

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТІВ

У 2 і 3 розділах було наведено результати дослідження впливу дисперсних наповнювачів різної хімічної і магнітної природи, а також способів оброблення композицій енергетичними полями на експлуатаційні характеристики епоксидних композитних матеріалів (КМ). Оскільки у різних галузях промисловості України розроблені композити в основному застосовують у вигляді захисних покриттів, нами звернено увагу на технологію формування багат шарових покриттів та їх поведінку в умовах експлуатації [138].

4.1. Технологія формування захисних покриттів

Основними напрямками підвищення ресурсу роботи машин і механізмів є розробка нових матеріалів для покриттів, які забезпечують необхідний комплекс фізико-механічних властивостей, корозійну та зносостійкість, а також багаторазове відновлення робочих поверхонь [143]. Покриття мають мати високу адгезію до захищуваної поверхні, безпористість, механічну міцність контакту, теплостійкість та інертність до агресивних середовищ. Важливе значення мають технологічність і висока питома міцність при нанесенні на деталі складного профілю, економічність і довговічність, що дозволяє значно скоротити трудові і матеріальні затрати на ремонтні роботи та металоємкість кольорових сплавів.

Відомі захисні покриття характеризуються високими показниками адгезійної і когезійної міцності, значними теплофізичними властивостями, а також достатньою корозійною і зносостійкістю [144 - 146]. Попереднє магнітне оброблення і ультрафіолетове опромінення олігомерних композицій забезпечує високі тиксотропні властивості гетерогенних систем і міжфазову взаємодію, що поліпшує когезійну міцність захисних покриттів. Висока твердість і міцність узгоджуються з достатньо великими показниками ударної в'язкості, а термін експлуатації покриттів становить 5 -

7 років, що дає змогу знизити норми витрат матеріалів і трудоємкість проведених робіт. Важливим фактором, що відзначає техніко-економічні переваги нових покриттів є можливість нанесення композитів в технологічних приміщеннях при різних температурних режимах без використання спеціального обладнання.

Основними галузями використання покриттів є харчова, хімічна, нафтопереробна, радіолокаційна промисловість і машинобудування. Об'єкти для промислового впровадження захисних покриттів вибрано після докладного аналізу агресивності технологічних і допоміжних середовищ, температурних режимів експлуатації устаткування, термінів його роботи і масштабів виробництва.

Для підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування розроблено кілька технологій формування покриттів з використанням попереднього оброблення інгредієнтів олігомерних композицій енергетичними полями. Запропоновані технології охоплюють такі операції.

Покриття 1-3. Основне призначення – підвищення адгезійних, фізико-механічних, теплофізичних властивостей і циклічної міцності технологічного обладнання.

1. Підготування поверхні, яке полягає у знежирюванні та видаленні забруднень, окалини та іржі піскоструминним обробленням або обробленням закріпленими абразивами.

2. Приготування композицій: дозування компонентів і їх змішування, підготовка наповнювачів (оброблення дисперсних часток ультразвуком). Після отримання однорідних фракцій порошки просушують у сушильній шафі при температурі 323 – 353К протягом 2год. Підготовлені компоненти змішують.

3. Оброблення композицій енергетичними полями. Попередньо встановлено (розділ 3) оптимальні режими оброблення композицій енергетичними полями і оптимальний вміст дисперсних часток різної фізичної природи:

- при формуванні покриття 1, що містить оксид міді (80мас.ч.) і ферит (40мас.ч.) на 100мас.ч. епоксидного олігомера залежно від використання покриття проводять

ультрафіолетове опромінення смоли ЕД-20 з магнітним обробленням наповнювача, або магнітне оброблення композиції з наступним її ультрафіолетовим опроміненням;

- при формуванні покриття 2, що містить коричневий шлам (80мас.ч.) і оксид хрому (40мас.ч.) на 100мас.ч. епоксидного олігомера опромінюють ультрафіолетом смолу ЕД-20 та обробляють магнітним полем наповнювач;
- при формуванні покриття 3, що містить цемент (80мас.ч.) і газову сажу (20мас.ч.) на 100мас.ч. епоксидного олігомера залежно від використання застосовують три варіанти комплексного оброблення:
 - а) ультрафіолетове опромінення смоли ЕД-20, потім вводять наповнювач і проводять магнітне оброблення композиції;
 - б) ультрафіолетове опромінення смоли ЕД-20 і магнітне оброблення наповнювача;
 - в) магнітне оброблення композиції з наступним її ультрафіолетовим опроміненням.

Після змішування компонентів до утворення однорідної суміші вводять твердник у стехіометричному співвідношенні безпосередньо перед нанесенням матеріалу на поверхню, що потребує захисту.

Покриття 4. Основне призначення – підвищення зносостійкості технологічного устаткування.

1. Підготування поверхні.

2. Приготування композицій.

3. Оброблення композицій енергетичними полями. Встановлено режим оброблення композиції енергетичними полями і оптимальний вміст дисперсних часток різної фізичної природи:

- вміст основного наповнювача (ферит) – 80мас.ч. на 100мас.ч. епоксидного олігомера;

- вміст додаткового наповнювача (електрокорунд) – 40мас.ч. на 100мас.ч. епоксидного олігомера;

- спосіб модифікування полягає в обробленні композицій за режимом: ультрафіолетове опромінення смоли ЕД-20 з подальшим магнітним обробленням наповнювача.

Після змішування компонентів композиції вводять твердник у стехіометричному співвідношенні безпосередньо перед нанесенням матеріалу на поверхню, що потребує захисту.

Наносять матеріали для покриття будь-яким відомим способом. Найбільш продуктивним і технологічним є метод пневматичного розпилення, який дозволяє наносити рівномірні за товщиною шари матеріалу на поверхні складної конфігурації.

4.2. Вплив агресивних середовищ на повзучість композитів

Вимоги до підвищення надійності деталей та вузлів механізмів і машин при довгостроковому використанні в умовах впливу агресивних середовищ можна задовільнити, застосовуючи композитні покриття (КП) з комплексом високих експлуатаційних характеристик [136, 138]: адгезійними, фізико-механічними, теплофізичними, діелектричними, корозійною і зносостійкістю.

Важливою характеристикою полімеркомпозитних покриттів є повзучість під впливом зовнішніх навантажень, яка залежить від складу і структури наповнених матеріалів [128]. Введення наповнювачів у олігомерний зв'язувач зумовлює виникнення хімічної і фізичної взаємодії на межі поділу фаз “полімер-наповнювач”, яка залежить від хімічної активності наповнювача та топології його поверхні [121, 122, 137]. Попереднє магнітне оброблення і ультрафіолетове опромінення епоксидних композицій дозволяє суттєво покращити експлуатаційні, у тому числі і фізико-механічні, властивості гетерогенних матеріалів. Тому перспективним, з наукової і практичної точки зору, є дослідження поведінки як необроблених, так і модифікованих енергетичними полями епоксикомпозитів під впливом зовнішніх навантажень у агресивних середовищах.

Крім того, важливим є дослідження комплексного оброблення інгредієнтів композиції (на попередній стадії її

формування) постійним магнітним полем та ультрафіолетовим опроміненням. Композитні матеріали формували введенням у зв'язувач двокомпонентного дисперсного наповнювача, що дозволяє підвищити когезійні характеристики КМ. Виходячи з результатів попередніх досліджень фізико-механічних та теплофізичних властивостей нами вибрано, враховуючи хімічну і магнітну природу двокомпонентного дисперсного наповнювача, різні варіанти комплексного оброблення інгредієнтів матриці (п. 3.2-3.4).

Результати досліджень показують (рис. 4.1 - 4.3, табл. 4.1), що у агресивному середовищі (промислове мастило марки И-20) поведінка досліджуваних композитів суттєво відрізняється, залежно від варіанту комплексного попереднього оброблення інгредієнтів композицій енергетичними полями. Показано (рис. 4.1 - 4.3), що будь-який з вибраних варіантів комплексного оброблення забезпечує у згаданому середовищі зниження абсолютного значення прогину зразка після початкового навантаження на 10 - 23% в усіх, без винятку, матеріалах. Крім того встановлено, що коефіцієнт повзучості, а також відносна деформація зменшуються на 12 - 26%, порівняно з необробленим матеріалом, залежно від варіанту комплексного оброблення (табл. 4.1). Оптимальними варіантами комплексного оброблення інгредієнтів матриці енергетичними полями для зменшення повзучості і поліпшення релаксаційних властивостей КМ при експлуатації є магнітне оброблення наповнювача з подальшим ультрафіолетовим опроміненням смоли (варіант 2) або ультрафіолетове опромінення смоли з подальшим магнітним обробленням композицій (варіант 4). Таке комплексне оброблення епоксидних композицій енергетичними полями забезпечує зменшення коефіцієнта повзучості на 24 - 26% і відносної деформації зразків на 67 - 70% протягом експерименту. Це свідчить про високі показники когезійної міцності модифікованих епоксикомпозитів, що підтверджено дослідженнями вказаних матеріалів на вміст гель-золь-фракції. Встановлено, що в результаті такого комплексного оброблення композицій енергетичними полями вміст гель-фракції у матриці збільшується на 4 - 6% залежно від варіантів оброблення.

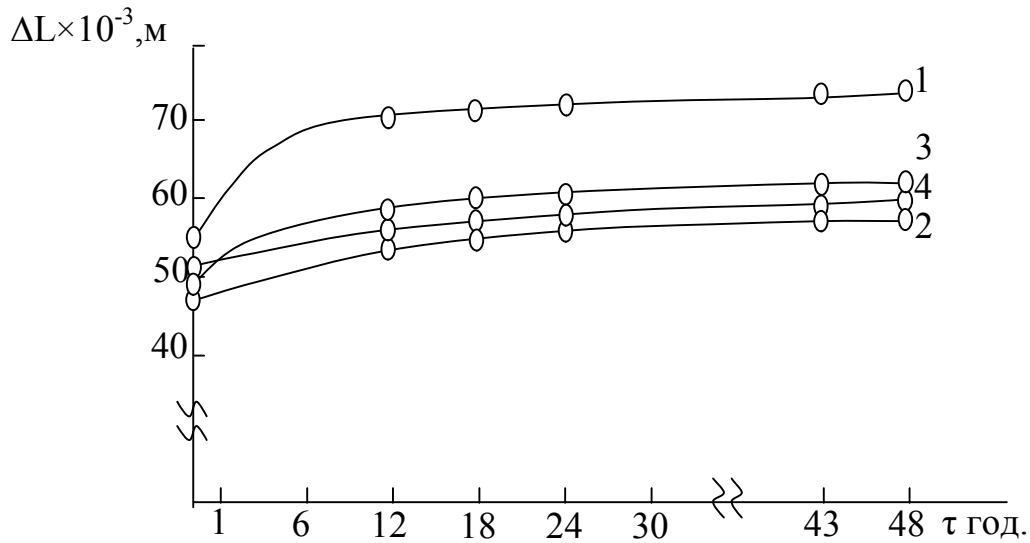


Рис. 4.1. Залежність повзучості епоксикомпозитів на основі епоксидної матриці і двокомпонентного дисперсного наповнювача (основний наповнювач цемент – 80мас. ч., додатковий наповнювач газова сажа – 20мас.ч. на 100мас. ч. епоксидної смоли ЕД-20) від варіанту оброблення (1-4) композиції енергетичними полями в умовах впливу промислового мастила И-20.

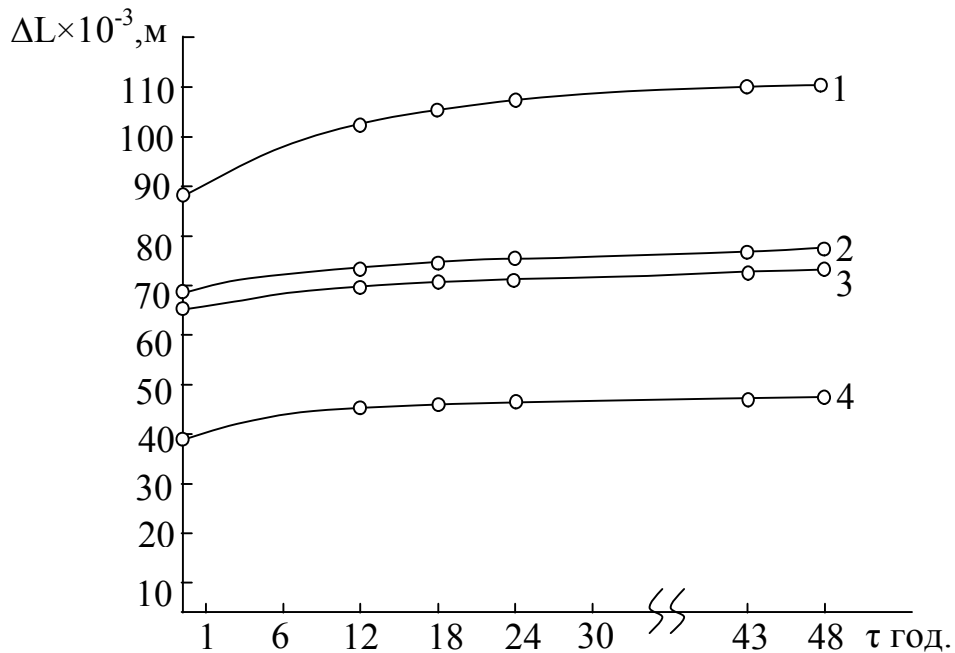


Рис. 4.2. Залежність повзучості епоксикомпозитів на основі епоксидної матриці і двокомпонентного дисперсного наповнювача (основний наповнювач оксид міді – 80мас. ч., додатковий наповнювач ферит – 40мас.ч. на 100мас. ч. епоксидної смоли ЕД-20) від варіанту оброблення (1-4) композиції енергетичними полями в умовах впливу промислового мастила И-20.

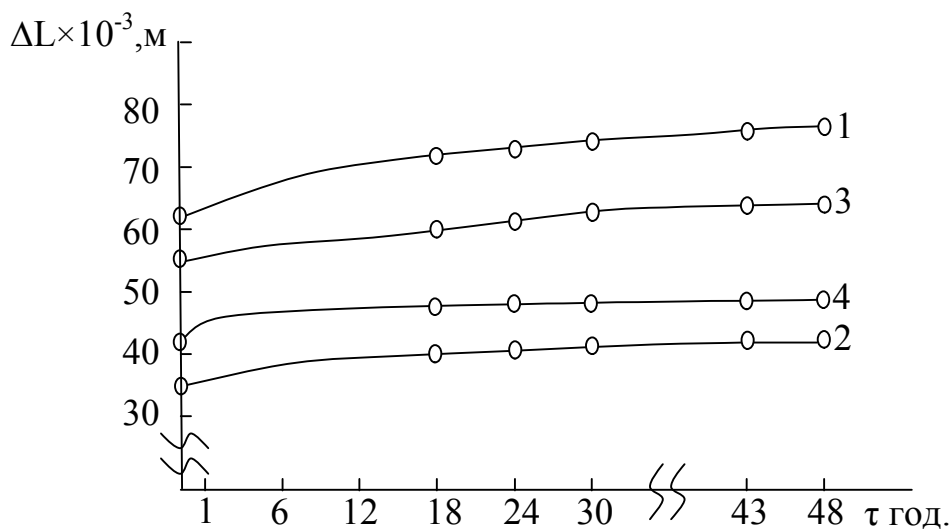


Рис. 4.3. Залежність повзучості КМ на основі епоксидної матриці і двокомпонентного дисперсного наповнювача (основний наповнювач коричневий шлам – 80мас. ч., додатковий наповнювач оксид хрому – 20мас.ч. на 100мас. ч. смоли ЕД-20) від варіанту оброблення (1-4) композиції енергетичними полями в умовах впливу промислового мастила И-20.

Враховуючи, що покриття із запропонованих матеріалів призначенні для захисту технологічного устаткування у харчовій і хімічній промисловості наступним етапом було проведення досліджень релаксаційних властивостей КМ в середовищі 3%-ного розчину NaOH. Експериментально встановлено (рис. 4.4 - 4.6, табл. 4.2), що незалежно від модифікування комплексом енергетичних полів коефіцієнт повзучості і відносна деформація зразків зменшуються, порівняно з необробленими епоксикомпозитами. При цьому зазначимо, що залежно від вибраного варіанту двокомпонентного дисперсного наповнювача ефективними є усі попередньо вибрані варіанти комплексного оброблення епоксидних композицій енергетичними полями.

Таблиця 4.1

Залежність повзучості КМ від варіанту їх оброблення енергетичними полями в умовах впливу промислового мастила И-20

Варіанти оброблення	Наповнювач								
	Цемент (80 мас. ч.) + газова сажа (20 мас. ч.)			Оксид міді (80 мас. ч.) + ферит (40 мас. ч.)			КШ (80 мас. ч.) + оксид хрому (20 мас. ч.)		
	Значення прогину зразка після початкового навантаження, $l_p \cdot 10^{-3}, \text{м}$	Коефіцієнт повзучості, Кп	Відносне значення прогину зразка, $\varepsilon, \%$	Значення прогину зразка після початкового навантаження, $l_p \cdot 10^{-3}, \text{м}$	Коефіцієнт повзучості, Кп	Відносне значення прогину зразка, $\varepsilon, \%$	Значення прогину зразка після початкового навантаження, $l_p \cdot 10^{-3}, \text{м}$	Коефіцієнт повзучості, Кп	Відносне значення прогину зразка, $\varepsilon, \%$
1 варіант	56	1,29	22,22	88	1,25	20,00	62	1,23	18,42
2 варіант	48	1,16	14,29	69	1,12	10,38	35	1,15	12,50
3 варіант	49	1,24	19,67	65	1,12	9,72	55	1,13	11,29
4 варіант	51	1,16	13,56	38	1,19	15,55	42	1,15	12,50

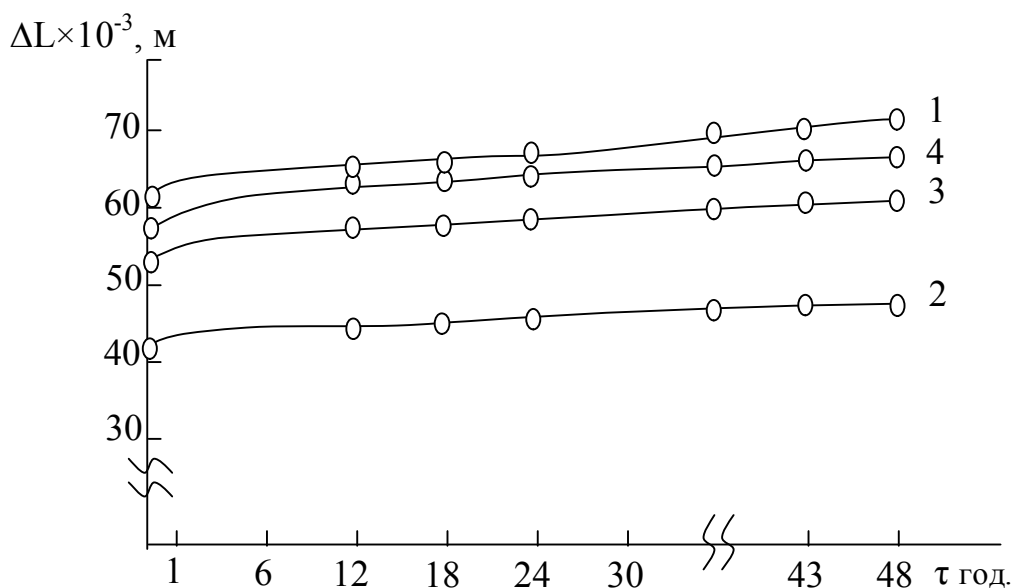


Рис. 4.4. Залежність повзучості епоксикомполітів на основі епоксидної матриці і двокомпонентного дисперсного наповнювача (основний наповнювач цемент – 80мас. ч., додатковий наповнювач газова сажа – 20мас.ч. на 100мас. ч. епоксидної смоли ЕД-20) від варіанту оброблення (1-4) композиції енергетичними полями в умовах впливу 3%-ного розчину NaOH.

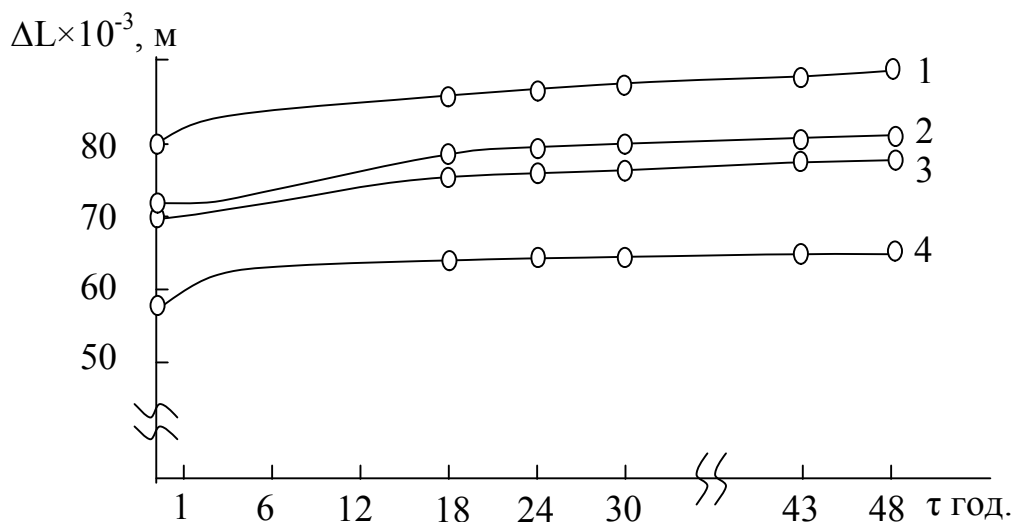


Рис. 4.5. Залежність повзучості епоксикомполітів на основі епоксидної матриці і двокомпонентного дисперсного наповнювача (основний наповнювач оксид міді – 80мас. ч., додатковий наповнювач ферит – 40мас.ч. на 100мас. ч. епоксидної смоли ЕД-20) від варіанту оброблення (1-4) композиції енергетичними полями в умовах впливу 3%-ного розчину NaOH.

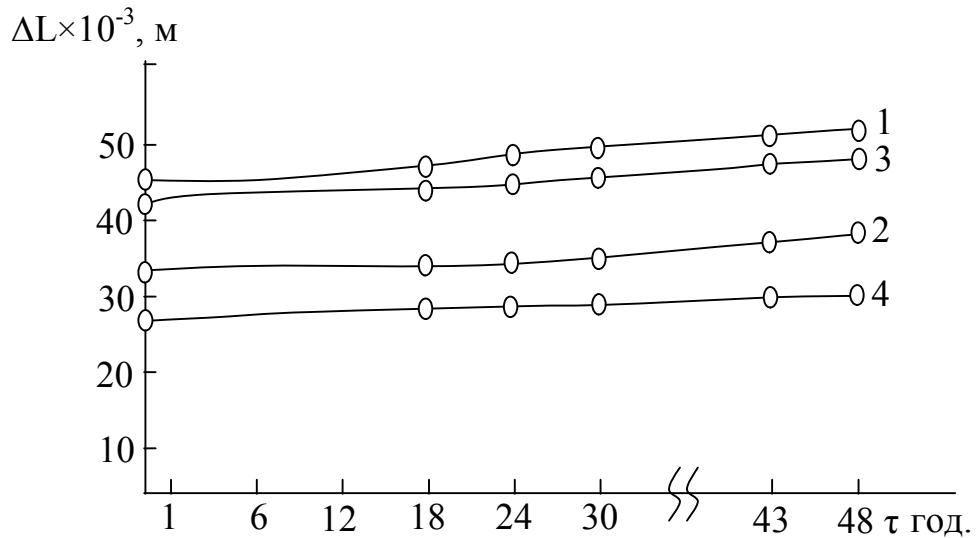


Рис. 4.6. Залежність повзучості епоксикомпозитів на основі епоксидної матриці і двокомпонентного дисперсного наповнювача (основний наповнювач коричневий шлам – 80мас. ч., додатковий наповнювач оксид хрому – 20мас.ч. на 100мас. ч. епоксидної смоли ЕД-20) від варіанту оброблення композиції енергетичними полями в умовах впливу 3%-ного розчину NaOH.

Наприклад, для покриття з наповнювачем – (цемент + газова сажа) найбільш оптимальними є другий і третій варіанти комплексного оброблення. Водночас для покриттів, що містять наповнювач (оксид міді + ферит), а також – (КШ + оксид хрому) оптимальним варіантом комплексного оброблення є третій і четвертий варіанти. Такий ефект поліпшення властивостей модифікованих епоксикомпозитів є наслідком впливу двокомпонентного дисперсного наповнювача на процеси структуроутворення при зшиванні КМ. Попереднє комплексне оброблення інгредієнтів композиції (варіант 2 - 4) у будь-якому випадку поліпшує міжфазову взаємодію при структуроутворенні композитів, а, відповідно, й експлуатаційні характеристики матеріалу.

Таблиця 4.2

Залежність повзучості КМ від варіанту їх оброблення енергетичними полями в умовах впливу 3%-ного розчину NaOH

Варіанти оброблення	Наповнювач								
	Цемент (80 мас. ч.) + газова сажа (20 мас. ч.)			Оксид міді (80 мас. ч.) + ферит (40 мас. ч.)			КШ (80 мас. ч.) + оксид хрому (20 мас. ч.)		
	Значення прогину зразка після початкового навантаження, $l_p \cdot 10^{-3}, \text{м}$	Коефіцієнт повзучості, Кп	Відносне значення прогину зразка, $\varepsilon, \%$	Значення прогину зразка після початкового навантаження, $l_p \cdot 10^{-3}, \text{м}$	Коефіцієнт повзучості, Кп	Відносне значення прогину зразка, $\varepsilon, \%$	Значення прогину зразка після початкового навантаження, $l_p \cdot 10^{-3}, \text{м}$	Коефіцієнт повзучості, Кп	Відносне значення прогину зразка, $\varepsilon, \%$
1 варіант	61	1,15	12,85	80	1,12	11,11	45	1,13	11,76
2 варіант	41	1,12	10,86	72	1,11	10,00	33	1,12	10,81
3 варіант	53	1,13	11,67	70	1,09	7,89	42	1,12	10,63
4 варіант	58	1,12	10,76	58	1,10	9,38	27	1,10	10,00

Отже встановлено, що комплексне оброблення інгредієнтів композитного матеріалу ультрафіолетовим опроміненням і магнітним полем поліпшує властивості епоксикомпозитів у 1,2 - 1,8 рази. У результаті проведених досліджень запропоновано варіанти оброблення інгредієнтів матеріалу комплексом енергетичних полів. Встановлено, що, залежно від хімічної і магнітної природи та оптимального вмісту двокомпонентного дисперсного наповнювача зменшується коефіцієнт повзучості, абсолютне значення прогину зразка після початкового навантаження та відносна деформація матеріалу на 10 - 26% протягом усього часу досліджень порівняно з необробленими КМ.

4.3. Дослідження зносостійкості захисних покриттів

У п. 3.4, 3.5, 4.2 описано склад розроблених епоксикомпозитів і досліджено вплив різних способів оброблення композицій енергетичними полями на основні властивості захисних покриттів, зокрема адгезійну, циклічну міцність і повзучість композитних матеріалів. Створення нових і суттєве поліпшення властивостей відомих композитів на основі епоксидних матриць потребує вивчення механізму їх формування в умовах впливу різноманітних зовнішніх факторів, а також врахування комплексу фізико-механічних явищ, що описують вказані процеси [131]. При цьому зношування, у тому числі і гідроабразивне, є першопричиною руйнування обладнання внаслідок утворення дефектів і тріщин у поверхневому шарі деталей і вузлів машин технологічного устаткування, що значно знижує їхню експлуатаційну надійність. Вирішення сучасних проблем міцності деталей машин, що мають складну геометричну форму, тісно пов'язане з аналізом їхнього напружено-деформованого стану, для визначення якого відомих розрахункових методів та емпіричних даних є недостатньо. Значні труднощі виникають при оцінці напруженого стану реальних об'єктів у процесі експлуатації в умовах гідроабразивного зношування внаслідок комплексного

впливу зовнішніх факторів, які призводять до появи деформацій і накопичення пошкоджень матеріалу.

На попередньому етапі проводили дослідження з метою визначення впливу оброблення композицій ультрафіолетовим опроміненням (УФО) і магнітним полем на зносостійкість епоксидних КМ, що містять дисперсні наповнювачі з різним вмістом. Відносну зносостійкість композитів при дії гідроабразиву визначали за допомогою методики випробування матеріалів і покриттів на газоабразивну зносостійкість з допомогою відцентрового прискорювача (ГОСТ 23201-78), що дозволяє моделювати реальні процеси зношування деталей. Швидкість обертання ротора відцентрового прискорювача становила 3000об/хв. Як гідроабразив використано суміш технічної води і абразивних часток у співвідношенні 5:1 у об'ємі. Випробування зразків з розміром 20x10x4мм проводили при зміні кута атаки гідроабразиву у інтервалі $\alpha = 30 - 90^\circ$. Для порівняння зносостійкості КМ як еталон використано зразок зі сталі Ст.3.

Відносну зносостійкість визначали за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\delta_e}{\delta_3}, \quad (4.1)$$

де:

δ_e – втрата маси загального зразка, кг;

δ_3 – втрата маси досліджуваного зразка, кг.

Експериментально встановлено, що при збільшенні вмісту дисперсних часток в епоксидному зв'язувачі зносостійкість захисних покриттів зростає незалежно від природи наповнювача (табл. 4.3, табл. 4.4).

Таблиця 4.3

Вплив ультрафіолетового оброблення, вмісту наповнювача і кута гідроабразивного потоку на відносну зносостійкість композитів

Наповнювач	Вміст наповнювача q , мас.ч.	Відносна зносостійкість, ϵ									
		Кут атаки, град									
		30		45		60		75		90	
		-	УФО	-	УФО	-	УФО	-	УФО	-	УФО
Матриця		0,28	0,30	0,26	0,28	0,20	0,21	0,16	0,19	0,19	0,25
Оксид хрому	20	0,37	0,39	0,32	0,34	0,25	0,29	0,19	0,25	0,24	0,29
	50	0,39	0,42	0,34	0,37	0,29	0,34	0,24	0,28	0,28	0,34
	80	0,56	0,59	0,52	0,54	0,42	0,48	0,40	0,44	0,46	0,51
Газова сажа	20	0,40	0,42	0,35	0,38	0,32	0,39	0,30	0,34	0,34	0,41
	50	0,52	0,56	0,50	0,53	0,46	0,50	0,42	0,48	0,48	0,53
	80	0,74	0,78	0,69	0,76	0,64	0,70	0,58	0,61	0,64	0,70
Електрокорунд	20	0,51	0,56	0,48	0,51	0,46	0,49	0,32	0,38	0,47	0,57
	50	0,62	0,64	0,58	0,62	0,54	0,59	0,46	0,52	0,52	0,59
	80	0,91	0,98	0,87	0,92	0,82	0,87	0,78	0,84	0,72	0,80

Таблиця 4.4

**Вплив магнітного оброблення, вмісту наповнювача і кута гідроабразивного потоку
на відносну зносостійкість композитів**

Наповнювач	Вміст наповнювача q, мас.ч.	Відносна зносостійкість, ϵ									
		Кут атаки, град									
		30		45		60		75		90	
		-	МО	-	МО	-	МО	-	МО	-	МО
Матриця		0,28	0,32	0,26	0,29	0,20	0,26	0,16	0,23	0,19	0,28
Цемент	20	0,41	0,43	0,37	0,40	0,32	0,36	0,28	0,32	0,37	0,40
	50	0,49	0,51	0,47	0,50	0,44	0,48	0,38	0,42	0,45	0,50
	80	0,60	0,61	0,58	0,63	0,52	0,58	0,49	0,52	0,56	0,62
КШ	20	0,40	0,46	0,37	0,45	0,32	0,39	0,30	0,37	0,36	0,46
	50	0,48	0,51	0,45	0,50	0,40	0,49	0,35	0,39	0,36	0,46
	80	0,57	0,63	0,50	0,57	0,44	0,46	0,40	0,44	0,47	0,56
Ферит	20	0,48	0,54	0,46	0,56	0,41	0,47	0,32	0,39	0,42	0,49
	50	0,54	0,60	0,50	0,59	0,47	0,53	0,40	0,47	0,44	0,51
	80	0,71	0,78	0,68	0,75	0,63	0,69	0,57	0,67	0,62	0,70

Максимальну зносостійкість мають полімеркомпозити, наповнені електрокорундом і феритом, при вмісті обох наповнювачів 80мас.ч. на 100мас.ч. матриці ($\epsilon = 0,74 - 0,91$). Більш вагомий вплив цих наповнювачів на значення відносної зносостійкості КМ зумовлений високою твердістю часток і значною когезійною міцністю епоксикомполімерів, що підтверджено дослідженнями фізико-механічних властивостей матеріалів. Експериментально встановлено кореляційну залежність відносної зносостійкості КМ і їхніх фізико-механічних властивостей. Показано, що при збільшенні вмісту дисперсного наповнювача у матриці показники руйнівного напруження і зносостійкості монотонно зростають, причому вказана залежність не є лінійною. Оптимальні значення характеристик лежать у межах вмісту наповнювача – 80 - 100мас.ч. на 100мас.ч. зв'язувача, при цьому формується тиксотропна структура композиту з максимальним змочуванням дисперсних часток. Збільшувати вміст наповнювача не доцільно внаслідок недостатньої змочуваності наповнювача, бо при фрикційній взаємодії композиту з вільним гідроабразивом проходить більш інтенсивне видалення матеріалу, також суттєво збільшуються залишкові напруження, що зумовлює передчасне руйнування матеріалу та погіршує його експлуатаційні характеристики.

Для усіх досліджуваних епоксикомполімерів характерне зниження зносостійкості і підвищення інтенсивності зношування при збільшенні кута атаки гідроабразивної суміші під час експлуатації покриття. При малих кутах атаки реалізується пружнопластичний ковзальний контакт абразивних часток з поверхнею КМ і зношування відбувається внаслідок багатократного пластичного передеформування поверхневого шару матеріалу абразивом.

Внаслідок ковзальної дії гідроабразивної суміші, інтенсивність зношування незначна, оскільки нормальна складова зусилля при контактній взаємодії має невеликі значення. Аналіз результатів досліджень показує, що найменшу відносну зносостійкість КМ спостерігали при куті атаки гідроабразивного

поток, який становить 75° (табл. 4.3, табл. 4.4). Механізм зношування матеріалу у цьому випадку ґрунтується на мікрорізанні при достатньо високих дотичних напруженнях та багатоцикловій втомлюваності матеріалу з утворенням мікророзривів, внаслідок максимальних нормальних напружень. Зниження інтенсивності зношування при куті атаки, який становить 90° , зумовлено зменшенням величини пластичної деформації при одночасному зростанні її пружної складової. Це приводить до зменшення дефектності структури поверхневого шару і підвищує зносостійкість епоксикомпозитів. При куті атаки 90° відбиті частки попереджують удари зустрічного потоку абразиву, що збільшує зносостійкість у даній системі.

Експериментально встановлено, що попереднє УФО і магнітне оброблення забезпечують зростання зносостійкості матриці і композитів на 15 - 20% незалежно від вмісту наповнювача у них. Позитивний вплив УФО зумовлений активізацією міжфазової взаємодії між компонентами гетерогенної системи за рахунок утворення, під впливом УФО, активних радикалів і їх рекомбінації у подальшому при зшиванні матеріалу. При цьому утворюється композит з більш зшитою структурою, а збільшення когезійної міцності позначається на підвищенні зносостійкості КМ. Вплив магнітного оброблення особливо ефективний при використанні як наповнювача – фериту. Це зумовлено кращим зшиванням матриці у зовнішніх поверхневих шарах внаслідок взаємодії магнітного поля дисперсних часток з доменами макромолекул матриці. У результаті відбувається підвищення когезійної міцності модифікованих МО матеріалів, що забезпечує значне підвищення зносостійкості таких епоксикомпозитів.

Наступним етапом було проведення досліджень з метою визначення впливу комплексного оброблення енергетичними полями (УФО і МО) композицій, які містять двокомпонентний дисперсний наповнювач. Зазначимо, що виходячи з результатів попередніх досліджень (п. 4.2) нами вибрано такі варіанти зовнішнього комплексного оброблення:

I варіант – необроблена композиція;

II варіант – композиція, модифікована за режимом: УФО смоли ЕД-20 з подальшим МО композиції;

III варіант – композиція, модифікована за режимом: УФО смоли ЕД-20 з подальшим МО наповнювача;

IV варіант – композиція, модифікована за режимом: МО композиції з подальшим УФО композиції.

На основі результатів попередніх досліджень зносостійкості необроблених і модифікованих енергетичними полями композитів нами вибрано три варіанти покриттів, у яких як основний наповнювач використано частки фериту, коричневого шламу і цементу (дисперсність – 63 мкм, вміст – 80мас.ч. на 100мас.ч. епоксидного олігомера). Як додатковий наповнювач вводили частки електрокорунду, оксиду хрому і газової сажі (дисперсність – 10 - 20мкм). Результати досліджень інтенсивності зношування розроблених епоксикомпозитів, наповнених двокомпонентним дисперсним наповнювачем при різному вмісті додаткового наповнювача, залежно від варіанту модифікування матеріалу енергетичними полями показано на рис. 4.7 - 4.9.

Встановлено, що з підвищенням вмісту додаткового наповнювача інтенсивність зношування КМ знижується незалежно від природи добавки до критичного вмісту дисперсних часток (20 - 40мас.ч. на 100мас.ч. епоксидного олігомера ЕД-20). Подальше зростання вмісту часток додаткового наповнювача за межі критичного вмісту не забезпечує суттєвого зменшення інтенсивності зношування епоксикомпозитів.

Встановлено, що найменші показники інтенсивності зношування мають композити, що містять як основний наповнювач – частки фериту, а як додатковий наповнювач – електрокорунд (рис. 4.9). Експериментально встановлено, що введення такого двокомпонентного дисперсного наповнювача з оптимальним вмістом (80мас.ч. фериту і 40мас.ч. електрокорунду) забезпечує зниження інтенсивності зношування на 16 - 24% (залежно від варіанту комплексного оброблення композицій

енергетичними полями), порівняно з іншими досліджуваними матеріалами.

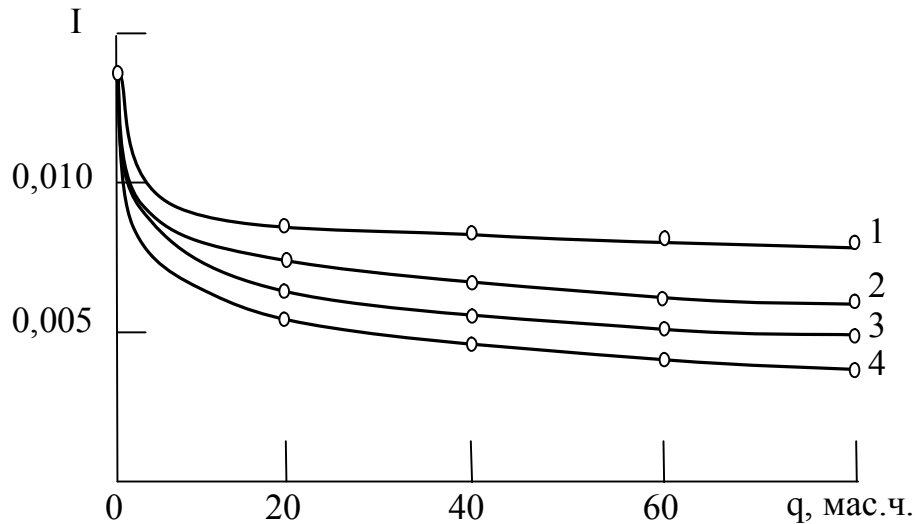


Рис. 4.7. Вплив вмісту додаткового наповнювача оксиду хрому (вміст основного наповнювача коричневого шламу – 80мас.ч. на 100мас.ч. епоксидної смоли ЕД-20) і варіантів оброблення композиції енергетичними полями на інтенсивність зношування (I) епоксикомпозитів при куті атаки гідроабразивної суміші 45°: 1 – I варіант; 2 – II варіант; 3 – III варіант; 4 – IV варіант.

Встановлено, що найбільш зносостійкою композицією при дії гідроабразиву є її модифікування за режимом: УФО смоли ЕД-20 з подальшим МО наповнювача. Порівняно з іншими варіантами модифікування вказаний забезпечує зниження інтенсивності зношування композитів на 30 - 44%. Це зумовлено впливом на когезійну міцність КМ і ступінь зшивання матриці у зовнішніх поверхневих шарах двокомпонентного дисперсного наповнювача з оптимальним вмістом, а також модифікування композицій енергетичними полями, що поліпшує когезійні характеристики створених матеріалів і знижує, відповідно, інтенсивність зношування таких матеріалів.

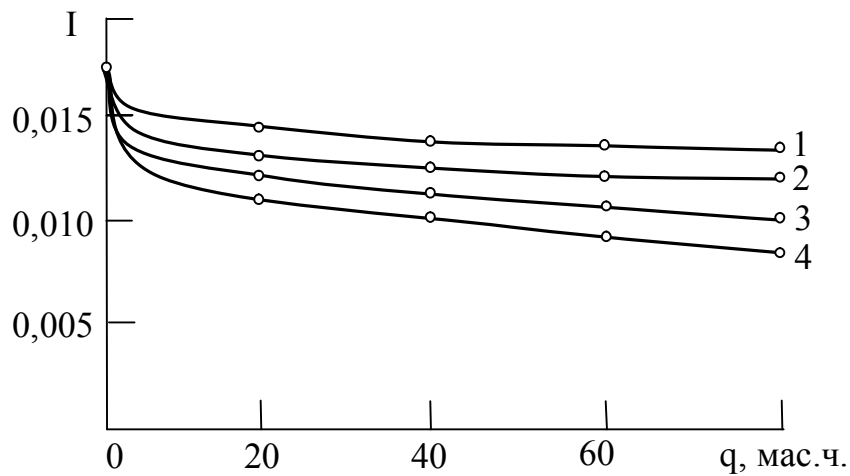


Рис. 4.8. Вплив вмісту додаткового наповнювача газової сажі (вміст основного наповнювача цементу – 80мас.ч. на 100мас.ч. епоксидної смоли ЕД-20) і варіантів оброблення композиції енергетичними полями на інтенсивність зношування (I) епоксикомпозитів при куті атаки гідроабразивної суміші 45°: 1 – I варіант; 2 – II варіант; 3 – III варіант; 4 – IV варіант.

Отже, наведені результати дослідження модифікованих МО і УФО композитів показують високу зносостійкість полімеркомпозитних матеріалів на основі епоксидних смол, що містить двокомпонентний дисперсний наповнювач. Експериментально встановлено, що максимально зносостійким є модифікований ультрафіолетовим опроміненням і магнітним полем композитний матеріал, що містить 80мас.ч. фериту і 40 - 60мас.ч. електрокорунду на 100мас.ч. епоксидного олігомера. Зносостійкість такого композитного матеріалу становить 0,74 - 0,91 залежно від режимів модифікування композиції. Крім того, такий вміст двокомпонентного дисперсного наповнювача забезпечує зниження інтенсивності зношування композиту на 16 - 24% (залежно від варіанту комплексного оброблення композицій енергетичними полями) порівняно з іншими досліджуваними матеріалами (рис. 4.7-4.9). Найкращим з точки зору зносостійкості є варіант модифікування композиції за режимом: УФО смоли ЕД-20 з подальшим МО наповнювача, бо, порівняно з іншими,

забезпечує зниження інтенсивності зношування композитів на 30 - 44 %.

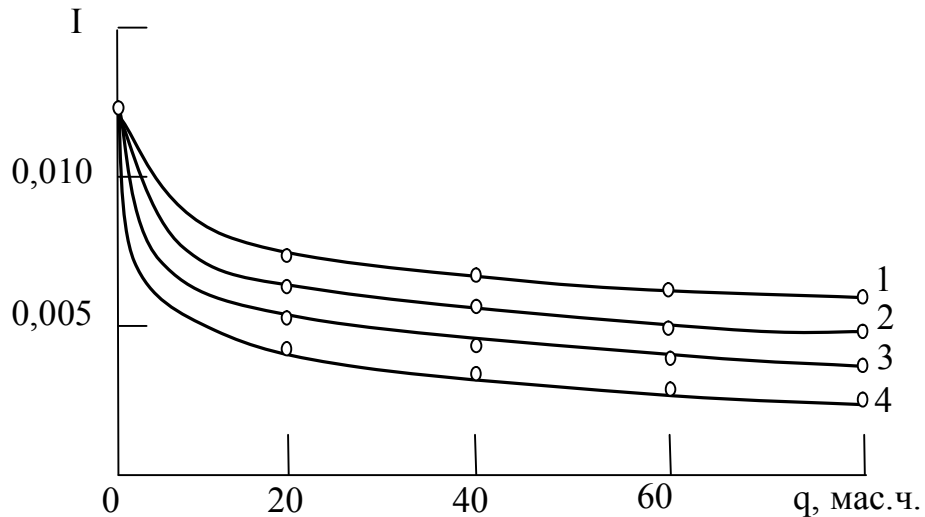


Рис. 4.9. Вплив вмісту додаткового наповнювача електрокорунду (вміст основного наповнювача фериту – 80мас.ч. на 100мас.ч. епоксидної смоли ЕД-20) і варіантів оброблення композиції енергетичними полями на інтенсивність зношування (I) епоксикомпозитів при куті атаки гідроабразивної суміші 45°: 1 – I варіант; 2 – II варіант; 3 – III варіант; 4 – IV варіант.

Результати проведених досліджень дозволили розробити технологічні методи та способи підвищення зносостійкості КМ і рекомендувати розроблені епоксикомпозитні матеріали для захисту технологічного устаткування з довговимірними поверхнями складного профілю від зношування.

4.4. Практичне використання полімеркомпозитних матеріалів для покриттів

Отримані експериментальні результати порівняльних випробувань фізико-механічних, теплофізичних властивостей, корозійної і зносостійкості розроблених і відомих захисних покриттів свідчать про високі експлуатаційні характеристики нових матеріалів і доцільність їх використання для захисту технологічного устаткування від корозії і зношування (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Порівняльні показники властивостей захисних покриттів

Показник	ПКП 1	ПКП 2	ПКП 3	ПКП 4	КЕП	УР-41	ГЕС-1	TiN
Ударна в'язкість, кДж/м ²	8,34	9,12	9,02	9,23	-	6,59	3,72	-
Руйнівне напруження при згинанні, МПа	4,34	4,97	5,43	5,03	-	4,40	3,42	-
Корозійна стійкість, %	5,02	5,98	5,67	-	4,38	4,02	2,57	-
Відносна зносостійкість	-	-	-	1,00	0,92	0,56	0,34	0,89

ПКП 1-4 – розроблені покриття; КЕП - композиційне електролітичне покриття на основі нікелю і карбїду титану; УР-1 – поліуретанове покриття; ГЕС-1 – гумований ебонітовий склад; TiN, (TiC)N – вакуум-плазмове покриття.

Корозійна стійкість досліджена імпедансним методом в 3%-му розчині NaCl, Ом×см².

Розроблені покриття з метою підвищення експлуатаційних характеристик робочих органів технологічного устаткування було впроваджено на підприємствах харчової, хімічної, радіолокаційної і нафтопереробної промисловості Тернопільської і Львівської областей. У результаті експлуатації контрольних об'єктів встановлено, що використання захисних покриттів особливо ефективно при захисті від корозії металоконструкцій і устаткування в умовах впливу лужного середовища NaOH, а також від корозії деталей транспортуючих засобів і контейнерів, що працюють у атмосферному середовищі. Встановлено, що захисні покриття після випробувань зберегли початковий вигляд, не виявлено слідів сколювання, корозійного руйнування та механічних ушкоджень. При розрахунку економічного ефекту техніко-економічні переваги покриттів, порівняно з емалями, визначали за такими факторами: зниження вартості матеріалів, трудомісткості виконаних робіт і продовження термінів експлуатації покриттів.

Впровадження покриттів на вказаних підприємствах забезпечує збільшення міжремонтного періоду роботи у 3,0 - 3,5 разів, підвищення корозійної стійкості обладнання у 2,5 - 2,7 разів, а зносостійкості у 2,0 - 2,2 рази.

Промисловими випробуваннями підтверджено високі експлуатаційні характеристики розроблених захисних покриттів на основі епоксидної матриці і двокомпонентних дисперсних наповнювачів, їхню високу ефективність і необхідність розширення масштабів впровадження на підприємствах різних галузей промисловості України.