

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет митної справи, матеріалів, технологій та гостинності

(повне найменування факультету)

Кафедра матеріалознавства

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**ВПЛИВ МОДИФІКАТОРІВ НА
СТРУКТУРУВАННЯ І МЕХАНІЧНІ
ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИПОЛІМЕРІВ / THE
INFLUENCE OF MODIFIERS ON THE
STRUCTURING AND MECHANICAL
PROPERTIES OF EPOXY POLYMERS**

спеціальність 132 Матеріалознавство

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Індустріальний інжиніринг і менеджмент

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПМ(ПМ)-41

Солтис Михайло Володимирович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Боярська Інна Володимирівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

к.т.н., професор

Гарант освітньої програми:

Гусачук Дмитро Анатолійович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій

Кафедра матеріалознавства

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Індустріальний інжиніринг і менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри

ІМБІРОВИЧ Н.Ю.

“ ” 20 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Солтису Михайлу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вплив модифікаторів на структурування і механічні властивості епоксиполімерів

керівник роботи Боярська І.В., к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “31” 12.2025 р. № 540/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи
«23» травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи літературні джерела, властивості вихідних матеріалів, методи досліджень властивостей матеріалів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; Розділ 1. Технічне обґрунтування; Розділ 2. Експериментальна частина; Розділ 3. Технологічна частина та охорона праці; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Слайд 1– Вигляд зразків, схеми досліджень (1 л. ф. А4);

Слайд 2,4,6 – Дослідження властивостей (1 л. ф. А4);

Слайд 4 – Поверхня клейового шва після досліджень на адгезійну міцність (1 л. ф. А4);

Слайд 5 – Загальний вигляд поверхні епоксиполімерів після досліджень на ударну міцність (1 л. ф. А4);

Слайд 7 – Схема технологічного процесу (1 л. ф. А4);

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «03» січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Розділ 1. Технічне обґрунтування	05.05.2026 р.	
2	Розділ 2. Експериментальна частина	12.05.2026 р.	
3	Розділ 3. Технологічна частина та охорона праці	19.05.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Солтис М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Боярська І.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Солтис А.М. Вплив модифікаторів на структурування і механічні властивості епоксиполімерів. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Матеріалознавство» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Робота складається з текстової та графічної частин.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

Пояснювальна записка складається з 39 сторінок і містить такі розділи: технічне обґрунтування, експериментальна частина, технологічна частина.

Також пояснювальна записка містить 8 рисунків, 18 літературних джерела та додаток.

Графічна частина складається з 7 аркушів формату А4, які розміщені в додатку А.

Ключові слова: епоксиполімер, епоксикомпозит, структурування, термічнаа обробка, модифікатор.

					БР 3026.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вплив модифікаторів на структурування і механічні властивості епоксиполімерів	Літ.	Арк.	Акрушів	
Розробив		Солтис							
Перевірів		Боярська					3	39	
						ЛІНТУ			
Н. контр.		Мисковець				каф. матеріалознавства, гр. ПМ(ІІМ)- 41			
Затверд.		Імбірович							

ANNOTATION

Soltys A.M. The influence of modifiers on the structuring and mechanical properties of epoxy polymers. Manuscript.

Bachelor's qualification work in the field of "Materials Science" in specialty 132 Materials Science. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The work consists of textual and graphic parts.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of sources used, and appendices.

The explanatory note consists of 39 pages and contains the following sections: technical justification, experimental part, technological part.

The explanatory note also contains 8 figures, 18 literary sources and an appendix.

The graphic part consists of 7 sheets of A4 format, which are placed in Appendix A.

Keywords: epoxy polymer, epoxy composite, structuring, heat treatment, modifier.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	7
1.1. Загальні поняття про епоксиполімери та епоксидні смоли, їх застосування.....	7
1.2. Модифікація композитів на основі епоксидних полімерів.....	12
1.3. Висновки та постановка задач досліджень.....	15
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	17
2.1. Характеристика досліджуваних матеріалів	17
2.2. Методи дослідження властивостей та структурування розроблених епоксикомпозитних систем	18
2.3. Методи формування та обробки епоксикомпозитів.....	22
2.4. Обробка отриманих результатів досліджень, їх аналіз та узагальнення.....	23
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	31
3.1. Технології формування епоксикомпозитних покриттів.....	31
3.2. Аналіз виробництва для використання з точки зору безпеки праці та охорони навколишнього середовища.....	35
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Однією з актуальних задач сучасної техніки є розроблення нових композитних матеріалів, здатних гарантувати високу надійність і довговічність деталей машин та інженерних споруд. Композити – це матеріали, що характеризуються поєднанням компонентів із різною природою, завдяки чому вони можуть проявляти унікальні фізико-механічні властивості порівняно з традиційними конструкційними матеріалами, забезпечуючи при цьому раціональне використання енергетичних і сировинних ресурсів.

Створення нових композитних систем зумовлене необхідністю врахування умов інтенсифікації швидкісних і навантажувальних режимів роботи машин та механізмів, а також впливу агресивних середовищ. Сьогодні широкого застосування набули композити на неорганічній, металевій і полімерній основах, армовані наповнювачами різного функціонального призначення.

Композити на основі епоксидних смол відзначаються високими адгезійними властивостями, що обумовлено наявністю в їх структурі ефірних і полярних гідроксильних груп. Крім того, епоксикомпозитні матеріали характеризуються доброю технологічністю при виготовленні покриттів і формуванні суцільних виробів.

Метою роботи є дослідження особливостей формування полімерних матеріалів на основі епоксидно-діанової смоли ЕД-20 та встановлення закономірностей комплексного впливу кремнійорганічних модифікаторів марок КО-85 і КО-08 на структуру та експлуатаційні властивості епоксикомпозитів.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ТЕХГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

1.1. Загальні поняття про епоксиполімери та епоксидні смоли, їх застосування

Епоксидні полімери характеризуються поєднанням цінних властивостей – адгезійних, електроізоляційних та інших, – що в багатьох випадках зумовлює їх незамінність як основи для клеїв, лакофарбових матеріалів і армованих пластиків. Саме завдяки цьому епоксидні смоли посіли важливе місце серед промислових полімерів. Їх значущість визначається не лише обсягами виробництва, а передусім функціональною роллю, оскільки ці матеріали часто застосовують для виготовлення особливо відповідальних виробів. Виробництво, використання та створення нових епоксидних полімерів і композицій на їх основі інтенсивно розвиваються. Окрім практичного значення, ці полімери є зручними модельними системами для дослідження властивостей сітчастих структур.

Створення епоксидних композитних матеріалів передбачає науково обґрунтований підбір твердників, модифікаторів і наповнювачів, а також встановлення раціонального температурно-часового режиму тверднення. Оптимізація складу є необхідною умовою отримання композитів із високими фізико-механічними, теплофізичними, технологічними та експлуатаційними характеристиками.

До епоксидних смол належать сполуки, що містять більше ніж одну епоксидну (етиленоксидну або гліцидилову) групу, розташовану на кінцях чи вздовж основного ланцюга молекули або в циклічній структурі. Під епоксидною смолою також розуміють будь-яку молекулу з двома і більше α -епоксигрупами, здатну переходити в термореактивний стан. Завдяки високій реакційній здатності епоксидні групи взаємодіють із поліфункціональними сполуками, що містять активні атоми водню, унаслідок чого відбувається зшивання олігомерних молекул

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і формується просторова сітчаста структура. Перехід у термореактивний стан забезпечується введенням твердника.

До цієї групи матеріалів відносять також аліциклічні сполуки з кількома епоксидними групами, принаймні одна з яких знаходиться в циклі. Переважно це не олігомери, а індивідуальні речовини, які отримують шляхом окиснення органічних сполук із ненасиченими зв'язками. Аналогічним способом синтезують і олігомерні епоксидовані поліолефіни, в макромолекулах яких епоксидні групи розміщені вздовж головного ланцюга [1].

Сукупність цінних експлуатаційних характеристик епоксидних смол зумовила стрімке зростання обсягів їх виробництва та широке впровадження в різних галузях промисловості.

Рідкі епоксидні смоли являють собою низьков'язкі системи, які за введення відповідних твердників легко переходять у термореактивний стан. Вони відзначаються унікальним поєднанням властивостей, зокрема:

- низькою в'язкістю – рідкі смоли разом із твердниками формують текучі композиції, що добре піддаються переробці, формуванню та модифікації;

- простотою тверднення – процес зшивання відбувається швидко й ефективно в широкому температурному інтервалі (приблизно від 5 до 150 °С) залежно від типу застосованого твердника;

- мінімальною усадкою – під час тверднення смоли практично не змінюють об'єму, процес супроводжується незначним перегрупуванням структури та не спричиняє виділення газоподібних побічних продуктів;

- високою адгезійною здатністю – завдяки наявності в молекулярній структурі полярних гідроксильних і ефірних груп епоксидні смоли забезпечують міцне зчеплення з різними матеріалами. Невелика усадка під час тверднення запобігає виникненню структурних дефектів у зоні контакту, що дозволяє отримувати надійні з'єднання без застосування тривалого пресування чи високого тиску;

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– високими механічними показниками – значна міцність затверділих матеріалів частково пояснюється низькою усадкою, яка зменшує внутрішні напруження, що могли б знижувати експлуатаційні характеристики;

– відмінними електроізоляційними властивостями – епоксидні смоли є ефективними діелектриками;

– хімічною стійкістю – опір дії агресивних середовищ значною мірою визначається типом твердника. За правильного добору компонентів можна досягти дуже високої хімічної стійкості; більшість епоксидних систем добре протистоїть дії лугів і виявляє достатню стійкість до кислот;

– універсальністю застосування – властивості епоксидних композицій можна цілеспрямовано регулювати шляхом варіювання складу смоли, вибору твердника, а також введення модифікаторів і наповнювачів.

Таким чином, комплекс фізико-хімічних і технологічних переваг забезпечує епоксидним смолам провідне місце серед сучасних полімерних матеріалів.

Тверді епоксидні смоли. Основною сферою застосування смол на основі твердого дигліцидилового ефіру бісфенолу А є виробництво покриттів, що наносяться із розчинів. Смоли з підвищеною молекулярною масою за необхідності модифікують висихаючими оліями або метилолвмісними смолами для покращення їх технологічних властивостей. Структурна організація твердих епоксидних смол забезпечує їм еластичність, зносостійкість і підвищену хімічну стійкість. Поперечне зшивання середньомолекулярних твердих смол може бути реалізоване шляхом гомо- чи гетерополімеризації. За допомогою такого підходу одержують плівки, що здатні тверднути при кімнатній температурі і за своїми характеристиками не поступаються, а іноді й перевищують властивості покриттів більшості лаків гарячої сушки.

Високий рівень адгезійної здатності, легкість тверднення, значна механічна міцність і висока хімічна стійкість є важливими перевагами твердих епоксидних смол так само, як і для рідких епоксидних систем [2].

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Клас епоксидних сполук охоплює велику кількість речовин, проте в промисловій практиці як основні зв'язуючі для клеїв, лакофарбових та інших композиційних матеріалів переважно застосовують продукти взаємодії різних діолів (зокрема дифенілів і диоксибензонів) та поліфенолів з епіхлоргідрином. Це, як правило, олігомерні сполуки із середньою молекулярною масою в межах 300...4000. Провідне місце серед них посідають так звані діанові смоли [3].

Епоксидно-діанові смоли здатні тверднути як за підвищених температур, так і за умов кімнатної температури. Для холодного тверднення застосовують аліфатичні поліаміни лінійної або розгалуженої структури (діетилентриамін, поліетиленполіамін) у кількості 7...25 мас. ч. на 100 мас. ч. олігомеру. За нормальних умов процес тверднення завершується протягом 24...36 годин. Ароматичні діаміни забезпечують отверднення епоксидних смол при температурах 80...150 °С і сприяють формуванню матеріалів із підвищеною теплостійкістю [4].

Окрім здатності до тверднення, епоксидні смоли можуть комбінуватися з іншими типами смол і модифікуватися різноманітними добавками. Це дає змогу створювати нові композиційні матеріали з наперед заданими експлуатаційними властивостями.

Рідкі епоксидні смоли разом із рідкими твердниками формують системи, що добре піддаються модифікації та наповненню різними дисперсними компонентами. Вони легко переходять у термореактивний стан у широкому температурному інтервалі. Такі матеріали характеризуються достатньо високими механічними показниками; зокрема, значна міцність зумовлена малою усадкою під час тверднення, що сприяє зменшенню внутрішніх напружень і забезпечує герметичність виробів [5].

Нині випускається широкий асортимент епоксидних смол різних марок. Смоли ЕД-10, ЕД-16, ЕД-20, Е-33, Е-40 застосовують переважно у виробництві лакофарбових матеріалів, тоді як марки ЕА, ЕМДА, УП-610, УП-622А використовують для виготовлення литих, клеєвих і герметизувальних композицій.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Епоксидні смоли широко використовують як плівкоутворювачі в лакофарбових матеріалах, що призначені насамперед для антикорозійного захисту виробів і конструкцій, а також для захисту бетонних, пластмасових і дерев'яних поверхонь. У складі лакофарбових композицій їх часто модифікують іншими смолами — кам'яновугільними, алкідними, меламіноформальдегідними, нітратом целюлози, полісульфідами, низькомолекулярними каучуками тощо, що суттєво розширює сферу їх застосування.

Епоксидні лакофарбові матеріали представлені як традиційними системами з вмістом органічних розчинників на рівні 40...50 %, так і сучасними композиціями зі зниженим вмістом розчинників або повністю безрозчинниковими системами [1].

Матеріали з високим вмістом органічних розчинників умовно поділяють на дві групи. До першої групи належать системи, де основним плівкоутворювачем є діанові епоксидні олігомери (ЕД-20, Е-40, Е-41, Е-33, Е-45, Е-20, Е-49, Е-05К, Е-ООС тощо), а до другої – співконденсати цих олігомерів з іншими сполуками.

Серед матеріалів першої групи найбільшого поширення набули шпаклівки, ґрунтовки, лаки та емалі, де твердниками виступають поліаміни, включно з модифікованими варіантами. Такі матеріали застосовують для захисту від корозії та корозійно-ерозійного пошкодження виробів із сталі, легких сплавів і склопластиків, які експлуатуються в різноманітних атмосферних умовах, у прісній та морській воді, а також у ґрунті. Покриття демонструють стійкість до дії певних кислих середовищ, органічних розчинників та періодичного впливу бензину й масел [4].

Однокомпонентні епоксидно-фенольні матеріали використовують для захисту алюмінієвої тари, аерозольних упаковок та інших виробів. Плівки, що утворюються, відзначаються високою хімічною стійкістю, твердістю, механічною міцністю та адгезією, що дозволяє забезпечувати тривалий захист навіть при тонкому шарі покриття.

Початок форми

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кінець форми

Вирішення проблеми заміни лакофарбових матеріалів із високим вмістом органічних розчинників за допомогою епоксидних смол здійснюється за трьома основними напрямками:

- розробка водорозчинних композицій;
- створення рідких систем, у яких розчинником виступають активні сполуки, що беруть участь у формуванні просторової сітчастої структури;
- розробка порошкових фарб [3].

Рідкі епоксидні композиції без розчинників або з високим вмістом нелетких компонентів здатні тверднути під дією аміних сполук або комплексів кислот Льюїса (найчастіше – трьохфтористого бору). До складу таких систем входять активні розчинники (гліцидилові ефіри спиртів, фенолів) і неактивні компоненти, наприклад кам'яновугільна смола.

Застосування цих композицій дозволяє отримувати суцільні одношарові покриття значної товщини як на металах, так і на пористих матеріалах – бетоні та деревині. Емалі з вмістом розчинників не більше 7...10 % використовують для антикорозійного захисту обладнання нафтопромисловості, трубопроводів і транспортних конструкцій. Непігментовані системи такого типу застосовують для вологозахисту та електроізоляції плат. Використання подібних матеріалів дозволяє подвоїти термін служби виробів і конструкцій, що захищаються [1].

1.2. Модифікація композитів на основі епоксидних полімерів

Отримання нових модифікованих полімерних матеріалів із покращеними механічними, електрофізичними та іншими властивостями і їхнє впровадження в різні галузі техніки є важливою науково-технічною задачею. Зважаючи на високу технологічність та сумісність епоксидних смол із іншими полімерами, у світовій практиці широко застосовують їх модифікацію для регулювання параметрів структурної сітки та отримання матеріалів із заданими експлуатаційними характеристиками.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перспективним напрямком є модифікування епоксиполімерів кремнійорганічними сполуками. Однак наразі механізми структурування та процеси, що відбуваються під час формування та експлуатації епоксикремнійорганічних наповнених композитних матеріалів, досліджені недостатньо.

Під структурною модифікацією розуміють цілеспрямовану зміну топологічної та надмолекулярної організації полімера із постійним хімічним складом шляхом регулювання режимів його синтезу та тверднення [6]. Введення модифікаторів до складу епоксидних олігомерів змінює характер структурування макромолекулярної сітки матриці та сприяє формуванню тривимірної структури з заданими параметрами [7]. Такий направлений вплив дозволяє широко регулювати фізико-механічні та триботехнічні властивості композитів.

Відомо, що зниження ступеня структурування зменшує усадку під час тверднення, тоді як підвищення щільності міжмолекулярного зшивання сприяє підвищенню хімічної стійкості та термостійкості епоксидного полімеру [8]. Водночас надмірна щільність зшивання підвищує крихкість матеріалу. Найменший знос демонструють композити з оптимальним ступенем зшивання олігомеру. При незавершених процесах полімеризації епоксидний композиційний матеріал має низьку когезійну міцність і непридатний для експлуатації. Формування матеріалу з високим ступенем зшивання зменшує рухливість елементів сітки, що ускладнює релаксаційні процеси й призводить до утворення залишкових напружень у структурних елементах тривимірної сітки в'язучого [9]. Такі напруження підвищують ризик появи мікродефектів та різко знижують межу фрикційно-контактної втоми матриці, що визначає її зносостійкість.

Регулювання параметрів структурної сітки полімерної матриці здійснюється шляхом фізичного та хімічного модифікування. Хімічна модифікація передбачає, наприклад, зміну типу епоксидного або фенольного олігомеру [6]. Вибір модифікатора залежить від його впливу на матрицю. При задовільній сумісності олігомеру та модифікатора відбувається сумісна

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поліконденсація, що формує у затверділому матеріалі більш міцну та гнучку тривимірну макромолекулярну сітку. Введення фенолоформальдегідних олігомерів у епоксидну основу знижує внутрішні напруження композитного матеріалу завдяки інтенсифікації релаксаційних процесів на межах розділу епоксидних і фенолформальдегідних фрагментів матриці. Композиції на основі епоксидних смол модифікованих кремнійорганічними олігомерами характеризуються підвищеною ударною в'язкістю та термостійкістю системи [11]. Перспективність використання кремнійорганічних сполук обумовлено оптимальними технологічними властивостями – незначною залежністю в'язкості від температури, можливість експлуатуватися в широкому діапазоні додатніх та від'ємних температур.

При невеликому вмісті кремнійорганічних олігомерів в композиціях відбувається антипластифікація матриці епоксидного полімеру, що супроводжується ростом руйнівного напруження та модуля пружності при згині. Антипластифікація в даному випадку пов'язана з впорядкуванням структури полімера. При збільшенні вмісту кремнійорганічних олігомерів вказані характеристики знижуються, що характерно для пластифікації полімерів. З підвищенням межі міцності при розриві та модуля пружності спостерігається виділення другої фази, що призводить до зменшення крихкості композиції та підвищенню затрат енергії на розвиток тріщини. Тому кремнійорганічні полімери використовують для розробки зносостійкого покриття, яке має високу стійкість до механічних циклічних і теплових навантажень.

Підвищити термостійкість епоксидного полімеру можна шляхом його модифікації полісилоксанами, зокрема кремнійорганічним лаком марки КО-921. У затверділому стані цей модифікатор характеризується високою стабільністю кремнійорганічного скелету, а також ароматичних і аліфатичних фрагментів при підвищених температурах. Епоксикремнійорганічні полімери з вмістом КО-921 на рівні 30 мас. ч. на 100 мас. ч. епоксидної смоли демонструють максимальний ступінь структурування та мінімальні внутрішні напруження.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаткова високотемпературна термічна обробка, яка полягає у ступінчастому нагріві до кінцевої температури 483 К, виявилася оптимальною для таких систем, оскільки забезпечує максимальне підвищення фізико-механічних характеристик композиту. Виконання цієї термічної обробки дозволяє отримати матеріали з високою зносостійкістю ($I_g = 0,5$ мг/км) при питомому навантаженні 1,2 МПа та швидкості ковзання 1,5 м/с. Це досягається за рахунок формування оптимальної структурної сітки епоксиполімерної матриці та стабілізації процесів у зоні трибоконтакту завдяки утворенню самоорганізованих структур [12].

Таким чином, введення різнофункціональних модифікаторів у склад полімерної матриці забезпечує створення високоякісного композитного матеріалу, що дозволяє підвищити фізико-механічні характеристики та розширити сферу застосування епоксикомпозитів.

1.3. Висновки та постановка задач досліджень

На основі аналізу наукових даних і проведеного літературного огляду можна зробити такі висновки:

Перспективним матеріалом для основи полімеркомпозитів є епоксидно-діанова смола марки ЕД-20, яка відзначається технологічністю при переробці у виробі, забезпечує високу щільність матеріалу та демонструє добру сумісність з іншими полімерами. Епоксидні смоли завдяки своїм універсальним і унікальним властивостям отримали широке застосування в промисловості та техніці.

Для регулювання параметрів структурної сітки та отримання матеріалу з наперед заданими властивостями ефективно використовують модифікування епоксидних смол. При формуванні епоксикомпозитів важливим є науково обґрунтований підбір компонентів епоксисистеми та встановлення оптимального концентраційного співвідношення її елементів.

Дотримання оптимального технологічного режиму формування ЕКМ є достатньою умовою отримання виробів із високим ресурсом працездатності.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єкт досліджень – композитний матеріал на основі епоксидної смоли ЕД-20, модифікований кремнійорганічними модифікаторами марок КО-85 та КО-08.

Завдання досліджень:

- вивчення впливу кремнійорганічних модифікаторів на структуру і властивості ЕКМ;
- дослідження впливу температури формування епоксиполімерів;
- розробка методу ефективного змішування компонентів епоксисистеми.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1. Характеристика досліджуваних матеріалів

У дослідженні як вихідний компонент застосовано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20, виготовлену відповідно до вимог ДСТУ 10587-84. Даний матеріал являє собою в'язку прозору рідину світло-жовтого відтінку, що широко використовується як базове епоксидне в'язуче у виробництві полімерних композиційних матеріалів, клеїв, лакофарбових покриттів та захисних покриттів.

Смола ЕД-20 характеризується достатньо високим вмістом реакційно здатних епоксидних груп, масова частка яких становить 20,0...22,5 %, що забезпечує ефективне протікання процесів структурування під час взаємодії із затверджувачами. Вміст летких речовин у смолі знаходиться в межах 0,2...0,8 %, що свідчить про її стабільність та придатність до формування полімерної сітки при твердненні.

Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям епоксидно-діанова смола ЕД-20 забезпечує формування полімерних матеріалів із високими показниками міцності, адгезії, хімічної стійкості та низькою усадкою під час тверднення.

Для процесу тверднення епоксидних композицій у дослідженні використовували поліетиленполіамін (ПЕПА), виготовлений відповідно до вимог ТУ 6-02-594-70. Даний затверджувач широко застосовується для структурування епоксидних смол за нормальних та знижених температур, зокрема в умовах підвищеної вологості навколишнього середовища. ПЕПА належить до амінних затверджувачів і забезпечує ефективне формування тривимірної зшитої полімерної сітки в епоксидних системах, що сприяє підвищенню механічної міцності, адгезійних характеристик і хімічної стійкості отриманих матеріалів.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За зовнішнім виглядом поліетиленполіамін являє собою рідину від світло-жовтого до темно-бурого кольору без механічних домішок. Масова частка загального азоту в складі затверджувача становить не менше 30 %, що свідчить про достатню концентрацію активних амінних груп, здатних вступати в реакцію з епоксидними групами смоли під час процесу тверднення.

З метою регулювання структури та властивостей епоксидної матриці як модифікувальні добавки використовували кремнійорганічні лаки марок КО-85 та КО-08. Дані матеріали належать до кремнійорганічних сполук, які відзначаються високою термостійкістю, атмосферостійкістю та здатністю покращувати експлуатаційні характеристики полімерних композиційних матеріалів.

Кремнійорганічний лак марки КО-85 являє собою прозору рідину від безбарвного до світло-коричневого кольору без механічних домішок. Його умовна в'язкість становить 12...17 с, а масова частка нелетких речовин знаходиться в межах 15...17 %. Час висихання лакового покриття до ступеня 3 за нормальних умов не перевищує 2 годин. Використання даного модифікатора в епоксидних композиціях сприяє підвищенню теплостійкості, зменшенню внутрішніх напружень та покращенню адгезійних властивостей матеріалу.

Кремнійорганічний лак марки КО-08 має подібну хімічну природу та використовується для модифікації полімерних систем з метою підвищення їх термічної стабільності, атмосферостійкості та довговічності. Застосування таких кремнійорганічних модифікаторів у складі епоксидних композицій дозволяє цілеспрямовано регулювати структуру полімерної сітки та формувати матеріали з покращеними фізико-механічними й експлуатаційними властивостями.

2.2. Методи дослідження властивостей та структурування розроблених епоксикомпозитних систем

Вибір методів і методик дослідження властивостей епоксидних композиційних матеріалів (ЕКМ) здійснювали з урахуванням передбачуваних умов експлуатації виробів, а також необхідності оцінки їхньої працездатності за

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різних температурних режимів. Такий підхід дозволяє отримати об'єктивну інформацію про поведінку матеріалу в реальних умовах використання та визначити фактори, що впливають на формування його експлуатаційних характеристик.

З метою оцінювання конструкційної міцності розроблених матеріалів, а також встановлення впливу температурних факторів на їх властивості застосовували комплекс фізико-механічних методів дослідження. До них належать методи визначення ударної та адгезійної міцності, що дозволяють охарактеризувати здатність матеріалу чинити опір динамічним навантаженням і забезпечувати надійне зчеплення з різними поверхнями. Крім того, для аналізу особливостей формування полімерної структури використовували методи визначення ступеня структурування епоксидної матриці, які дають змогу оцінити ступінь зшивання полімерної сітки та повноту протікання процесів тверднення.

Комплексне застосування зазначених методів дослідження забезпечує можливість всебічної оцінки фізико-механічних властивостей епоксикомпозитів, встановлення взаємозв'язку між режимами формування, структурою матеріалу та його експлуатаційними характеристиками.

Зразки, що використовувалися для визначення ударної міцності, адгезійної міцності та ступеня структурування епоксидного композиту, наведені на рисунку 2.1.



					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок – 2.1 Загальний вигляд зразків для досліджень:

1 – вмісту гель-фракції; 2 – адгезійна міцність; 3 – ударна міцність

Ударну міцність покриттів на сталевих пластинах розміром 60х200 мм визначали згідно методики, суть якої полягає у кількісному визначенні енергії удару, необхідної для наскрізного пошкодження захисних покриттів при падінні з певної висоти ударника з наконечником каліброваного розміру ($d=8\text{мм}$). Для визначення міцності захисних покриттів застосовували установку, схема якої зображена на рисунку 2.2.

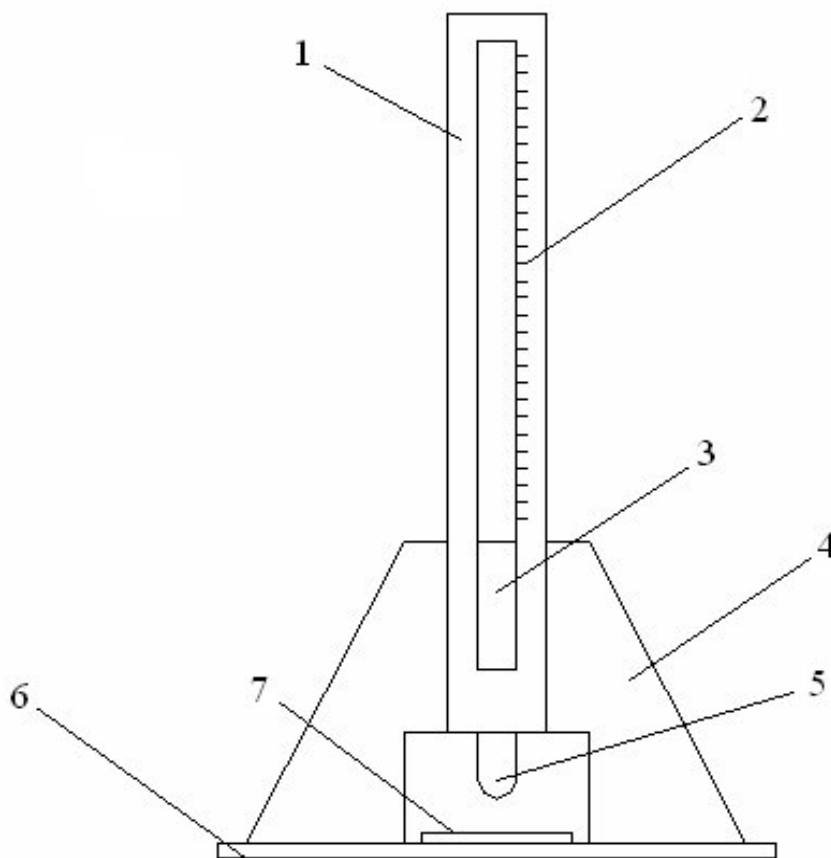


Рисунок 2.2 – Схема установки на ударну міцність:

1 – направляюча частина; 2 – шкала; 3 – змінний вантаж; 4 – опора; 5 – бійник; 6 – плита; 7 – досліджуваний зразок

Міцність покриттів при ударі вираховували за формулою:

$$A = mgh,$$

де m – маса ударника, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

h – висота падіння ударника, м.

Границю адгезійної міцності. Для проведення випробувань досліджувану композицію наносили на торцеві поверхні металевих стержнів (так званих «грибків»), що мали конічний виступ у зоні захватів, який забезпечував їх самовирівнювання під час навантаження. Після формування та тверднення клеєвого шару зразки піддавали випробуванню на розривній машині УММ-5. Навантаження прикладали шляхом переміщення нижньої траверси зі сталою швидкістю 2 мм/хв, що дозволяло визначити максимальне навантаження, при якому відбувалося руйнування адгезійного з'єднання.

Визначення границі міцності при зсуві проводили відповідно до ДСТУ 14760–69. Для цього використовували зразки у вигляді пластин зі сталі 45 розмірами 80×10×2 мм, які склеювали досліджуваною епоксидною композицією. Площа контактної поверхні склеювання грибків (пластин) становила 2 см². Після завершення процесу тверднення зразки піддавали механічному навантаженню до моменту руйнування клеєвого з'єднання, що дало можливість оцінити здатність матеріалу протидіяти зсувним напруженням та визначити рівень адгезійної взаємодії між полімерною матрицею і металевою поверхнею.

Межу адгезійної міцності визначали за формулою:

$$s_a = \frac{P}{S},$$

де P – навантаження, при якому відбулось руйнування клейового з'єднання, Н;

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

S – площа клейового з'єднання, см².

Ступінь тверднення матеріалів і покриттів визначали за вмістом гель-золь-фракції. Метод оснований на здатності частини матеріалу (плівки), не зв'язаної в полімерну сітку, вимиватися органічним розчинником в екстракторі Сокслета, який працював в автоматичному режимі [13].

Екстрагування зразків, виготовлених у вигляді пластин розміром 40×70 мм і товщиною до 0,5 мм, здійснювали в середовищі ацетону протягом 8 годин. Після завершення процесу екстракції зразки висушували при температурі 393 К до досягнення сталої маси.

Масу досліджуваних зразків як до проведення екстракції, так і після неї визначали за допомогою аналітичних лабораторних ваг з точністю до 0,0001 г, що забезпечувало високу достовірність результатів під час оцінювання ступеня структурування полімерної системи.

Вміст гель-фракції в плівці наповненої дисперсними частинками визначали за формулою:

$$G = 100 - \left(M_1 - M_2 \right) \times 100\% / M_0 ,$$

де M_1 , M_2 – маса патрона з наважкою плівки до і після екстракції;

M_0 – вміст плівкоутворюючої речовини в наважці плівки.

2.3. Методи формування та обробки епоксикомпозитів

Формування дослідних зразків здійснювали шляхом приготування однорідної епоксидної композиції, до складу якої вводили необхідні компоненти у визначених співвідношеннях. Кількісний вміст інгредієнтів розраховували залежно від об'єму зразків у масових частинах на 100 мас. ч. епоксидної смоли ЕД-20.

На початковому етапі готували суміш епоксидної смоли з кремнійорганічним модифікатором, після чого до отриманої композиції вводили твердник. Після додавання кожного компонента систему ретельно механічно

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перемішували для забезпечення максимальної однорідності суміші. Перемішування здійснювали при невеликій швидкості обертання мішалки, що дозволяло уникнути надмірного нагрівання композиції та запобігало насиченню її повітряними бульбашками.

Підготовлену епоксидну композицію наносили на заздалегідь підготовлену поверхню або заливали у спеціальні форми для отримання зразків необхідної конфігурації. Перед нанесенням матеріалу поверхню підкладки обробляли абразивним інструментом для створення потрібної шорсткості, після чого її знежирювали ацетоном, що сприяло покращенню адгезійної взаємодії полімеру з основою.

Процес тверднення епоксикомпозитів у нормальних умовах (за температури навколишнього середовища) тривав 24 години. Для підвищення ступеня структурування полімерної матриці та стабілізації властивостей матеріалу зразки додатково піддавали термічній обробці у лабораторній печі, причому відхилення температури в робочій зоні печі не перевищувало ± 2 К, що забезпечувало стабільність режиму термообробки та відтворюваність результатів досліджень.

2.4. Обробка отриманих результатів досліджень, їх аналіз та узагальнення

Експериментальні дослідження показали, що збільшення вмісту кремнійорганічного модифікатора понад 50 мас. ч. призводить до різкого погіршення фізико-механічних властивостей епоксикремнійорганічного полімеру. У зв'язку з цим дане значення було прийнято як гранично допустиму концентрацію модифікатора в композиції. Тверднення отриманих епоксидних систем проводили за кімнатної температури протягом 24 год, після чого зразки піддавали додатковій термічній обробці при температурі 180 °С упродовж 4 год, що сприяло підвищенню ступеня структурування полімерної матриці та стабілізації її експлуатаційних характеристик.

Особливу увагу приділяли дослідженню впливу кремнійорганічного модифікатора на адгезійно-міцнісні властивості епоксидного полімеру, оскільки

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

адгезія є одним із ключових параметрів при формуванні полімерних покриттів на металевих поверхнях та визначає довговічність і надійність захисного шару.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що найвище значення адгезійної міцності при нормальному відриві ($\sigma_a = 27,7$ МПа) серед досліджуваних композицій характерне для епоксикомпозиту, модифікованого кремнійорганічним лаком КО-08 у кількості 10 мас. ч. (рисунок 2.3). Такий результат можна пояснити формуванням у структурі матеріалу оптимальної просторової полімерної сітки, яка характеризується раціональною кількістю вузлів зшивання та забезпечує ефективну передачу навантаження між полімерною матрицею і поверхнею основи. Крім того, введення помірної кількості кремнійорганічного модифікатора сприяє покращенню змочування поверхні підкладки та підвищенню міжфазної взаємодії, що додатково позитивно впливає на адгезійні характеристики епоксидного покриття. Водночас надмірний вміст модифікатора може призводити до зниження щільності зшивання полімерної сітки та появи дефектів у структурі матеріалу, що негативно відображається на його механічній міцності та адгезії.

Рисунок 2.3 – Залежність адгезійної міцності від вмісту модифікатора: 1 – КО-85; 2 – КО-08

Введення кремнійорганічного модифікатора КО-85 до складу епоксидної композиції в кількості 10...30 мас. ч. сприяє підвищенню адгезійної міцності епоксиолімерів. Такий ефект пояснюється інтенсифікацією процесів структурування полімерної матриці та збільшенням кількості вузлів просторового зшивання між епоксидною смолою і модифікатором. Найвище значення адгезійної міцності при нормальному відриві ($\sigma_a = 24,6$ МПа) зафіксовано при введенні 30 мас. ч. модифікатора КО-85. Подальше збільшення його концентрації понад зазначене значення призводить до зниження адгезійних характеристик, що, ймовірно, зумовлено зменшенням ступеня структурування полімерної сітки та появою ділянок із недостатньою щільністю зшивання.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

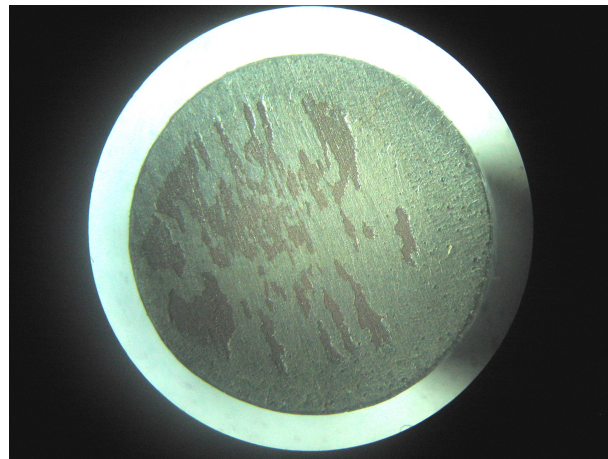
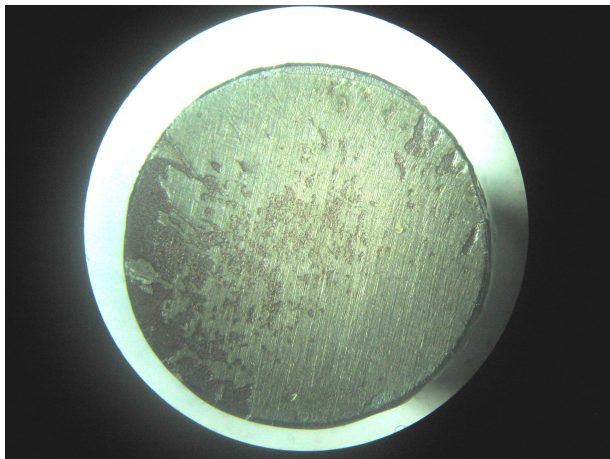
Аналогічні дослідження показали, що введення модифікатора КО-08 у кількостях 30 і 50 мас. ч. також супроводжується зниженням адгезійної міцності епоксидної матриці, яка становить відповідно 21,2 МПа та 22,9 МПа. При цьому встановлено, що адгезійна міцність епоксикомпозиту з 30 мас. ч. КО-08 є приблизно на 23,5 % нижчою, ніж у композиції, що містить 10 мас. ч. даного модифікатора. Максимальне значення адгезійної міцності для системи з модифікатором КО-08 досягається саме при його вмісті 10 мас. ч. і становить 27,7 МПа. Це пояснюється формуванням оптимальної просторової полімерної сітки з раціональною кількістю вузлів зшивання та мінімальним рівнем залишкових напружень у структурі матеріалу.

Зниження адгезійної міцності при підвищеному вмісті модифікатора (50 мас. ч.) підтверджується характером руйнування зразків, при якому переважає адгезійний механізм відриву під час випробувань на нормальний розрив. Це свідчить про послаблення міжфазної взаємодії між полімерною матрицею та поверхнею підкладки.

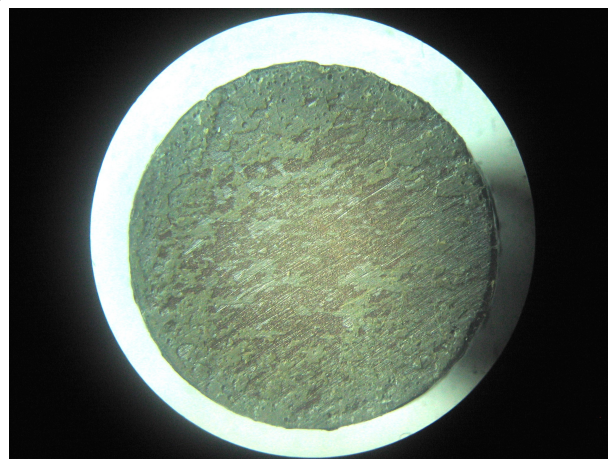
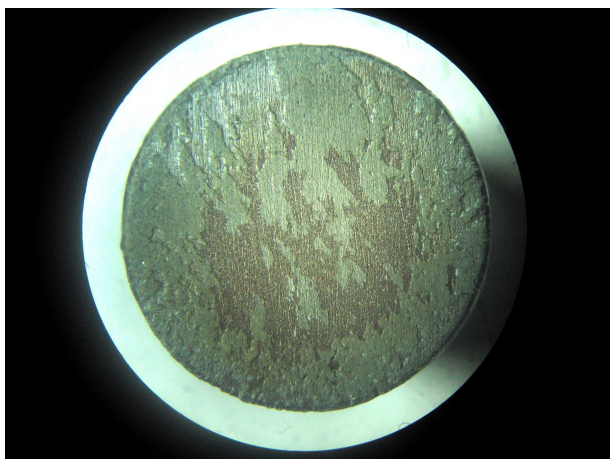
Дослідження морфології поверхні клейового шва (рисунок 2.4) показало, що для немодифікованого епоксиполімеру (рисунок 2.4, а) характерний переважно адгезійний тип руйнування, що обумовлено відносно низькою адгезійною здатністю полімерної матриці до металевої основи. При цьому встановлено, що руйнування відбувається безпосередньо по межі розділу «субстрат – полімерна матриця», що підтверджує недостатню міцність міжфазного зчеплення.

Водночас введення оптимальної кількості кремнійорганічних модифікаторів сприяє переходу від адгезійного до змішаного або когезійного механізму руйнування, що свідчить про підвищення міцності міжфазної взаємодії та формування більш досконалої структури полімерної матриці. Це, у свою чергу, позитивно впливає на експлуатаційні характеристики епоксикомпозитів, зокрема на їх довговічність, стійкість до механічних навантажень і надійність захисних покриттів.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а



б

Рисунок – 2.4 Поверхня клейового шва епоксиполімерів модифікованих КО-85 після досліджень на адгезійну міцність: а – без модифікатора; б – 30 мас. ч.

Експериментальні дослідження показали, що введення до складу епоксиполімеру 30 мас. ч. модифікатора забезпечує когезійний характер руйнування клейового шва (рисунок 2.4, б). Це пояснюється підвищенням адгезійної міцності матеріалу внаслідок утворення більш щільної та рівномірно зшитої полімерної матриці при оптимальній кількості вузлів зшивання.

Що стосується ударної міцності, то найвище значення ($A = 16,96$ Дж) було зафіксовано для епоксиполімерів, модифікованих КО-85 у кількості 10 мас. ч. (рисунок 2.5). Збільшення вмісту даного лаку понад 10 мас. ч. призводить до зниження ударної міцності, що обумовлено формуванням структурної системи з

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищеним внутрішнім напруженим станом та зменшенням здатності матеріалу до розсіювання енергії удару.

Введення модифікатора КО-08 у кількостях 30 та 50 мас. ч. супроводжується різким зниженням ударної міцності епоксидної матриці до 12,75 Дж та 13,25 Дж відповідно. Максимальна ударна міцність для КО-08 ($A = 15,5$ Дж) досягається при введенні модифікатора в 10 мас. ч., що також підтверджує існування оптимальної концентрації модифікатора, при якій забезпечується баланс між зшиванням полімерної матриці та її пластичністю.

Таким чином, помірне введення кремнійорганічних модифікаторів дозволяє значно підвищити ударні та адгезійні характеристики епоксикомпозитів, тоді як надмірне їх дозування призводить до погіршення механічних властивостей через підвищення внутрішніх залишкових напружень і зниження еластичності матеріалу.

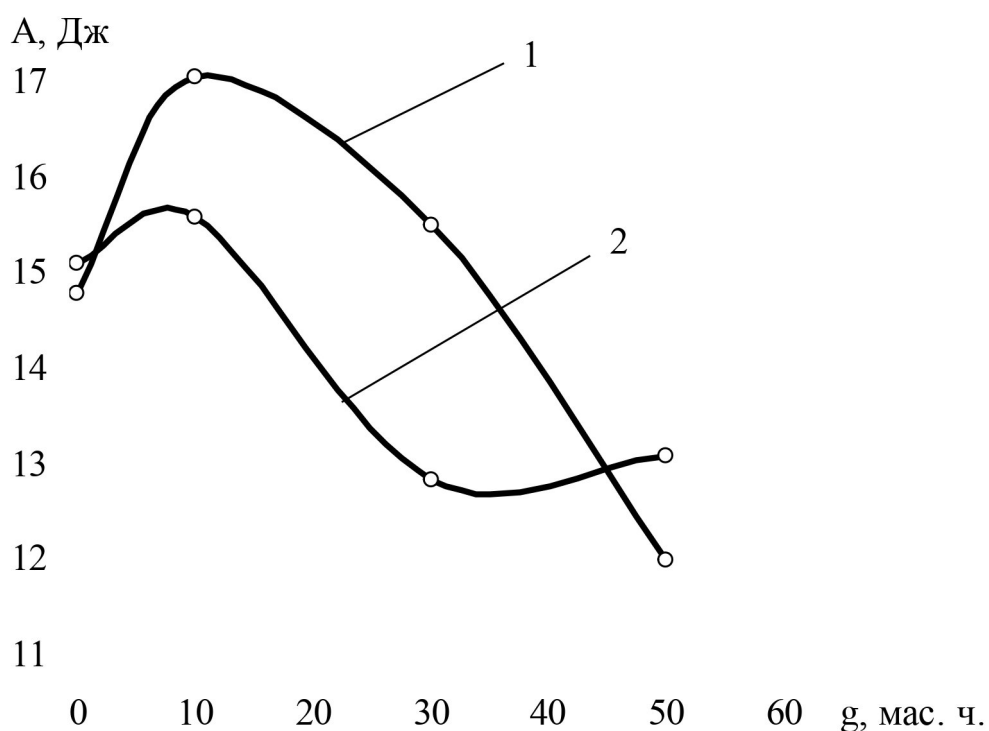


Рисунок 2.5 – Залежність ударної міцності від вмісту модифікатора:

1 – КО-85; 2 – КО-08

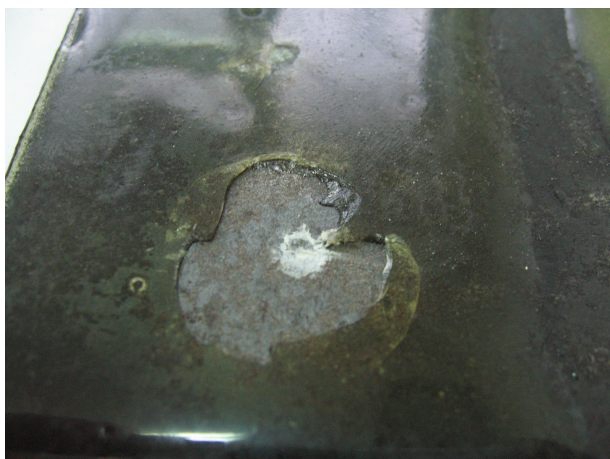
Дослідження показали, що немодифіковані епоксиполімери характеризуються низькою ударною міцністю, що підтверджується значною зоною руйнування нанесеного покриття (рисунок 2.6, а).

Максимальне значення ударної міцності спостерігається при введенні модифікатора КО-85 у кількості 10 мас. ч., коли при ударному навантаженні утворюється наскрізне пошкодження покриття без зон відшарувань і без розповсюдження тріщин (рисунок 2.6, б).

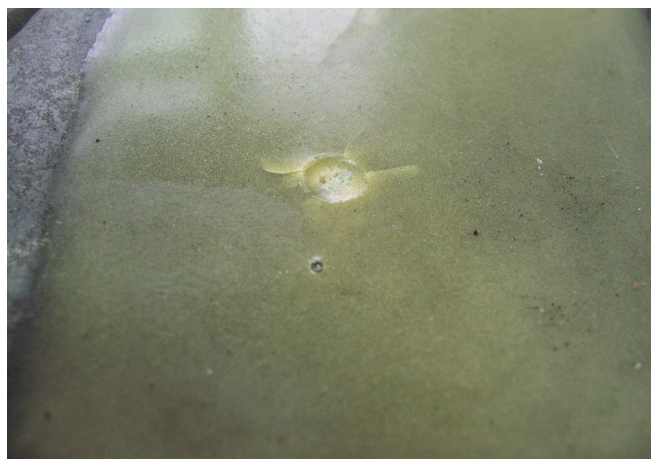
При збільшенні вмісту модифікатора до 30 мас. ч. зона руйнування покриття значно зростає (рисунок 2.6, в). Це явище пояснюється підвищенням залишкових напружень у матеріалі, що знижує здатність полімерної матриці ефективно поглинати ударну енергію.

Додаткове збільшення концентрації модифікатора до 50 мас. ч. призводить до катастрофічного руйнування покриття, що супроводжується викришуванням великих ділянок матеріалу (рисунок 2.6, г). Така поведінка свідчить про надмірну щільність зшивання та підвищений внутрішній напружений стан у полімерній матриці, що негативно впливає на її ударну стійкість і пластичність.

Отже, експериментально підтверджено, що оптимальна концентрація модифікатора КО-85 для досягнення максимальних ударних властивостей епоксикомпозитів становить 10 мас. ч., тоді як перевищення цієї межі призводить до значного зниження механічної міцності покриття.



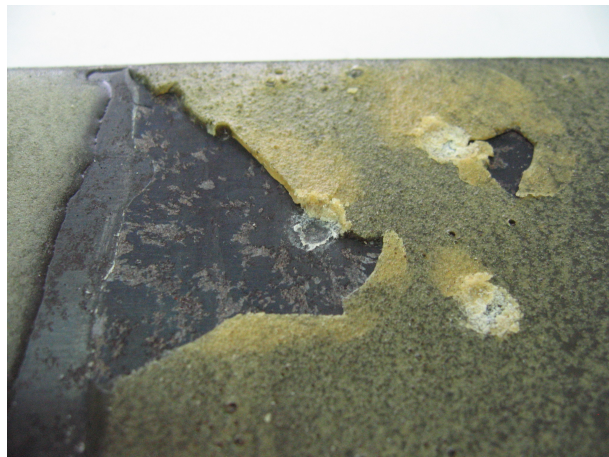
а



б



В



Г

Рисунок 2.6 – Загальний вигляд поверхні епоксиполімерів модифікованих КО-85 після досліджень на ударну міцність: а – без модифікатора; б – 10 мас. ч.; в – 30 мас. ч.; г – 50 мас. ч.

Експериментально встановлено, що найвищий ступінь структурування ($G=96,26\%$) серед модифікованих епоксидних полімерів характерний для епоксикомпозиту з вмістом модифікатора КО-08 30 мас. ч. (рисунок 2.7).

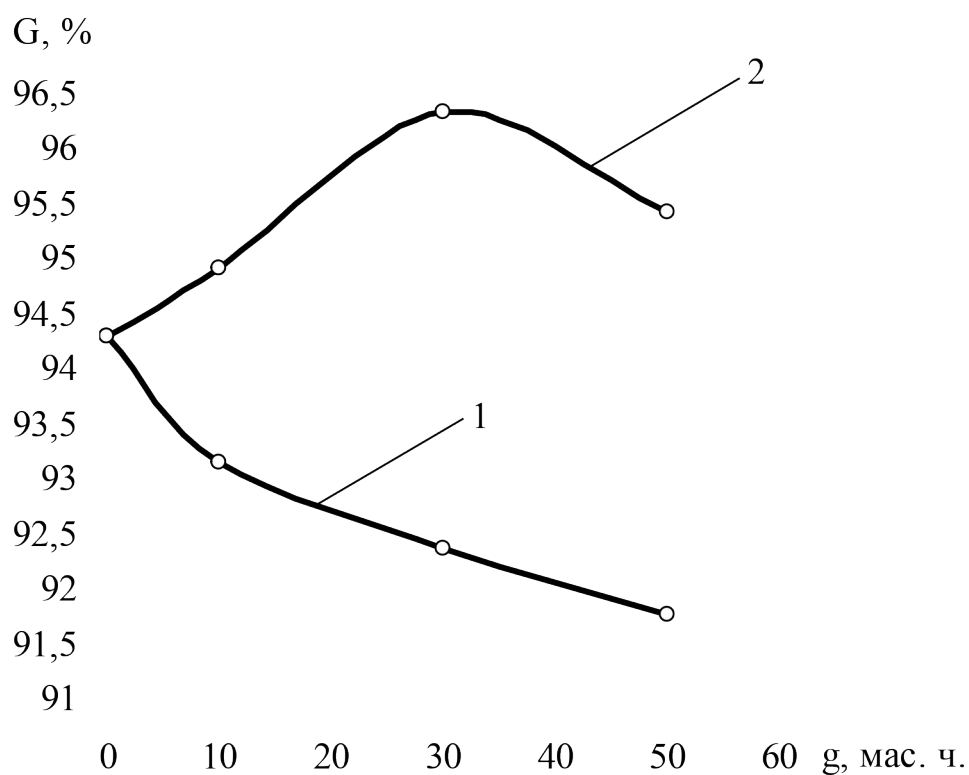


Рисунок 2.7 – Залежність вмісту гель-фракції від кількості модифікатора: 1 – КО-85; 2 – КО-08

Експериментальні дослідження показали, що збільшення вмісту модифікатора КО-85 понад 30 мас. ч. призводить до зниження вмісту гель-фракції. Це пояснюється тим, що при температурі 180 °С неможливо досягти утворення максимальної кількості вузлів зшивання через термодинамічну несумісність компонентів системи. Водночас встановлено, що для модифікатора КО-08 оптимальний вміст, необхідний для максимального структурування епоксикремнійорганічного полімеру, становить 30 мас. ч. на 100 мас. ч. епоксидної смоли. Це свідчить про його вищу ефективність у формуванні щільної та стабільної тривимірної сітки порівняно з модифікатором КО-85 і обґрунтовує доцільність його застосування для підвищення фізико-механічних властивостей епоксикомпозитів.

Таким чином, правильний вибір типу та концентрації кремнійорганічного модифікатора є ключовим фактором для забезпечення оптимального ступеня зшивання, високого вмісту гель-фракції та стабільності механічних характеристик епоксиполімерних матеріалів.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Технології формування епоксикомпозитних покриттів

Технологічний процес одержання епоксикомпозитних покриттів включає основні та допоміжні операції.

Основні операції визначають якість покриття:

- підготовка поверхні виробу;
- нанесення матеріалу;
- тверднення (сушіння) покриття.

Допоміжні операції покращують якість покриття:

- підготовка компонентів суміші;
- технологія їх змішування.

Схема технологічного процесу представлена на рисунку 3.1.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.1 Підготовка компонентів до формування. До підготовчих операцій відносяться:

- просушування;
- просіювання;
- дозування.

Просушування забезпечує видалення вологи з твердих компонентів, що критично для одержання стабільних фізико-механічних властивостей покриття. Для порошкоподібних наповнювачів застосовується конвективне сушіння, де матеріал контактує з гарячим повітрям у сушильній шафі [14].

Просіювання дозволяє видалити сторонні включення та шкідливі домішки, забезпечуючи однорідність суміші.

Дозування компонентів проводять за масою або об'ємом згідно з рецептурою, за допомогою аналітичних ваг [15]. Неправильне дозування може призвести до:

- надлишку наповнювачів → зниження фізико-механічних властивостей;
- надлишку в'язучого → підвищення коефіцієнту тертя та температури тертя, погіршення якості покриття.

3.1.2 Технологія змішування компонентів. Механічне змішування є однією з ключових стадій технології, яка визначає:

- режим переробки;
- однорідність суміші;
- якість кінцевого виробу;
- продуктивність процесу;
- безпеку праці.

Компоненти вводять у змішувач окремо із заданою швидкістю. Застосовують роторні змішувачі, куди наповнювач і в'язуче завантажують поетапно. Однорідність суміші забезпечує необхідні фізико-механічні властивості покриття.

3.1.3 Підготовка поверхні виробу. Експлуатаційні властивості покриття залежать від чистоти та способу підготовки поверхні:

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- видалення корозії, окалини, забруднень (жири, мастила);
- вибір методу очищення залежно від матеріалу, розмірів і конструктивних особливостей виробу.

Механічні методи: піскоструменева обробка – очищення абразивом під тиском, ефективна для внутрішніх і зовнішніх поверхонь, продуктивність до 40 м²/год.

Хімічні методи:

- знежирювання, травлення, видалення старих покриттів, фосфатування;
- застосовують лужні розчини, органічні розчинники, емульсії;
- для підвищення ефективності вводять ПАР (поверхнево-активні речовини);
- солі: NaOH, Na₂CO₃, Na₂SiO₃, Na₃PO₄, Na₄P₂O₇, Na(PO₃)₆.

У роботі для очищення днища автомобілів застосовували знежирювання розчинниками фарб.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

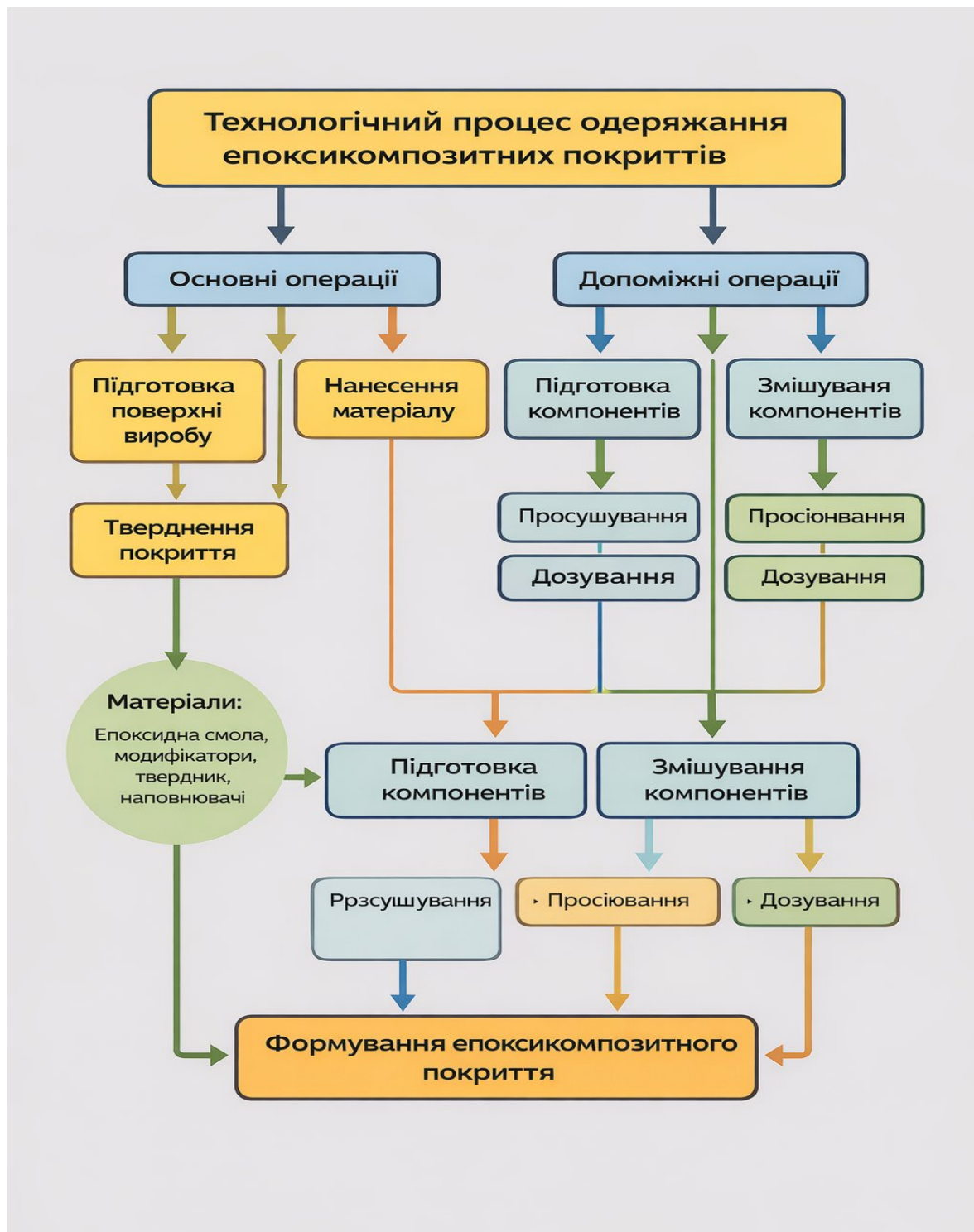


Рисунок 3.1 – Структурована схему технологічного процесу

3.1.4 Способи нанесення епоксиполімерних покриттів. Сучасні методи нанесення включають:

- пневматичне розпилення;
- електростатичне;
- безповітряне розпилення;
- електроосадження.

Ці методи дозволяють автоматизувати процес, підвищити якість покриття та знизити витрати матеріалу [16].

Розпилення: рідкий матеріал перетворюється на аерозоль і осаджується на поверхні. Важливі параметри:

- розмір частинок (оптимально 30...60 мкм);
- концентрація, полідисперсність, стабільність.

Розпилення під високим тиском:

економія матеріалу; менше розчинника; можливість зменшення кількості шарів та збільшення їх товщини; обмеження: вузькі та ґраткові форми, матеріали з високим вмістом наповнювачів.

3.1.5 Тверднення покриттів. Тверднення визначає якість та довговічність покриття. Враховують:

- тип епоксиполімеру;
- розмір та конфігурацію виробу;
- економічність та енергоємність процесу.

Типи тверднення:

– природне – на відкритій площадці або в приміщенні (12...25 °С, вологість ≤65 %).

Переваги: простота, енергозбереження, застосування на великогабаритних виробках. Недоліки: тривалість, неможливість автоматизації;

– штучне – нагрівання, світло, радіація для прискорення формування плівки. Використовують аеродинамічні печі та інфрачервоні лампи.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Аналіз виробництва для використання з точки зору безпеки праці та охорони навколишнього середовища

3.2.1. Загальна характеристика хімічних речовин у технологічному процесі.

При виробництві полімерних покриттів використовується значна кількість різноманітних хімічних речовин, що виконують функції: вихідних або проміжних матеріалів технологічних процесів; побічних і допоміжних продуктів; компонентів готової продукції.

Внаслідок виробничої діяльності в повітря приміщень можуть надходити шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах. Основними речовинами, які становлять небезпеку при нанесенні епоксидних покриттів, є: епоксидна смола, поліетиленполіаміни, толуол, ацетон, вуглеводні [17].

3.2.2. Шляхи потрапляння шкідливих речовин в організм людини. Шкідливі речовини можуть проникати в організм людини через:

- дихальні шляхи – основний шлях надходження парів, газів та пилоподібних речовин;
- шкіру та слизові оболонки – проникнення переважно рідких компонентів, прискорене порізами чи ранами;
- органи травлення – під час ковтання або контакту з забрудненими руками.

Найбільшу небезпеку становлять пари та гази, що швидко всмоктуються через легені та разносяться кровообігом по всьому організму.

3.2.3. Токсичність компонентів полімерних матеріалів. Більшість компонентів епоксидних композицій характеризуються низькою токсичністю та не викликають загрозливих для життя фізіологічних порушень. Твердники та деякі розчинники можуть спричиняти подразнення шкіри та слизових оболонок. При великій кількості речовини здатні викликати шлунково-кишкові та респіраторні порушення. Рідини епоксидних смол не викликають подразнення при контакті зі шкірою, проте твердники у складі композицій здатні подразнювати тканини.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.4. Електробезпека та статична електрика. На виробництві можливі травми через вплив електричного струму: дотик до неізольованих струмопровідних частин електрообладнання; використання несправних ручних інструментів; робота без захисних засобів та запобіжних пристроїв; дотик до незаземлених корпусів електрообладнання; порушення правил експлуатації електроустановок [18].

Більшість полімерів є діелектриками, тому на виробництві поширене явище статичної електризації. Іскрові розряди зазвичай не небезпечні фізично, проте можуть спричинити рефлекторні рухи та травмування.

3.2.5. Заходи безпеки при роботі з полімерними покриттями:

- індивідуальні засоби захисту: респіратори, рукавички, захисний одяг, окуляри;
- вентиляція приміщень: постійна циркуляція та очищення повітря;
- контроль та підготовка матеріалів: фільтрація, очищення від домішок;
- електробезпека: заземлення обладнання, перевірка інструментів;
- антистатичні заходи: використання антистатичних пристроїв, уникнення іскор;
- навчання персоналу: інструктажі та тренінги з охорони праці.

Основним шляхом потрапляння шкідливих речовин у організм є дихальні шляхи. Небезпечними для здоров'я компонентами є твердники та розчинники. Дотримання правил охорони праці та використання засобів індивідуального захисту значно знижує ризик професійних захворювань та травм. Контроль статичної електрики та правильна експлуатація електрообладнання є обов'язковими для безпечного виробництва [18].

ВИСНОВКИ

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі аналізу літературних джерел та проведених експериментальних досліджень встановлено закономірності впливу кремнійорганічних модифікаторів марок КО-85 та КО-08 на структуру та фізико-механічні властивості епоксикомпозитних матеріалів. Досліджено вплив цих модифікаторів на процеси структурування композитів на основі епоксидної смоли ЕД-20 та на їх основні механічні характеристики.

Визначено оптимальні концентраційні співвідношення компонентів системи «епоксидно-діанова смола ЕД-20 – кремнійорганічний модифікатор», що забезпечують підвищення адгезійно-механічних властивостей матеріалів порівняно з немодифікованими аналогами.

Зокрема, максимальна адгезійна міцність при нормальному відриві ($\sigma_a=27,7$ МПа) спостерігається для епоксикомпозиту, модифікованого 10 мас. ч. КО-08, що пояснюється формуванням у матеріалі структурної сітки з оптимальною кількістю вузлів зшивання.

Найвищі значення ударної міцності ($A=16,96$ Дж) зафіксовані для епоксикомпозитів з 10 мас. ч. модифікатора КО-85. Експериментально встановлено, що максимальний ступінь структурування ($G=96,26$ %) серед модифікованих полімерів досягається у композиції з 30 мас. ч. КО-08.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування кремнійорганічних модифікаторів для покращення фізико-механічних властивостей епоксикомпозитів за рахунок створення сприятливих умов для фізико-хімічної взаємодії компонентів системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник / Є.О. Джур, Л.Д. Кучма, Т.А. Манько та ін. – К.: Вища освіта, 2003. – 399.: іл.
2. ДСТУ ISO 4618:2013 – Фарби та лаки. Терміни та визначення понять.
3. ДСТУ ISO 2808:2019 – Фарби та лаки. Визначення товщини плівок покриттів.
4. ДСТУ 4219-2003 – Визначення еластичності епоксидних та поліуретанових покриттів.
5. Богданов В.В., Слинько П.М. Фізикохімічні основи полімеризації та структурування епоксидних композицій. – Київ : Наук. думка, 2011. – 432 с.
6. Горобець В.П. Технологія лакофарбових покриттів : навч. посібник. – Харків : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2018. – 364 с.
7. Левченко М.І. Вплив температурних режимів на структуру та властивості епоксидних покриттів. – Дис. канд. техн. наук : ХНУ, 2017. – 214 с.
8. Романчук О.Т., Шевченко І.С. Особливості структурування полімерних покриттів при ступінчастому нагріванні. – Журнал «Полімери», 2020. – №3(45). – С. 56–68.
9. Ткаченко В.О., Павленко С.Б. Методи оцінювання гел'фракції та механічних властивостей епоксидних покриттів. – Журнал «Матеріали та технології», 2021. – №2. – С. 99–114.
10. Бондаренко Ю.М., Петренко І.В. Тепломасообмін при сушінні полімерних покриттів. – Журнал «Теплотехніка та теплопостачання», 2018. – №5. – С. 42–56.
11. Хімія та технологія лакофарбових матеріалів : збірник наукових праць / ред. кол. : І.В. Пилипенко та ін. – Київ : КНУБА, 2019. – 512 с.
12. Горобець В.П. Технологія лакофарбових покриттів : навч. посібник. – Харків : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2018. – 364 с.

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. СанПиН 2.2.4.1191-03. Гігієнічні вимоги до мікроклімату та шуму на виробництві.

14. Смирнов А.П., Технологія лакофарбових покриттів. – К., 2016.

15. ДСТУ EN 61140:2015. Електробезпека та заземлення.

16. Литвиненко В.В., Практикум з охорони праці в хімічному виробництві. – Львів, 2019.

17. ДСТУ ISO 45001:2020. Системи управління охороною праці.

18. Кириченко І.В., Безпека виробничих процесів при обробці полімерів. – Київ,

					БР 3026.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		