

¹Букетов А.В., ²Шульга Ю.М., ¹Житник Д.В., ¹Негруца Р.Ю.
¹Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна
²Дунайський Інститут Національного Університету «Одеська Морська Академія», Ізмаїл,
Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-РЕМОНТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

У статті показано, що з метою підвищення показників міцності адгезійних з'єднань епоксидних покривів для підвищення експлуатаційно-ремонтних характеристик засобів водного транспорту у полімер необхідно додавати модифікатори чи інші добавки. Перспективним на даний час є модифікування епоксидних полімерів, позаяк їх наповнення добавками за гомеопатичного вмісту забезпечує підвищення показників характеристик матеріалів.

Зауважимо про необхідність вибору хімічно активного до взаємодії з епоксидними макромолекулами модифікатора. Такий підхід враховує як фізичну природу добавки, так і її хімічну структуру у вигляді бокових груп та сегментів ланцюга молекули на мікрорівні. Важливим є використання у вигляді активної до взаємодії з епоксидною смолою модифікатора діаміноазобензол карбонової кислоти. Такий модифікатор містить активні функціональні групи. Вважали, що вектор випробувань, який передбачає оптимізацію вмісту названого вище модифікатора у епоксидному полімері, за критеріями міцності адгезійних з'єднань та, додатково, залишкових напруг, є важливим і актуальним при підвищенні експлуатаційно-ремонтних характеристик засобів водного транспорту.

При створенні нових матеріалів за основу взято епоксидний полімер. Зшивали захисні функціональні покриття твердником ПЕПА. У вигляді модифікатора взято діаміноазобензол карбонову кислоту.

Встановлено, що при отриманні матеріалів з підвищеними показниками міцності адгезійних з'єднань потрібно у полімер добавляти модифікатор за вмісту 0,5...1 мас.ч. на 100 % епоксидного полімеру та 10 % твердника ПЕПА. Такий підбір інгредієнтів забезпечить утворення композиту, який порівняно з ненаповненим полімером характеризується підвищеними показниками міцності адгезійних з'єднань за відриву у 1,5 рази, а міцності адгезійних з'єднань за зсуву у 1,2 рази. Вважали, що це є важливим фактором збільшення довговічності покривів у складних умовах експлуатації засобів транспорту.

Ключові слова: транспорт; властивості; експлуатація; полімер; композит.

ВСТУП

Композитні матеріали (КМ) на основі епоксидів як захисні покриття досить широко використовують, у тому числі й на морському та річковому транспорті. Водночас відмітимо, що засоби і деталі морського транспорту працюють в умовах впливу критичних напруг, температурного поля, різного роду ударів. Тому таке устаткування повинно відповідати наперед заданим умовам до показників їх властивостей. Для цього розробляють нові матеріали на полімерній основі, які захищають засоби водного транспорту від агресивних середовищ. З метою покращення властивостей матеріалів у епоксидну матрицю уводять інгредієнти різної фізичної природи.

За останні десятиліття цікавим є наповнення епоксидів активними модифікуючими добавками. Такі інгредієнти за невисокої концентрації у матриці забезпечують поліпшення її властивостей за рахунок збільшення ступеня гелеутворення епоксидної композиції. У такому випадку підвищуються, як наслідок, показники адгезійних й когезійних характеристик матеріалів, які часто застосовують у вигляді захисних покриттів засобів водного транспорту. Особливо такий підхід є актуальним, коли нові та перспективні матеріали застосовують при поточному ремонті засобів транспорту, який знаходиться у рейсі.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сфери використання полімерних КМ у сучасному водному транспорті неухильно розширюються. На сьогодні відомий [1, 2] достатньо широкий комплекс різноманітних сфер застосування епоксидних КМ і функціональних покриттів на їх основі:

- виготовлення захисних покриттів для бортів суден та габаритних конструкцій палубних механізмів;

- виробництво несучих конструкцій, санітарно-технічного устаткування;

- посилення механізмів машинного відділення;

- прискорені ремонтно-відновлювальні роботи.

При цьому постійно з'являються нові матеріали з необхідними і наперед заданими властивостями. Це, зокрема, матеріали для захисту водного транспорту від впливу агресивних середовищ. У вигляді матриць у КМ широко застосовують епоксидні смоли завдяки їх поліпшеним фізико-хімічним властивостям [2]. При цьому, високі показники внутрішніх напруг, мала удароміцність, недостатня адгезійна міцність та деформаційна стійкість звужують спектр застосування новітніх матеріалів у промисловості та транспорті. З метою нівелювання цього негативу у епоксид вводять додаткові інгредієнти за незначних концентрацій, що дозволяє прискорити каталіз при зшиванні матеріалів. Це приводить до збільшення ресурсу експлуатації нових композитів, порівняно з традиційними. Таким чином направлено регулюють не лише процеси структуроутворення композитів, але й отримують матеріали з прогнозованими і наперед заданими властивостями.

У працях [2-8] доведено, що з метою підвищення показників міцності адгезійних з'єднань епоксидних покриттів для засобів водного транспорту у полімерну матрицю необхідно додавати модифікатори чи інші добавки за оптимального вмісту. Перспективним на даний час є модифікування епоксидних полімерів, позаяк їх наповнення модифікаторами за гомеопатичного вмісту забезпечує підвищення показників характеристик матеріалів. Крім того, доцільно стверджувати у даному випадку про опосередковане зменшення вартості використаних матеріалів за рахунок підвищення їх експлуатаційних характеристик і, відповідно, ресурсозбереження.

Водночас зауважимо про необхідність вибору хімічно активного до взаємодії з епоксидними макромолекулами модифікатора. Такий підхід враховує як фізичну природу добавки, так і її хімічну структуру у вигляді бокових груп та сегментів основного ланцюга молекули на мікрорівні. У даному випадку важливим є використання у вигляді такої активної до взаємодії з епоксидом добавки у вигляді модифікатора 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонової кислоти (ДМБК). Такий модифікатор, на наш погляд, необхідно добавляти у епоксидний полімер з-за того, що він містить у своїй структурі активні бокові функціональні групи. Вважали, що вектор випробувань, який передбачає оптимізацію вмісту названого вище модифікатора у епоксидному полімері, за критеріями міцності адгезійних з'єднань та, додатково, залишкових напруг, є важливим і актуальним на порядку денному при підвищенні експлуатаційно-ремонтних характеристик засобів водного транспорту.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є визначення необхідного вмісту модифікатора ДМБК у функціональних покриттях для підвищення експлуатаційно-ремонтних характеристик засобів водного транспорту. Відповідно задачами дослідження було визначення оптимальної концентрації модифікатора у епоксикомпозитному матеріалі з поліпшеними властивостями за такими критеріями міцність адгезійних з'єднань та залишкові напруги.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При створенні нових матеріалів за основу взято епоксидний полімер ЕД-20 (ISO 18280:2010). Зшивали захисні функціональні покриття твердником ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78). У вигляді модифікатора взято 2,4-діаміноазобензол-4'-карбонову кислоту (ДМБК).

Міцність адгезійних з'єднань КМ випробовували при відриві та зсуві сталених зразків, які попередньо склеювали досліджуваною композицією [2]. Випробування проведено згідно ASTM D897-08. Площа поперечного січення зразків при випробуваннях становила $d = 25 \pm 0,01$ мм.

Показники залишкових напруг у КМ визначали під час зшивання полімерних покриттів за методикою, яку детально описано у праці [2]. Покриття мали товщину 0,3...0,5 мм. Їх наносили на пластини зі сталі. При цьому покриття мали наступні параметри: максимальна довжина – 110 мм; мінімальна довжина – 70 мм; товщина – 0,15...0,20 мм.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Перед проведенням основного експерименту (у напрямку дослідження адгезійних властивостей матеріалів та залишкових напруг у них) проводили аналіз структури з позицій наявності хімічних елементів у модифікаторі. Слід зазначити, що модифікатор було синтезовано, тому важливим було проведення досліджень з метою визначення наявності у ньому хімічно активних елементів до взаємодії з епоксидними макромолекулами. Для цього було використано інфрачервоний аналізатор, який дозволяє за допомогою отриманих спектрів стверджувати про наявність тих чи інших хімічних утворень у модифікаторі.

За допомогою інфрачервоної спектроскопії встановлено наявність стрічок поглинання при частотах $\nu = 501,49; 532,35; 648,08$ см^{-1} (рис. 1). Такі піки на спектрах дозволяють стверджувати про наявність у хімічній структурі модифікатора -СН-груп. Додатково встановлено існування максимумів

за невисокої інтенсивності при частотах 688,59...752,24 cm^{-1} , що дозволяє констатувати про існування у структурі добавки аміногруп $-\text{NH}_2$.

Стрічки при частотах 852,54 та 893,04 cm^{-1} дають можливість стверджувати, що у модифікаторі присутні хімічні $-\text{C}-\text{C}-$ зв'язки. Водночас їх кількість не є великою, позаяк вказані піки мають не досить велику площу та інтенсивність. Також слід акцентувати увагу на стрічці спектру, яка присутня при частоті 943,19 cm^{-1} . Вона також відзначається не великим показниками площі та інтенсивності. При цьому слід відзначити, що її наявність характеризує присутність у добавці активних $-\text{C}-\text{N}-$ зв'язків.

Додатково можна зробити висновок про існування у структурі модифікатора хімічних зв'язків типу $-\text{C}-\text{C}-$ і амінних. Підтвердженням цього є наявність на спектрі стрічок поглинання при частотах 1109,07 та 1170,79 cm^{-1} . Порівняльний аналіз їх характеристик дозволяє стверджувати про наступне. Стрічка на спектрі при частоті 1109,07 cm^{-1} відзначається середніми показниками інтенсивності. Водночас стрічка при частоті 1170,79 cm^{-1} характеризується відносно великими показниками густини, однак площа її є незначною. Це дозволяє констатувати наступне. Кількість $-\text{C}-\text{C}-$ зв'язків у структурі модифікатора є великою, однак їх коливання при зовнішньому впливі є не великим. Отже, вони зв'язані у структурі самого модифікатора та не будуть у подальшому брати участь у фізико-хімічній взаємодії. Навпаки, кількість амінних зв'язків (виявлено при частоті 1170,79 cm^{-1}) у модифікаторі є відносно не достатньо великою, однак вони за зовнішнього впливу мають великий діапазон коливань. Це є підтвердженням того, що такі функціональні групи здатні до активної подальшої взаємодії з макромолекулами епоксидної смоли.

Подальший аналіз спектру модифікатора дозволяє констатувати наступне. Спостерігали наявність стрічок із помірною інтенсивністю при частотах 1203,6 та 1257,6 cm^{-1} . Зазначимо, що вони перекривають одна одну. Відзначаються значною шириною і площею. Дані стрічки дозволяють стверджувати про значну кількість активних до гомогенної взаємодії при полімеризації суміші «модифікатор – епоксидна смола» гідроксильних та амінних груп. Додатково слід звернути увагу на наявність стрічок при частотах 1313,53 й 1384,88 cm^{-1} . Такі спектральні стрічки характеризують наявність у хімічній добавці не лише гідроксильних зв'язків, але й амінних.

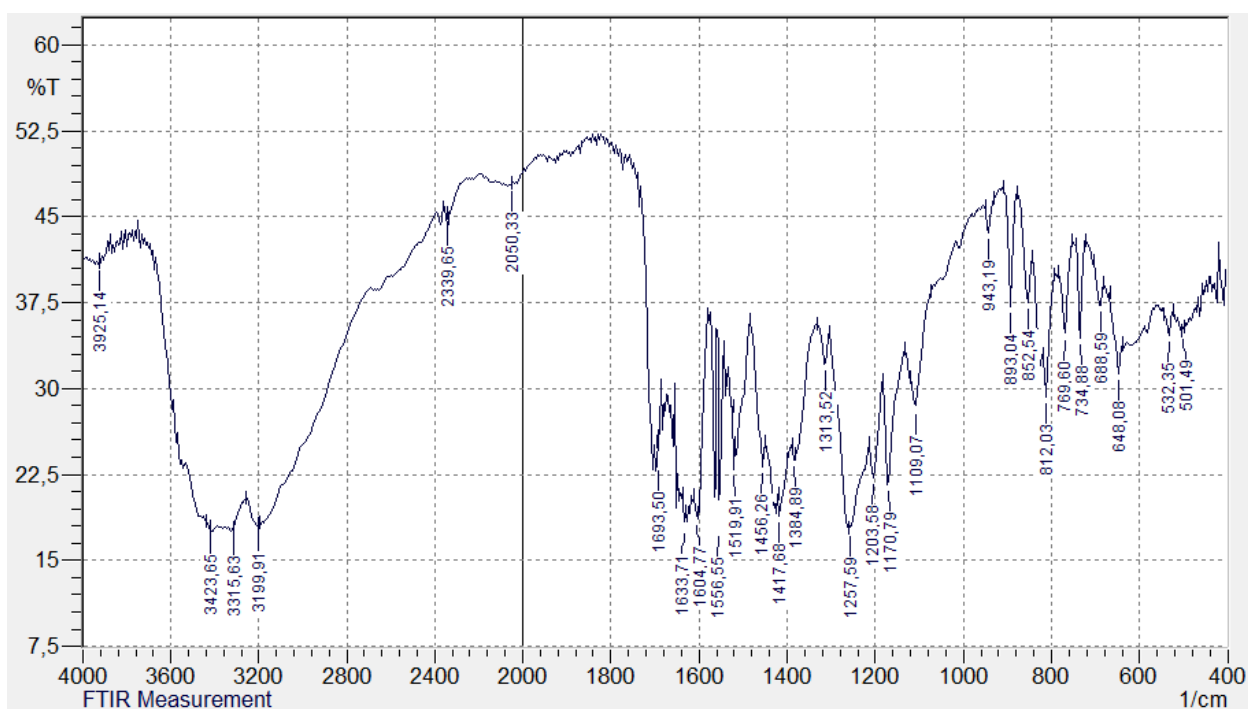


Рисунок 1 – Інфрачервоний спектр модифікатора ДМБК

Таким чином, загальний аналіз структури модифікатора методом інфрачервоної спектроскопії дозволяє стверджувати про наявність у його складі хімічно-активних функціональних груп різної природи. На наш погляд, у процесі полімеризації компаунду це дозволить отримати матеріал у твердому стані зі значної кількістю хімічних зв'язків на одиницю об'єму матеріалу. Це, у свою чергу, дозволить суттєво поліпшити властивості нових розроблених матеріалів для транспортної техніки.

Наступним етапом було проведення хроматографічного аналізу модифікатора з метою визначення його молекулярної маси. На початковому етапі зроблено вибірку речовини, яку розбавляли у хімічно активному середовищі метанолу.

На рис. 2 наведено результати дослідження шляхо хроматографування. Тобто, спочатку вибрано три композиції у вигляді зразків з розчиненого модифікатора. За допомогою хроматографа отримано показники спектрів залежно від тривалості експозиції речовин. Надалі проводили аналіз абсолютної величини спектрів. У таблиці 1 наведено отримані показники для суміші 1. При цьому зауважимо, що спектр спостерігали після експозиції вибраної речовини впродовж часу 0,74 хв, а площа, що визначається контурами сигналу становить 97,4 %. Таким чином можна констатувати, що вміст хімічної речовини модифікатора у суміші становить 97,4 %. Також, незалежно на цьому ж спектрі отримано сигнал при тривалості експозиції впродовж часу 0,97 хв. Площа, що визначається контурами сигналу становить 2,6 %. Даний сигнал дозволив встановити вміст у відсотках домішок у синтезованому модифікаторі.

На наступному етапі при встановленій попередньо тривалості експозиції суміші, внаслідок чого визначили вміст у композиції синтезованої речовини, будували залежність показників спектрів від m/z (m – показник маси; z – величина заряду) (рис. 3). Таким чином визначали абсолютний показник сигналів. У результаті цього визначали показник молек. маси модифікатора. Відзначимо, що молек. маса добавки добре співвідноситься з молек. масою інших інгредієнтів гомогенної композиції – епоксисмоли та твердника. У свою чергу це дозволяє стверджувати про можливість достатньо доброї подальшої взаємодії вибраних інгредієнтів при створенні композицій з метою формування захисних покривів під час відновлення засобів водного транспорту. Водночас така взаємодія дозволить не лише прискорити процеси гомогенізації матеріалів, але й буде основою для підвищення показників їх адгезійних властивостей, що є метою проведення даних досліджень.

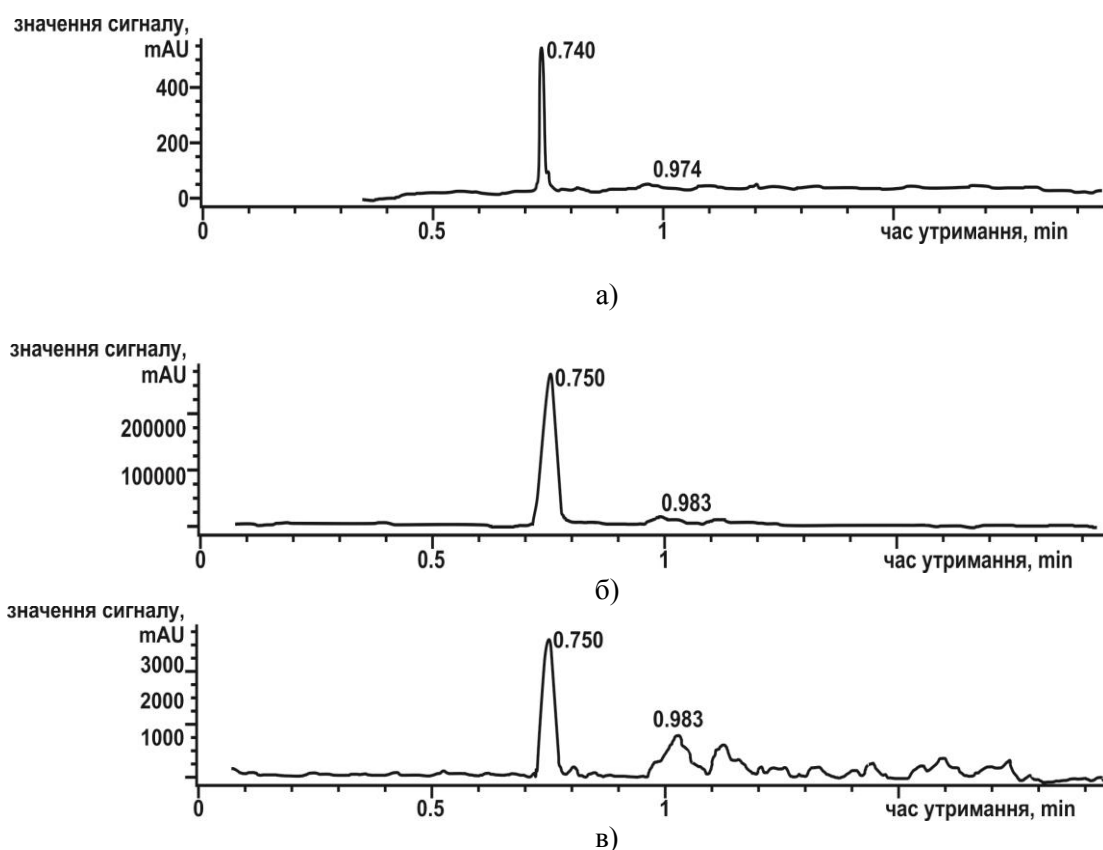


Рисунок 2 – Залежність величини спектру від тривалості експозиції композиції
а) суміш 1; б) суміш 2; в) суміш 3

Надалі визначали показники властивостей як ненаповненого епоксидного матеріалу, так і епоксидних композитів із різним вмістом модифікатора. Експериментально визначено властивості ненаповненого епоксидного матеріалу (контрольний матеріал) і доведено, що міцність адгезійних з'єднань за відриву такого матеріалу становить $\sigma = 24,9$ МПа, міцність адгезійних з'єднань за зсуву – $\tau = 8,6$ МПа. При цьому виявлено, що значення залишкових напруг знаходяться у межах $\rho = 1,5$ МПа.

При цьому експериментально доведено (рис. 4), що під час наповнення композиції добавкою ДМБК за гомеопатичної концентрації у кількості 0,25...0,50 мас.ч. міцність адгезійних з'єднань матеріалів відносно початкового ненаповненого матеріалу підвищується до наступних показників 32,4...35,4 МПа. Аналіз динаміки показників міцності адгезійних з'єднань за відриву від вмісту модифікатора дозволив виявити максимальне значення, яке становить $\sigma = 36,2$ МПа. Таке значення отримано для матеріалу із вмістом досліджуваного модифікатора у епоксиді в кількості 1 мас.ч.

Таблиця 1 Характеристики спектрів

№	Час експозиції, хв	Площа, що визначається контурами сигналу, %
1	0,74	97,4
2	0,97	2,6

Показник величини спектру,
mAU

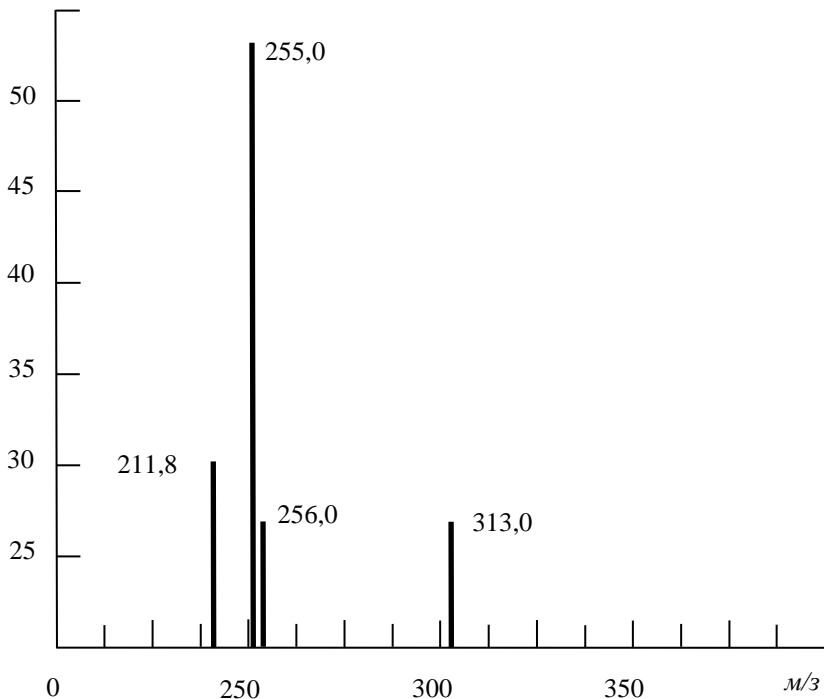


Рисунок 3 – Динаміка показників величини спектру від m/z від часу сигналу: m – показник маси; z – величина заряду

Надалі досліджували композити із більшим вмістом модифікатора. Встановлено при цьому погіршення властивостей матеріалу, адже міцність адгезійних з'єднань при цьому зменшується. Тобто, при концентрації ДМБК у матеріалі 2,0 мас.ч. міцність адгезійних з'єднань знаходиться у межах 33,8 МПа (рис. 4).

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Підвищення показників міцності адгезійних з'єднань модифікованих матеріалів у присутності добавки ДМБК автори даної статті обґрунтовують процесами міжфазової взаємодії під час гомогенізації модифікованої композиції. Методом інфрачервоного аналізу було доведено, що модифікатор містить активні до міжфазової взаємодії функціональні групи. Останні якраз і беруть участь у зшиванні полімеру при його полімеризації. При цьому активують процеси структурування, на наш погляд, як гідроксильні чи карбонільні групи, так і аміногрупи. Саме аміногрупи мають у вихідному стані модифікатора найбільшу інтенсивність коливань відносного основного ланцюга макромолекули. Це забезпечує у першу чергу активацію їхньої взаємодії з епоксидними групами смоли, що й приводить до збільшення ступеня зшивання полімеру в цілому. Як наслідок підвищуються показники такої важливої експлуатаційної характеристики покриттів засобів транспорту, як міцність адгезійних з'єднань.

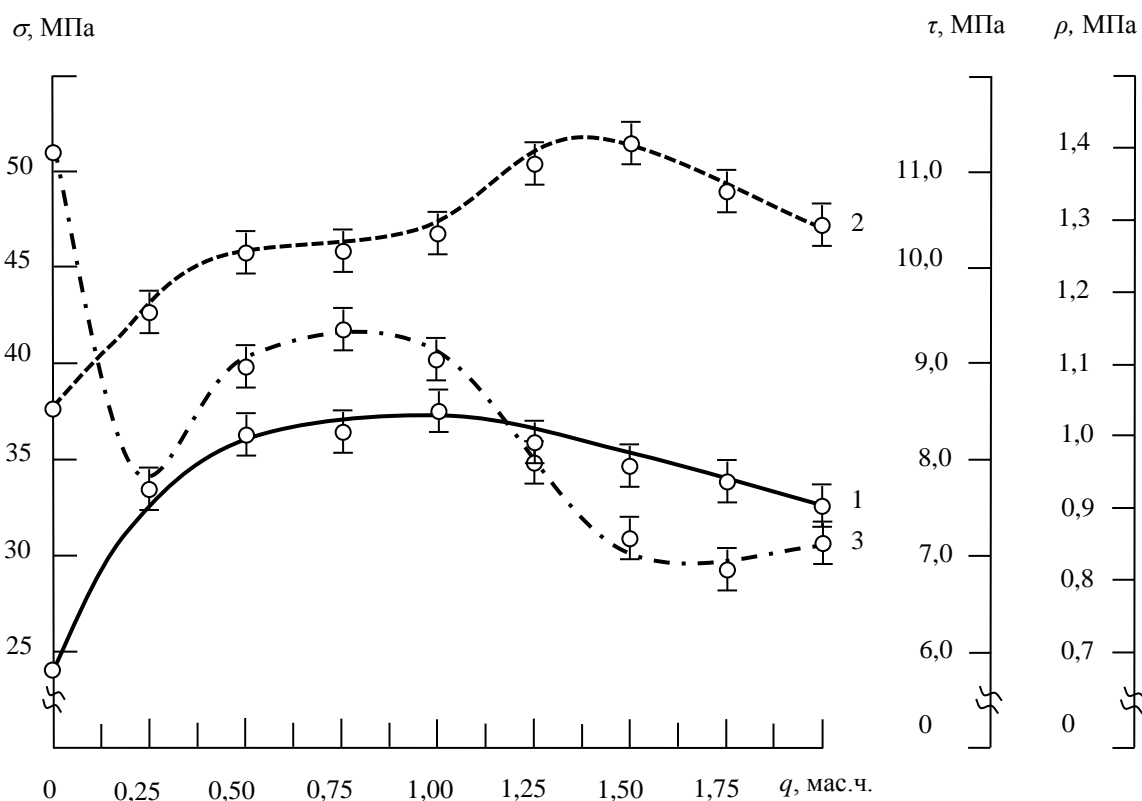


Рисунок 4 – Динаміка міцності адгезійних з'єднань і залишкових напруг у покриттях від кількості добавки ДМБК:

- 1 – міцність адгезійних з'єднань за відриву (σ);
- 2 – міцність адгезійних з'єднань за зсуву (τ);
- 3 – залишкові напруги (ρ).

Авторами [2, 5] констатовано важливість інформації щодо тангенціальних напружень на межі поділу фаз «покрив – субстрат». Великі показники таких напруг на межі поділу фаз є ініціаторами відшаровування покриттів у процесі експлуатації засобів водного транспорту. Це особливо важливо для прогнозування довговічності покриттів для машин і механізмів, які експлуатують під впливом циклічних зовнішніх впливів. Враховуючи це, у статті наведено результати дослідження динаміки вмісту активного модифікатора на міцність адгезійних з'єднань за зсуву епоксидних матеріалів. Результати випробувань показують (рис. 4), що наявність у полімері модифікатора у кількості 0,25 мас.ч. дозволяє збільшити порівняно з ненаповненим матеріалом показників міцності адгезійних з'єднань за зсуву з $\tau = 8,6$ МПа до 9,6 МПа. Збільшення кількості модифікатора у полімері до 0,5...1 мас.ч. забезпечує утворення матеріалу із ще вищими показниками міцності. У цьому випадку міцність адгезійних з'єднань за зсуву збільшується до 10,3...10,5 МПа. Найвищими значеннями міцності адгезійних з'єднань за зсуву (11,2 МПа) відзначається матеріал, що містить добавку у кількості 1,5 мас.ч. Водночас встановлено, що подальше зростання концентрації модифікатора призводить до погіршення властивостей розроблених матеріалів, позаяк значення їх міцності адгезійних з'єднань за зсуву суттєво знижуються.

У працях [1, 2] констатується, що залишкові напруги у покриттях, як і тангенціальні напруження на межі поділу фаз «адгезив – субстрат», суттєво впливають на надійність та довговічність розроблених матеріалів при експлуатації транспортної техніки. Виходячи з цього, вважали за необхідне дослідити у даній роботі динаміку залишкових напруг у покриттях залежно від концентрації у полімері вибраного модифікатора.

Виявлено (рис. 4), що показники залишкових напруг у ненаповненому матеріалі мають значення $\rho = 1,4$ МПа. Також показано, що наявність у полімері ДМБК за вмісту 0,25 мас.ч. забезпечує зниження показника залишкових напруг до 0,9 МПа. Це автори даної роботи пояснюють впливом модифікатора у якості пластифікатора, що надає системі здатності деформуватись під час дії зовнішніх впливів. Зростання вмісту ДМБК до $q = 0,5...1$ мас.ч. забезпечує формування матеріалу, у

якому залишкові напруги мають значення 1,1...1,3 МПа. При цьому відмітимо, що такі матеріали також відзначаються найвищими показниками міцності адгезійних з'єднань серед усього спектру досліджуваних у роботі матеріалів. Можна констатувати, що такі композити містять максимальну кількість хімічних зв'язків на одиницю об'єму полімеру. Це безумовно позначається як на показниках міцності адгезійних з'єднань, так і на величині залишкових напруг у розроблених матеріалах.

Таким чином можна стверджувати, що у роботі визначено критичний вміст у епоксиді модифікатора ДМБК. Наповнення епоксидної смоли зазначеним модифікатором за оптимальної концентрації дозволить отримати матеріал для покриття засобів водного транспорту, який відзначається поліпшеними показниками міцності адгезійних з'єднань та незначними залишковими напругами. Можна стверджувати про доцільність і необхідність застосування розробленого покриття на транспорті.

ВИСНОВКИ

У статті вирішено актуальну науково-технічну задачу стосовно розробки нових модифікованих епоксидних композитів для підвищення експлуатаційно-ремонтних характеристик засобів водного транспорту з використанням ресурсозберігаючих підходів щодо модифікації захисних покриттів, а також при виборі структурних складових матеріалів на основі результатів дослідження процесів міжфазової взаємодії при формуванні гетерогенних систем. У результаті виконання роботи отримано такі основні результати:

1. Встановлено, що при отриманні матеріалів і покриттів на їх основі з підвищеними показниками міцності адгезійних з'єднань потрібно у полімер додавати модифікатор ДМБК за вмісту 0,5...1 мас.ч. на 100 % епоксидного полімеру та 10 % твердника ПЕПА. Такий підбір інгредієнтів забезпечить утворення композиту, який порівняно з ненаповненим полімером характеризується підвищеними показниками міцності адгезійних з'єднань за відриву у 1,5 рази, а міцності адгезійних з'єднань за зсуву у 1,2 рази.

2. Аналогічно досліджено динаміку залишкових напруг від кількості модифікатора у гомогенній системі і встановлено, що уведення добавки за вмісту 1 мас.ч. сприяє зменшенню показників залишкових напруг у матеріалах від 1,4 МПа до 1 МПа. Припускали, що це є важливим фактором збільшення довговічності покриттів у складних умовах експлуатації засобів транспорту. Також його необхідно застосовувати для підвищення експлуатаційно-ремонтних характеристик транспортної техніки.

У майбутньому авторами передбачено дослідити динаміку механічних та теплофізичних властивостей захисних покриттів від вмісту у полімері модифікатора.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Iurzhenko, M.; Mamunya, Y.; Seytre, G.; Boiteux, G.; Lebedev, E. The anomalous behavior of physical-chemical parameters during polymerization of organic-inorganic polymer systems based on reactive oligomers. *E-Polymers*. 2011, 11, pp.1618-722911.

2. Букетов А.В., Сапронов О.О., Алексенко В.Л. Епоксидні нанокompозити. Херсон: ХДМА, 2015. 184 с.

3. Ma H., Aravand M.A., & Falzon B.G. Phase morphology and mechanical properties of polyetherimide modified epoxy resins: A comparative study. *Polymer*. 2019. 179 [121640]. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.121640>

4. Davies, M.; Wang, Y.; Wong, P. Polymer composites in fire. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2006, 37(8), pp.1131-1141.

5. [Ameli A.](#), [Datla N.V.](#), [Papini M.](#) & [Spelt J.K.](#) Hygrothermal Properties of Highly Toughened Epoxy Adhesives. *The Journal of Adhesion*. 2010. V. 86 (7). P. 698-725. <https://doi.org/10.1080/00218464.2010.482405>

6. Brooker R. D., Kinloch A. J. and Taylor A. C. The morphology and fracture properties of thermoplastic-toughened epoxy polymers. *J. Adhesion*. 2010. 86. P. 726-741. DOI: 10.1080/00218464.2010.482415

7. Mohan, P.A. The modification, properties, and applications of epoxy resins. *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 2012, 52, pp. 107-125.

8. Букетов А.В., Гусев В.М., Кулініч А.Г., Сметанкін С.О., Юренін К.Ю., Соценко В.В. Модифіковані полімерні композити для ремонту транспортних засобів. Херсон: ТОВ Науковий парк ХДМА «Інновації морської індустрії», 2021. – 141 с.

REFERENCES

1. Iurzenko, M.; Mamunya, Y.; Seytre, G.; Boiteux, G.; Lebedev, E. The anomalous behavior of physical-chemical parameters during polymerization of organic-inorganic polymer systems based on reactive oligomers. *E-Polymers*. 2011, 11, rr.1618-722911.
2. Buketov A.V., Sapronov O.O., Aleksenko V.L. *Epoksydni nanokompozyty*. Kherson: KhDMA, 2015. 184 s.
3. Ma H., Aravand M.A., & Falzon B.G. Phase morphology and mechanical properties of polyetherimide modified epoxy resins: A comparative study. *Polymer*. 2019. 179 [121640]. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.121640>
4. Davies, M.; Wang, Y.; Wong, P. Polymer composites in fire. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2006, 37(8), rr.1131-1141.
5. Ameli A., Datla N.V., Papini M. & Spelt J.K. Hygrothermal Properties of Highly Toughened Epoxy Adhesives. *The Journal of Adhesion*. 2010. V. 86 (7). R. 698-725. <https://doi.org/10.1080/00218464.2010.482405>
6. Brooker R. D., Kinloch A. J. and Taylor A. C. The morphology and fracture properties of thermoplastic-toughened epoxy polymers. *J. Adhesion*. 2010. 86. P. 726-741. DOI: 10.1080/00218464.2010.482415
7. Mohan, P.A. The modification, properties, and applications of epoxy resins. *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 2012, 52, rr. 107-125.
8. Buketov A.V., Husyev V.M., Kulinich A.H., Smetankin S.O., Yurenin K.Yu., Sotsenko V.V. *Modyfikovani polimerni kompozyty dlya remontu transportnykh zasobiv*. Kherson: TOV Naukovyy park KhDMA «Innovatsiyi mors'koyi industriyi», 2021. – 141 s.

Buketov A.V., Shulga Yu.M., Zhytnyk D.V., Negrutsa R.Yu. Increasing the operational and repair characteristics of water transport vehicles by using polymer composites

The article shows that in order to increase the strength of adhesive joints of epoxy coatings to improve the operational and repair characteristics of water transport vehicles, it is necessary to add modifiers or other additives to the polymer. Currently, the modification of epoxy polymers is promising, since their filling with additives with a homeopathic content ensures an increase in the characteristics of the materials.

Note the need to choose a modifier that is chemically active for interaction with epoxy macromolecules. This approach takes into account both the physical nature of the additive and its chemical structure in the form of side groups and segments of the molecular chain at the micro level. It is important to use the modifier diaminoazobenzene carboxylic acid in the form of an active modifier for interaction with epoxy resin. Such a modifier contains active functional groups. It was believed that the vector of tests, which provides for the optimization of the content of the above-mentioned modifier in the epoxy polymer, according to the criteria of the strength of adhesive joints and, additionally, residual stresses, is important and relevant in improving the operational and repair characteristics of water transport vehicles.

When creating new materials, epoxy polymer is taken as a basis. Protective functional covers were stitched with PEPA hardener. Diaminoazobenzene carboxylic acid is used as a modifier.

It was established that when obtaining materials with increased strength of adhesive joints, it is necessary to add a modifier to the polymer at a content of 0.5...1 wt.% of 100% epoxy polymer and 10% PEPA hardener. Such a selection of ingredients will ensure the formation of a composite that, compared to the unfilled polymer, is characterized by 1.5 times higher tensile strength of adhesive joints, and 1.2 times higher shear strength of adhesive joints. It was believed that this is an important factor in increasing the durability of coatings in difficult operating conditions of vehicles.

Key words: transport; properties; operation; polymer; composite.

БУКЕТОВ Андрій Вікторович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних технологій та механічної інженерії, Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна, e-mail: buketov@tntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9836-3296

ШУЛЬГА Юрій Миколайович, асистент кафедри «Навігації і управління судном», Дунайський Інститут Національного Університету «Одеська Морська Академія», Одеса, Україна, e-mail: anbuk7777@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4144-1956

ЖИТНИК Данил Володимирович, доктор філософії, асистент кафедри транспортних технологій та механічної інженерії, Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна, e-mail: danylzhytnyk@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9836-3296

НЕГРУЦА Роман Юрійович, кандидат технічних наук, науковий співробітник кафедри транспортних технологій та механічної інженерії, Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна, e-mail: eadfgfdgbsdfbh@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9836-3296

Andrii BUKETOV, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of Transport Technologies and Mechanical Engineering, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, e-mail: buketov@tntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9836-3296

Yuriy SHULGA, assistant of the Department "Navigation and Ship Management", Danube Institute of the National University" Odesa Maritime Academy", Odesa, Ukraine, e-mail: anbuk7777@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4144-1956

Daniil ZHYTNYK, assistant of the department of transport technologies and mechanical engineering, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, e-mail: danylzhytnyk@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9836-3296

Roman NEGRUTSA, Ph.D., researcher at the Department of Transport Technologies and Mechanical Engineering, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, e-mail: eadfgfdgbsdfbh@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9836-3296

DOI 10.36910/automash.v2i21.1209