

УДК 667.64:678.026

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІКРОДИСПЕРСНИХ НАПОВНЮВАЧІВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ

А. В. БУКЕТОВ, В. О. СКИРДЕНКО

Херсонська державна морська академія

Оптимізовано склад адгезійного і функціональних поверхневих шарів для формування двошарових покриттів з поліпшеними адгезійними, фізико-механічними і теплофізичними властивостями. Встановлено, що для формування адгезійного шару доцільно вводити частинки карбідної шихти за вмісту $q = 15 \dots 20$ т.р. на $q = 100$ т.р. епоксидного олігомера, а для поверхневого шару покриття з поліпшеними фізико-механічними властивостями необхідно використовувати як наповнювач залізний сурик за вмісту $q = 40 \dots 50$ т.р.

Ключові слова: *епоксидний композит, фізико-механічні і теплофізичні властивості, наповнювач.*

Незважаючи на велику номенклатуру полімерів з різними властивостями та функціональним призначенням, епоксидні композитні матеріали (КМ) займають провідне місце серед пластиків, які використовують у вигляді виробів чи захисних покриттів для підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування промисловості України [1, 2]. Відомо [3, 4], що епоксидні композити відзначаються доброю адгезією до металу, кераміки, дерева, скла та пластмас. При цьому вони є стійкі до дії кислот, лугів низької та середньої концентрації, а також до нафтопродуктів [3]. За показниками міцності, діелектричними властивостями і теплотривкістю продукти затверднення епоксидних композитів є кращими порівняно з іншими полімерними матеріалами. Встановлено [4], що КМ на основі епоксидних смол характеризуються високою життєздатністю (від двох до десяти років), їх об'ємна усадка становить 3...8%, а тривалість гелеутворення епоксидної матриці регулюють від 2 до 100 h. Під час затвердіння епоксидіанові смоли легких речовин не виділяють, причому відзначають порівняно просту технологію їх переробки і використання. До недоліків формування і використання епоксидних композитів слід віднести їх високий термічний коефіцієнт лінійного розширення стосовно металів та сплавів, значні залишкові напруження, які пришвидшують їх старіння, і порівняно високу вартість.

Щоб поліпшити експлуатаційні характеристики епоксиолімерів, у епоксидну в'язь додатково вводять пластифікатори, модифікатори та наповнювачі за оптимального вмісту. Це забезпечує підвищення фізико-механічних і теплофізичних характеристик, а також економію епоксидного олігомера як матеріалу. Доведено [1, 5–7], що введення у в'язь навіть незначної кількості дисперсних частинок змінює швидкість перебігу фізико-хімічних процесів під час структуроутворення матеріалу. Причому важливе значення для керування процесами зшивання епоксидних КМ має не лише хімічна і фізична природа, але й вміст та дисперсність мінеральних частинок. Встановлено [1, 3, 5], що для поліпшення адгезійних властивостей у в'язь доцільно вводити дрібнодисперсні частинки (1...30 μm), тоді як для поліпшення когезійної міцності необхідно використовувати крупнодисперсний наповнювач (63...120 μm) або вводити у КМ бідисперсні добавки.

Мета роботи – встановити вплив дрібнодисперсного наповнювача на фізико-механічні і теплофізичні властивості епоксидних КМ та оптимізувати його вміст для отримання матеріалів з максимальними показниками досліджуваних характеристик.

Матеріали та методика дослідження. Як основний компонент для в'язі під час формування епоксидних КМ вибрали епоксидний діановий олігомер марки ED-20 (ГОСТ 10587-84). Для зшивання епоксидних композицій використали твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78), який дає можливість затверджувати матеріали за кімнатних температур. Твердник вводили у епоксидний олігомер за співвідношення 1:10. Як наповнювач використовували дрібнодисперсні (10...20 μm) порошки: колоїдну сірку (КС) (ГОСТ 127.5-93), залізний сурик (ЗС) (складається зі суміші мікроелементів і оксиду заліза Fe_2O_3 , ГОСТ 8135-74) та карбідну шихту (КБШ), яка є побічним продуктом виробництва ацетилену. Експериментально встановили, що КБШ містить солі кальцію (58%) та важкі метали: цинк – 7,0; мідь – 3,8; кадмій – 1,0; свинець – 11,6; нікель – 11,6 та хром – 3,8 mg/kg.

Епоксидні КМ формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ED-20 і наповнювача та подальше введення його в епоксидну в'язь; гідродинамічне суміщення олігомера ED-20 і дисперсних частинок; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції упродовж 5 min. Затверджували КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання 12 h за температури $T = 293 \text{ K}$; нагрівання зі швидкістю 3 K/min до $T = 393 \text{ K}$; витримання КМ упродовж 2 h; повільне охолодження до $T = 293 \text{ K}$. Для стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували 24 h на повітрі за температури $T = 293 \text{ K}$ з подальшим експериментальним випробуванням.

Адгезійну міцність КМ до металеві основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження за рівномірного відриву пари склеєних зразків (“метод грибків”). Досліджували згідно з ГОСТ 14760-69, вимірюючи силу відривання клейових з'єднань сталевих зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 за швидкості навантаження $v = 10 \text{ N/s}$. Діаметр робочої частини сталевих зразків за відриву становив 25 mm. Адгезійну міцність за зсуву визначали згідно з ГОСТ 14760-69, а залишкові напруження у КМ – консольним методом [7]. Покрив завтовшки $\delta = 0,3...0,5 \text{ mm}$ формували на сталевій основі. Параметри основи: загальна довжина $l = 100 \text{ mm}$; робоча довжина $l_0 = 80 \text{ mm}$; товщина $\delta = 0,2 \text{ mm}$.

Руйнівне напруження і модуль пружності під час згину КМ визначали згідно з ГОСТ 4648-71 і ГОСТ 9550-81, відповідно. Параметри зразків: довжина $l = 120 \pm 2 \text{ mm}$, ширина $b = 15 \pm 0,5 \text{ mm}$, висота $h = 10 \pm 0,5 \text{ mm}$. Теплотривкість (за Мартенсом) КМ визначали згідно з ГОСТ 21341-75. Методика дослідження полягає у визначенні температури, до якої досліджуваний зразок необхідно нагрівати зі швидкістю $v = 3 \text{ K/min}$ під дією постійного згинального навантаження $F = 5 \pm 0,5 \text{ МПа}$, внаслідок чого матеріал деформується на задану величину ($h = 6 \text{ mm}$).

Щоб забезпечити необхідну точність результатів, виконали серію пошукових експериментів, в результаті чого встановили, що для досягнення достовірності 95% потрібно дослідити не менше 6 зразків.

Результати досліджень та їх обговорення. Відомо [1, 3], що для максимального підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування доцільно формувати дво- чи багатошарові захисні покриття. При цьому перший шар є адгезійним, що дає змогу максимально збільшити міцність зчеплення покриття з основою. Це, своєю чергою, дасть можливість під час експлуатації матеріалів у агресивних середовищах підвищити протикорозійні властивості матеріалів, позаяк поліпшена міжфазова взаємодія адгезиву та субстрату попереджує проникнення агресивного середовища на межі поділу фаз “основа–покриття”. Таким чином, завдяки високій адгезійній міцності захисного покриття нівелюється підплівкова корозія навіть після проникнення агресивного середовища через ад-

гезив до основи в окремих ділянках полімерного матеріалу.

Крім того, на поверхню адгезійного шару наносять поверхневі шари, які мають незалежне функціональне призначення [3]. Зокрема, можна виокремити шари у покритті, які відповідають за поліпшення релаксаційних, електротехнічних, теплофізичних, фізико-механічних, протикорозійних властивостей і зносотривкості КМ. Водночас слід зазначити, що усі ці властивості більшою чи меншою мірою визначаються когезійними властивостями полімерних композитів. Досліджували формування епоксикомпозитних двошарових функціональних покриттів у два етапи. На першому етапі вивчали у комплексі адгезійні властивості (міцність зчеплення адгезиву та субстрату за відриву і зсуву) та залишкові напруження у покриттях, сформованих на сталевій основі, а на другому – для оптимізації складників поверхневого функціонального шару – когезійні властивості, які у подальшому використовували для визначення фізико-механічних характеристик КМ.

Зазначимо, що частинки наповнювачів ЗС і КБШ вводили у в'язь за вмісту від $q = 5$ т.р. до $q = 80$ т.р. епоксидного олігомера ED-20. Такий діапазон вмісту частинок вибрано з умови оптимізації інгредієнтів адгезійного шару (де необхідно вводити незначну кількість додатків) і водночас поверхневого шару, який, очевидно, міститиме відносно великий об'єм наповнювача. Найбільший вміст КС як наповнювача до епоксидної в'язі визначали шляхом пошукових експериментів. Тобто попередньо встановили максимальний вміст колоїдної сірки, за якого КМ під дією температури зшивання ($T = 393 \pm 2$ К) не самозаймався. Самозаймання спостерігали, коли вміст наповнювача перевищував $q = 40$ т.р.

Результати експериментальних досліджень зміни адгезійної міцності КМ за розриву та зсуву залежно від кількості наповнювача різної фізичної природи у епоксидній матриці наведені на рис. 1а, б. Встановлено, що за зазначених вище умов формування матеріалів адгезійна міцність за розриву епоксидної матриці становить $\sigma_a = 18,5$ МПа (рис. 1а). Введення наповнювачів по-різному впливає на σ_a КМ. Зокрема встановлено, що максимальними показниками адгезійної міцності характеризуються КМ, наповнені карбідною шихтою (15 т.р.). Введення у в'язь такої кількості частинок КБШ забезпечує підвищення показників адгезійної міцності КМ з $\sigma_a = 18,5$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_a = 72,3$ МПа. Надалі збільшення вмісту наповнювача призводить до монотонного зменшення адгезійної міцності, яка за вмісту КБШ $q = 80$ т.р. становить 18,8 МПа. Такий вплив вмісту наповнювача на адгезійні властивості КМ зумовлений наступними чинниками. Відомо [5], що між молекулами адгезиву і субстрату під час полімеризації можуть виникати різноманітні сили взаємодії, починаючи від найслабших дисперсійних і закінчуючи силами хімічної природи. Тобто за незначного вмісту частинок наповнювача важливе значення під час формування адгезійних з'єднань має тип і кількість функціональних груп у об'ємі олігомера і на поверхні субстрата, що, своєю чергою, визначає їх здатність до взаємодії. Виходячи з цього, можна констатувати, що за незначної кількості КБШ ($q = 5 \dots 15$ т.р.) адгезійна міцність КМ визначається в основному властивостями в'язі, тобто активністю її гідроксильних та епоксидних груп на межі поділу фаз з металевою основою. Частинки наповнювача, взаємодіючи з макромолекулами епоксидного олігомера, також впливають на міцність зшивання КМ, але не суттєво.

Зазначимо, що закономірності утворення і руйнування адгезійних з'єднань можна описати на основі двох незалежних теорій – молекулярно-адсорбційної і термодинамічної [5, 6]. В межах першої розглядають вплив когезійних властивостей адгезиву і субстрату (міцність, в'язкість, параметри структури) на міжфазову взаємодію, а також умови їхнього контакту (температура, тиск і тривалість). У межах другої – вплив енергетичних характеристик (поверхнева енергія адгезиву та субстрату, ентропія і ентальпія) на перебіг міжфазової взаємодії під час фор-

мування КМ. Виходячи з того, що хімічна природа КБШ та епоксидного олігомера залишається незмінною, під час аналізу зміни адгезійної міцності від вмісту наповнювача, необхідно враховувати вплив активності поверхні частинок і, відповідно, в'язкості композиції на властивості КМ. Показано (рис. 1а), що критичним вмістом КБШ для поліпшення адгезійних властивостей матеріалів є $q = 15 \dots 20$ т.р. Це зумовлено тим, що навколо частинок під час зшивання КМ формуються адсорбційні і зовнішні поверхневі шари, які і визначають властивості композитів. Такі шари формуються також і за значного вмісту частинок ($q = 30 \dots 80$ т.р.), і під впливом поверхні субстрату, однак їхня структура не характеризується високим ступенем зшивання, на що вказує зменшення адгезійної міцності.

Підтвердженням цього є результати дослідження впливу вмісту КБШ на адгезійну міцність за зсуву (рис. 1b) і залишкові напруження (рис. 1c). Показано (рис. 1b), що серед усіх досліджуваних матеріалів максимальною адгезійною міцністю за зсуву характеризуються КМ, наповнені КБШ. Тут максимум адгезійної міцності спостерігали для матеріалів, що містять $q = 30 \dots 50$ т.р. наповнювача. При цьому адгезійні властивості збільшуються від $\tau = 8,9$ МПа (для епоксидної матриці) до $\tau = 16,3 \dots 19,5$ МПа. Достовірність отриманих експериментальних досліджень підтверджено аналізом впливу вмісту частинок КБШ у КМ на залишкові напруження. Встановлено (рис. 1c), що для епоксидної матриці вони дорівнюють 2,3 МПа. Введення КБШ ($q = 5 \dots 30$ т.р.) зменшує σ_{rs} до 1,1...1,2 МПа, а за вмісту $q = 40 \dots 50$ т.р. $\sigma_{rs} = 1,6 \dots 2,1$ МПа.

Встановлено (рис. 1b, c), що максимумами адгезійної міцності за зсуву і залишкових напружень спостерігають за однакового вмісту частинок $q = 40 \dots 50$ т.р. Тобто тоді формується матеріал зі значним ступенем гелеутворення, що суттєво збільшує як дотичні напруження за зсуву, так і залишкові напруження в цілому. Слід зазначити, що порівняно з адгезійною міцністю за розриву результати її зміни за зсуву (залежно від вмісту наповнювача) не зовсім корелюють. Тут слід говорити про різні механізми деформації і подальшого руйнування матеріалів під час експериментальних досліджень, внаслідок чого важливе значення має врахування нормальних та дотичних напружень на межі поділу фаз "металева основа-захисний покрив".

Аналогічно аналізували вплив колоїдної сірки на властивості КМ. Експериментально встановили, що критичний вміст цього наповнювача у епоксидному композиті становить $q = 15$ т.р. (рис. 1a-c). Показано, що введення такої кількості КС в епоксидну в'язь забезпечує порівняно з матрицею підвищення адгезійної міцності за відриву і зсуву з $\sigma_a = 18,5$ МПа до $\sigma_a = 51,7$ МПа та з $\tau = 8,9$ МПа до 12,8 МПа, відповідно. Залишкові напруження при цьому також максимально зростають в усьому досліджуваному діапазоні зміни вмісту наповнювача з $\sigma_{rs} = 1,2$ МПа (коли $q = 5$ т.р.) до $\sigma_{rs} = 2,2$ МПа. Збільшення вмісту КС понад $q = 15$ т.р. зумовлює погіршення адгезійної міцності матеріалів за відриву і зсуву. Кореляція отриманих результатів дає змогу стверджувати, що за критичного вмісту дисперсних частинок КС у епоксидному олігомері створюються умови для максимального зшивання матриці як у її об'ємі, так і на межі поділу фаз "покрив-основа". Це сприяє підвищенню адгезійних характеристик, хоча водночас і збільшуються залишкові напруження. В цілому можна констатувати, що на відміну від КБШ вводити колоїдну сірку для формування адгезійного шару не доцільно, оскільки властивості таких матеріалів погіршуються.

Аналіз зміни властивостей КМ із частинками ЗС показав, що максимальними показниками адгезійної міцності відзначаються матеріали, які містять $q = 40 \dots 50$ т.р. наповнювача. Введення у в'язь такої кількості частинок дає можливість підвищити адгезійну міцність за відриву з $\sigma_a = 18,5$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_a = 45,6 \dots 67,8$ МПа та за зсуву з $\tau = 8,9$ МПа до 12,2...12,6 МПа. Збільшення вмісту наповнювача до $q = 80$ т.р. призводить до погіршення адгезійних

властивостей матеріалів. Крім того, встановлено, що залишкові напруження зі збільшенням вмісту частинок спочатку зростають з $\sigma_{rs} = 0,8$ МПа (коли $q = 5$ м.р.) до $\sigma_{rs} = 2,1$ МПа (для КМ з $q = 15$ м.р.), а потім зменшуються до $\sigma_{rs} = 1,6 \dots 1,7$ МПа (для КМ з $q = 20 \dots 80$ м.р.). На основі отриманих результатів можна стверджувати, що критичний вміст ЗС у композиті становить $q = 40 \dots 50$ МПа. При цьому характерним для КМ з частинками ЗС за оптимального вмісту є не лише високі показники адгезійних характеристик, але й незначні залишкові напруження.

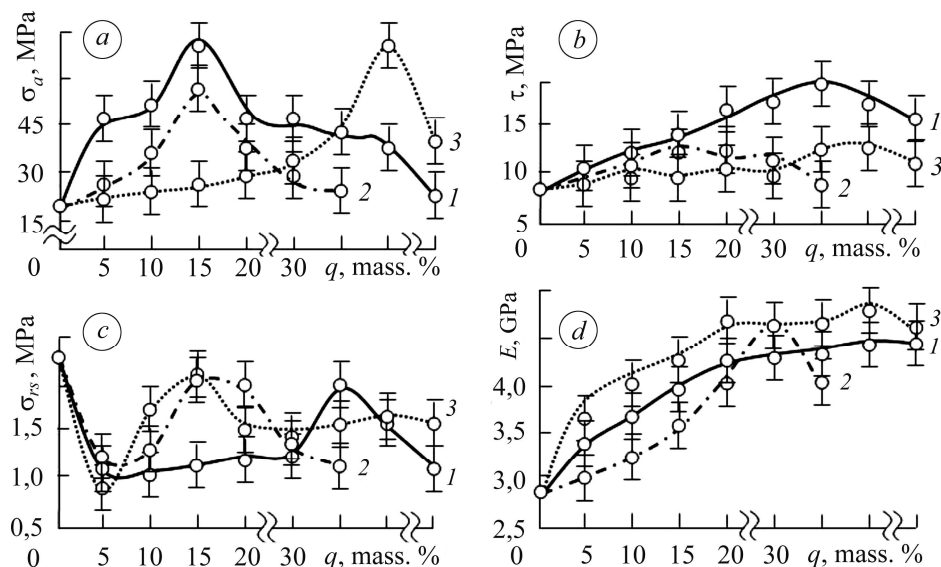


Рис. 1. Залежність адгезійної міцності за відриву (σ_a) (a) і зсуву (τ) (b), залишкових напружень (σ_{rs}) (c) та модуля пружності за згину (E) (d) від вмісту наповнювача (q): 1 – КБШ; 2 – КС; 3 – ЗС.

Fig. 1. Dependence of adhesion strength under tear (σ_a) (a) and shear (τ) (b), residual stresses (σ_{rs}) (c) and modulus of elasticity in bending (E) (d) on filler content (q): 1 – carbide blend; 2 – sulfur colloid; 3 – iron oxide.

Підсумовуючи результати експериментальних досліджень, можна стверджувати, що під час формування адгезійного шару захисних покриттів доцільно вводити незалежно два види наповнювачів: частинки КБШ за вмісту $q = 15 \dots 20$ м.р. або частинки ЗС за вмісту $q = 40 \dots 50$ м.р. Тоді отримують матеріали з майже однаковими підвищеними показниками адгезійної міцності і незначними залишковими напруженнями. При цьому зауважимо, що отримані результати свідчать про суттєвий вплив фізичної природи і топології частинок наповнювача на формування епоксикомпозитних покриттів. Ретельний аналіз результатів дослідження вказує на кореляцію адгезійної міцності і залишкових напружень залежно від вмісту та природи наповнювача у КМ.

На другому етапі досліджували вплив фізичної природи наповнювачів і їхньої кількості на когезійні властивості КМ, які визначають їх фізико-механічні та теплофізичні характеристики. Експериментально встановили, що максимальними показниками модуля пружності за згину характеризуються КМ, наповнені ЗС (рис. 1d). Показано, що збільшення кількості ЗС у епоксидному олігомері призводить до монотонного зростання модуля пружності КМ і за вмісту наповнювача $q = 40 \dots 50$ м.р. отримали максимальне підвищення показників з $E = 2,8$ ГПа (для епоксидної матриці) до $4,6 \dots 4,8$ ГПа. Подальше збільшення кількості частинок до $q = 80$ м.р. зумовлює зменшення E за згину до $4,5$ ГПа. Порівняльний аналіз залежності руйнівного напруження від вмісту наповнювачів за згину показує, що

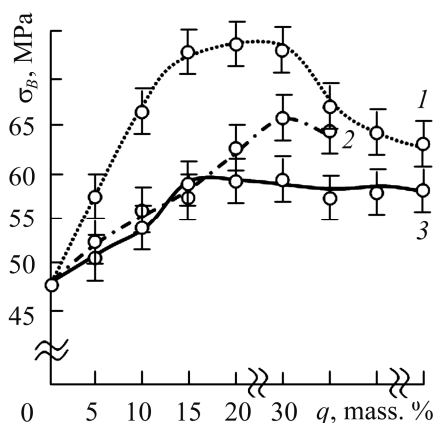


Рис. 2. Залежність руйнівного напруження за згину (σ_B) від вмісту наповнювача (q): 1 – ЗС; 2 – КС; 3 – КбШ.

Fig. 2. Dependence of destructive stress in bending (σ_B) on filler content (q): 1 – iron oxide; 2 – sulfur colloid; 3 – carbide blend.

тей КМ, додатково випробувати теплотривкість композитів. Встановлено (див. таблицю), що зі збільшенням вмісту ЗС теплотривкість матеріалів монотонно зростає і за вмісту наповнювача $q = 80$ т.р. вона збільшується з $T = 338$ К (для епоксидної матриці) до $T = 348$ К. Отже, аналізуючи вплив ЗС на фізико-механічні властивості і теплотривкість КМ, можна стверджувати, що доцільно вводити цей додаток у в'язь за оптимального вмісту $q = 40 \dots 50$ т.р.

Залежність теплотривкості (за Мартенсом) від вмісту наповнювача

q , mass. %	Теплотривкість, К		
	ЗС	КС	КбШ
0	338		
5	338	339	340
10	339	340	342
15	339	341	343
20	343	343	346
30	344	348	347
40	345	348	350
50	346	–	351
80	348	–	353

шихти. Аналіз зміни фізико-механічних властивостей КМ, наповнених ЗС і КбШ, дає можливість констатувати, що матеріали зі залізним суриком мають ліпшу когезійну міцність. Зокрема встановлено (рис. 1*d* і 2), що зі збільшення кількості КбШ максимальними значеннями модуля пружності ($E = 4,3 \dots 4,4$ ГПа) і руйнівного напруження за згину ($\sigma_B = 56,4 \dots 58,6$ МПа) характеризуються КМ з кількістю наповнювача $q = 50 \dots 80$ т.р. Ці показники є на 12...18% нижчі, ніж аналогічні для КМ

найліпші властивості мають КМ з частинками ЗС (рис. 2). Однак оптимальний вміст наповнювача, за якого отримали максимальні руйнівні напруження становить $q = 15 \dots 30$ т.р. Введення такої кількості ЗС забезпечує підвищення руйнівних напружень з $\sigma_B = 47,6$ МПа (для епоксидної матриці) до 72,8...74,2 МПа. Надалі збільшення кількості частинок до $q = 50 \dots 80$ т.р. зменшує σ_B до 63,6...64,3 МПа.

Загальновідомо, що під час експлуатації технологічного устаткування на властивості полімерних КМ суттєво впливають різноманітні чинники. У першу чергу – це температура навколишнього середовища або ж робоча температура, що діє на покрив і деталі обладнання, виготовлені з епоксидних КМ. Тому вважали за необхідне, окрім дослідження фізико-механічних властивостей

Аналіз впливу колоїдної сірки на властивості КМ показав (рис. 1*d* і 2), що максимальними фізико-механічними властивостями відзначаються КМ, наповнені КС за вмісту $q = 30$ т.р, а саме: модуль пружності за згину $E = 4,7$ ГПа і руйнівне напруження $\sigma_B = 65,3$ МПа. Крім того, теплотривкість КМ з частинками КС зі збільшенням їх вмісту також монотонно зростає і при $q = 30$ т.р. становить $T = 348$ К. Порівняльним аналізом впливу вмісту ЗС і КС на фізико-механічні властивості та теплотривкість матеріалів встановлено, що для поліпшення когезійної міцності композитів у епоксидний олігомер доцільно вводити залізний сурик, оскільки властивості КМ з цим додатком за оптимального його вмісту є значно кращі.

Важливими і з наукової, і практичної точки зору є результати дослідження залежності когезійних властивостей КМ від вмісту карбідної

з ЗС за того ж вмісту в композиті. Однак слід зауважити, що теплотривкість КМ з КБШ ($q = 80$ т.р.) становить $T = 353$ К, тоді як для матеріалів з ЗС за такого ж вмісту спостерігали нижчі значення ($T = 348$ К). Виходячи з цього, можна стверджувати, що КМ, наповнені КБШ ($q = 50...80$ т.р.), доцільно використовувати для формування поверхневого шару покривів, які експлуатуються за підвищених температур.

ВИСНОВКИ

На основі попередньо встановленого технологічного регламенту розроблено рецептури адгезійного і функціональних поверхневих шарів для формування двошарових покривів з поліпшеними адгезійними, фізико-механічними і теплофізичними властивостями. Зокрема встановлено, що під час формування адгезійного шару у в'язь доцільно вводити карбідну шихту ($10...20 \mu\text{m}$) за вмісту $q = 15...20$ т.р. Матеріал матиме такі показники: адгезійна міцність за відриву – $\sigma_a = 70,1...72,3$ МПа; за зсуву – $\tau = 14,3...16,5$ МПа; залишкові напруження – $\sigma_{rs} = 1,1...1,2$ МПа. Крім того, адгезійний шар можна формувати на основі композита з наповнювачем залізним суриком ($10...20 \mu\text{m}$; $q = 15...20$ т.р.). Матеріал тоді матиме такі показники: адгезійна міцність за відриву – $\sigma_a = 45,6...67,8$ МПа; за зсуву – $\tau = 12,2...12,6$ МПа; залишкові напруження – $\sigma_B = 1,6...1,7$ МПа.

Обґрунтовано, що залежно від умов експлуатації захисних покривів для формування поверхневого шару необхідно враховувати вміст і природу введених у епоксидну в'язь інгредієнтів. Зокрема, для покривів з поліпшеними фізико-механічними властивостями, які експлуатуються в умовах дії статичних і динамічних навантажень, необхідно використовувати як наповнювач залізний сурик за вмісту $q = 40...50$ т.р. Тоді матеріал матиме такі показники: модуль пружності за згину – $E = 4,6...4,8$ ГПа; руйнівне напруження за згину – $\sigma_{rs} = 72,8...74,2$ МПа; теплотривкість – $T = 345...346$ К. Для покривів з поліпшеними теплофізичними властивостями, які експлуатуються в умовах впливу знакозмінних температур, необхідно використовувати карбідну шихту за вмісту $q = 50...80$ т.р. Матеріал матиме такі показники: модуль пружності за згину – $E = 4,3...4,4$ ГПа; руйнівне напруження за згину – $\sigma_{rs} = 56,4...58,6$ МПа; теплотривкість – $T = 351...353$ К.

РЕЗЮМЕ. Оптимизирован состав адгезионного и функциональных поверхностных слоев для формирования двухслойных покрытий с улучшенными адгезионными, физико-механическими и теплофизическими свойствами. Установлено, что при формировании адгезионного слоя целесообразно вводит частицы карбидной шихты в количестве $q = 15...20$ т.р. на $q = 100$ т.р. епоксидного олигомера, а для поверхностного слоя покрытий с улучшенными физико-механическими свойствами необходимо использовать как наполнитель железный сурик в количестве $q = 40...50$ т.р.

SUMMARY. The composition of the adhesive and functional surface layers to form a two-layer coating with improved adhesion, physical, mechanical and thermal properties was optimized. It was found that in the formation of the adhesion layer it is worth introducing carbide blend particles in an amount of $q = 15...20$ т.р. for $q = 100$ т.р. epoxy oligomer. When forming the surface layer of the coating with improved physical and mechanical properties the iron oxide in an amount of $q = 40...50$ т.р. should be used as a filter.

1. Букетов А. В., Стухляк П. Д., Чихіра І. В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів. – Тернопіль: Крок, 2011. – 202 с.
2. Ли Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
3. Чернин Н. Е. Эпоксидные материалы и композиции. – М.: Химия, 1982. – 228 с.
4. Санжаровский А. Т. Физико-механические свойства полимерных и лакокрасочных покрытий. – М.: Химия, 1978. – 184 с.
5. Берлин А. А., Басин В. Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1969. – 318 с.
6. Вакула В. Л., Притыкин Л. М. Физическая химия адгезии полимеров. – М.: Химия, 1984. – 224 с.
7. Корякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. – М.: Химия, 1988. – 272 с.

Одержано 24.07.2014