

УДК 667.64:678.026

А.В. Сапронова*Херсонська державна морська академія***ВИКОРИСТАННЯ ДИСПЕРСНИХ ДОБАВОК ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ АДГЕЗІЙНИХ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ**

Методом ІЧ-спектрального аналізу досліджено поверхню дисперсної прокатної залізної окалини, яка характеризується наявністю з'єднань Mg-O, Mn-O, S, Ca-O, Fe-O, Fe-O₂, Si-O₂, Si-O-Si. Проведено дослідження впливу вмісту дисперсних часток на адгезійні і фізико-механічні властивості композитних матеріалів. Вміст добавки змінювали у межах q = 10...80 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 і 10 мас.ч. твердника ПЕПА. Введення дисперсної добавки у епоксидний зв'язувач за вмісту q = 40 мас.ч. дозволяє підвищити адгезійну міцність у 1,8 рази, фізико-механічні властивості у 1,1 рази. Для дослідження структури шитих полімерів використано оптичну мікроскопію. На основі аналізу фрактограм зламу матеріалів виявлено однорідну структуру зламу за оптимального вмісту наповнювача, що дає можливість стверджувати про формування термодинамічно і кінетично врівноваженої полімерної системи.

Ключові слова: дисперсний наповнювач, композит, ІЧ-спектральний аналіз, адгезія, фізико-механічні властивості, структура зламу, оптична мікроскопія

А.В. Сапронова*Херсонская государственная морская академия***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АДГЕЗИОННЫХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Методом ИК-спектрального анализа исследовано поверхность дисперсной прокатной железной окалины, которая характеризуется наличием соединений Mg-O, Mn-O, S, Ca-O, Fe-O, Fe-O₂, Si-O₂, Si-O-Si. Проведено исследование влияния содержания дисперсных частиц на адгезионные и физико-механические свойства композитных материалов. Содержание добавки меняли в пределах q = 10...80 мас.ч. на 100 мас.ч. эпоксидного олигомера ЭД-20 и 10 мас.ч. отвердителя ПЭПА. Введение дисперсной добавки в эпоксидное связующее при содержании q = 40 мас.ч. позволяет повысить адгезионную прочность в 1,8 раза, физико-механические свойства в 1,1 раза. Для исследования структуры шитых полимеров использовано оптическую микроскопию. На основе анализа фрактограм излома материалов выявлено однородную структуру излома при оптимальном содержании наполнителя, что позволяет утверждать о формировании термодинамически и кинетически уравновешенной полимерной системы.

Ключевые слова: дисперсный наполнитель, композит, ИК-спектральный анализ, адгезия, физико-механические свойства, структура излома, оптическая микроскопия

A.V. Sapronova*Kherson State Maritime Academy***USE OF DISPERSIVE ADDITIVES TO INCREASE THE ADHESION AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER PROTECTIVE COATINGS**

The surface of dispersed rolling iron scale, which is characterized by the presence of compounds Mg-O, Mn-O, S, Ca-O, Fe-O, Fe-O₂, Si-O₂, Si-O-Si, is studied by IR spectroscopic analysis. The influence of the content of dispersed particles on the adhesion and physicomachanical properties of composite materials was studied. The content of the additive was changed within the range q = 10...80 parts by weight. per 100 parts by weight. epoxy oligomer ED-20 and 10 parts by weight. hardener PEPA. The introduction of the dispersed additive into the epoxy binder at a content of q = 40 parts by weight. allows to increase the adhesive strength by 1.8 times, physical and mechanical properties 1.1 times. Optical microscopy was used to study the structure of cross-linked polymers. On the basis of the fractogram analysis of material fracture, a homogeneous structure of the fracture was revealed at the optimum filler content, which allows one to assert the formation of a thermodynamically and kinetically balanced polymer system.

Key words: disperse filler, composite, IR spectral analysis, adhesion, physical and mechanical properties, fracture structure, optical microscopy

Постановка проблеми. Для забезпечення екологічної стабільності промисловості і довкілля провідних країн світу, приділяють значної уваги утилізації відходів від промислового виробництва. Враховуючи об'єми виробництва прокатної сталі постає питання утилізації прокатної залізної окалини (ПЗО). ПЗО утворюється на поверхні прокату і представляє собою суміш різних фаз, причому склад і структура будуть визначатися режимом теплового оброблення металу. Таким чином ПЗО різного розміру і складу є цікавими з наукової і практичної точки зору як наповнювачі для формування епоксидних композитів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведені дослідження [1, 2] впливу оксидів металів дозволяють констатувати про їх ефективне використання при формуванні епоксидних

композитів. Авторами показано [1-3], що введення часток оксидів металів за оптимального вмісту забезпечує підвищення властивостей, зокрема температури склування. Враховуючи вище наведене, вагомим є проведення комплексних досліджень впливу добавок, які є відходами від промисловості, що містять у своєму складі оксиди металів на властивості епоксидних композитів для формування захисних покриттів. Враховуючи економічні аспекти (зниження вартості композиції за рахунок збільшення об'єму композиції) та результати дослідження [4-6] актуальним є використання часток прокатної залізної окалини за оптимального вмісту.

Мета роботи – дослідження впливу наповнювача, що є відходом промислового виробництва прокатної сталі, на властивості епоксидних композитів.

Методика дослідження. Основним компонентом для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який характеризується комплексом покращених властивостей порівняно з іншими відомими реактопластами, а саме: високою адгезійною міцністю до металевої основи, можливістю затверджування при низьких температурах, малою усадкою та ін.

Для зшивання епоксидних композицій використовували твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78), який дозволяє зшивати матеріали при кімнатних температурах.

Як наповнювач використовували відходи від виробництва, а саме частки прокатної залізної окалини.

ПЗО характеризується наступним складом, %: SiO_2 – 0,803; Al_2O_3 – 0,36; Fe_2O_3 – 32,57; FeO – 64,85; MgO – 0,03; MnO – 0,44; CaO – 0,21; S – 0,031. Дисперсність часток становить $d = 60 \dots 63$ мкм.

У роботі досліджували наступні властивості КМ: адгезійна міцність при відриві і зсуві, залишкові напруження, руйнівні напруження та модуль пружності при згинанні, ударну в'язкість, структуру композитних матеріалів методом оптичної мікроскопії.

Адгезійну міцність матриці до металевої основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження («метод грибків») при рівномірному відриві пари склесних зразків згідно ГОСТ 14760-69. Дослідження адгезійної міцності при зсуві проводили згідно ГОСТ 14759-69, аналогічно вимірюючи силу відривання клейових з'єднань сталевих зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 при швидкості навантаження $v = 10$ Н/с. Діаметр робочої частини сталевих зразків при відриві становив $d = 25$ мм. Слід зазначити, що площа склеювання зразків, які досліджували при відриві та зсуві, була однаковою.

Залишкові напруження у матриці визначали консольним методом [7]. Покриття товщиною $\delta = 0,3 \dots 0,5$ мм формували на сталевій основі. Параметри основи: загальна довжина $l = 100$ мм; робоча довжина $l_0 = 80$ мм, товщина $\delta = 0,3$ мм.

Руйнівне напруження і модуль пружності при згинанні визначали згідно ГОСТу 4648-71 і ГОСТу 9550-81 відповідно. Параметри зразків: довжина $l = 120 \pm 2$ мм, ширина $b = 15 \pm 0,5$ мм, висота $h = 10 \pm 0,5$ мм.

Ударну в'язкість визначали за методом Шарпі відповідно до ГОСТ 4647-80 на маятниковому копрі МК-30 при температурі $T = 298 \pm 2$ К і відносній вологості $d = 50 \pm 5$ %. Використовували зразки розміром $l \times b \times h = (63,5 \times 12,7 \times 12,7) \pm 0,5$ мм. Відстань між опорами $l = 40 \pm 0,5$ мм.

Відхилення значень при дослідженні показників фізико-механічних властивостей КМ становило 4...6 % від номінального.

Для дослідження хімічних зв'язків у наповнювачі використовували ІЧ-спектральний аналіз. ІЧ-спектри реєстрували на спектрофотометрі марки «IRAffinity-1» (Японія) у ділянці хвильових чисел $\nu = 400 \dots 2400$ cm^{-1} однопроменевим методом у відбитому світлі. Розгортку спектру за хвильовими числами $\lambda^{-1} = \nu$ здійснювали на діаграмі в межах 225 мм у діапазоні вибраних частот. Хвильові числа, інтенсивність пропускання, напівширину і площу смуги поглинання визначали за допомогою комп'ютерної програми IRsolution. Похибка при визначенні хвильового числа $\nu = \pm 0,01$ cm^{-1} , а при визначенні точності розташування піку $\nu = \pm 0,125$ cm^{-1} . Фотометрична точність становила $\pm 0,2$ % при програмному управлінні щільною і тривалістю інтегрування $t = 10$ с. Крок інтегрування $\Delta\lambda = 4$ cm^{-1} .

Дослідження структури (топології) КМ проводили на металографічному мікроскопі моделі XJL-17AT, який обладнаний камерою Levenhuk C310 NG (3,2 Mega Pixels). Діапазон збільшення зображення від $\times 100$ до $\times 1600$ разів. Для обробки цифрових зображень використовували програмне забезпечення «Levenhuk TourView».

Експериментальні результати. Для визначення хімічної активності часток ПЗО доцільним є проведення ІЧ-спектрального аналізу.

Згідно ІЧ-спектрального аналізу часток наповнювача виявлено смугу поглинання ($S = 15,7\%$) при хвильовому числі $\nu = 545,85 \text{ см}^{-1}$ свідчить про наявність з'єднань Mg-O, Mn-O, S, та мінеральних включень. Смуга поглинання ($S = 16,1\%$) при хвильовому числі $\nu = 634,58 \text{ см}^{-1}$ характеризує з'єднання Ca-O [8, 9]. Діапазон хвильових чисел $\Delta\nu = 750,31 \dots 927,76 \text{ см}^{-1}$ характеризує наявність з'єднань Fe-O, Fe-O₂. Смуга поглинання ($S = 16,8\%$) при хвильовому числі $\nu = 1047,35 \text{ см}^{-1}$ характеризує наявність сполук Si-O₂, Si-O-Si [8, 9].

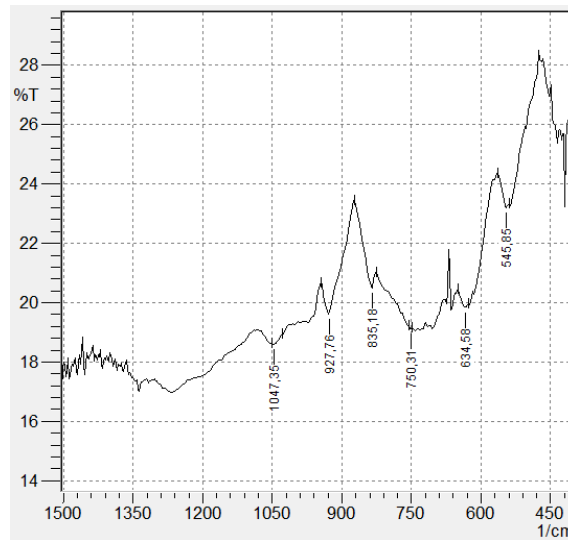


Рис. 1. Спектр наповнювача ПЗО у ділянці хвильових чисел $\nu = 400 \dots 1350 \text{ см}^{-1}$

Отже методом ІЧ-спектрального аналізу визначали хімічну активність часток ПЗО, тобто наявність активних груп на їх поверхні.

Попередньо досліджували вплив вмісту ПЗО на адгезійну міцність при відриві (σ_a), зсуві (τ) і залишкові напруження (σ_3) у КМ. Експериментально встановлено (рис. 2), що введення у епоксидний олігомер часток ПЗО за вмісту $q = 10 \text{ мас.ч.}$ приводить до зростання адгезійної міцності при відриві КМ з 24,4 МПа (для епоксидної матриці) до 28,0 МПа (рис. 2, крива 1).

Надалі збільшення кількості добавки ($q = 20 \dots 60 \text{ мас.ч.}$) у епоксидному зв'язувачі приводить до зростання адгезійної міцності при відриві $\sigma_a = 30,0 \dots 36,5 \text{ МПа}$, що свідчить про його активність відносно епоксидного олігомеру ЕД-20. При цьому максимум на кривій залежності адгезійної міцності від вмісту часток ПЗО встановлено при введенні наповнювача за вмісту $q = 80 \text{ мас.ч.}$ Такі композити характеризуються адгезійною міцністю, яка становить $\sigma_a = 40,0 \text{ МПа}$. Вважали, що підвищення адгезійної міцності при відриві пов'язано із донорно-акцепторною взаємодією атомів кисню оксидів металу з поверхнею основи.

При дослідженні впливу часток ПЗО на адгезійну міцність при зсуві спостерігали аналогічну залежність за вмісту часток кількістю $q = 10 \dots 40 \text{ мас.ч.}$ (рис. 2, крива 2), тобто при введенні у зв'язувач дисперсних часток спостерігали підвищення показників адгезійної міцності ($\tau = 9,2 \dots 9,4 \text{ МПа}$). Введення часток ПЗО за вмісту $q = 60 \dots 80 \text{ мас.ч.}$ призводить до зниження показників адгезійної міцності при зсуві $\tau = 9,2 \dots 9,0 \text{ МПа}$. Отримані результати дослідження добре узгоджуються із працями [4-6, 10, 11] та свідчать про різний механізм, величину впливу нормальних і тангенційних (дотичних) напружень при руйнуванні адгезійного з'єднання.

Аналіз праць [5-11] свідчить, що при використанні композитів для захисних покриттів вагомим є значення залишкових напружень, поза як σ_3 характеризує довговічність розроблених матеріалів. При великих значеннях залишкових напружень можливе утворення тріщин у об'ємі матеріалу, що згодом, під впливом зовнішніх і внутрішніх фізико-хімічних процесів зумовлює руйнування полімеру (викришування, сколи, відшарування). Експериментально встановлено, що при введенні часток ПЗО за вмісту $q = 10 \dots 40 \text{ мас.ч.}$ значення залишкових напружень змінюються не суттєво $\sigma_3 = 1,4 \dots 1,5 \text{ МПа}$. Зростання залишкових напружень спостерігали при введенні ПЗО за вмісту $q = 60 \dots 80 \text{ мас.ч.}$ Значення залишкових напружень матеріалів становить – $\sigma_3 = 2,0 \dots 3,2 \text{ МПа}$.

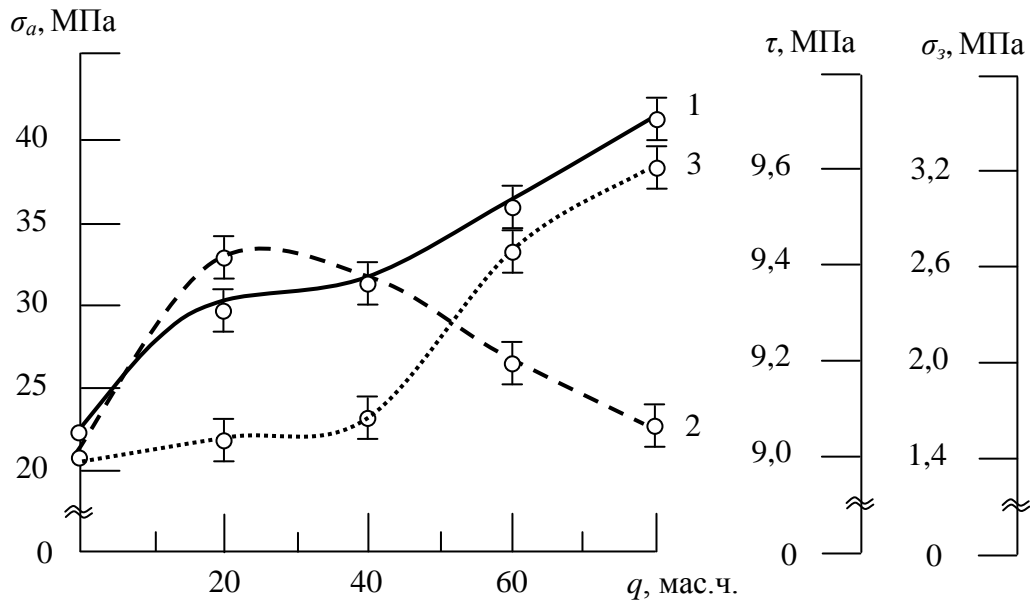


Рис. 2. Залежність адгезійної міцності (σ_a , τ) і залишкових напружень (σ_3) КМ від вмісту наповнювача ПЗО: 1 – адгезійна міцність при відриві (σ_a); 2 – адгезійна міцність при зсуві (τ); 3 – залишкові напруження

Отже, при використанні розроблених адгезивів необхідно враховувати умови експлуатації розроблених матеріалів. При експлуатації матеріалів в умовах впливу нормальних (σ_a) і дотичних (τ) напружень актуальним є використання композицій, що містять у своєму складі $q = 40$ мас.ч. прокатної залізної окалини, позаяк адгезійна міцність таких матеріалів становить: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 30,0 \dots 32,0$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 9,3 \dots 9,4$ МПа.

Водночас, при використанні полімерних матеріалів в умовах мінімального впливу дотичних напружень актуальним є використання композицій із вмістом прокатної залізної окалини $q = 80$ мас.ч., позаяк значення адгезійної міцності при відриві становить – $\sigma_a = 40,0$ МПа.

У процесі експлуатації захисного покриття вагомим є не лише показники адгезійної міцності, а й фізико-механічні властивості. Тому надалі досліджували фізико-механічні властивості КМ, наповнених частками ПЗО. Встановлено, що введення у епоксидний зв'язувач наповнювача ПЗО за вмісту $q = 10$ мас.ч. приводить до підвищення показників руйнівних напружень при згинанні КМ відносно матриці на $\Delta\sigma_{3z} = 10 \dots 12$ МПа (рис. 3, крива 1). Це опосередковано свідчить про взаємодію аміногруп твердника з атомами кисню оксидів металів внаслідок чого зростає густина просторової сітки полімеру, відповідно зростає механічна міцність матеріалу. При збільшенні вмісту часток ПЗО зростає і густина просторової сітки полімеру, а отже і ступінь зшивання полімеру. Підтвердженням наведених положень є зростання руйнівних напружень при згинанні з $\sigma_{3z} = 48,0$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_{3z} = 70$ МПа при введенні оптимального вмісту ($q = 20$ мас.ч.) часток ПЗО.

Подальше введення часток ПЗО за вмісту $q = 40 \dots 80$ мас.ч. призводить до зниження руйнівних напружень при згинанні $\sigma_{3z} = 60,0 \dots 48,0$ МПа. Вважали, поясненням є зростання жорсткості полімерів за рахунок вповільнення сегментальної рухливості міжвузлових молекулярних ланцюгів зумовленої зростанням густини полімеру до критичного значення.

Надалі аналізували залежність модуля пружності при згинанні від вмісту ПЗО (рис. 3, крива 2). Встановлено, що динаміка зростання модуля пружності аналогічна руйнівним напруженням при згинанні. Однак, максимальне значення модуля пружності $E = 4,2$ ГПа спостерігали при введенні ПЗО за вмісту $q = 80$ мас.ч.

Додатково аналізували ударну в'язкість епоксикомпозитів, наповнених ПЗО (рис. 3, крива 3). Введення у епоксидний зв'язувач наповнювача ПЗО за вмісту $q = 10$ мас.ч. не суттєво впливає на показники ударної в'язкості, позаяк їх значення становить – $W = 7,3$ кДж/м², що є на рівні із значенням ударної в'язкості епоксидної матриці. Експериментально встановлено, що при введенні ПЗО за вмісту $q = 20 \dots 60$ мас.ч. ударна в'язкість зростає відносно вихідної матриці ($W = 7,3$ кДж/м²) і становить $W = 7,5 \dots 8,9$ кДж/м². Максимум на кривій залежності ударної в'язкості від вмісту ПЗО (рис. 3, крива 3) встановлено при введенні часток за вмісту

$q = 80$ мас.ч., що додатково узгоджується із результатами модуля пружності при згинанні і свідчить про достовірність отриманих результатів дослідження.

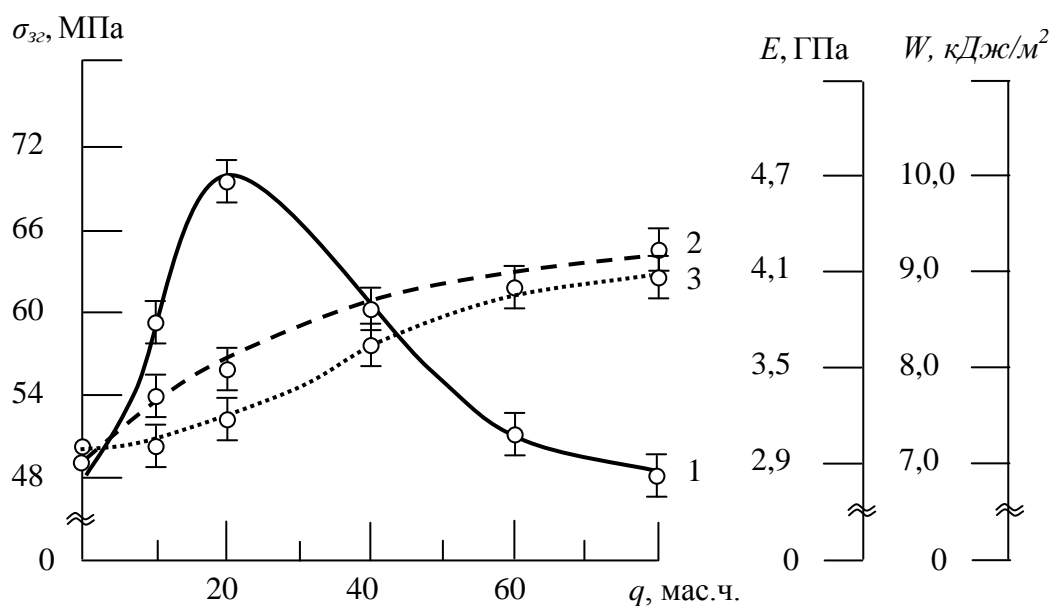


Рис. 3. Залежність руйнівних напружень при згинанні (σ_{32}), модуля пружності при згинанні (E) і ударної в'язкості (W) КМ від вмісту наповнювача ПЗО: 1 – руйнівні напруження при згинанні (σ_{32}); 2 – модуль пружності при згинанні (E); 3 – ударна в'язкість (W)

На завершальному етапі методом оптичної мікроскопії досліджували поверхню зламу епоксидної матриці і композитів, наповнених частками ПЗО (рис. 4). На основі аналізу фрактограм зламу епоксидної матриці (рис. 4, а) встановлено характер поверхні руйнування, що має розгалужені лінії сколювання з вираженими заглибленнями. Дані матеріали характеризують напружений стан системи та опосередковано свідчать про можливі внутрішні фізико-хімічні процеси руйнування полімеру.

Аналіз поверхні зламу КМ із вмістом часток ПЗО у кількості $q = 10$ мас.ч. (рис. 4, б) дозволяє стверджувати, що при такому наповненні формуються матеріали із рівномірним розподілом часток за об'ємом, що зумовлює формування однорідної структури зламу.

При дослідженні поверхні зламу КМ із вмістом часток ПЗО у кількості $q = 20 \dots 40$ мас.ч. (рис. 4, в) спостерігали подібну топологію. Це свідчить про формування термодинамічно і кінетично врівноважених полімерних систем за вмісту $q = 10 \dots 40$ мас.ч. дисперсної складової. Дані положення добре узгоджуються із результатами фізико-механічних властивостей КМ (рис. 3.)

Аналіз поверхні зламу КМ із вмістом $q = 60 \dots 80$ мас.ч. часток ПЗО дозволив виявити дефекти у вигляді широких магістральних тріщин розгалуженого характеру, а також повітряних включень. Поява даних дефектів пов'язана із зростанням в'язкості полімерної системи, що є сприятливою умовою для формування агломератів за рахунок неповного змочування часток ПЗО полімером. Відповідно, такі матеріали відзначаються хоча і високими показниками модуля пружності і ударної в'язкості, але й значним напруженим станом, що негативно впливає на покриття у процесі експлуатації.

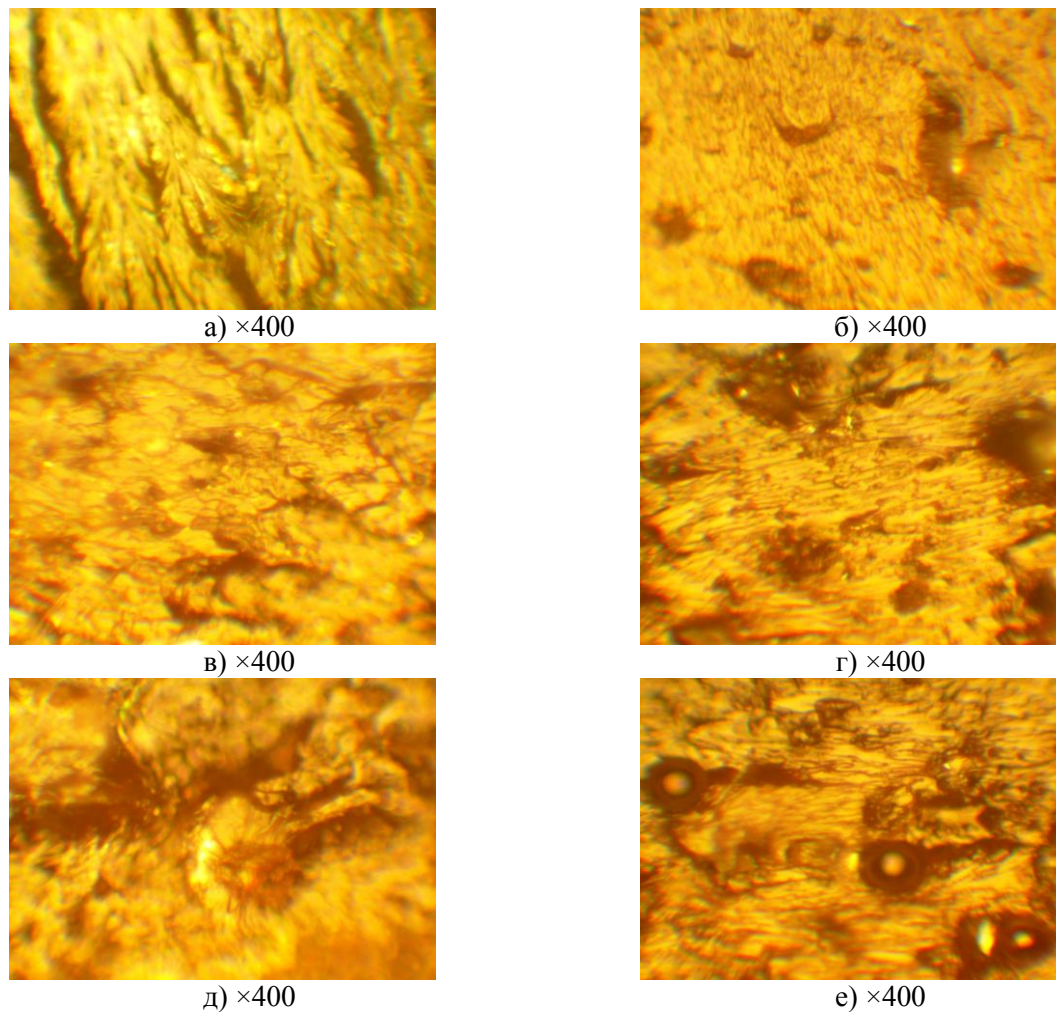


Рис. 4. Фрактограми зламу КМ, наповнених частками ПЗО: а) матриця; б) 10 мас.ч.; в) 20 мас.ч.; г) 40 мас.ч.; д) 60 мас.ч.; е) 80 мас.ч.

Висновки. На основі наведених результатів дослідження можна констатувати, що використання прокатної залізної окалини є досить ефективним, позаяк спостерігали поліпшення показників адгезійної міцності композитних матеріалів та їх фізико-механічних властивостей за умови введення оптимального вмісту добавки.

У роботі встановлено наступне.

1. Проведено ІЧ-спектральний аналіз часток прокатної залізної окалини, який дозволив виявити на їх поверхні значну кількість активних груп у діапазоні хвильових чисел $\nu = 400 \dots 1350 \text{ см}^{-1}$ (Mg-O, Mn-O, S, Ca-O, Fe-O, Fe-O₂, Si-O₂, Si-O-Si). Такі групи активізують перебіг процесів полімеризації за рахунок взаємодії з боковими групами та сегментами зв'язувача, що забезпечує формування полімерів із високими показниками механічної міцності.

2. Встановлено оптимальний вміст часток прокатної залізної окалини у епоксидній матриці з поліпшеними адгезійними властивостями. Максимальні показники адгезійної міцності КМ при відриві ($\sigma_a = 40,0 \text{ МПа}$) спостерігали за вмісту наповнювача $q = 80 \text{ мас.ч.}$ Водночас максимальні показники адгезійної міцності при зсуві ($\tau = 9,4 \text{ МПа}$) спостерігали у КМ за вмісту часток прокатної залізної окалини $q = 20 \text{ мас.ч.}$ Для формування покриття різного функціонального призначення, а саме з максимальними значеннями σ_a і τ доцільно використовувати КМ із вмістом часток прокатної залізної окалини – $q = 40 \text{ мас.ч.}$ Такий матеріал характеризується наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 32,0 \text{ МПа}$, при зсуві – $\tau = 9,4 \text{ МПа}$, залишкові напруження – $\sigma_3 = 1,5 \text{ МПа}$.

3. Доведено, що для формування композитів з поліпшеними фізико-механічними властивостями у комплексі необхідно у епоксидний олігомер ЕД-20 (100 мас.ч.) вводити наповнювач прокатну залізну окалину за вмісту $q = 40 \text{ мас.ч.}$ У такому випадку формується

матеріал з наступними властивостями: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{3z} = 60,0$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 4,1$ ГПа, ударна в'язкість – $W = 8,3$ кДж/м².

4. Результати, отримані методом оптичної мікроскопії, добре узгоджуються з випробуваннями фізико-механічних властивостей матеріалів. При цьому аналіз фрактограм зламу дозволив виявити структурні особливості композитів та визначити оптимальний вміст дисперсних наповнювачів для формування покриттів, які експлуатуються в умовах впливу механічних навантажень.

Література

1. Штомпель В.І. Мікрогетерогенна структура композитів на основі епоксидної смоли та оксиду Fe (III) або Al (III) / В.І.Штомпель, В.Л.Демченко, В.О.Віленський, Ю.Ю.Керча // Полімерний журнал. – 2008. – Т30№3. – С. 233-238.
2. Віленський В.О. Вплив природи дисперсних наповнювачів на структуру, теплофізичні властивості та електропровідність композитів на основі епоксидної смоли / В.О.Віленський В.Л.Демченко // Полімерний журнал. – 2008. – Т30№2. – С. 133-140.
3. Амелін М.Ю. Відновлення деталей транспорту полімерними композитами з мікродисперсними частками, що є відходами виробництва // М.Ю.Амелін, О.О.Сапронов, О.В.Ходаковський, Н.М.Букетова // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛНТУ. – Випуск 60. – 2017. – С. 22-30.
4. Сапронов О.О. Використання дисперсних добавок для підвищення теплофізичних властивостей полімерних захисних покриттів / О.О.Сапронов, О.В.Лещенко // Вісник ХНТУ – 2018. – №1(64). – Р. 57-61.
5. Сапронов О.О. Використання в'яжучих енергоресурсів для підвищення адгезійних і фізико-механічних властивостей епоксидних композитів. Сапронов О.О., Букетова Н.М // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛНТУ. – Випуск 53. – 2016. – С. 154-161.
6. Букетова Н.М. Особливості впливу дисперсного конвертерного шламу на адгезійні і фізико-механічні властивості епоксидних композитів / Н.М. Букетова // Науковий вісник ХДМА. – 2015. – № 2 (13). – С. 153-162.
7. Корякина М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М.И. Корякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.
8. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 536 с.
9. Сафулин Р.С. Неорганические композиционные материалы. – М.: Химия, 1983. – 304с.
10. Buketov. A. V. Mechanical Characteristics of Epoxy Nanocomposite Coatings with Ultradisperse Diamond Particles / A. V. Buketov, N. A. Dolgov, A. A. Saprionov, V. D. Nigalatii, N. V. Babich // [Strength of Materials](#). – Vol. 49, No 3. – 2017. – P.473-480.
11. Buketov A. Enhancing performance characteristics of equipment of sea and river transport by using epoxy composites / A. Buketov, P. Maruschak, O. Saprionov, D. Zinchenko, V. Yatsyuk, S. Panin // Transport – 2016. – Vol. – 31(3). – P. 333-342.

Стаття надійшла до редакції 14.06.2018