

ВПЛИВ ВМІСТУ ОРГАНІЧНИХ ВОЛОКОН В ЕПОКСИДНОМУ ЗВ'ЯЗУВАЧІ НА ПОКАЗНИКИ АДГЕЗІЙНОЇ ТА КОГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ ПОКРИТТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ

Сапронова А. В., аспірант кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії, e-mail: super.ane4ka2011@yandex.ua; ORCID: 0000-0002-4327-4293

У роботі розглянуто вплив вмісту суміші дискретних органічних волокон, що містить 50 % шовку, 45 % акрилу, 5 % поліаміду, на особливості структуроутворення епоксидних композитів для забезпечення необхідного комплексу властивостей деталей транспортної техніки. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні епоксидних композитів вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20. Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА, що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Проведено дослідження поверхні волокнистої добавки методом ІЧ-спектрального аналізу. Встановлено коливання: С-N груп у діапазоні хвильових чисел $\nu = 1068 \dots 1122 \text{ см}^{-1}$; амідної групи при хвильовому числі $\nu = 1253 \text{ см}^{-1}$; нітрильної групи при хвильовому числі $\nu = 2239 \text{ см}^{-1}$; карбонільної С=О групи при хвильовому числі $\nu = 2362 \text{ см}^{-1}$; валентні коливання -ОН, -NH- груп при хвильовому числі $\nu = 3410 \text{ см}^{-1}$. У роботі подано результати дослідження адгезійної міцності при відриві та зсуві й аналіз поверхні руйнування адгезійного з'єднання. Показано, що максимальним значенням адгезійної міцності характеризуються матеріали, де переважає когезійний характер руйнування адгезійного з'єднання. Забезпечення в'язкого характеру руйнування, шляхом регульованого введення суміші дискретних органічних волокон дозволяє підвищувати механічну міцність розроблених матеріалів.

Ключові слова: епоксидний зв'язувач, суміш дискретних органічних волокон, адгезійна міцність, поверхня руйнування, характер руйнування, ІЧ-спектральний аналіз.

DOI: 10.33815/2313-4763.2019.1.20.141-150

Постановка проблеми. При формуванні наповнених волокнистими добавками захисних покриттів, основною проблемою є забезпечення високого ступеня змочування, що безпосередньо впливає на міжфазову взаємодію «олігомер-волокно» і як наслідок на експлуатаційні характеристики сформованих полімерів. Вирішенням цієї проблеми можливо декількома способами. Серед них є використання поверхнево-активних речовин (активаторів, модифікаторів) [1–4], які знижують поверхневий натяг олігомера, що забезпечує значну міжфазову взаємодію зв'язувача з активними центрами на поверхні волокон. Водночас, аналіз праць [5–7], дозволяє констатувати, що застосування технологічного режиму формування композитного матеріалу з використанням ультразвукового диспергування є не менш ефективним способом. Це дозволяє забезпечити високий ступінь змочування волокна та його рівномірний розподіл у об'ємі зв'язувача.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Суттєвого поліпшення властивостей полімерів чи покриттів на їх основі досягають шляхом зміцнення матриці добавками різної фізико-хімічної природи. Аналіз наукових праць [8–10] дозволяє констатувати, що раціональним є вибір наповнювача, що є відходом від промисловості. Це дозволяє знизити вартість кінцевих виробів при достатньо високих механічних характеристиках. Так у праці [11] показано, що введення дисперсних часток конвертерного шламу дисперсністю $d = 60 \dots 63 \text{ мкм}$ за вмісту $q = 40 \text{ мас.ч.}$ забезпечує зростання адгезійної міцності при відриві з $\sigma_a = 24,4 \text{ МПа}$ до $\sigma_a = 52,83 \text{ МПа}$, адгезійної міцності при зсуві з $\tau = 9,0 \text{ МПа}$ до $\tau = 12,7 \text{ МПа}$. Введення часток гранульованого шлаку [12] у епоксидний зв'язувач дисперсністю 80 мкм за вмістом $q = 40 \text{ мас.ч.}$ забезпечує зростання руйнівних напружень при згинанні з $\sigma_{32} = 48,0 \text{ МПа}$, до $\sigma_{32} = 55,0 \text{ МПа}$. Водночас, актуальним є дослідження впливу волокнистих добавок, які також можуть бути відходами промисловості. Аналіз фізичних властивостей акрилових волокон дозволяє констатувати, що вони забезпечують стійкість до атмосферного впливу, старінню, підвищують теплостійкість. Тоді, як волокна шовку забезпечують еластичність. Припускали, що в комплексі суміш дискретних волокон

дозволить забезпечити комплекс механічних характеристик за рахунок так званої армуючої дії.

Мета роботи – дослідження особливостей впливу волокнистого наповнювача у епоксидному зв'язувачі на процеси структуроутворення і властивості захисних покриттів.

Методика дослідження. Основним компонентом для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який характеризується комплексом покращених властивостей [5-7] порівняно з іншими відомими реактопластами.

Для зшивання епоксидних композицій використовували твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78), який дозволяє зшивати матеріали при кімнатних температурах.

Як наповнювач використовували суміш дискретних органічних волокон: СДОВ (шовк – 50 %, акрил – 45 %, поліамід – 5 %) з параметрами $l = 9 \dots 15$ мм, $d = 18 \dots 25$ мкм.

Епоксидний композит, формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20, підігрівання смоли до температури $T = (353 \pm 2)$ К і їх витримка при цій температурі впродовж часу $\tau = (20 \pm 0,1)$ хв; дозування СДОВ і подальше введення у епоксидний зв'язувач; гідродинамічне поєднання олігомеру ЕД-20 і нанонаповнювача впродовж часу $\tau = (1 \pm 0,1)$ хв; ультразвукова обробка композицій впродовж часу $\tau = (1,5 \pm 0,1)$ хв; охолодження композицій до кімнатної температури впродовж часу $\tau = (60 \pm 5)$ хв; введення твердника ПЕПА і перемішування композицій впродовж часу $\tau = (5 \pm 0,1)$ хв. Потім проводили полімеризацію КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків і їх витримка впродовж часу $\tau = (12,0 \pm 0,1)$ год за температури $T = (293 \pm 2)$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 3$ К/хв до температури $T = (393 \pm 2)$ К, витримка КМ впродовж часу $\tau = (2,0 \pm 0,05)$ год, повільне охолодження до температури $T = (293 \pm 2)$ К. З метою стабілізації структурних процесів перед проведенням випробувань зразки з КМ витримували впродовж $\tau = 24$ год на повітрі за температури $T = (293 \pm 2)$ К.

У роботі досліджували наступні властивості КМ: адгезійна міцність при відриві і зсуві, залишкові напруження, руйнівні напруження та модуль пружності при згинанні.

Адгезійну міцність матриці до металевої основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження («метод грибків») при рівномірному відриві пари склеєних зразків згідно ГОСТу 14760-69. Вимірювали силу відривання клейових з'єднань сталейних зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 при швидкості навантаження $v = 10$ Н/с. Діаметр робочої частини сталейних зразків при відриві становив – $d = 25$ мм.

Залишкові напруження у матриці визначали консольним методом [13]. Покриття товщиною $\delta = 0,3 \dots 0,5$ мм формували на сталейній основі. Параметри основи: загальна довжина – $l = 100$ мм; робоча довжина – $l_0 = 80$ мм, товщина – $\delta = 0,3$ мм.

Руйнівні напруження і модуль пружності при згинанні визначали згідно ГОСТу 4648-71 і ГОСТу 9550-81 відповідно. Параметри зразків: довжина $l = 120 \pm 2$ мм, ширина $b = 15 \pm 0,5$ мм, висота $h = 10 \pm 0,5$ мм.

Відхилення значень при дослідженні показників адгезійних і фізико-механічних властивостей КМ становило 4...6 % від номінального.

Для дослідження хімічних зв'язків у наповнювачі використовували ІЧ-спектральний аналіз. ІЧ-спектри реєстрували на спектрофотометрі марки «IRAffinity-1» (Японія) у ділянці хвильових чисел $\nu = 400 \dots 2400$ см⁻¹ однопроменевим методом у відбитому світлі. Розгортку спектру за хвильовими числами $\lambda^{-1} = \nu$ здійснювали на діаграмі в межах 225 мм у діапазоні вибраних частот. Хвильові числа, інтенсивність пропускання, напівширину і площу смуги поглинання визначали за допомогою комп'ютерної програми IRsolution. Похибка при визначенні хвильового числа $-\nu = \pm 0,01$ см⁻¹, а при визначенні точності розташування піку – $\nu = \pm 0,125$ см⁻¹. Фотометрична точність становила $\pm 0,2$ % при програмному управлінні щільною і тривалістю інтегрування – $t = 10$ с. Крок інтегрування – $\Delta\lambda = 4$ см⁻¹.

Дослідження структури (топології) матеріалів проводили на металографічному мікроскопі моделі XJL-17AT, який обладнаний камерою Levenhuk C310 NG (3,2 Mega Pixels). Діапазон збільшення зображення від 100 до 1600 разів. Для обробки цифрових зображень використовували програмне забезпечення «Levenhuk TourView».

Експериментальні результати дослідження. У роботі попередньо визначали хімічну активність СДОВ, тобто наявність активних груп у структурі і на поверхні методом ІЧ-спектрального аналізу. Згідно ІЧ-спектрального аналізу (рис. 1, табл. 1) зареєстровані смуги поглинання, що характеризують коливання активних груп СДОВ.

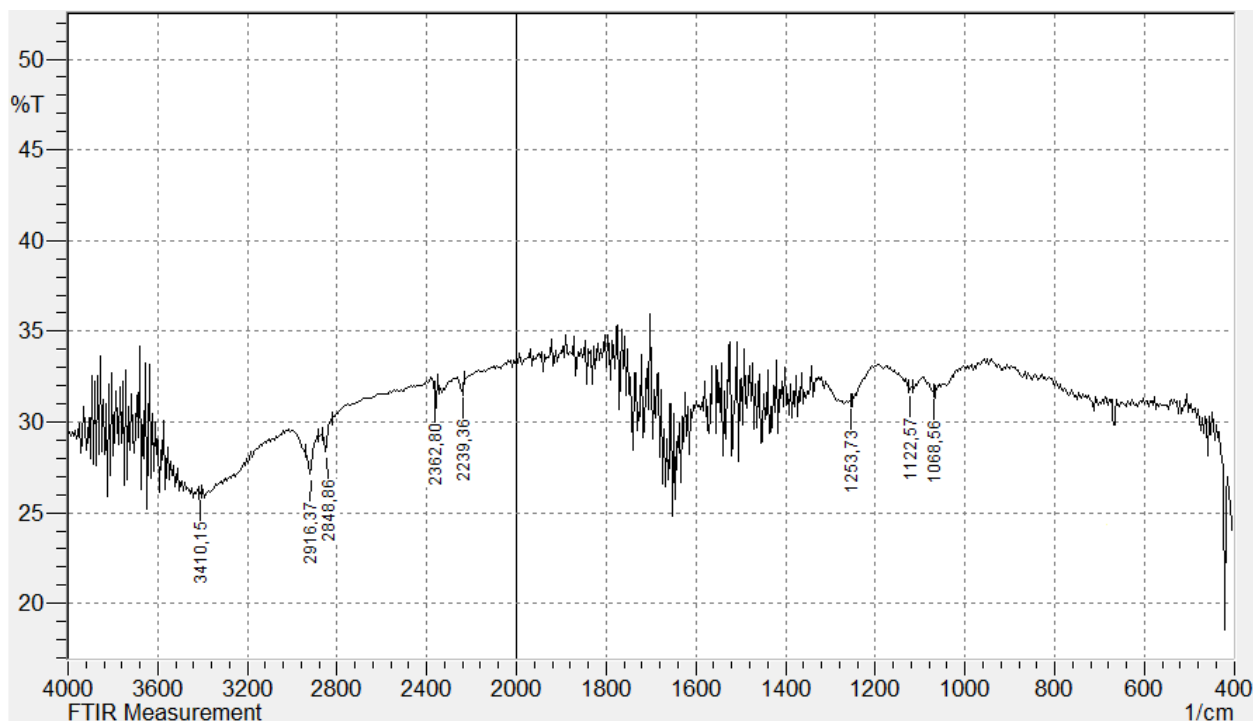


Рисунок 1 – Спектр суміші дискретних органічних волокон в області хвильових чисел $\nu = 467 \dots 3410 \text{ cm}^{-1}$

Таблиця 1 – Характеристичні смуги поглинання згідно ІЧ-спектру суміші дискретних органічних волокон

№ п/п	Хвильове число, ν, cm^{-1}	Групи, що відповідають характеристичним смугам поглинання	Інтенсивність пропускання, $T, \%$	Відносна площа смуги поглинання, $S, \%$
1	1068	C-N коливання	31,6	21,7
2	1122	C-N коливання	31,7	21,4
3	1253	Амідна група $-\text{NH}_2$	31,0	40,4
4	2239	$\text{C}\equiv\text{N}$ коливання нітрильної групи,	31,7	14,7
5	2362	Карбонільна $\text{C}=\text{O}$ група	31,4	16,1
6	2848	CH_2 асиметричні коливання	28,3	20,5
7	2916	CH_2 асиметричні коливання	27,1	29,6
8	3410	$-\text{OH}, -\text{NH}-$ валентні коливання	26,0	87,5

Отже, ІЧ-спектральний аналіз дозволив виявити значну кількість активних груп на поверхні СДОВ, здатних взаємодіяти з макромолекулами епоксидного зв'язувача, утворюючи просторову сітку полімеру з високим ступенем зшивання.

Надалі досліджували вплив вмісту СДОВ на адгезійну міцність при відриві (σ_a), зсуві (τ) і залишкові напруження (σ_z) у КМ. Встановлено, що введення у епоксидний олігомер ЕД-20 часток СДОВ за вмісту $q = 0,010 \dots 0,020 \text{ мас.ч.}$ приводить до зростання адгезійної міцності при відриві КМ з $\sigma_a = 24,4 \text{ МПа}$ (для епоксидної матриці) до $\sigma_a = 27,0 \text{ МПа}$ (рис. 2, крива 1). При цьому спостерігали змішаний характер руйнування адгезійного з'єднання (рис. 3, а, б), що вказує на кінетично невривноважену полімерну систему за

незначного наповнення зв'язувача. Максимум на кривій залежності адгезійної міцності від вмісту СДОВ встановлено за вмісту $q = 0,050$ мас.ч., що підтверджує попередні результати дослідження отримані на основі ІЧ-спектрального аналізу, тобто активність добавки. Припускали, що за такого вмісту реалізується максимальна взаємодія амідних, карбонільних і нітрільних груп добавки (табл. 1) із компонентами зв'язувача, що забезпечує перебіг фізико-хімічних процесів зшивання наповненого полімеру із металевою основою. Це забезпечує зростання адгезійної міцності при відриві з $\sigma_a = 24,4$ МПа до $\sigma_a = 32,0$ МПа, що додатково підтверджено чисто когезійним характером руйнування (рис. 3, в). Аналіз праці [14] дозволяє констатувати, що за таких умов міцність адгезійного з'єднання переважає міцність самого матеріалу. При введенні СДОВ за вмісту $q = 0,100$ мас.ч. спостерігали подібний характер руйнування (рис. 3, г), що свідчить про високі показники адгезійної міцності ($\sigma_a = 31,5$ МПа). Надалі, введення волокнистої добавки у епоксидний зв'язувач за вмісту $q = 0,500 \dots 1,000$ мас.ч. призводить до незначного зниження адгезійної міцності при відриві ($\sigma_a = 30,0 \dots 31,0$ МПа). Руйнування таких КМ має здебільшого когезійний характер (рис. 3, д) з частковим проявом адгезійного (рис. 3, е).

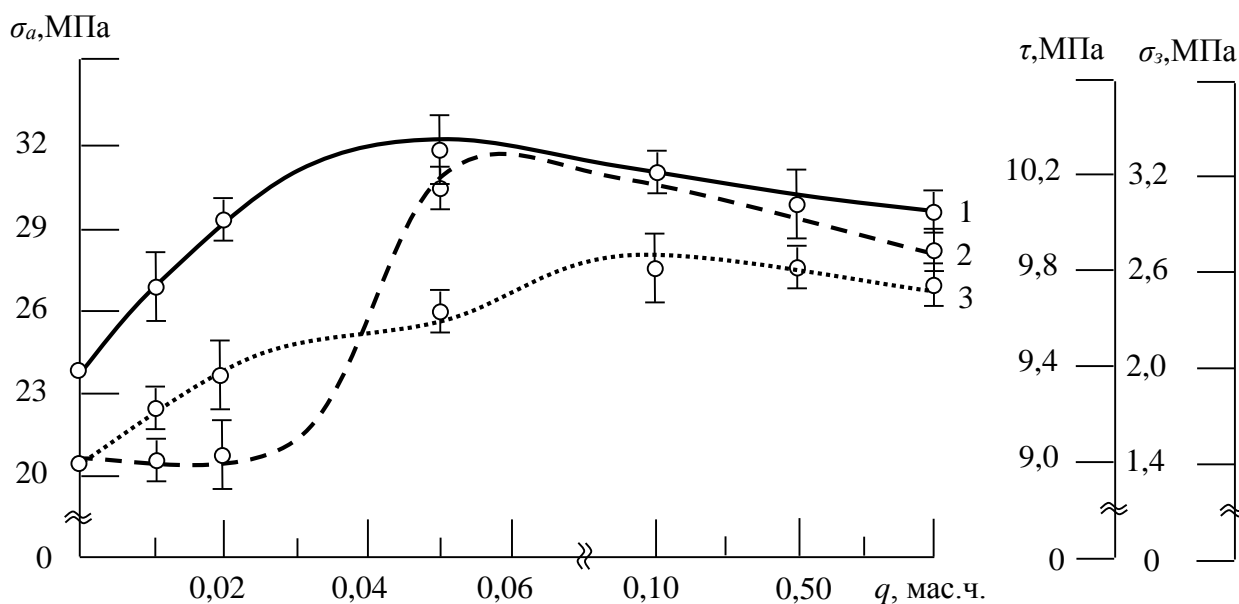


Рис. 2. Залежність адгезійної міцності (σ_a , τ) і залишкових напружень (σ_3) КМ від вмісту суміші дискретних органічних волокон: 1 – адгезійна міцність при відриві (σ_a); 2 – адгезійна міцність при зсуві (τ); 3 – залишкові напруження (σ_3)



а) 0,010; б) 0,020; в) 0,050; г) 0,100; д) 0,500; е) 1,000.
 Рисунок 3 – Характер відриву (адгезійна міцність при відриві) епоксидних композитів із різним вмістом суміші дискретних органічних волокон, q , мас.ч.:

Аналіз залежності адгезійної міцності при зсуві від вмісту СДОВ дозволив виявити подібну залежність (рис. 2, крива 2). Тобто, максимальне значення адгезійної міцності при зсуві, яке становить $\tau = 10,1$ МПа спостерігали при введенні волокнистої добавки за вмісту $q = 0,050$ мас.ч. Надалі введення СДОВ за вмісту $q = 0,100 \dots 1,000$ мас.ч. забезпечує незначне зниження адгезійної міцності ($\tau = 9,8 \dots 10,0$ МПа). При цьому аналіз відриву таких композитів (рис. 4, а-в) дозволяє констатувати про подібний (змішаний) характер руйнування, де без цифрового оброблення поверхні складно визначити фактичну площу когезійного контакту. Припускали, що введення добавки за вмісту $q = 0,050 \dots 1,000$ мас.ч. викликано як хімічною взаємодією (за рахунок активних груп волокнистої добавки), так і фізичною взаємодією, яка виникає завдяки зчепленню мікронерівностей поверхні волокна з металевою основою.



Рисунок 4 – Характер відриву (адгезійна міцність при зсуві) епоксидних композитів із різним вмістом суміші дискретних органічних волокон, q , мас.ч.: а) 0,050; б) 0,100; в) 1,000

Надалі досліджено вплив часток СДОВ на залишкові напруження композитного матеріалу (рис. 2, крива 3). Встановлено, що величина залишкових напружень при максимальному значенні адгезійної міцності ($\sigma_a = 31,5$ МПа при $q = 0,050$ мас.ч.) становить $\sigma_z = 2,2$ МПа. Так як залишкові напруження при даному вмісті ($q = 0,050$ мас.ч.) добавки не є максимальними, можна стверджувати, що досягнуто оптимальне співвідношення вище наведених значень. Тобто, високе значення адгезійної міцності і помірне значення залишкових напружень дозволить експлуатувати розроблені матеріали тривалий час без відшарування і розтріскування, а, отже, констатувати про підвищений період експлуатації полімеру без зміни властивостей.

Додатково проводили дослідження впливу вмісту суміші дискретних органічних волокон на фізико-механічні властивості. Зокрема досліджували вплив добавки на показники руйнівних напружень при згинанні та модуль пружності при згинанні.

Встановлено, що введення у епоксидний зв'язувач добавки СДОВ за вмісту $q = 0,010$ мас.ч. приводить до стрімкого підвищення показників руйнівних напружень при згинанні КМ з $\sigma_{z2} = 48,0$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_{z2} = 58,0$ МПа (рис. 5, крива 1). Вважали, що підвищення руйнівних напружень КМ пов'язано з армуючою дією добавки за рахунок високого ступеня змочування і сил поверхневого натягу при просочуванні поверхні волокон рідкою фазою епоксидного зв'язувача. Це, у свою чергу, забезпечує здатність макромолекул деформуватися під дією статичного навантаження. У цьому випадку формуються КМ із значною пружністю, що підтверджено отриманим значенням модуля пружності при згинанні – $E = 3,3$ ГПа (рис. 5, крива 1). Додатково дані положення добре узгоджуються із результатами оптичної мікроскопії (рис. 6, а). Структура зламу композиту характеризується в'язким руйнуванням з рівномірним розподілом ліній, що очевидно зорієнтовані у напрямку прикладення навантаження. При цьому відсутність дефектної

структури забезпечує високі показники руйнівних напружень і модуля пружності при згинанні.

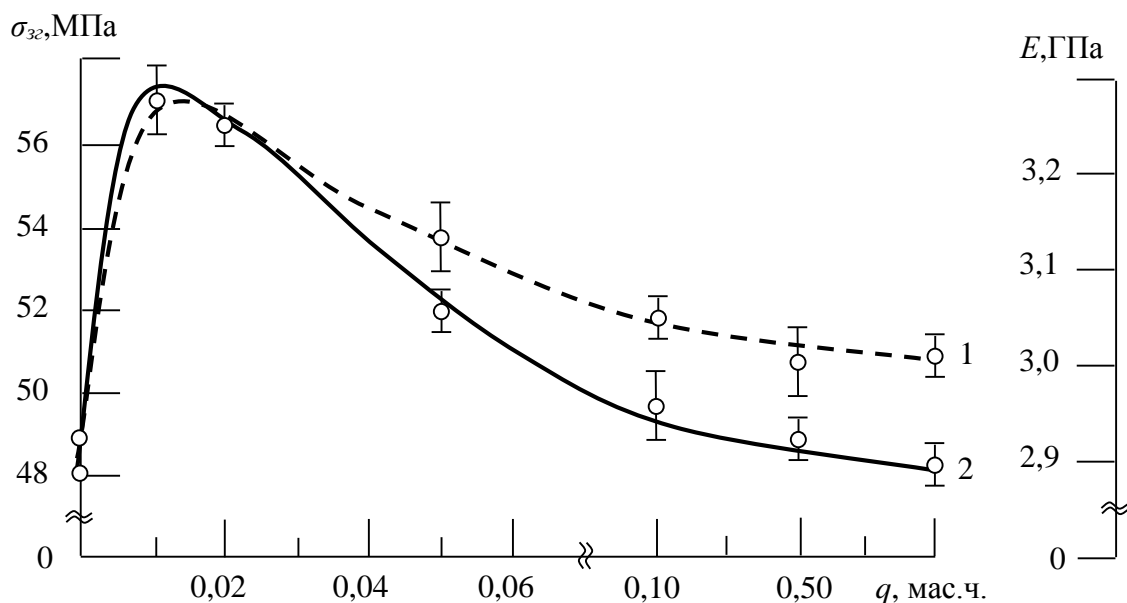


Рисунок 5 – Залежність фізико-механічних властивостей КМ від вмісту суміші дискретних органічних волокон: 1 – руйнівні напруження при згинанні (σ_{32}); 2 – модуль пружності при згинанні (E)

При введенні часток СДОВ у епоксидний зв'язувач за вмісту $q = 0,020$ мас.ч. спостерігали ділянки з крихким характером руйнування КМ (рис. 6, б). Очевидно їх поява викликана початком хаотичного розподілу суміші дискретних органічних волокон у епоксидному зв'язувачі, що призводить до нерівномірного розподілу залишкових напружень, а це у свою чергу забезпечує незначне зниження механічної міцності. Так руйнівні напруження при згинанні знижуються до $\sigma_{32} = 57,0$ МПа, а модуль пружності до $E = 3,2$ ГПа. Введення часток СДОВ у епоксидний зв'язувач за вмісту $q = 0,050 \dots 0,100$ мас.ч. призводить до стрімкого зниження руйнівних напружень при згинанні – $\sigma_{32} = 50,0 \dots 52,0$ МПа і модуля пружності – $E = 3,05 \dots 3,1$ ГПа. У даному випадку фактична площа руйнування приймає крихкий характер руйнування (рис. 6, в, г). Введення часток СДОВ у епоксидний зв'язувач за вмісту $q = 0,500 \dots 1,000$ мас.ч. призводить до формування дефектів у структурі через неповне змочування часток зв'язувачем (рис. 5, д, е). Відповідно, механічна міцність КМ знижується до рівня не наповненої матриці ($\sigma_{32} = 49,0$ МПа, $E = 3,0$ ГПа).

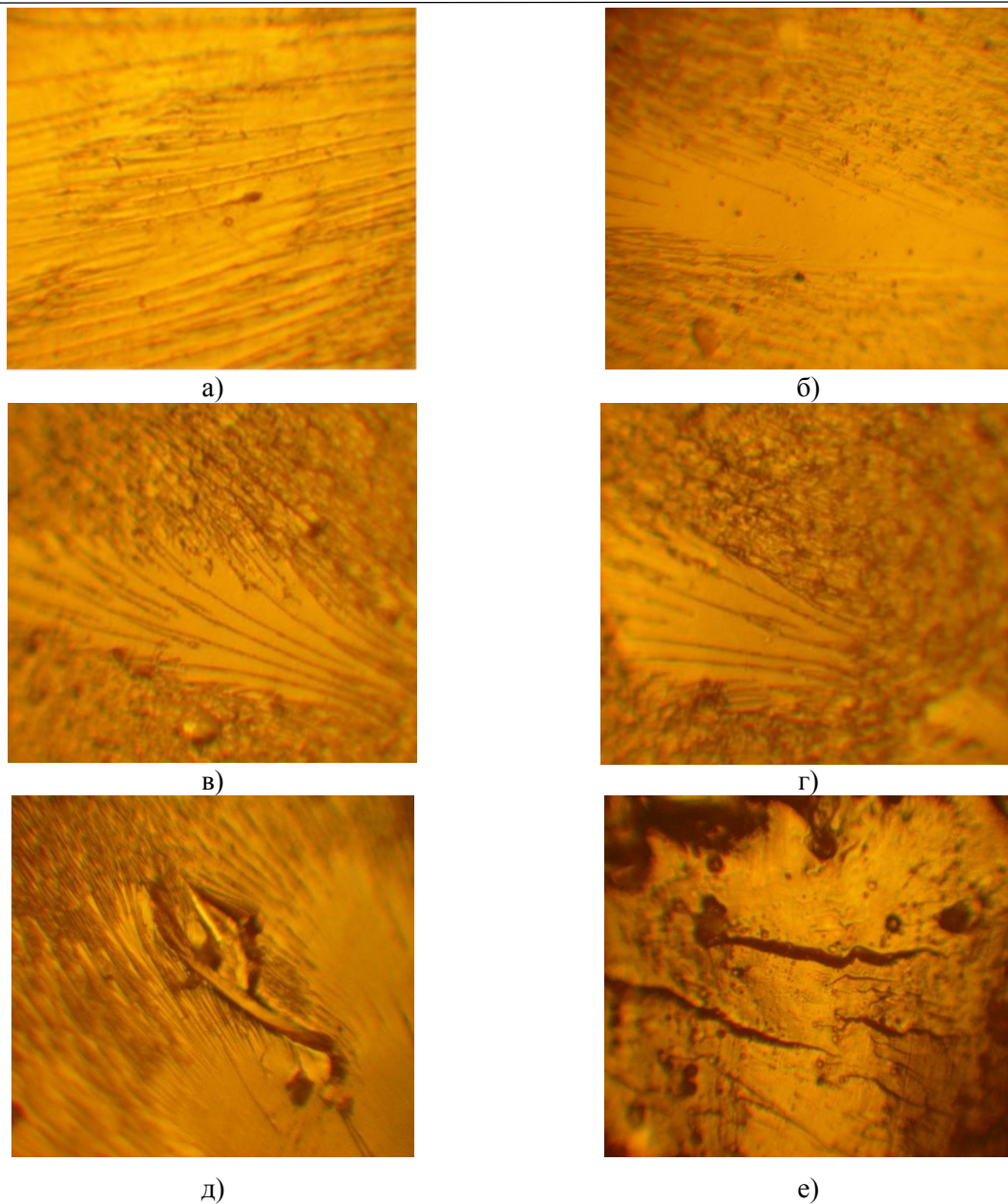


Рисунок 6 – Фрактограми зламу епоксидних композитів із різним вмістом суміші дискретних органічних волокон, q , мас.ч.: а) 0,010; б) 0,020; в) 0,050; г) 0,100; д) 0,500; е) 1,000.

Висновки. У процесі проведення експериментальних досліджень встановлено наступне:

1. Для формування покриттів транспортної техніки, які забезпечують високі показники адгезійної міцності доцільно використовувати композити, що містять суміш дискретних органічних волокон за вмісту $q = 0,050 \dots 0,100$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 і 10 мас.ч. твердника ПЕПА. Введення волокнистої добавки у епоксидний зв'язувач за оптимального вмісту забезпечує взаємодію амідних $-NH_2$, карбонільних $C=O$ і нітрильних $C \equiv N$ груп, внаслідок чого міцність адгезійного з'єднання переважає міцність самого матеріалу (адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 31,5 \dots 32,0$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 10,0 \dots 10,1$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_z = 2,2$ МПа).

2. Для формування покриттів транспортної техніки, які забезпечують високі показники когезійної міцності доцільно використовувати композити, що містять суміш дискретних органічних волокон за вмісту $q = 0,010 \dots 0,020$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 і 10 мас.ч. твердника ПЕПА. Модуль пружності таких матеріалів становить – $\sigma_{32} = 57,0 \dots 58,0$ МПа, а модуль пружності – $E = 3,2 \dots 3,3$ ГПа. Підвищення механічної міцності пов'язано із здатністю макромолекул деформуватися під дією

статичного навантаження за рахунок орієнтації суміші дискретних органічних волокон у напрямку прикладення навантаження, що підтверджено методом оптичної мікроскопії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ходаковський О.В. Дослідження впливу парааміноазобензолу на адгезійні властивості епоксидної матриці для захисних покриттів засобів транспорту / О.В. Ходаковський, М.Ю. Амелін, С.О. Сметанкін, О.В. Акімов, В.М. Яцюк // Вісник НТУ «ХПІ». – 2016. – № 50 (1222). – С.42-46.
2. Ходаковський О.В. Теплофізичні властивості модифікованих парааміноазобензолом епоксидних матриць для захисних покриттів деталей транспортної галузі / Ходаковський О.В., Амелін М.Ю., Букетова Н.М., Яцюк В.М. // Науковий вісник ХДМА. – 2017. – № 1 (16). – С. 216–225.
3. Сметанкін С.О. Модифіковані епоксидні композити для підвищення надійності експлуатації та якості ремонту транспортної техніки / С.О.Сметанкін, В.Д.Нігалатій, О.В.Шарко, Д.А.Наговський, О.І. Скирденко // Вісник ХНТУ.-2015.-№4(55). – С.203-2018.
4. Нігалатій В.Д. Исследование влияния химического состава на результаты акустических измерений прочностных свойств материалов / В.Д. Нігалатій // Весник Карагандинского государственного университета. – 2015. - №3 (79). – С.81-86.
5. 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.- Vol. 49, Number 5.– 2014.–P.696-702.
6. Buketov A.V., Sapronov O.O., Brailo M.V. Investigation of the Physico-Mechanical and Thermophysical Properties of Epoxy Composites with a Two-Component Bidisperse Filler // Strength of Materials.–Vol. 46, No 5. – 2014.–P.717-723.
7. Buketov A. Enhancing performance characteristics of equipment of sea and river transport by using epoxy composites / A. Buketov, P. Maruschak, O. Sapronov, D. Zinchenko, V. Yatsyuk, S. Panin // Transport – 2016. – Vol. – 31(3). – P. 333-342.
8. Сапронов О.О. Полімерні композити для ремонту устаткування газотранспортної промисловості // Всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал: Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – №1(66) – 2018. – С. 71-76.
9. Сапронов О.О. Використання дисперсних добавок для підвищення теплофізичних властивостей полімерних захисних покриттів / О.О.Сапронов, О.В.Лещенко // Вісник ХНТУ – 2018. – №1(64). – P. 57-61.
10. Амелін М.Ю. Відновлення деталей транспорту полімерними композитами з мікродисперсними частками, що є відходами виробництва / М.Ю.Амелін, О.О.Сапронов, О.В.Ходаковський, Н.М.Букетова // Наукові нотатки. - Луцьк: ЛНТУ. – Випуск 60. – 2017. – С. 22-30.
11. Букетова Н.М. Особливості впливу дисперсного конвертерного шламу на адгезійні і фізико-механічні властивості епоксидних композитів / Н.М. Букетова // Науковий вісник ХДМА. – 2015. – № 2 (13). – С. 153-162.
12. Buketov A.V. Use of dispersive additives to ensure high indicators of physico-mechanical properties of functional polymer coatings // A.V. Buketov, O.O. Sapronov, O.V. Leshchenko, S.V. Voronenko. Journal of Hydrocarbon Power Engineering. – 2017. – Vol. – 4(2). – P. 54-63.
13. Корякина М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. М.: Химия. – 1988. – 272 с.
14. Buketov. A. V. Adhesive pull and shear strength of epoxy nanocomposite coatings filled with ultradispersed diamond / A.V. Buketov, N.A. Dolgov, A.A. Sapronov, and V.D. Nigalatii // Strength of Materials. – Vol. 50, No 3. – 2018. – P.425-431.

REFERENCES

1. Khodakovskiy O.V. Doslidzhennia vplyvu paraaminoazobenzolu na adheziini vlastyivosti epoksydnoi matrytsi dlia zakhysnykh pokryttiv zasobiv transportu / O.V. Khodakovskiy, M.Iu. Amelin, S.O. Smetankin, O.V. Akimov, V.M. Yatsiuk // Visnyk NTU «KhPI». – 2016. – № 50 (1222). – S.42-46.
2. Khodakovskiy O.V. Teplofizychni vlastyivosti modyfikovanykh paraaminoazobenzolom epoksydnykh matryts dlia zakhysnykh pokryttiv detalei transportnoi haluzi / Khodakovskiy O.V., Amelin M.Iu., Buketova N.M., Yatsiuk V.M. // Naukovyi visnyk KhDMA. – 2017. – № 1 (16). – S. 216–225.
3. Smetankin S.O. Modyfikovani epoksydni kompozyty dlia pidvyshchennia nadiinosti ekspluatatsii ta yakosti remontu transportnoi tekhniki / S.O.Smetankin, V.D.Nihalatii, O.V.Sharko, D.A.Nahovskiy, O.I. Skyrdenko // Visnyk KhNTU.-2015.-№4(55). – S.203-2018.
4. Nyhalatyi V.D. Yssledovanye vliyaniya khymycheskoho sostava na rezultaty akustycheskykh yzmerenyi prochnostnykh svoistv materyalov / V.D. Nyhalatyi // Vesnyk Karahandynskoho hosudarstvennoho unyversyteta. – 2015. - №3 (79). – S.81-86.
5. Buketov A.V., Saprnov O.O., Brailo M.V., Aleksenko V.L. Influence of theultrasonic treatment on the mechanical and thermal properties of epoxy nanocomposites // Materials Science.-Vol. 49, Number 5.– 2014.–P.696-702.
6. Buketov A.V., Saprnov O.O., Brailo M.V. Investigation of the Physico-Mechanical and Thermophysical Properties of Epoxy Composites with a Two-Component Bidisperse Filler // Strength of Materials.–Vol. 46, No 5. – 2014.–P.717-723.
7. Buketov A. Enhancing performance characteristics of equipment of sea and river transport by using epoxy composites / A. Buketov, P. Maruschak, O. Saprnov, D. Zinchenko, V. Yatsyuk, S. Panin // Transport – 2016. – Vol. – 31(3). – P. 333-342.
8. Saprnov O.O. Polimerni kompozyty dlia remontu ustatkuvannia hazotransportnoi promyslovosti // Vseukrainskyi shchokvartalnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal: Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. – №1(66) – 2018. – S. 71-76.
9. Saprnov O.O. Vykorystannia dyspersnykh dobavok dlia pidvyshchennia teplofizychnykh vlastyvostei polimernykh zakhysnykh pokryttiv / O.O.Saprnov, O.V.Leshchenko // Visnyk KhNTU – 2018. – №1(64). – P. 57-61.
10. Amelin M.Iu. Vidnovlennia detalei transportu polimernymy kompozytamy z mikrodyspersnymy chastkamy, shcho ye vidkhodamy vyrobnytstva / M.Iu.Amelin, O.O.Caprnov, O.V.Khodakovskiy, N.M.Buketova // Naukovi notatky. - Lutsk: LNTU. – Vypusk 60. – 2017. – S. 22-30.
11. Buketova N.M. Osoblyvosti vplyvu dyspersnoho konverternoho shlamu na adheziini i fizyko-mekhanichni vlastyivosti epoksydnykh kompozytiv / N.M. Buketova // Naukovyi visnyk KhDMA. – 2015. – № 2 (13). – S. 153-162.
12. Buketov A.V. Use of dispersive additives to ensure high indicatorsof physico-mechanical properties of functional polymer coatings // A.V. Buketov, O.O. Saprnov, O.V. Leshchenko, S.V. Voronenko. Journal of Hydrocarbon Power Engineering. – 2017. – Vol. – 4(2). – P. 54-63.
13. Koriakyna M.Y. Ysprytanye lakokrasochnykh materyalov y pokrytyi. M.: Khymyia. – 1988. – 272 s.
14. Buketov. A. V. Adhesive pull and shear strength of epoxy nanocomposite coatings filled with ultradispersed diamond / A.V. Buketov, N.A. Dolgov, A.A. Saprnov, and V.D. Nigalatii // Strength of Materials. – Vol. 50, No 3. – 2018. – P.425-431.

Сапронова А. В. ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВОЛОКОН В ЭПОКСИДНОМ СВЯЗУЮЩЕМ НА ПОКАЗАТЕЛИ АДГЕЗИОННОЙ И КОГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

В работе рассмотрено влияние содержания смеси дискретных органических волокон, содержащих 50% шелка, 45% акрила, 5% полиамида на особенности структурообразования эпоксидных композитов для обеспечения необходимого комплекса свойств деталей транспортной техники. В качестве основного компонента для связующего при формировании эпоксидных композитов выбрано эпоксидный диановый олигомер марки ЭД-20. Для сшивания эпоксидных композиций использовано отвердитель полиэтиленполиамин ПЭПА, что позволяет отверждать материалы при комнатных температурах. Проведено исследование поверхности волокнистой добавки методом ИК-спектрального анализа. Установлено колебания: C-N групп в диапазоне волновых чисел $\nu = 1068 \dots 1122 \text{ см}^{-1}$; амидной группы при волновом числе $\nu = 1253 \text{ см}^{-1}$; нитрильной группы при волновом числе $\nu = 2239 \text{ см}^{-1}$; карбонильной C=O группы при волновом числе $\nu = 2362 \text{ см}^{-1}$; валентные колебания -OH, -NH- групп при волновом числе $\nu = 3410 \text{ см}^{-1}$. В работе объединены результаты исследования адгезионной прочности при отрыве и сдвиге и анализ поверхности разрушения адгезионного соединения. Показано, что максимальным значением адгезионной прочности характеризуются материалы, где преобладает когезионный характер разрушения адгезионного соединения. Обеспечение вязкого характера разрушения, путем регулируемого введения смеси дискретных органических волокон позволяет повышать механическую прочность разработанных материалов.

Ключевые слова: эпоксидное связующее, смесь дискретных органических волокон, адгезионная прочность, поверхность разрушения, характер разрушения, ИК-спектральный анализ.

Sapronova A. V. THE INFLUENCE OF ORGANIC FIBER CONTENT IN THE EPOXIDE BINDER ON ADHESIVE AND COGESIVE STRENGTH OF THE TRANSPORT TECHNICAL COATINGS

The influence of the content of a mixture of discrete organic fibers containing 50 % silk, 45 % acrylic, 5 % polyamide on the peculiarities of structure formation of epoxy composites to provide the necessary complex of properties of transport equipment parts is considered in the work. ED-20 brand epoxy dian oligomer was selected as the main component for the binder in the formation of epoxy composites. For crosslinking of epoxy compositions, a PEPA hardener was used to allow the materials to be solidified at room temperature. The surface of the fibrous additive was investigated by the method of IR spectral analysis. Oscillations of C-N groups in the wavenumber range $\nu = 1068 \dots 1122 \text{ cm}^{-1}$ are established; amide group at wave number $\nu = 1253 \text{ cm}^{-1}$; the nitrile group at a wave number $\nu = 2239 \text{ cm}^{-1}$; carbonyl C=O group at wave number $\nu = 2362 \text{ cm}^{-1}$; valence vibrations of the -OH, -NH- groups at the wave number $\nu = 3410 \text{ cm}^{-1}$. The paper combines the results of the study of adhesion strength at tear and shear and analysis of the surface of failure of the adhesive connection. It is shown that the maximum values of adhesive strength are characterized by materials where the cohesive nature of the destruction of the adhesive compound predominates. The maximum value of adhesive strength is $\sigma_a = 32,0 \text{ MPa}$ and $\tau = 10,1 \text{ MPa}$ with the introduction of a mixture of discrete organic fibers with a content of $q = 0,050 \text{ wt.h.}$ per 100 parts by weight epoxy oligomer ED-20 and 10 wt.h. of PEPA hardener. Ensuring the viscous nature of the fracture through the controlled introduction of a mixture of discrete organic fibers allows to increase the mechanical strength of the developed materials. The maximum value of mechanical strength is $\sigma_b = 58,0 \text{ MPa}$ and $E = 3,3 \text{ GPa}$ with the introduction of a mixture of discrete organic fibers with a content of $q = 0,010 \text{ wt.h.}$ per 100 parts by weight epoxy oligomer ED-20 and 10 wt.h. of PEPA hardener.

Keywords: epoxy binder, mixture of discrete organic fibers, adhesive strength, fracture surface, fracture character, IR-spectral analysis.

© Сапронова А. В.

Статтю прийнято
до редакції 19.04.19