

УДК 667.64:678.026

А.Букетов¹, канд.техн.наук; П.Стухляк¹, докт.техн.наук;
М.Долгов², канд.техн.наук

¹Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя;

²Інститут проблем міцності ім.Г.С.Писаренка НАНУ, м.Київ.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ В УМОВАХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПІСЛЯ ЇХ УФ-ОПРОМІНЕННЯ І МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ

Досліджено фізико-механічні властивості епоксикомпозитних матеріалів залежно від хімічної та магнітної природи дисперсного наповнювача. Проаналізовано шляхи поліпшення властивостей полімеркомпозитних матеріалів внаслідок попередньої обробки олігомерних композицій магнітним та ультрафіолетовим полями. Встановлено, що модифікація гетерогенних композицій вказаними полями підвищує характеристики матеріалів завдяки змінам кінетики структуроутворення у композитах, яка визначається взаємодією на межі поділу системи «наповнювач-полімер». На ці процеси суттєво впливають природа модифікуючої добавки та умови зшивання макромолекул з кінетично-активними центрами на поверхні наповнювачів. Експериментально доведено, що використання попередньої обробки

матеріалу зовнішніми полями дозволяє в широких межах регулювати експлуатаційні характеристики захисних покриттів внаслідок структуруючих ефектів у поверхневих шарах.

Умовні позначення

- σ – нормальні напруження, МПа;
 τ – тангенціальні напруження, МПа;
 ε – відносна деформація, %.

Вступ. Розвиток сучасної промисловості пов'язаний із створенням нових матеріалів, у тому числі полімерних композитів із наперед заданими властивостями. На сучасному етапі розвитку матеріалознавства композити мають вирішальну роль як матеріали з потенційними властивостями, реалізація яких забезпечує зниження маси виробів з одночасним підвищенням надійності та збільшенням ресурсу роботи устаткування в екстремальних умовах, а також покращеною ремонтоздатністю вузлів і механізмів машин.

На даний час найбільш широкого використання набули композити на основі полімерних матриць. Вони достатньо вивчені і формування з них покриттів за порівняно нескладною технологією забезпечує суттєве підвищення фізико-механічних характеристик габаритних деталей складної форми. Серед даної групи одне з провідних місць займають епоксидні композити. Вони мають високі міцнісні характеристики, високу стійкість до втомних напружень, значну корозійну тривкість до агресивних середовищ при значному зниженні маси деталей. Це дозволяє різко скоротити затрати на виробництво, обслуговування і ремонт виробів. Крім того, стабільність механічних властивостей в умовах дії знакозмінних навантажень та градієнтних температур, високі діелектричні характеристики, значна стійкість до спрацювання визначають найбільш ефективні напрямки використання епоксидних композитних матеріалів (ЕКМ), що забезпечує високі експлуатаційні характеристики деталей та вузлів, де їх використовують. При цьому раціональний підбір інгредієнтів гетерогенних систем і технології формування забезпечує отримання матеріалів з оптимальними експлуатаційними характеристиками.

Слід відзначити, що 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 визначають вказані процеси. У зв'язку із складним характером проходження фізико-хімічних процесів при формуванні ЕКМ, а також впливу зовнішніх факторів на характеристики систем, на сьогодні не достатньо обгрунтовані підходи до методики та технології формування епоксикомпозитів. У роботі [1] авторами показано важливість обробки олігомерних композицій на попередній стадії формування матеріалу зовнішніми силовими (електромагнітним та ультрафіолетовим) полями. Зокрема, авторами проведена спроба обгрунтування механізму та закономірностей підвищення фізико-механічних та теплофізичних властивостей ЕКМ внаслідок модифікації олігомерних композицій вказаними зовнішніми полями. Однак вирішення сучасних проблем міцності деталей машин, що мають складну геометричну форму, тісно пов'язане з аналізом їх 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 внаслідок комплексного впливу зовнішніх факторів. Ці фактори призводять до появи деформацій і накопичення пошкоджень матеріалу.

У зв'язку з викладеним вище проблема розробки нових і удосконалення сучасних методів експериментальних досліджень міцності і руйнування матеріалів є актуальною на даний час. Найоптимальнішою схемою дослідження адгезійних та фізико-механічних властивостей ЕКМ є поетапне проведення досліджень, починаючи зі стандартних статичних випробувань на розтяг, стиск та згин. Таким чином, випробування

лабораторних зразків при складному напруженому стані є найбільш близьким до досліджень натурних об'єктів. При цьому вони вимагають значно менших економічних затрат [1,2]. Крім того, враховуючи багатофакторність технологічних режимів та статичні похибки експерименту при виготовленні зразків для досліджень, доцільним і перспективним є отримання кількох характеристик із кожного зразка за одне дослідження. Використана методика досліджень дозволяє при випробуванні одного зразка отримати величину деформації, адгезійної та когезійної міцності, модуля пружності покриття і основи, а також – охарактеризувати вид руйнування композиту [2,3].

Метою роботи є встановлення впливу електромагнітного та ультрафіолетового полів на фізико-хімічні процеси, що визначають адгезійні, когезійні властивості і деформаційні характеристики епоксидних композитних матеріалів (ЕКМ).

Методика та матеріали досліджень. У роботах [2-4] сформульовані основні вимоги до устаткування та засобів вимірювання пружнопластичного деформування:

- автоматизація процесу навантажування зразків;
- достатня точність та неперервність вимірювання навантажень і деформацій протягом тривалого періоду, а також – дотримання заданого режиму навантажування;
- забезпечення випробувань із заданою формою циклу навантажування.

При цьому важливим напрямком оцінки міцнісних характеристик матеріалу при руйнуванні є експериментально-розрахункове визначення максимальних значень нормальних напружень (когезійна міцність) при будь-якому напруженому стані і тангенціальних напружень (адгезійна міцність), які виникають на межі поділу фаз “покриття – основа”. Такі умови потребують створення методик розрахунку, які дозволяли б оцінювати межові величини напруженого стану матеріалу і базувались би на емпіричних даних. Така теорія розрахунку, а також методика досліджень вищевказаних характеристик, сформована на базі теорії міцності, детально описана у роботах авторів [2,3].

Для досліджень використано стандартний плоский зразок (ГОСТ 3248-81) із сталі Ст.3, на який до половини довжини робочої частини з обох сторін основи симетрично наносили покриття. Зовнішні параметри зразка (основи), а також розміри нанесених покриттів наступні:

товщина: $h_o=1.00\pm 0.01$ мм, $h_n=0.40-0.45$ мм;

площа: $S_o=9.8\pm 0.2$ мм²; $S_n=2.0\pm 0.1$ мм²,

де індекси «о» і «п» означають, що характеристики відносяться до основи і покриття.

Перед проведенням досліджень на одну із сторін зразка наклеюють тензодатчики для визначення деформацій основи і покриття, а на другу наносять мітки для визначення деформації оптичним методом після руйнування тензодатчиків. Для об'єктивної реєстрації стану зразка, тобто критичної деформації, використано явище акустичної емісії (АЕ) [3]. Датчик АЕ закріплюють на ділянці з покриттям у неробочій області зразка (рис.1). Це забезпечує відсутність паразитного сигналу при видовженні зразка.

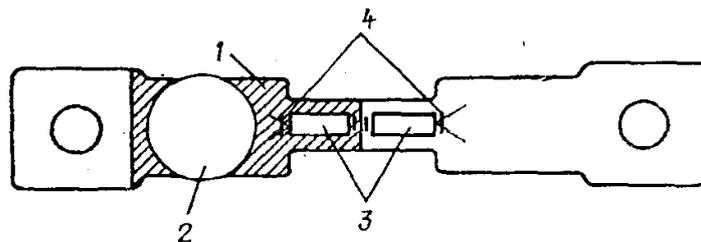


Рис. 1. Зразок для досліджень фізико-механічних властивостей матеріалу:
1—покриття; 2—датчик АЕ; 3 — тензодатчики; 4 — мітки для вимірювання деформації оптичним методом

Дослідження проводились на базі розривної машини FM-1000. При дослідженнях зразок навантажується ступінчасто з кроком збільшення зовнішнього навантаження на 250Н. Під час зупинок навантаження зразка ($t=10c$) автоматично записують сигнали тензодатчиків, а також фіксують зусилля навантаження. Після досліджень на основі раніше описаної методики розрахунків [4] будували залежність “напруження - відносна деформація” у зразку з покриттям і без нього. На основі отриманих результатів досліджень шляхом зіставлення механічних характеристик за методикою, приведеною у роботі [4], побудовано криві залежності напружень від відносних деформацій у покриттях (рис.2).

Вказана експериментально-розрахункова методика дозволяє за одне випробування на одному зразку визначити комплекс величин, що характеризують фізико-механічні властивості системи “основа-покриття”: величину модулів пружності основи і покриття, значення критичної деформації композиту, рівень напружень у ньому і в області адгезійного контакту, а також встановити вид руйнування системи (розтріскування чи відшаровування).

В якості матриці для полімерних композицій вибрано епоксидно-діановий олігомер марки ЕД-20, який зшивали твердником поліетиленполіаміном (ПЕПА). Як наповнювачі використовували дисперсні порошки феромагнетики (ферит, газова сажа (ГС), парамагнетики (оксид міді, оксид хрому) і діамгнетики (електрокорунд, технічний графіт (ТГ), цемент марки А-400) (10-63мкм). Після гідродинамічного суміщення компонентів проводили електромагнітну та ультрафіолетову обробку олігомерних композицій за режимами, описаними у роботі [1]. Після введення твердника і нанесення покриттів проводили термічну обробку зразків за такими температурно-часовими параметрами: формування клеєвого з'єднання, витримка зразків протягом 36 год. при нормальних умовах, температурна обробка при $T=393\pm 2K$ протягом 2 год., витримка зразків при нормальних умовах протягом 60 год. з наступним проведенням випробувань.

Обговорення результатів експерименту. Первинні криві деформування досліджуваних матеріалів будували шляхом усереднення результатів трьох дослідів, при цьому розбіжність експериментальних кривих не перевищувала 3%. Криві залежності відносних деформацій від напружень, побудованих для вихідних та модифікованих електромагнітним (ЕМП) та ультрафіолетовим (УФП) полями епоксикомпозитів, зображено на рис.2. Міцнісні властивості епоксикомпозитів оцінювали за максимальними напруженнями, що виникають у матеріалі при досягненні критичних деформацій.

Аналіз результатів досліджень показує, що необроблені композиції (рис.2,а), наповнені феритом, оксидом міді і цементом, характеризуються крихким руйнуванням матеріалу. Водночас, попередня обробка композицій у електромагнітному полі протягом $5\pm 0,2$ хв. зумовлює зростання величини відносної деформації, яка відповідає максимальним показникам напруження, у 2,5-3,0 разів стосовно вихідних ЕКМ. Дана характеристика, а також робота зовнішньої сили, яка чисельно рівна площі, що обмежена діаграмою розтягу, віссю деформації і кінцевою ординатою, є як кількісними, так і якісними показниками міцності досліджуваних матеріалів. Аналіз вказаних характеристик показує, що модифіковані ЕМП покриття, володіють кращими деформаційними властивостями порівняно із вихідними гетерогенними системами. Встановлено (рис.2,а), що попередня електромагнітна обробка ЕКМ, які містять частинки цементу і оксиду міді, забезпечує збільшення відносної деформації матеріалу покриття у 2,0-3,0 рази. Слід зазначити, що деформаційний ресурс ЕКМ, які містять частинки фериту, після електромагнітної обробки зменшується на 37%. Отримані дані також підтверджено результатами якісного аналізу відносних показників енергії, затраченої на роботу руйнування ЕКМ зовнішніми силами, а також – більшими показниками відносної деформації модифікованих ЕМП композитів. Дещо іншу картину спостерігали при порівняльному аналізі вихідних і модифікованих ультрафіолетовим опроміненням (УФО)

ЕКМ. Показано (рис.2,б), що попередня обробка композицій УФО зумовлює зменшення максимальних відносних деформацій порівняно з вихідними зразками за винятком оксиду хрому. Це свідчить про більшу жорсткість модифікованих систем і, відповідно, вищий ступінь зшивання полімерної матриці.

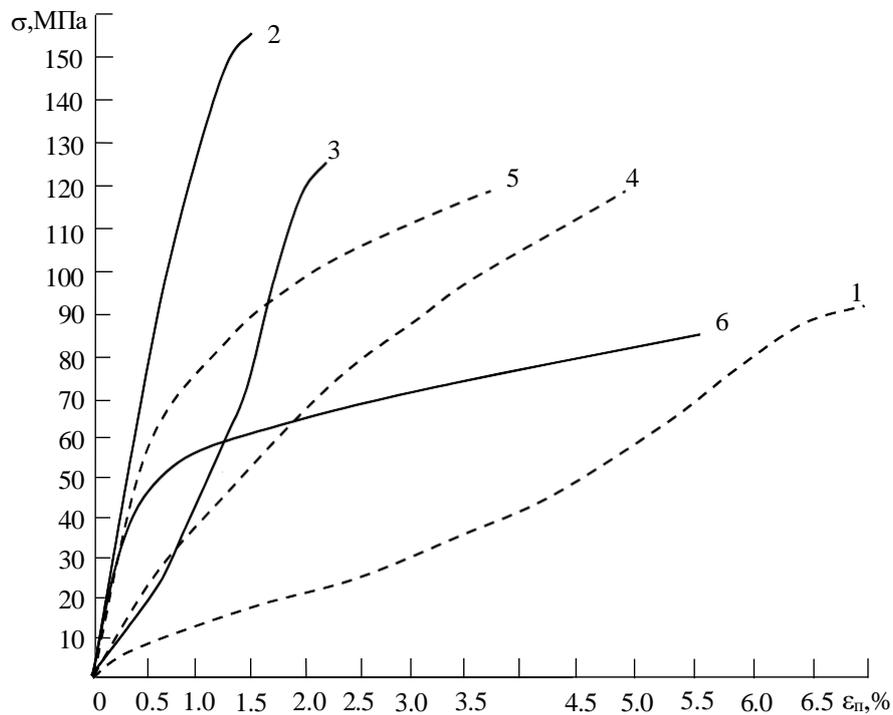


Рис.2,а. Залежність напружень від відносних деформацій у покриттях, що містять (50 мас.ч. на 100 мас.ч. матриці): цемент (1,2), оксид міді (3,4) та ферит (5,6). Штриховою лінією позначено матеріали, модифіковані магнітним полем

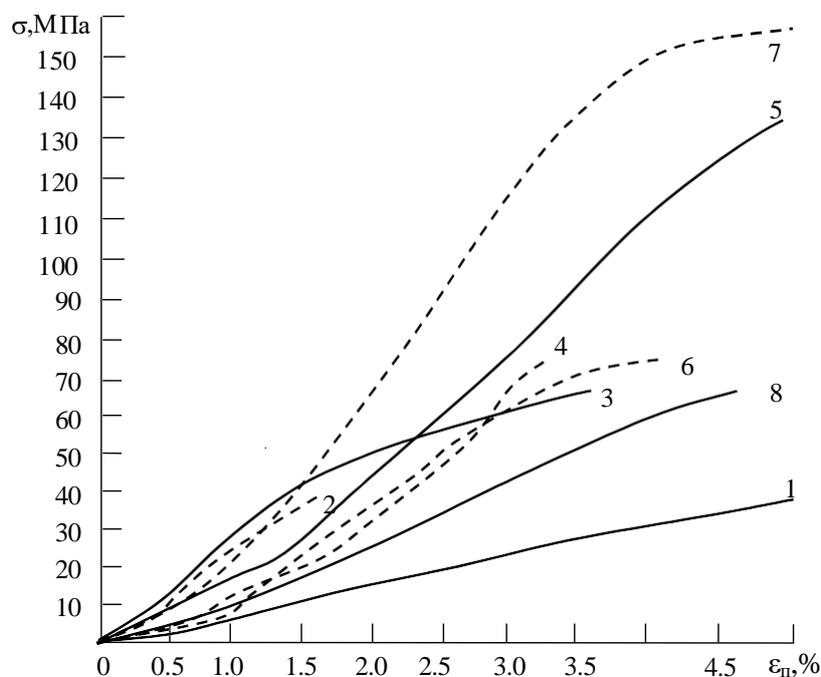


Рис.2,б. Залежність напружень від відносних деформацій у покриттях, що містять (50 мас.ч. на 100 мас.ч. матриці): електрокорунд (1,2), технічний графіт (3,4) газова сажа (5,6), оксид хрому (7,8). Штриховою лінією позначено матеріали, модифіковані ультрафіолетовим полем

Експериментальні результати залежності адгезійної міцності (τ , МПа) захисних покриттів для вихідних і модифікованих зовнішніми полями ЕКМ розраховували за миттєвими напруженнями у сталюму зразку (табл.1). Відомо [5], що сили адгезії на межі поділу фаз “олігомер – основа” та “олігомер – наповнювач” є основним фактором, що визначає роботоздатність покриття з ЕКМ. Крім того, авторами [6] показано, що адгезійна і когезійна міцність гетерогенних систем залежать від протяжності та ступеня зшивання міжфазного шару ЕКМ, який досить неоднорідний за своїм складом. Зокрема, показано [1,6], що такий шар складається із адсорбційного шару олігомера до поверхні металевої основи, поверхневого шару в'язучого навколо дисперсних частинок наповнювача, а також – шарів, які є результатом можливої фізико-хімічної взаємодії між вказаними шарами.

Експериментально встановлено (табл.1), що більш високі показники адгезійної міцності ЕКМ мають епоксидні композиції, модифіковані електромагнітним полем. Крім того, максимальні показники адгезійної міцності для модифікованих матеріалів електромагнітним полем олігомерних композицій на попередній стадії зшивання у 1,5-2,0 разів більші порівняно із вихідними ЕКМ (табл.1).

Виходячи з цього, важливим було проведення досліджень з метою визначення впливу на адгезійну міцність ЕКМ іншого зовнішнього фактора, а саме – ультрафіолетового опромінення (УФО) епоксидних композицій. Встановлено (табл.1), що модифікація композицій УФО зумовлює зниження адгезії покриттів до металевої основи. Показано, що значення адгезійної міцності ЕКМ, які відповідають умовам руйнування матеріалу, для модифікованих покриттів на 15-20 МПа менші порівняно із вихідними. Виняток становить лише ЕКМ, наповнений електрокорундом. Підвищення адгезії композиту з даним наповнювачем після обробки УФО пояснюють хімічною та термодинамічною активністю поверхні даної дисперсної сполуки, що суттєво впливає на ступінь зшивання епоксидного олігомеру, у тому числі і на межі з основою. Крім того, отримані результати випробувань можна пояснити таким чином.

Відомо [7], що адгезійна міцність залежить від проходження фізико-хімічних процесів при структуроутворенні матеріалу і визначається такими факторами: природою та концентрацією інгредієнтів композиції, температурно-часовими параметрами формування матеріалу, а також – методами модифікації наповнювачів і композицій. У нашому випадку результати впливу електромагнітної обробки для покращення адгезійної міцності добре узгоджується з результатами робіт [7,8]. На нашу думку, покращення адгезійної міцності можна пояснити наступним.

По-перше. Внаслідок обробки композицій ЕМП підвищується температура в'язучого, що значно зменшує його в'язкість. Відповідно, більш плинний адгезив, маючи краще змочування, добре заповнює нерівномірності субстрата (поверхню основи та наповнювача). Це є умовою утворення більш повного контакту полімера і субстрата. Крім того, підвищення температури призводить до появи у адгезива вільних функціональних груп (гідроксильних, карбоксильних, карбонільних), що покращує фізичну взаємодію між ними та поверхнею основи [9,10].

По-друге. Вплив електромагнітного поля на інгредієнти композиції пояснюється з точки зору взаємодії електрично - заряджених мікрочастинок олігомеру, дисперсного наповнювача та основи у процесі електризації. Авторами [11,12] доказано, що в результаті фізичного впливу електричної складової електромагнітного поля відбувається зарядження олігомерних частинок та дисперсного наповнювача. У процесі нанесення композиції на поверхні основи та навколо наповнювача формується електричний шар заряджених частинок або молекул олігомера, що добре узгоджується з роботами [11,12].

Основна характеристика шару – інтегральний заряд, величина якого в основному визначає властивості поверхневого шару і, відповідно, адгезійну та когезійну міцність системи. Незважаючи на те, що ряд дослідників [11,12] мали труднощі при поясненні зарядження діелектриків у системі “діелектрик - метал” і виходячи із складності при структуроутворенні систем (молекулярний і надмолекулярний рівень), на даний час можна вважати, що факт існування подвійного електричного шару підтверджено і

Таблиця 1

Залежність фізико-механічних властивостей епоксикомпозитних покриттів від природи наповнювача та обробки композиції зовнішніми полями

Наповнювач	Вид обробки	Магнітна природа наповнювача	Адгезійна міцність, τ_{\max} , МПа	Когезійна міцність, σ_p , МПа	Модуль пружності, Ел, ГПа	Максимальна деформація, Δl max на базі $L_{\text{основи}} = 45\text{мм}$	Вид руйнування покриття
Ферит	-	Ф	37.39*	67.01**	6.05	0.0038	відшарування
	ОЕМП		96.88**	90.42*	5.16	0.0052	розтріскування
Оксид міді	-	П	56.95*	76.35**	3.32	0.0023	відшарування
	ОЕМП		76.59**	90.25*	2.64	0.0052	розтріскування
Цемент	-	Д	26.15*	72.91**	2.08	0.0014	відшарування
	ОЕМП		58.40**	82.49*	1.74	0.0084	розтріскування
Газова сажа	-	Ф	52.62**	50.44*	2.98	0.0088	розтріскування
	ОУФП		43.40**	61.77*	3.42	0.0033	розтріскування
Оксид хрому	-	П	51.24**	62.13*	2.84	0.0073	розтріскування
	ОУФП		33.73*	66.35**	3.95	0.0067	відшарування
Електрокорунд	-	Д	35.24*	84.65**	1.27	0.0056	відшарування
	ОУФП		67.73**	96.01*	1.44	0.0009	розтріскування
Технічний графіт	-	Д	69.93**	76.09*	1.62	0.0038	розтріскування
	ОУФП		45.27*	77.31**	2.07	0.0035	відшарування

Примітка.

Ф – феромагнетик;

П - парамагнетик;

Д - діамагнетик;

ОЕМП – обробка композиції електромагнітним полем;

УФО – обробка композиції ультрафіолетовим полем.

* Позначено експериментальні значення міцності покриттів, тобто $\tau_{\max} = \tau_{\text{адгез. міц.}}$ при відшаруванні, а $\sigma_p = \sigma_{\text{когез. міц.}}$ при розтріскуванні покриттів.

** Позначено розрахункові значення міцності покриттів.

Концентрація наповнювача у покриттях – 50 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру.

доведено. При цьому, формування такого шару пояснюють вибірковою адсорбцією іонів одного знака на межі поділу фаз. У такому випадку електричні сили зумовлюють появу контактної різниці потенціалів, що призводить до їхньої електризації. Припускають [8], що такий механізм формування подвійного шару характерний як для системи “метал - метал”, так і для системи “метал - діелектрик”. Дані припущення частково підтверджені результатами досліджень адгезії та когезії модифікованих ЕМП і вихідних ЕКМ. Показано (табл.1), що в результаті модифікації композицій, незалежно від природи наповнювача, відбувається різке зростання як адгезії, так і когезійних характеристик ЕКМ. Встановлено, що підвищення вказаних характеристик пов'язане з впливом магнітних властивостей наповнювачів на структурні процеси при зшиванні композитів.

По-третє. Відомо [1], що дисперсні частинки феромагнітної природи, на відміну від діаманетиків, володіють некомпенсованим магнітним моментом значної величини (для парамагнетиків величина моменту є незначною). При накладанні зовнішнього ЕМП абсолютна величина моменту зростає, а напрям змінюється у напрямку напруженості магнітного поля. Відповідно, частинка намагнічується. Якщо розглядати макромолекули епоксидного олігомеру з точки зору фізики полімерів як диполі, можна стверджувати, що вони володіють як позитивним, так і негативним зарядом. Таким чином, припускали, що навколо феромагнітних частинок наповнювачів при накладанні ЕМП формуються поверхневі шари диполів макромолекул у напрямку магнітного поля. Це додатково підтверджує висловлене вище припущення про існування подвійного електричного шару. Проведені раніше дослідження [1], а також результати експериментальних випробувань у даній роботі (таблиця) свідчать, що протяжність та ступінь зшивання в'язучого у поверхневому шарі, а відповідно і когезійна міцність системи суттєво зростають після обробки композицій ЕМП. Слід відзначити, що внаслідок більш інтенсивної взаємодії диполів (макромолекул) із феромагнітною сталюю основою спостерігали також значне підвищення адгезійної міцності ЕКМ. При цьому результати досліджень показують, що адгезійна і когезійна міцність ЕКМ більш суттєво зростають після обробки ЕМП матеріалів, які містять феромагнітні дисперсні наповнювачі, що також підтверджує вище описані припущення.

Результати досліджень адгезійної, когезійної міцності, а також модуля пружності ЕКМ після ультрафіолетової обробки показують підвищення когезійних характеристик систем після обробки при одночасному зниженні адгезії (табл.1). Обґрунтування механізму проходження фізико-хімічних процесів в результаті обробки олігомерних композицій УФО детально описаний авторами у роботах [1,13]. При цьому зазначимо, що згідно об'єднаної теорії міцності характер руйнування матеріалу залежить не тільки від фізико-механічних властивостей, але й від виду напружено-деформованого стану.

Поліпшення властивостей матеріалу після УФО пояснюють кращою змочуваністю субстрату та зростанням кількості фізичних вузлів між молекулами олігомеру і дисперсними сполуками у процесі зовнішньої обробки. Крім того, УФО приводить до виникнення радикалів за рахунок руйнування макромолекул. Молекулярна маса макромолекул при цьому зменшується, що приводить до збільшення їх рухливості. Це, у свою чергу, підвищує ступінь зшивання гетерогенної системи.

Встановлено (табл.1), що високим показникам адгезійної міцності (зокрема, для композитів, які оброблені у електромагнітному полі) відповідає вид руйнування – розтріскування, що свідчить про високу стійкість до тангенціальних напружень. Для матеріалів з відносно невисокою адгезією характерний інший вид руйнування покриття – відшаровування, що свідчить про малу стійкість до дотичних напружень і вищу когезійну міцність системи. Отримані результати є якісним підтвердженням достовірності результатів експерименту. Крім того, авторами роботи [3] показано, що співвідношення між адгезійною і когезійною міцностями ЕКМ повинно бути оптимальним. Це значно збільшить міцність і довговічність ЕКМ при експлуатації виробу з покриттям. Порівняльний аналіз адгезійної, когезійної міцності та

максимальних відносних деформацій ЕКМ підтверджує доцільність модифікації зовнішніми силовими полями олігомерних композицій з одночасним використанням у якості наповнювачів феро- та парамагнітних дисперсних частинок.

Висновки. У роботі на основі нового комплексного підходу до дослідження адгезійних та фізико-механічних властивостей епоксикомпозитних матеріалів обґрунтовано доцільність проведення попередньої обробки олігомерних композицій зовнішніми силовими полями. Встановлено, що зростання адгезійної і когезійної міцності матеріалу у 2,0-2,5 рази внаслідок обробки електромагнітним полем композицій можна пояснити наступним:

- кращою змочуваністю адгезивом субстрата;
- формуванням подвійного електричного шару між протилежно зарядженими макромолекулами чи сегментами полімеру та частинками наповнювача чи основою;
- зміною конформаційного набору макромолекул у поверхневих шарах матриці за рахунок впливу магнітного поля дисперсних частинок наповнювача, що приводить до збільшення рухливості макромолекул.

Показано, що попередня ультрафіолетова обробка композицій призводить до зменшення адгезійної міцності ЕКМ, однак когезійна міцність матеріалу та модуль пружності зростають у 1,3-1,5 разів. Отримані результати пояснюють підвищенням ступеня зшивання матриці у поверхневих шарах за рахунок формування вільних радикалів у матриці в процесі УФО.

Експериментально підтверджено доцільність використання у якості наповнювачів дисперсних частинок феромагнітної природи. Такі сполуки, незалежно від їхньої хімічної, термодинамічної та кінетичної активності, здійснюють суттєвий вплив на ступінь зшивання в'язучого у поверхневих шарах внаслідок взаємодії магнітного поля із диполями макромолекул олігомеру. Даний фактор особливо ефективний при використанні зовнішньої обробки композицій електромагнітним полем.

В майбутньому авторами планується дослідити вплив зміни молекулярної маси ланцюгів між вузлами сітки у процесі обробки композицій зовнішніми силовими полями на властивості епоксикомпозитів.

In the work the possibility to use modified resin ED-20 as the basis of polymeric matrix for making polymeric-composition protective covering is examined. It is investigated the influence of quantity, chemical and magnetic nature of the fillers to adhesive properties and inner tension of the composition covering. It is found out the presence of magnetic adhesion on the board of phase division composition covering steel lining.

Література

1. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Бадишук В.І. Вплив активності наповнювача на властивості епоксидних матеріалів // Вісник ТДТУ.- Тернопіль.- 2003.-Т.8,№4.-С.12-20.
2. Методика определения механических характеристик композиции металл – защитное покрытие / Б.А.Ляшенко, С.Ю.Шаривкер, О.В.Цыгулев и др. // Проблемы прочности,1989.- №8.-С.113-115.
3. Уманский Э. С. Ляшенко Б.А. Условия адгезионной и когезионной равнопрочности жаростойких покрытий // Космические исследования на Украине.-1975.-Вып.6.-С.58-64.
4. Долгов Н.А. Метод определения модуля упругости газотермических покрытий // Порошковая металлургия.-2004.-№7/8.-С.110-115.
5. Композиционные материалы в машиностроении / Пилиповский Ю.Л., Грудина Т.В., Сапожникова А.Б. и др.- К: Техника, 1990.-141с.
6. Стухляк П.Д. Эпоксидные композиты для защитных покрытий.-Тернополь: Збруч,1994.-180с.
7. Довгяло В.А., Юркевич О.Р. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы.-Мн.:Наука і техніка, 1992.-256с.
8. Дерягин Б.В., Топоров Ю.П., Алейникова И.П. и др. // Коллоидный журнал.-1974.-Т.36, №1.-С.31-35.
9. Калнинь М.М. Адгезионное взаимодействие полиолефинов со сталью.-Рига: Техника, 1990.-130с.
10. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров.- М.: Химия, 1969.- 318с.
11. Леб Л. М. Статическая электризация.-М.: Наука,1963.-214с.
12. Сажин Б.И., Лобанов А.М., Эйдельмант М.П. и др. Электрические свойства полимеров.-М.:Наука, 1978.-156с.
13. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Левицький В.І., Долгов М.Ю. дослідження епоксикомпозитів, що містять модифіковані олігомерами наповнювачі // Вісник ТДТУ.- Тернопіль.- 2004.-Т.2,№2.-С.14-21.

Одержано 29.08.2004 р.