

УДК 621.763.

П.П.Савчук¹, В.П.Кашицький¹, О.Л. Будкіна¹, О.П. Кислюк¹, В.А. Назаренко²¹Луцький національний технічний університет²Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ СИСТЕМ, НАПОВНЕНИХ ДИСПЕРСНИМИ ЧАСТИНКАМИ СПОЛУК ЗАЛІЗА

В роботі приведені результати досліджень впливу природи та розміру частинок наповнювача на фізико-механічні властивості і ступінь структурування епоксидних композиційних матеріалів. Показано позитивний вплив ультразвукової обробки при формуванні епоксикомпозитів, наповнених високодисперсними частинками. Подані рекомендації щодо шляхів впровадження оптимізованих композицій в автомобільну галузь.

Ключові слова: *фізико-механічні властивості, епоксикомпозити, ультразвукова обробка.*

Постановка проблеми. Міцність епоксикомпозитних матеріалів у значній мірі залежить від дисперсності наповнювача. Основною величиною при цьому є частина поверхні армуючої добавки, яка припадає на одну його частинку. Збільшення розміру частинок наповнювача викликає зниження їх поверхневої енергії, а відповідно і енергії когезії, що призводить до зниження міцності композиту [1, 2].

Із збільшенням дисперсності наповнювача міцність композиту підвищується. При дослідженні композитів з високодисперсним наповнювачем, розміри якого близькі до розмірів структурних елементів матриці (зона переходу з мікро- на нанорівень), встановлено, що такі частинки викликають зниження міцності. Цей ефект пов'язаний з тим, що при взаємодії тріщини з частинками, за розмірами наближеними до структурних одиниць матриці, вони нездатні утворювати зони в матриці, які б поглинали енергію поширення тріщини. До того ж надмірно висока дисперсність наповнювача небажана, так як при цьому підвищується його схильність до агрегування в сухому виді. Малі зазори між частинками перешкоджають затіканню полімерного зв'язуючого всередину агрегатів. В результаті при затвердінні полімеру відбувається капсулювання агрегатів частинок наповнювача в полімерній матриці, що викликає зниження механічних характеристик полімерних композитів.

Для отримання когезійно міцних полімерних композиційних матеріалів можливим є застосування наповнювачів як з оптимально розвиненою поверхнею частинок, так і з найменшою питомою поверхнею за рахунок високої дисперсності частинок, що в сумарному еквіваленті забезпечують найбільше значення площі між фазної взаємодії.

Метою досліджень є аналіз технологічних аспектів формування та оцінка властивостей епоксикомпозитних матеріалів, наповнених дисперсними частинками заліза різної морфо-технологічної природи.

Матеріали і методи досліджень. Для формування епоксикомпозитних матеріалів застосували епоксидно-діанову смолу ЕД-20 та твердник поліетиленполіамін (ПЕПА). В якості наповнювачів використано дисперсні порошки заліза: високодисперсне карбонільне (5...10 мкм) та отримане за традиційною порошковою технологією (300...500 мкм). Формування дослідних зразків здійснювали шляхом отримання однорідної композиції, до складу якої входили задані компоненти. Залежно від об'єму зразків розраховували кількісний вміст інгредієнтів у масових частинах на 100 мас. ч. епоксидної смоли ЕД-20. До епоксидної смоли ЕД-20 та твердника вводили наповнювачі, попередньо просушені в сушильній шафі для видалення вологи. Сформовану композицію наносили на підготовлену поверхню або заливали у спеціальні форми. Поверхню попередньо обробляли абразивом для досягнення необхідної шорсткості і знежирювали ацетоном. Тверднення епоксикомпозитів за нормальних умов тривало 24 год. Додаткову термічну обробку здійснювали у печі, відхилення температури в якій не перевищувало ± 2 К. Для уникнення високих залишкових напружень застосовано ступінчастий режим, який полягав у нагріві до температури 50 °С з витримкою протягом 1 год, а надалі до 100 °С з витримкою 4 год.

Обробку композицій здійснювали в ультразвуковій ванні в середовищі етилового спирту при частоті 21 кГц. Тривалість обробки складала 20 хв.

Границю адгезійної міцності при нормальному відриві визначали за ГОСТ 14759-69. Дослідження проводили на розривній машині марки УММ-5 при швидкості переміщення нижньої траверси 2 мм/хв.

Ударну міцність покриттів на сталевих пластинах розміром 60 × 200 мм визначали згідно з методикою на приладі УТ-1 (ГОСТ 25812-83).

Ступінь отвердіння матеріалів й покриттів визначали за вмістом гель-золь-фракції в екстракторі Сокслета, який працював в автоматичному режимі. Екстракцію зразків у формі пластин розміром 40 × 70 мм товщиною до 0,5 мм проводили в толуолі протягом 8 год з наступним сушінням при температурі 393 К до сталої маси. Масу зразків до і після екстракції визначали на аналітичних вагах з точністю до 0,0001 г.

Обговорення результатів. При введенні в епоксиполімерну систему порошку заліза спостерігається зниження адгезійної міцності при вмісті наповнювача 50 мас. ч. (рис. 1). При подальшому збільшенні вмісту відбувається незначне підвищення даної характеристики (19 МПа), що можна пояснити підвищенням кількості перешкод, які чинять опір поширенню тріщини. При введенні у систему порошку карбонільного заліза адгезійна міцність зростає майже у 2 рази за рахунок вищої реакційної здатності наповнювача. При вмісті даного порошку 70 мас. ч. система втрачає міцність, що пов'язано з наявністю агломератів, які утворилися за рахунок великої питомої енергії наповнювача. У епоксидній матриці дані скупчення частинок виступають концентраторами напружень, які підвищують імовірність системи до утворення тріщин.

Для рівномірного розподілу частинок в епоксидній матриці проведено додаткову обробку системи ультразвуковими хвилями. Це дозволило підвищити адгезійну міцність епоксикомпозитів на 10...20%. Суттєвого підвищення не спостерігається при використанні порошку заліза, що обумовлено значно більшим розміром частинок наповнювача, який розподілений у епоксиполімерній матриці рівномірно при використанні звичайного механічного вимішування. Крім того, даний наповнювач не здатний до агрегування у сухому стані.

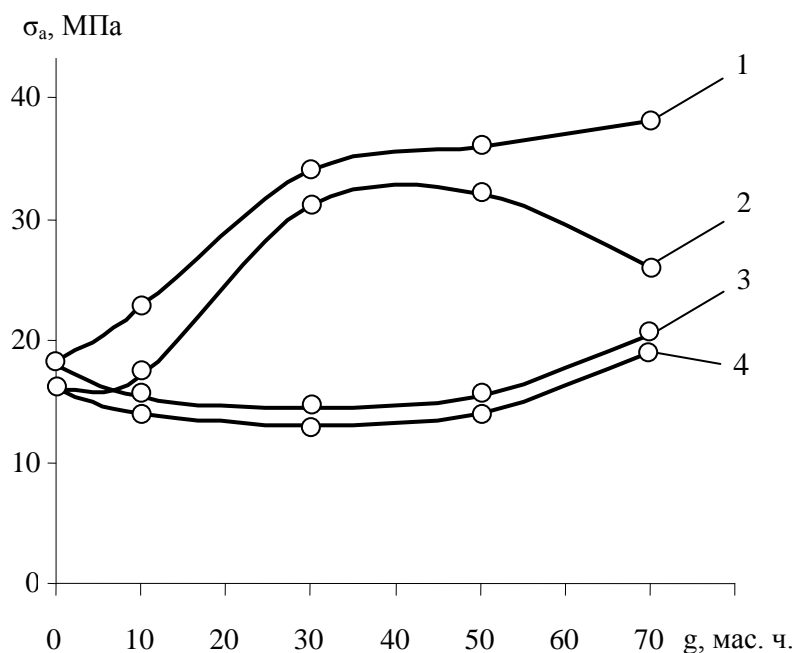


Рис. 1. Залежність вмісту гель-фракції епоксикомпозиту від кількості наповнювача після (1, 3) та до (2, 4) обробки композицій ультразвуком: 1, 2 – карбонільне залізо; 3, 4 – порошок заліза

Дослідження розроблених епоксикомпозитів на ударну міцність (рис. 2) дало аналогічні результати відповідно до статичних випробувань на адгезійну міцність, що свідчить про здатність системи, обробленої ультразвуком, чинити вищий опір динамічним навантаженням. При використанні в якості наповнювача порошку заліза в невеликих кількостях (10...30 мас. ч.) відбувається зниження ударної міцності композиції через недостатню адгезійну складову взаємодії частинок заліза з епоксидною матрицею. При підвищеному вмісті наповнювача (40...70 мас. ч.) зафіксовано ріст значень досліджуваної характеристики, оскільки ступінь наповнення зростає й існує вища кількість бар'єрів, які перешкоджають поширенню тріщин. Проведення ультразвукової обробки для композицій з наповнювачем порошок заліза суттєвого підвищення ударної міцності не відбувається, що пов'язано з великим розміром частинок, які при зовнішніх впливах не змінюють своїх властивостей. При застосуванні порошку карбонільного заліза відбувається підвищення ударної міцності до ступеня наповнення 50 мас. ч. і різке зниження величини характеристики при вмісті 70 мас. ч. Це можна пояснити вищою змочуваністю частинок при порівняно невеликому ступені наповнення і неповною взаємодією частинок з епоксидною матрицею при вмісті 70 мас. ч. через здатність до агрегування у сухому стані. Проведення ультразвукової обробки забезпечило підвищення ударної міцності епоксикомпозитів, оскільки зовнішній вплив призвів до руйнування агломерованих частинок і підвищення їх змочуваності.

Вміст гель-фракції при збільшенні ступеня наповнення композицій, наповнених порошками

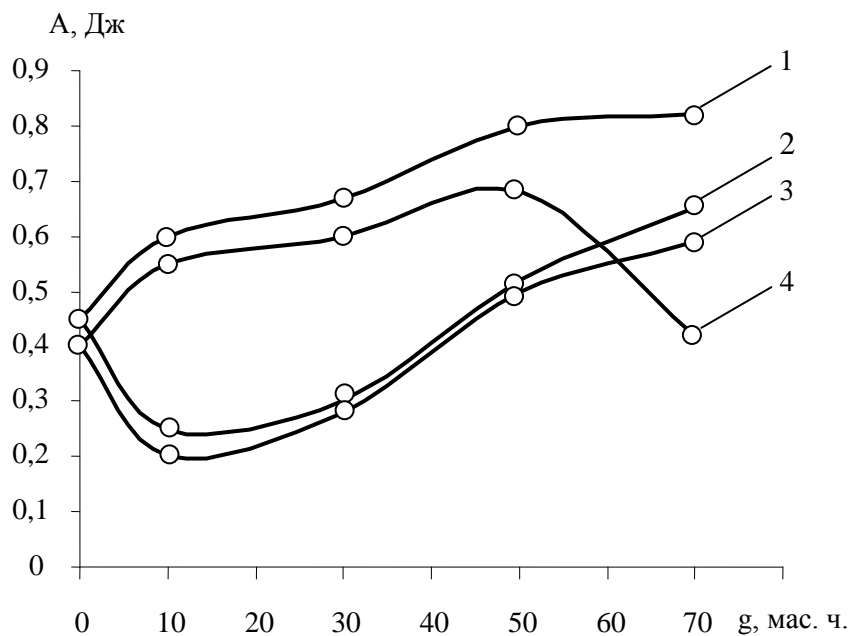


Рис. 2. Залежність ударної міцності епоксикомпозиту від кількості наповнювача після (1, 2) та до (3, 4) обробки композицій ультразвуком: 1, 4 – карбонільне залізо; 2, 3 – порошок заліза

заліза, необроблених ультразвуком, рівномірно знижується (рис. 3), що вказує на незавершеність реакцій поліконденсації епоксидного полімеру через введення до його складу наповнювачів. Однак високі значення механічних характеристик епоксикомпозитів, наповнених карбонільним залізом, можна пояснити низькими залишковими напруженнями. Проведення ультразвукової обробки для композиції, наповненої порошком заліза, показало несуттєве підвищення ступеня структурування. Це пов'язано з перемішуванням компонентів системи на макрорівні в результаті обробки, що дозволило системі утворити більшу кількість вузлів зшивання. Підвищення вмісту гель-фракції зафіксовано для композитів, наповнених порошком карбонільного заліза після ультразвукової обробки, яка трансформувала небажані агрегати високодисперсних частинок, що сприяло більш інтенсивній взаємодії компонентів системи між собою.

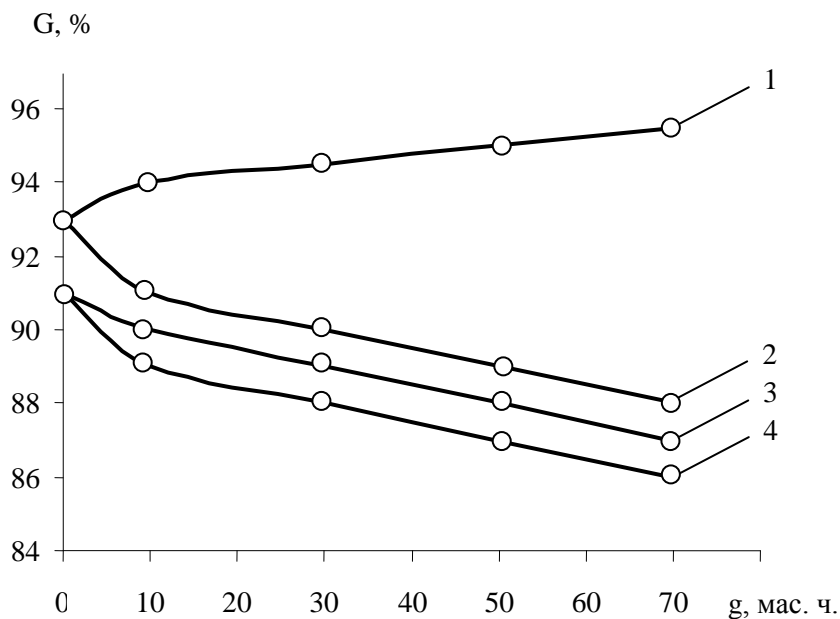


Рис. 3. Залежність вмісту гель-фракції епоксикомпозиту від кількості наповнювача після (1, 2) та до (3, 4) обробки композицій ультразвуком: 1, 3 – карбонільне залізо; 2, 4 – порошок заліза

Висновки та перспективи розвитку. Таким чином, в роботі досягнуто покращення фізико-механічних характеристик епоксикомпозитів, наповнених карбонільним залізом, після їх обробки ультразвуком в діапазонах малого і середнього наповнення. Максимальні значення адгезійної (38 МПа) та ударної міцності (0,82 Дж) зафіксовані для композитів з вмістом наповнювача 70 мас. ч. Тому представляє науковий інтерес дослідження властивостей епоксикомпозитів при вищих концентраціях наповнення. Оптимізовані композиції за рахунок високої адгезійної міцності та здатності чинити опір динамічному навантаженню складуть основу адгезійного шару при формуванні двошарових покриттів, які заплановано впровадити для захисту днища і надколісних ніш автобусів А60110 та тролейбусів на підприємстві ДП «Автоскладальний завод №1» АТ «АК Богдан Моторс».

1. Савчук П. П. Структура та функціональні властивості епоксидних композитів, наповнених вискодисперсними частинками / П. П. Савчук, А. Г. Косторнов // Порошкова металургія. – 2009. – № 9/10. – С. 81–87.
2. Букетов А.В. Закономірності впливу обробки енергетичними полями зв'язуючого і наповнювачів на властивості епоксикомпозитних матеріалів для захисних покриттів: дис... д-ра техн. наук: 05.02.01 – Тернопіль: ТДТУ, 2007. – 337 с.