,0^{\pm 0,1} \text{ год}$ за температури $T = 293^{\pm 2} \text{ К}$, нагрівання зі швидкістю $v = 3 \text{ К/хв}$ до температури $T = 393^{\pm 2} \text{ К}$, витримання КМ упродовж часу $\tau = 2,0^{\pm 0,05} \text{ год}$, повільне охолодження до температури $T = 293^{\pm 2} \text{ К}$. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували упродовж часу $\tau = 24 \text{ год}$ на повітрі за температури $T = 293^{\pm 2} \text{ К}$ з наступним проведенням експериментальних випробувань.

Результати досліджень та їх обговорення. На основі проведених досліджень розроблено матеріали та режими формування епоксидних композицій для зносостійких композитів. До розроблених полімеркомпозитних покриттів, що відповідають високим вимогам експлуатації, належить: ПКП-1, ПКП-2, ПКП-3.

Покриття 1 (ПКП-1). Основне призначення покриття – збільшення міжремонтного ресурсу роботи дейдвудних валів. ПКП-1 – матеріал на основі епоксидної матриці та двокомпонентного бідисперсного наповнювача. Розроблений матеріал містить адгезійний шар, що забезпечує підвищення адгезійної міцності композиту до основи, та поверхневий шар, що наноситься на частково полімеризований епоксикомпозит з метою підвищення зносостійкості поверхні дейдвуд-

них валів (рис. 1). Розроблений матеріал має високі показники фізико-механічних, теплофізичних властивостей і зносостійкість, а термін його експлуатації – 3...6 років. Низька вартість інгредієнтів полімерної композиції, порівняно з відомими матеріалами, забезпечується підвищенням якості і збільшенням термінів експлуатації та міжремонтних періодів роботи.

Технологічний процес формування ПКП-1 складається з таких операцій: підготовка поверхні, приготування композицій, нанесення адгезійного і поверхневого шарів, полімеризація композиту. Якість підготовки захисної поверхні значною мірою визначає надійність і довговічність ПКП-1. Підготовка поверхні полягає в обезжирюванні та видаленні різних забруднень, окалини, іржі методом піскоструминної оброблення.

Приготування композицій полягає у дозуванні компонентів і підготовці наповнювачів (очищенні дисперсних часток від домішок методом ультразвукової оброблення). Порошки однорідних фракцій просушують у сушильній шафі за температури 323...353 К упродовж 2 год. До епоксидної смоли додають наповнювачі у відповідних співвідношеннях та добре змішують їх. Після гідродинамічного змішування компонентів вводять твердник безпосередньо перед нанесенням композиції на сталеву поверхню.

Адгезійний шар складається з таких компонентів: мас.ч.:

- епоксидний діановий олігомер ЕД-20 100;
- твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) 10;
- нанодисперсний наповнювач спеченого композиту (5 нм) 0,04...0,06.

Поверхневий шар складається з таких компонентів, мас.ч.:

- епоксидний діановий олігомер ЕД-20 100;
- твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) 10;
- оксид алюмінію (63 мкм) 60...80;
- бор кристалічний (8...12 мкм) 30...40.

Адгезійний та поверхневий шари наносять традиційними способами. Найбільш продуктивним і технологічним є метод пневматичного розпилення, який дає змогу наносити рівномірні за товщиною шари матеріалу на поверхні складної конфігурації.

Покриття 2 (ПКП-2). Основне призначення – підвищення корозійної стійкості корпусів середньогабаритних суден. Розроблений матеріал містить адгезійний шар, що забезпечує значне підвищення адгезійної міцності композиту до основи, та поверхневий шар, що наноситься на частково полімеризований епоксикомпозит з метою підвищення стійкості до корозії корпусів суден (рис. 1). Розроблений матеріал має високі показники фізико-механічних, теплофізичних властивостей і зносостійкість, при чому термін його експлуатації – 5...6 років.

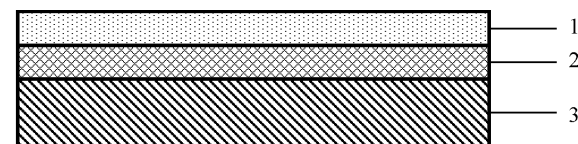


Рис. 1. Схема покриття ПКП-1 і ПКП-2: 1) функціональний (поверхневий) шар; 2) адгезійний шар; 3) металева основа

Технологічний процес формування ПКП-2 складається з операцій, наведених вище при описі технології формування покриття ПКП-1. Після гідродинамічного змішування компонентів вводять твердник безпосередньо перед нанесенням композиції на сталеву поверхню.

Адгезійний шар складається з таких компонентів: мас.ч.:

- епоксидний діановий олігомер ЕД-20 100;
- твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) 10;
- двоокис цирконію (63 мкм) 70...80;
- пічна сажа (8...12 мкм) 20...25.

Поверхневий шар складається з таких компонентів, мас.ч.:

- епоксидний діановий олігомер ЕД-20 100;
- твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) 10;
- оксид алюмінію (63 мкм) 60...80;
- бор кристалічний (8...12 мкм) 30...40.

Адгезійний та поверхневий шари наносять методом пневматичного розпилення, який дає змогу сформувати рівномірні за товщиною шари матеріалу на поверхні складної конфігурації.

Покриття 3 (ПКП-3). Основне призначення – захисні покриття для механізмів машинного відділення або – у вигляді композитного матеріалу для формування дейдвудних підшипників та ущільнень. Розроблений матеріал містить: шпатлювальний шар, що забезпечує усунення нерівностей поверхонь, раковин, а також дефектів (вм'ятин), які утворюються на поверхні деталей під час їх експлуатації; адгезійний шар наносять на частково полімеризований шпатлювальний шар, що забезпечує підвищення адгезійної міцності композиції; поверхневий шар наносять на частково полімеризований адгезійний шар з метою підвищення фізико-механічних властивостей і зносостійкості поверхні механізмів, агрегатів та окремих вузлів устаткування (рис. 2). Розроблений матеріал має високі показники фізико-механічних, теплофізичних властивостей і зносостійкість, причому термін його експлуатації – 5...7 років.

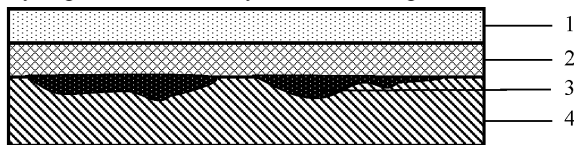


Рис. 2. Схема покриття ПКП-3: 1) функціональний (поверхневий) шар; 2) адгезійний шар; 3) шпатлювальний шар; 4) металева основа

Важливим і визначальним фактором техніко-економічних переваг нового матеріалу є можливість його нанесення у технологічних приміщеннях за кімнатних температур. Особливість формування цього матеріалу полягає у тому, що для машинного відділення характерний градієнт температур та висока вологість. У таких умовах практично неможливо якісно очистити сталеву поверхню устаткування. Окрім цього, матеріал повинен бути холодного тверднення, позаяк у технологічних приміщеннях для створення необхідного температурного режиму полімеризації необхідні значні економічні затрати. У зв'язку з цим на основі аналізу агресивності технологічних і допоміжних середовищ, темпера-

турних режимів експлуатації устаткування, термінів його експлуатації та масштабів виробництва об'єктом для використання розробленого матеріалу вибрано дейдвудні підшипники та ущільнення. Під час формування дейдвудних ущільнень у важко доступних місцях доцільно заливати композицію поверхневого шару у наперед визначену місткість чи об'єм.

Технологічний процес формування ПКП-3 складається з операцій наведених вище (ПКП-1, ПКП-2). Після гідродинамічного змішування компонентів вводять твердник безпосередньо перед нанесенням композиції на сталеву поверхню і у три послідовних етапи наносять покриття.

Шпатлювальний шар складається з таких компонентів: мас.ч.:

- епоксидний діановий олігомер ЕД-20 100;
- твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) 10;
- двоокис цирконію (63 мкм) 70...80;
- пічна сажа (8...12 мкм) 20...25.

Адгезійний шар складається з таких компонентів: мас.ч.:

- епоксидний діановий олігомер ЕД-20 100;
- твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) 10;
- нанодисперсний наповнювач спеченого композиту (5 нм) 0,04...0,06.

Поверхневий шар складається з таких компонентів, мас.ч.:

- епоксидний діановий олігомер ЕД-20 100;
- твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) 10;
- оксид алюмінію (63 мкм) 50...60;
- бор кристалічний (8...12 мкм) 25...30.

Шпатлювальний, адгезійний та поверхневий шари наносять методом пневматичного розпилення, що забезпечує рівномірність за товщиною шарів матеріалу на поверхнях складної конфігурації.

Результати порівняльних випробувань фізико-механічних, теплофізичних властивостей і зносостійкості розроблених (ПКП-1, ПКП-2, ПКП-3) та відомих матеріалів і захисних покриттів на їх основі свідчать про високі експлуатаційні характеристики і доцільність використання нових композитів (табл.).

Табл. Порівняльні показники властивостей розроблених і відомих композитних матеріалів та покриттів на їх основі

Показник	ПКП-1	ПКП-2	ПКП-3	Ст. 45	УР-41*	ГЕС-1**
Адгезійна міцність, σ_a , МПа,	76,6	65,5	76,6	–	52,1	46,4
Руйнівні напруження при згинанні, σ_z , МПа	53,2	52,5	52,8	–	38,4	62,1
Модуль пружності при згинанні, E , ГПа	8,0	7,6	7,8	–	5,5	4,2
Теплостійкість, T , К	353	352	352	–	338	346
Відносна інтенсивність зношування, I , %	0,33	0,38	0,36	1,00	0,79	0,68

* поліуретановий матеріал;

** гумований ебонітовий склад.

Треба зазначити, що розроблені покриття і технології їх формування та нанесення впроваджено в ТОВ "СК "Марина груп" (м. Херсон), що дає змогу відмовитись від використання традиційних ґрунтовок і покриттів. Це в подальшому забезпечує отримання значного економічного ефекту.

Висновки. За результатами експериментальних досліджень розроблено композитні матеріали, захисні покриття на їх основі і технології їх формування.

Впровадження розроблених матеріалів на ТОВ "СК "Марина груп" (м. Херсон) забезпечило:

- підвищення стійкості до гідроабразивного зношування деталей у 2,0...2,3 рази;
- підвищення антикорозійних властивостей механізмів, агрегатів та устаткування у 3,6...3,8 рази;
- збільшення міжремонтного ресурсу експлуатації деталей у 3,6...3,8 рази.

Надалі розроблені матеріали можливо використовувати у вигляді покриттів для деталей і корпусів середньо- та великогабаритних суден, які експлуатуються в умовах впливу агресивних середовищ, а також як матеріали, які експлуатуються в разі статичних і динамічних навантажень.

Література

1. Кудрин А.П. Износостойкость покрытий в условиях гидроабразивного изнашивания / А.П. Кудрин, В.Ф. Лабунец, О.А. Вишневицкий, Али Ризк // Промислова гідравліка і пневматика. – 2004. – № 4(6). – С. 67-72.
2. Букетов А.В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів / А.В. Букетов, П.Д. Стухляк, І.В. Чихіра. – Тернопіль : Вид-во "Крок", 2011. – 201 с.
3. Энциклопедия полимеров / ред. коллегія. В.А. Кабанов. – М. : Изд-во "Советская Энциклопедия", 1974. – Т. 2. – 1032 с.

Букетов А.В., Сапронов А.А., Моисеенко Л.Л., Ивченко Т.И., Клевцов К.Н. Разработка и внедрение эпоксикомпозитных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками

Разработаны защитные покрытия и технологии их формирования, которые непосредственно внедрены на предприятии Херсонской области. Это позволило повысить гидроабразивную стойкость, антикоррозионные свойства, увеличить межремонтный ресурс эксплуатации механизмов, агрегатов промышленного оборудования.

Ключевые слова: эпоксидный олигомер, покрытия, адгезионный слой, поверхностный слой.

Buketov A.V., Sapronov A.O., Moiseenko L.L., Ivchenko T.I., Klevtsov K.N. Development and Introduction of Epoxide Composite Coating with High Performance Characteristics

Protective coatings and methods of their formation that are directly introduced into the enterprise of Kherson region are developed. It enabled hydro adhesive and corrosive resistance to increase, interrepairing resource for exploitation of mechanism and industrial equipment units to enhance.

Keywords: epoxide oligomer, coating, adhesive layer, surface layer.

УДК 628.4:544.4

*Проф. Л.І. Челядин, д-р техн. наук –
Івано-Франківський НТУ нафти і газу*

ХЕМОСОРБЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИКИДНИХ ГАЗІВ ІЗ ВМІСТОМ КАРБОН (II) ОКСИДУ ВУГЛЕЦЕВОМІНЕРАЛЬНИМ МАТЕРІАЛОМ

Наведено дані щодо техногенних забруднень у довкілля та шкідливих від транспортних засобів. Для очищення викидних газів досліджено вуглецевомінеральні матеріали (ВММ). За результатами експериментальних досліджень встановлено, що активність ВММ за температур 250-350 °С викидних газів є найвищою. Дослідження із впливу хімічних сполук на поверхні ВММ довело, що найбільш активними матеріалами є з покриттям феритами нікелю і хрому. На основі експериментальних даних побу-

довано ізотерми адсорбції та встановлено, що методом контакту викидних газів забруднених СО з ВММ ступінь очищення становить до 75-85 %.

Ключеві слова: довкілля, адсорбція, шкідливі компоненти, ступінь очищення, сорбент.

Постановка проблеми. Важливим чинником екологічного забруднення атмосфери є стаціонарні джерела викидів шкідливих компонентів разом з димовими газами ТЕС, які частково залишаються в повітрі, а інша частина осідає на ґрунт, забруднюючи його та водні ресурси. Основні техногенні забруднення надходять в атмосферу від теплової енергетики (25,7 %), що обумовлюється більшим використанням вугілля і становлять близько 27,2 тис. тонн/рік. [1] Однак значним джерелом забруднення атмосфери є моторні агрегати транспорту (рухомі джерела забруднення), викинуто близько 11,9 тис. т. забруднювальних речовин, в т.ч. автомобілями – 8,6 тис. т. За інформацією [2], протягом 2010 р. від стаціонарних джерел забруднення в атмосферу України надійшло 102 млн т шкідливих речовин (карбон (II) оксиду, сульфур (IV) оксиду та інші), із них 44,4 млн т карбон (IV) оксиду, який спричиняє негативну парникову дію. Таким чином, значний вплив на навколишнє середовище мають викиди забруднених газів від автотранспорту.

Таким чином, обсяг забруднень у довкіллі збільшується, що зумовлює зменшення народжуваності та збільшення смертності [3], тому це загрожує біологічно-генетичною деградацією народу України.

Мета досліджень. Дослідити зменшення забруднення довкілля СО методом контактування викидних газів транспортних засобів з вуглецевомінеральним матеріалом.

Одним із методів зменшення шкідливих інгредієнтів у газових викидах транспорту є застосування системи каталітичної нейтралізації [4], що дає змогу знизити вміст шкідливих компонентів у газових викидах на 60-90 %. Основу цих систем складає нейтралізатор, який вміщає матеріали з каталітичними сполуками, що перетворюють шкідливі компоненти викидних газів у безпечні чи сорбують їх на своїй поверхні.

Теоретичні і експериментальні дослідження. Основні теоретичні основи процесу адсорбції описано у монографії [5], а технології очищення газів – у [6,7] та інших публікаціях. Сорбція шкідливих компонентів на пористих адсорбентах є складним багатофакторним процесом і дослідження адсорбції різних газів пористими поверхнями матеріалів дають змогу вирішити реальні проблеми екології, наприклад вибору чи одержання сорбенту для очищення забруднених середовищ від шкідливих компонентів. Величина адсорбції молекул залежить від раціонального вибору адсорбенту з певною пористою структурою і молекул речовин, які необхідно зменшити в забрудненому газоподібному середовищі. Залежність адсорбції від концентрації або тиску виражається емпіричним рівнянням Фрейндліха: $A = x/m = k \cdot C_p^n$, де A – величина адсорбції, кмоль/кг; x – кількість адсорбованої речовини, кмоль; m – маса адсорбенту, кг; C_p – рівноважна концентрація розчину, кмоль/м³; k, n – константи, характерні для даного процесу адсорбції, причому $n < 1$.