

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ УСТАТКУВАННЯ РІЧКОВОГО ТА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗАВДЯКИ ВИКОРИСТАННЮ МОДИФІКОВАНИХ ЗАХИСНИХ АНТИКОРОЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ

Чернявська Т. В., аспірант кафедри транспортних технологій та механічної інженерії Херсонської державної морської академії, ORCID: 0000-0003-4019-9715

Стаття присвячена вирішенню науково-технічної задачі, яка полягає у підвищенні ресурсу роботи устаткування річкового та морського транспорту за рахунок використання розроблених полімерних композитних модифікованих антикорозійних захисних покриттів. Вирішення науково-технічної задачі полягає у розробці методу спрямованого керування процесами взаємодії між компонентами епоксидного полімеру, що дозволило створити новий клас композитних матеріалів і покриттів на їх основі з високими показниками експлуатаційних характеристик, призначених для відновлення засобів водного транспорту.

Встановлено нові закономірності підвищення ресурсу і корозійної стійкості засобів транспорту завдяки рахунок формуванню покриттів, які містять у комплексі модифікатор фталілід (0,25 мас.ч.) та синтезовану залізо-карбідну шихту (0,2...0,5 мас.ч.) на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20, що дозволяє при їх уведенні у полімер за оптимального вмісту отримувати матеріали з полішеними когезійними властивостями завдяки значній питомій площі поверхні дисперсних добавок і підвищеної їх активності до міжфазової взаємодії.

Вперше розроблено технологічну схему формування покриттів, завдяки якій досягнуто синергетичний ефект у підвищенні ресурсу роботи устаткування річкового та морського транспорту і полішенні антикорозійних властивостей захисних покриттів у результаті комплексного впливу модифікатора фталілиду, мікродисперсного наповнювача синтезованої залізо-карбідної шихти та фітинової кислоти. Методом ІЧ-спектроскопії обґрунтовано зростання ступеня зшивання тривимірної сітки полімера, що забезпечує полішення властивостей композитів. Це зумовлено тим, що на поверхні часток після синтезу локалізуються ділянки карбідів титану і заліза, які в основному і є активаторами створення фізичних і хімічних міжфазових зв'язків при структуроутворенні антикорозійних покриттів.

Ключові слова: матриця, епоксидний композит, модифікатор, наповнювач, властивості, антикорозійне покриття.

DOI: 10.33815/2313-4763.2020.1.22.074-083

Постановка проблеми. Актуальність даного напрямку досліджень зумовлена тим, що, незважаючи на широкий спектр відомих на сьогодні полімерних композитів, які використовують для захисту засобів морського та річкового транспорту, найбільш поширеними є антикорозійні адгезиви на основі епоксидних олігомерів. При формуванні таких матеріалів на стадії зшивання у зв'язувач вводять різного роду добавки, що забезпечує підвищення ступеня гелеутворення гетерогенних систем і, як наслідок, призводить до полішення їхніх властивостей. Водночас слід зазначити, що сучасні судна водного транспорту піддаються впливу динаміки кліматичних навантажень унаслідок роботи у різних часових поясах у невеликому часовому проміжку. Це передбачає експлуатацію як корпусів суден, так машин і механізмів під впливом динаміки критичних температур, що призводить до швидкого старіння устаткування. Насамперед це стосується захисних антикорозійних покриттів, які піддаються впливу водночас динамічних, механічних і термічних навантажень. Тому дослідження і аналіз антикорозійних властивостей, а також розробка полімерних покриттів за різних умов експлуатації є актуальною задачею забезпечення надійності деталей і транспортних засобів в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні прослідковується широке застосування захисних антикорозійних полімерних покриттів, зокрема на основі епоксидних смол, у різних галузях промисловості, де існує вплив агресивного середовища. Окрім того, у багатьох роботах [1–6] описано, що для підвищення властивостей покриттів на основі епоксидних смол вводять до їх складу нано- та мікронаповнювачі. Важливим параметром часток є їх питома поверхня, за допомогою якої відбувається їх взаємодія з

функціональними групами полімерів. Водночас молекули полімерної матриці адсорбуються на частки, а адгезійні сили забезпечують міцне з'єднання. У світі активно ведуться дослідження факторів, що визначають ефективність модифікації полімерних матеріалів мікрочастками. Згідно з літературними даними [7], суттєвий вплив мають такі фактори, як розмір, форма і кількість часток, їх розподіл у матричному матеріалі, площа поверхні взаємодії «полімер-частка». Значна кількість досліджень указує, що модифікація нано- і мікродисперсними частками епоксидних композицій впливає на їх механічні властивості. Зокрема, дослідження поведінки композитів при розтягуванні та згинанні підтверджують такі ефекти, як збільшення модуля пружності і жорсткості, а також зниження пластичності матеріалів [7, 8].

Отже, епоксидні матеріали, як антикорозійні покриття мають ряд переваг. Епоксидні покриття відрізняються підвищеними показниками теплостійкості та можуть застосовуватися при температурах експлуатації до 373 К. Крім того, вони можуть довго зберігатися просто неба. Також до них можна віднести технологічні характеристики при формуванні. Отверджування покриттів на транспортних засобах відбувається як за кімнатної температури, так і за знижених температурних режимів (за наявності каталізаторів). Покриття на епоксидній основі відрізняються високою стійкістю до дії агресивних середовищ, до подряпин, задирів, а також абразивного зносу, зберігаючи водночас високі механічні властивості [9]. Ряд переваг епоксидних покриттів характеризує їх стійкість до корозійних процесів. Мінімальна усадка в процесі зшивання сприяє зниженню залишкових напружень у покриттях. Покриття на епоксидній основі стійкі до катодного відшарування, з чим пов'язана відсутність виникнення стрес-корозії. Захисні антикорозійні покриття на основі епоксидних смол відрізняються високими бар'єрними властивостями. Ще одна важлива перевага епоксидних покриттів – це високі показники адгезійної міцності до різних металів [10, 11].

Мета роботи – збільшити ресурс засобів і деталей річкового та морського транспорту шляхом підвищення їх корозійної стійкості внаслідок установа законності формування структури і властивостей захисних епоксидних покриттів.

Матеріали та методика дослідження. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні епоксидних 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).

Як модифікатор використано фталімід. Молекулярна формула модифікатора: $C_8H_5NO_2$. Молярна маса фталіміду – 147,13 г/моль. Густина – 1,47 г/см³.

Як мікродисперсний наповнювач для експериментальних досліджень використано синтезовану залізо-карбідну шихту (СЗКШ). Формування наповнювача проводили високовольтним електророзрядним синтезом. Для високовольтного електророзрядного синтезу наповнювача використовували дослідний стенд, детально описаний у працях [12, 13]. У вигляді вихідного матеріалу використовували суміш порошків наступного вихідного складу: Fe (75 %) + Ti (25 %). Склад наповнювача після електророзрядного синтезу є наступним: Fe (70 %) + TiC (25 %) + Fe₃C (5 %). Розмір часток становить $d = 15...20$ мкм.

Додатково для поліпшення властивостей композитів у роботі використано частки фітинової кислоти дисперсністю $d = 8...10$ мкм. Молекулярна формула: $C_6H_{18}O_{24}P_6$. Молярна маса – 660,04 г/моль.

Корозійну стійкість захисних покриттів досліджували у лабораторних умовах, у результаті чого аналізували зміну опору і ємності зразків у часі під впливом агресивних середовищ. Для вимірювання опору і ємності захисних покриттів використовували прилад RCL-метр типу Е7-22. Прилад під'єднували до вимірювальної комірки, у яку поміщали зразки у вигляді покриттів, нанесених на металеву основу. На покриття наклеювали скляні циліндри з діаметром $d = 25$ мм, які заповнювали морською водою (ТУУ 006: 2011). Упродовж 30 діб за температури $T = 293 \pm 2$ К вимірювали опір і ємність покриттів,

значення яких перераховували за формулами: $R_{кор} = R \cdot S, \kappa Ом$; $C_{кор} = C \cdot S, nФ$; $S = \pi D^2/4, см^2$. Для одержання середніх значень опору та ємності покриттів використано не менше 5 зразків, робоча площа яких становила – 4,9 см².

Результати досліджень та їх обговорення. На початковому етапі методом математичного планування експерименту встановлено оптимальний вміст модифікатора і мікродисперсного наповнювача у захисних покриттях: модифікатор фталімід – 0,25 мас.ч., синтезована залізо-карбідна шихта – 0,20...0,50 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20. Уведення до епоксидного зв'язувача таких інгредієнтів дозволяє підвищити показники ударної в'язкості епоксидних композитів майже у два рази, порівняно з вихідною матрицею (до $W = 15,9...16,3$ кДж/м²). Отримані результати дозволяють створити матеріали з поліпшеними показниками фізико-механічних властивостей. Дані композити доцільно використовувати у вигляді захисних покриттів для підвищення експлуатаційних характеристик і відновлення засобів транспорту.

Для протикорозійного захисту засобів водного транспорту досліджували антикорозійні властивості розроблених і відомих полімерних композитних матеріалів (КМ) на основі модифікованого епоксидного зв'язувача з дисперсними наповнювачами, вміст яких установили попередньо на основі механічних випробувань.

Зазначимо, що епоксидний зв'язувач формували за наступного співвідношення компонентів – епоксидний олігомер (ЕД-20) : твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) – 100 : 10. Випробовували чотири склади антикорозійних композитів і покриттів на їх основі:

– КМ 1 (композит формували за наступного співвідношення компонентів – зв'язувач : модифікатор фталімід : мікродисперсний наповнювач у вигляді синтезованої залізо-карбідної шихти (СЗКШ) наступного складу: Fe (70 %) + TiC (25 %) + Fe₃C (5 %) ($d = 15...20$ мкм) : мікродисперсний наповнювач у вигляді фітинової кислоти ($d = 8...10$ мкм) – 100 : 0,25 : 0,20 : 0,25);

– КМ 2 (композит формували за наступного співвідношення компонентів – зв'язувач : модифікатор фталімід : мікродисперсний наповнювач у вигляді синтезованої залізо-карбідної шихти (СЗКШ) наступного складу: Fe (70 %) + TiC (25 %) + Fe₃C (5 %) ($d = 15...20$ мкм) : мікродисперсний наповнювач у вигляді фітинової кислоти ($d = 8...10$ мкм) – 100 : 0,25 : 0,50 : 0,25);

– КМ 3 – відоме корозійностійке епоксидне покриття для захисту технологічного устаткування суден [14];

– КМ 4 – відоме корозійностійке епоксидне покриття для захисту бортів і надбудов суден [15].

Корозійні дослідження зразків проводили у два етапи. На першому етапі корозійну стійкість захисних покриттів досліджували імпедансним методом, у результаті чого аналізували зміну опору і ємності зразків у часі під впливом середовища морської води. Експериментально встановлено (рис. 1), що після 30 діб витримки покриттів в умовах впливу агресивного середовища найвищим показником питомого опору ($\rho = 23,4$ Ом·см²) є матеріал КМ 1. Аналогічно паралельно досліджували ємність розроблених і відомих матеріалів. Доведено (рис. 2), що за однакових умов випробувань найменшими ($C = 32 \times 10^2$ пФ/см²) показниками електричної ємності характеризується зразок на основі матеріалу КМ 1, що констатує достовірність отриманих результатів. Найкращі показники корозійної стійкості даного матеріалу можна пояснити насамперед оптимальним поєднанням інгредієнтів у епоксидній матриці. Зокрема, введення у полімер за гомеопатичного вмісту модифікатора, активного до міжфазової взаємодії синтезованої залізо-карбідної шихти, а також антиоксиданта, корозійностійкого й екологічно чистого порошку фітинової кислоти забезпечує максимальне підвищення ступеня гелеутворення епоксидної матриці. Такий матеріал є бар'єром до проникнення агресивного середовища, що підтверджено вище результатами експериментальних досліджень.

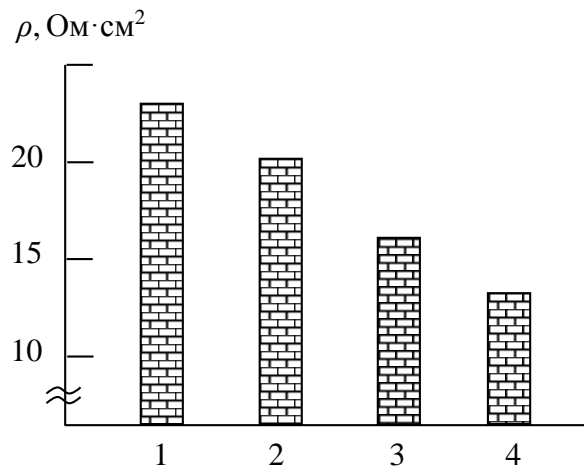


Рисунок 1 – Значення питомого опору захисних покриттів при частоті 1 кГц у агресивному середовищі морської води: 1 – КМ 1; 2 – КМ 2; 3 – КМ 3; 4 – КМ 4

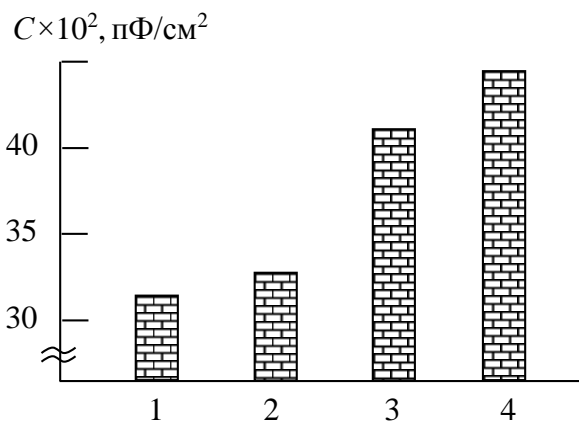


Рисунок 2 – Значення ємності захисних покриттів при частоті 1 кГц у агресивному середовищі морської води: 1 – КМ 1; 2 – КМ 2; 3 – КМ 3; 4 – КМ 4

Дещо гірші результати отримали при дослідженні матеріалу КМ 2. Для такого композиту після випробувань у морській воді отримали наступні значення опору та ємності: $\rho = 23,4 \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$, $C = 32 \times 10^2 \text{ пФ/см}^2$. На наш погляд, це зумовлено дещо надмірною кількістю мікродисперсного наповнювача фітинової кислоти у матеріалі, що призводить до формування напруженого стану у структурі композиту. Відповідно, це погіршує когезійні властивості матеріалу у часі, що й позначається на його антикорозійних характеристиках.

Для порівняння за аналогічних умов досліджували корозійні характеристики відомих і широко впроваджених на сьогодні матеріалів [14, 15] на епоксидній основі, які використовують на сьогодні для захисту проти корозії засобів транспорту. Показано (рис. 1, 2), що для таких матеріалів (КМ 3, КМ 4) отримано наступні характеристики корозійної стійкості: $\rho = 14,5 \dots 16,8 \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$, $C = (43 \dots 49) \times 10^2 \text{ пФ/см}^2$.

Можна констатувати, що у роботі розроблено матеріал (КМ 1) на основі модифікованої епоксидної матриці, наповненої активними дисперсними частками за оптимального вмісту, який у 1,4...1,6 разів (за показниками питомого опору) й у 1,3...1,5 разів (за показниками електричної ємності) має кращі антикорозійні властивості, порівнюючи з відомими світовими аналогами. Це є свідченням необхідності використання розробленого матеріалу для підвищення антикорозійних характеристик деталей водного транспорту, який експлуатують в умовах впливу механічних навантажень та теплового поля.

Корозійну стійкість захисних покриттів додатково визначали шляхом занурення зразків у наступні агресивні середовища: нафта, бензин, морська вода, річкова вода.

Результати дослідження показують високі експлуатаційні характеристики розроблених матеріалів. Зокрема, встановлено (табл. 1), що найвищою корозійною стійкістю (під якою у даному випадку розуміли зміну маси зразків після їх витримки в агресивних середовищах) характеризується матеріал КМ 1. Для нього зміна маси після витримки у середовищах становить 1,6...1,8 %. Водночас зазначимо, що для зразка з КМ 2 втрата маси у вибраних середовищах є несуттєво, але дещо вищою і становить 1,7...2,0 %. Отримані результати дослідження добре узгоджуються з наведеними вище результатами випробувань даних матеріалів щодо опору і ємності, що свідчить про їх достовірність.

Таблиця 1 – Корозійна стійкість КМ після витримки в агресивних середовищах впродовж часу $t = 720$ год за температури $T = 293 \pm 2$ К

Агресивне середовище	Зміна маси зразків, %			
	КМ 1	КМ 2	КМ 3	КМ 4
Нафта	1,6	1,7	2,3	2,5
Бензин	1,7	1,7	2,3	2,6
Морська вода	1,7	1,8	2,2	2,8
Річкова вода	1,8	2,0	2,7	2,9

Примітка: КМ 1, КМ 2 – розроблені матеріали; КМ 3 – композит Jotacote Universal N10 QD (Jotun, Норвегія) [14]; КМ 4 – композит Intershield 300 (International, Великобританія) [15]

Порівнюючи результати дослідження зміни маси розроблених і відомих матеріалів у агресивних середовищах, можна констатувати наступне. Набухання у середовищах нафти, бензину, морської і річкової води зразків з розробленого матеріалу КМ 1 становить 1,6...1,8 %, що є меншим у 1,4...1,6 разів, порівнюючи з відомими і широко поширеними покриттями у світовому флоті. Водночас найагресивнішим з усього спектру досліджуваних середовищ є річкова вода. На наш погляд, це зумовлено наявністю достатньої кількості забруднень механічного, хімічного і біологічного характеру, що у комплексі суттєво впливає на старіння та динаміку руйнування усіх без винятку досліджуваних у даній роботі матеріалів.

У результаті проведених у даній роботі досліджень властивостей композитів розроблено епоксикомпозитний матеріал і захисне покриття на його основі для ремонту та захисту поверхонь засобів водного транспорту. Впровадження розроблених матеріалів заплановано на суховантажних судах, які експлуатують в умовах впливу агресивних середовищ «річка – море».

Антикорозійний полімеркомпозитний матеріал (АПМ). Основне призначення – поліпшення антикорозійних властивостей засобів морського та річкового транспорту. АПМ – матеріал на основі епоксидної матриці, модифікатора та двокомпонентного мікродисперсного наповнювача. Розроблений матеріал характеризується поліпшеними адгезійними властивостями та незначними залишковими напруженнями. Розроблений матеріал має високі показники фізико-механічних, теплофізичних властивостей і корозійної стійкості, а термін його експлуатації – 5...7 років.

Технологія формування епоксидних композитів полягає у наступному. На початковому етапі необхідно підігрівати епоксидну смолу до температури $T = 353 \pm 2$ К, витримувати її у тепловому полі впродовж часу $\tau = 20 \pm 0,1$ хв. Далі гідродинамічно суміщають смолу з модифікатором і мікродисперсним наповнювачем упродовж $\tau = 10 \pm 0,1$ хв, після чого проводять ультразвукове оброблення (УЗО) композиції упродовж $\tau = 1,5 \pm 0,1$ хв. Після охолодження суміші до кімнатної температури ($\tau = 60 \pm 5$ хв) вводять твердник і перемішують композицію впродовж $\tau = 5 \pm 0,1$ хв.

Температурно-часові параметри процесу термообробки показано на рис. 3.

Нанесення розробленого захисного покриття на суднові конструкції виконують методом пневматичного розпилення адгезиву товщиною 0,1...0,3 мм, що дозволяє суттєво підвищити адгезійну міцність, фізико-механічні властивості і корозійну тривкість захисних покриттів.

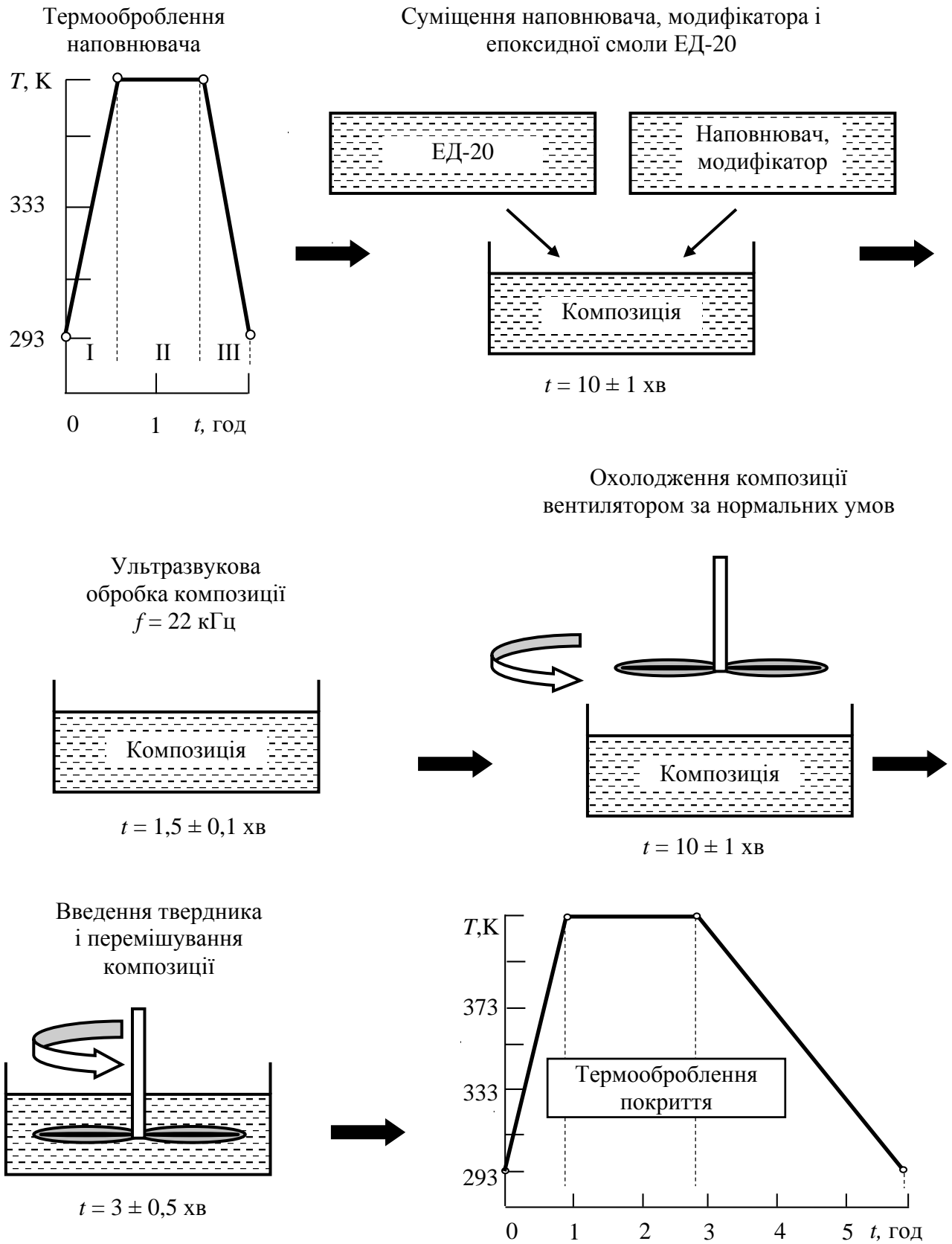


Рисунок 3 – Технологічна схема формування захисних покриттів

Зазначимо, що якість підготовки захисної поверхні значною мірою визначає надійність і довговічність захисного покриття. Підготовка поверхні полягає в знежирюванні та видаленні різних забруднень, окалини, іржі методом піскоструминного оброблення.

До епоксидної смоли додають наповнювачі у відповідних співвідношеннях та проводять їх гідродинамічне суміщення. Після гідродинамічного змішування компонентів уводять твердник безпосередньо перед нанесенням композиції на поверхню деталі.

Покриття з АПМ містить наступні компоненти, мас.ч.:

- епоксидний діановий олігомер ЕД-20 100
- твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) 10
- модифікатор фталімід 0,2...0,4

Наповнювачі:

- синтезована залізо-карбідна шихта (Fe (70 %) + TiC (25 %) + Fe₃C (5 %)) ($d = 15...20$ мкм) 0,1...0,3
- фітинова кислота (8...10 мкм) 0,2...0,4

Результати порівняльних випробувань фізико-механічних, теплофізичних властивостей, корозійної стійкості розробленого і відомих матеріалів та захисних покриттів на їх основі свідчать про високі експлуатаційні характеристики та доцільність використання нових композитів для попередження корозії засобів водного транспорту (табл. 2).

Таблиця 2 – Порівняльні показники властивостей розробленого і відомих композитів

Показник	АПМ	КМ 1	КМ 2
Адгезійна міцність, σ_a , МПа	47,7	33,2	30,0
Руйнівні напруження при згинанні, $\sigma_{зз}$, МПа	84,9	64,8	58,4
Ударна в'язкість, W , кДж/м ²	14,7	7,4	6,8
Теплостійкість, T , К	364	347	350
Корозійна тривкість (опір покриття впродовж 30 діб витримки у морській воді), ρ , Ом·см ²	23,4	16,8	14,5

Примітка: АПМ – розроблений матеріал; КМ 1 – епоксидний композит Jotacote Universal N10 QD (Jotun, Норвегія); КМ 2 – епоксидний композит Intershield 300 (International, Великобританія).

Висновки

1. Розроблено метод збільшення ресурсу експлуатації деталей транспортних машин, який ґрунтується на використанні технології введення за оптимального вмісту модифікатора фталіміду і мікродисперсного наповнювача синтезованої високовольтним електророзрядом залізо-карбідної шихти ($d = 15...20$ мкм) при формуванні епоксидного захисного покриття з поліпшеними адгезійними, когезійними властивостями й ударною в'язкістю. Встановлено оптимальний вміст модифікатора і мікродисперсного наповнювача у захисних покриттях: модифікатор фталімід – 0,25 мас.ч., синтезована залізо-карбідна шихта – 0,20...0,50 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Уведення до епоксидного зв'язувача таких інгредієнтів дозволяє підвищити показники ударної в'язкості епоксидних композитів майже у два рази порівняно з вихідною матрицею (до $W = 15,9...16,3$ кДж/м²).

2. Для відновлення деталей технологічного устаткування морського та річкового транспорту розроблено антикорозійне епоксикомпозитне покриття. Встановлено, що найбільшим опором і найменшими показниками ємності характеризується захисне покриття на основі епоксидної матриці (100 мас.ч.) із вмістом добавок (модифікатор фталімід – $q = 0,25$ мас.ч., мікродисперсні наповнювачі: залізо-карбідна шихта – $q = 0,20$ мас.ч., фітинова кислота – $q = 0,25$ мас.ч.). Доведено, що після витримки в агресивному середовищі морської води зразків упродовж $\tau = 30$ діб питомий опір покриття становить $\rho = 23,4$ Ом·см², а показники його ємності – $C = 3200$ пФ/см². Доведено, що розроблений матеріал у 1,4...1,6 разів (за показниками питомого опору) і у 1,3...1,5 разів (за показниками електричної ємності) має кращі антикорозійні властивості, порівняно з

відомими світовими аналогами. Це є свідченням необхідності використання розробленого матеріалу для підвищення антикорозійних характеристик деталей водного транспорту, які експлуатують в умовах впливу механічних навантажень та теплового поля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Полимерные композиционные материалы: прочность и технология / С. Л. Баженов [и др.]. Долгопрудный : Интеллект. 2010. 352 с.
2. Чвалун С.Н. Полимерные наноккомпозиты. *Природа*. 2000. №7 (86) С. 22–30.
3. F. Caruso. Nanoengineering of Particle Surfaces. *Adv. Mater.* 2001. № 1. 13. P. 11–22.
4. Амелін М. Ю. Забезпечення надійності транспортних засобів у контексті використання захисних полімерних наноккомпозитних покриттів. *Наукові нотатки*. Луцьк : ЛНТУ. 2018. Випуск 63. С. 14–21.
5. Сапронов О. О., Рожков О. С., Лещенко О. В., Голотенко О. С. Дослідження адгезійних і фізико-механічних властивостей епоксикомпозитів, наповнених нанотрубками. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2014. № 2 (11). С. 197–202.
6. Мишак В. Д., Семиног В. В., Гомза Ю. П. та ін. Епоксидні наноккомпозити. Структура та властивості. *Полімерн. журнал*. 2008. Т. 30. № 2. С. 144–151.
7. Букетов А. В., Сапронов О. О. Дослідження залежності властивостей епоксидних композитів від вмісту дисперсних наповнювачів з метою формування захисних покриттів для підйомно-транспортних механізмів. *Підйомно-транспортна техніка*. 2013. № 3 (39). С. 92–107.
8. Михайлин Ю. А. Специальные полимерные композиционные материалы. Санкт-Петербург : Научные основы и технологии, 2009. 660 с.
9. Buketov A. V., Saponov O. O., Brailo M. V., Aleksenko V. L. Influence of the ultrasonic treatment on the mechanical and thermal properties of epoxy nanocomposites. *Materials Science*. 2014. V. 49. N 5. P. 696–702.
10. Variation in the particle size of Fe–Ti–B₄C powders induced by high-voltage electrical discharge / Sizonenko O., Baglyuk G., Torpakov A. and other. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2012. Vol 51, Issue 3. P. 129–136.
11. Syzonenko O. Method of preparation of blend for aluminium matrix / O.Syzonenko, E.Sheregii, S.Prokhorenko and other. Composites by high voltage electric discharge. *Machines. Technologies. Materials*. 2017. Vol. 11, Issue 4. P. 171–173.
12. Двухкомпонентное, устойчивое к абразивному износу эпоксидное покрытие, пигментированное алюминием, обеспечивающее превосходную длительную защиту от коррозии : технические условия на продукт. URL : https://international.brand.akzonobel.com/m/150ad14b3d9565b4/original/Intershield_300_rus_A_4_20151012.pdf
13. 15360. 15360; 15380; 38602. 1,2 эпоксидное покрытие : технический паспорт на продукт. Jotacote Universal № 10. URL : https://www.jotun.com/Datasheets/Download?url=%2FTDS%2FTDS__15360__Jotacote+Universal+N10__Rus__RU.pdf

REFERENCES

1. *Polimernihe kompozicionnihe materialih: prochnostj i tekhnologiya* / S. L. Bazhenov [i dr.]. Dolgoprudnihyj : Intellekt. 2010. 352 s.
2. Chvalun S. N. Polimernihe nanokompozitih. *Priroda*. 2000. №7 (86) S. 22–30.
3. F. Caruso. Nanoengineering of Particle Surfaces. *Adv. Mater.* 2001. № 1. 13. P. 11–22.
4. Amelin M. Yu. Zabezpechennia nadiinosti transportnykh zasobiv u konteksti vykorystannia zakhysnykh polimernykh nanokompozytnykh pokryttiv. *Naukovi notatky*. Lutsk : LNTU. 2018. Vypusk 63. S. 14–21.

5. Sapronov O. O., Rozhkov O. S., Leshchenko O. V., Holotenko O. S. Doslidzhennia adheziinykh i fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei epoksykompozytiv, napovnenykh nanotrubbkamy. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*. 2014. # 2 (11). S. 197–202.
6. Myshak V. D., Semynoh V. V., Homza Yu. P. ta in. Epoksydni nanokompozyty. Struktura ta vlastyvosti. *Polimern. zhurnal*. 2008. T. 30. # 2. S. 144–151.
7. Buketov A. V., Sapronov O. O. Doslidzhennia zalezhnosti vlastyvostei epoksydnykh kompozytiv vid vmistu dyspersnykh napovniuvachiv z metoiu formuvannia zakhysnykh pokryttiv dlia pidiomno-transportnykh mekhanizmiv. *Pidiomno-transportna tekhnika*. 2013. # 3 (39). S. 92–107.
8. Mikhayjlin Yu. A. *Specialjnihe polimernihe kompozicionnihe materialih*. Sankt-Peterburg : Nauchnihe osnovih i tekhnologii, 2009. 660 s.
9. Buketov A. V., Sapronov O. O., Brailo M. V., Aleksenko V. L. Influence of the ultrasonic treatment on the mechanical and thermal properties of epoxy nanocomposites. *Materials Science*. 2014. V. 49. N 5. P. 696–702.
10. Variation in the particle size of Fe–Ti–B₄C powders induced by high-voltage electrical discharge / Sizonenko O., Baglyuk G., Torpakov A. and other. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2012. Vol 51, Issue 3. P. 129–136.
11. Syzonenko O. Method of preparation of blend for aluminium matrix / O.Syzonenko, E.Shererii, S.Prokhorenko and other. Composites by high voltage electric discharge. *Machines. Technologies. Materials*. 2017. Vol. 11, Issue 4. P. 171–173.
12. Dvukhkomponentnoe, ustoychivoe k abrazivnomu iznosu ehpoksidnoe pokrihtie, pigmentirovannoe alyuminiem, obespechivayuthee prevoskhodnyuyu dliteljnyuyu zathitu ot korrozii : tekhnicheskie usloviya na produkt. URL : https://international.brand.akzonobel.com/m/150ad14b3d9565b4/original/Intershiield_300_rus_A4_20151012.pdf
13. 15360. 15360; 15380; 38602. 1,2 ehpoksidnoe pokrihtie : tekhnicheskiyj pasport na produkt. Jotacote Universal № 10. URL : https://www.jotun.com/Datasheets/Download?url=%2FTDS%2FTDS__15360__Jotacote+Universal+N10__Rus__RU.pdf

Чернявская Т. В. МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ РЕЧНОГО И МОРСКОГО ТРАНСПОРТА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗАЩИТНЫХ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Статья посвящена решению научно-технической задачи, которая заключается в повышении ресурса работы оборудования речного и морского транспорта за счет использования разработанных полимерных композитных модифицированных антикоррозионных защитных покрытий. Решение научно-технической задачи заключается в разработке метода направленного управления процессами взаимодействия между компонентами эпоксидного полимера, что позволило создать новый класс композитных материалов и покрытий на их основе с высокими показателями эксплуатационных характеристик, предназначенных для восстановления средств водного транспорта.

Установлены новые закономерности повышения ресурса и коррозионной стойкости средств транспорта за счет формирования покрытий, содержащих в комплексе модификатор фталимид (0,25 масс.ч.) и синтезированную железо-карбидную шихту (0,2... 0,5 масс.ч.) на 100 масс.ч. эпоксидного олигомера ЭД-20, что позволяет при их введении в полимер при оптимальном содержании получать материалы с улучшенными когезионными свойствами за счет значительной удельной площади поверхности дисперсных добавок и повышенной их активности в межфазном взаимодействии.

Впервые разработана технологическая схема формирования покрытий, благодаря которой достигнуто синергетический эффект в повышении ресурса работы оборудования речного и морского транспорта и улучшении антикоррозионных свойств защитных покрытий в результате комплексного воздействия модификатора фталимида, микродисперсных наполнителей в виде синтезированной железо-карбидной шихты и фитиновой кислоты. Методом ИК-спектроскопии обоснованно увеличение степени сшивания трехмерной сетки полимера, что обеспечивает улучшение свойств композитов. Это обусловлено тем, что на поверхности частиц после синтеза локализуются участки карбидов титана и железа, которые в основном и являются активаторами

создания физических и химических межфазовых связей при структурообразовании антикоррозионных покрытий.

Ключевые слова: матрица, эпоксидный композит, модификатор, наполнитель, свойства, антикоррозионное покрытие.

Cherniavska T. V. THE METHOD OF INCREASING THE SERVICE LIFE OF RIVER AND SEA TRANSPORT EQUIPMENT THROUGH THE USE OF MODIFIED PROTECTIVE ANTI-CORROSION COATINGS

The article is targeted at solving a scientific and technical problem considered to be an issue of current interest. The issue imposes an enhancement and extension of the service life of equipment for river and sea transport through the use of developed polymer composite modified anti-corrosion protective coatings. The solution to the scientific and technical problem investigated has been considered. The suggested solution involves the development of a method for target-specific control of the processes of interaction between the components of the epoxy polymer, which made it possible to create a new class of composite materials and coatings based on the latter possessing high performance characteristics, intended for the revitalization of water transport.

New regularities have been established for increasing the resource and corrosion resistance of transport vehicles due to the formation of coatings which contain phthalimide (0.25 mass %) modifier and the synthesized iron-carbide charge (0.2 ... 0.5 mass %) per 100 mass.% epoxy oligomer ED-20, which makes it possible to obtain materials with improved cohesive properties due to the significant specific surface area of dispersed additives and their increased activity in interfacial interaction when they are introduced into the polymer at an optimal content.

The technological scheme for the building-up of coatings has been developed for the first time ever. In consequence of the latter, a synergistic effect has been achieved in increasing the service life of river and sea transport equipment and improving the anticorrosive properties of protective coatings as a result of the complex action of the phthalimide modifier, microdispersed fillers in the form of synthesized iron-carbide charge and phytic acid. The method of IR spectroscopy has justified an increase in the degree of crosslinking of a three-dimensional polymer network, which provides an improvement in the properties of composites. This is due to the fact that on the surface of the particles after synthesis, the areas of titanium and iron carbides are getting localized, which are mainly considered to be the activators of the creation of physical and chemical interphase bonds during the cross-linking of anticorrosive coatings.

Key words: matrix, epoxy composite, modifier, filler, properties, anti-corrosion coating.

© Чернявська Т.В.

Статтю прийнято
до редакції 26.08.20