

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БУКЕТОВА НАТАЛІЯ МИКОЛАЇВНА



УДК 667.64:678.026

**РОЗРОБКА ФУЛЕРЕНОВМІСНИХ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ З
МІКРОДИСПЕРСНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ ДЛЯ ЗАХИСНИХ
ПОКРИТТІВ З ПІДВИЩЕНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Спеціальність 05.02.01 – матеріалознавство

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Луцьк – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Херсонській державній морській академії
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент

Бень Андрій Павлович,

Херсонська державна морська академія,
проректор з науково-педагогічної роботи

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Фесенко Ігор Павлович,

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
провідний науковий співробітник відділу технологій високих
тисків, функціональних керамічних композитів та дисперсних
надтвердих матеріалів

кандидат технічних наук, доцент

Кашицький Віталій Павлович,

Луцький національний технічний університет, доцент
кафедри матеріалознавства та пластичного формування
конструкцій машинобудування

Захист відбудеться «16» червня 2017 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради К 32.075.02 при Луцькому національному технічному університеті за
адресою: 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, а. 401.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Луцького національного технічного
університету за адресою: 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.

Автореферат розіслано «11» травня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 32.075.02,
кандидат технічних наук, доцент



Д.А. Гусачук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. З розвитком виробництва металів та сплавів зростає попит на використання покриттів, як засобів захисту матеріалів від корозійного руйнування і зношування. Серед гами існуючих захисних покриттів (металевих і неметалевих) за властивостями, наявністю сировинної бази зв'язувачів і компонентів на території України, простотою технології формування і нанесення та, враховуючи експлуатаційні характеристики, найбільш перспективним є використання адгезивів на епоксидній основі. Водночас для підвищення властивостей епоксикомпозитів у зв'язувач вводять модифікатори і наповнювачі. У даному напрямку досягли помітних успіхів школи таких учених: Ліпатова Ю.С., Мамуні Є.П., Стухляка П.Д. (Україна); Бартенєва Г.М. (Росія); Белого В.А. (Білорусь); Сперрлінга Л., Ньюмена С. (Англія), Шарпа Г. (Німеччина), Теокаріса П. (США); Такаянагі К., Каваї І. (Японія).

Останнім часом перспективним є використання нанонаповнювачів, таких як ультрадисперсний алмаз, нанотрубки, фулерени. На відміну від алмазу і нанотрубок, фулерени є молекулами із замкнутою поверхнею, які здатні приєднувати до шести вільних електронів, що робить їх активними окиснювачами, здатними утворювати хімічні сполуки з новими властивостями. Виходячи з наведеного вище, розробка епоксидних композитів, наповнених наночастками фулерену C_{60} , та дослідження їх властивостей є актуальним завданням сучасного полімерного матеріалознавства.

Крім того, на сьогодні все більшої уваги приділяють вторинній переробці відходів металургійного виробництва, що дозволяє окрім очищення довкілля заощадити значні кошти, спрямовані на утилізацію цих же відходів. Одним із таких матеріалів є сажа та шлаки. Це дисперсні матеріали, які утворюються при неповному згоранні або термічному розкладанні вуглеводнів, що містяться у природному чи промисловому газі та рідких продуктах нафтового або кам'яновугільного походження. Слід зауважити, що дані відходи різного розміру і складу є цікавими з наукової і практичної точки зору як наповнювачі для формування епоксидних композитів з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Використання дешевих наповнювачів (відходи промислового виробництва), які, окрім підвищення експлуатаційних характеристик епоксидних композитів, сприяють зменшенню вартості конструкційних матеріалів є вигідним з економічної і екологічної точки зору.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні наукові результати дисертації отримано в процесі виконання планових науково-дослідних робіт у Херсонській державній морській академії, які є частиною дослідження держбюджетних тем: ДІ 59/01-23 «Розробка модифікованих ультразвуком епоксипластів, наповнених дисперсно-волокнистими добавками, з підвищеними експлуатаційними характеристиками», номер № д.р. 112U001148), ДФ 01-23/2899 «Розроблення модифікованих захисних полімеркомпозитних антикорозійних і зносостійких покриттів для суднобудування» (№ д.р. 011U008118), а також госпдогвірної теми «Розробка модифікованих ультразвуком епоксипластів, наповнених дисперсно-волокнистими добавками, з підвищеними експлуатаційними характеристиками» (замовник – Товариство з обмеженою відповідальністю

«Суднобудівна компанія «Марина груп»») (№ д.р. 011U008118). Автор дисертації брав безпосередню участь у виконанні вказаних тем як виконавець.

Мета і завдання досліджень. Мета роботи – встановити основні закономірності впливу модифікатора, нано- та мікродисперсних наповнювачів на експлуатаційні характеристики епоксидних матеріалів та видати рекомендації щодо створення на їх основі покриттів для захисту деталей технологічного устаткування від корозії та дії гідроабразиву.

Для досягнення мети необхідно було вирішити такі наукові і практичні задачі:

1. Дослідити вплив вмісту модифікатора на закономірності формування та властивості епоксидної матриці.

2. Встановити вплив нано- та мікродисперсних мінеральних наповнювачів на властивості композитних матеріалів і дослідити фізико-хімічну взаємодію на межі розділу фаз «матриця – наповнювач».

3. Встановити вплив структури композитів на адгезійні, фізико-механічні, теплофізичні властивості за наявності нано- і мікродисперсних наповнювачів.

4. Оптимізувати склад дисперсних наповнювачів для отримання функціональних шарів різного призначення у захисних покриттях з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

5. Розробити технологію формування композитних матеріалів з нано- і дрібнодисперсними наповнювачами для створення захисних покриттів, які працюють в умовах впливу гідроабразиву і агресивних середовищ.

6. Видати рекомендації щодо створення на основі розроблених композитів захисних покриттів різного функціонального призначення та здійснити їх впровадження у промисловість.

Об'єкт дослідження – епоксикомпозитні матеріали і покриття, що містять нано- та мікродисперсні наповнювачі.

Предмет дослідження – фізико-хімічні закономірності процесу формування дисперснонаповнених епоксикомпозитів та їх властивості.

Методи дослідження. Експериментально-теоретичні: відомі методи дослідження адгезійної міцності, залишкових напружень, фізико-механічних властивостей, корозійної тривкості (імпедансна спектроскопія) і гідроабразивної зносостійкості композитів; методи дослідження теплофізичних (дериватограф «Thermoscan-2», термічний коефіцієнт лінійного розширення, теплостійкість) властивостей та структури (металографічний мікроскоп моделі XJL-17AT з камерою 130 UMD (1,3 Mega Pixels)) матеріалів; спектральні вимірювання проводили на ІЧ-спектрофотометрі «IRAffinity-1». Для оптимізації складу матеріалів застосовані методи комп'ютерної та статистичної обробки результатів.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Вперше досліджено вплив модифікатора 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрилу) на структуроутворення епоксидного зв'язувача і встановлено поліпшення адгезійних, фізико-механічних та теплофізичних властивостей матриці при введенні добавки за критичного вмісту.

- Вперше досліджено динаміку руйнування епоксидних композитів, наповнених фулереном C₆₀, і обґрунтовано механізм руйнування зразків при ударному

навантаженні, який поєднує етап зародження тріщини, її збільшення та безпосередньо руйнування матеріалів.

- Досліджено вплив фулерену C_{60} на властивості композитів і встановлено його оптимальний вміст ($q = 0,025 \dots 0,050$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20) у епоксидному зв'язувачі. Доведено, що введення фулерену C_{60} за оптимального вмісту зумовлює зміну топологічної структури композиту і конформаційного набору макромолекул, що забезпечує поліпшення механічної міцності та ударної в'язкості матеріалу.

- Встановлено закономірності впливу дисперсних часток пічної сажі ПМ-75 на процеси структуроутворення матеріалів, що дозволяє шляхом введення у зв'язувач мікрочасток за незначного вмісту (20...25 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли) отримувати композити з підвищеними показниками адгезійної міцності і механічних характеристик за рахунок взаємодії активних груп С-С (при хвильовому числі $\nu = 1122,57 \text{ см}^{-1}$), а також С-О і О=С-Н (при хвильовому числі $\nu = 1398,39 \text{ см}^{-1}$) на поверхні часток з макромолекулами та сегментами епоксидного зв'язувача.

- Обґрунтовано перспективність використання відходів промислового виробництва (конвертерний і зварювальний шлаки) при формуванні епоксидних композитів, що забезпечує їх утилізацію та водночас суттєве поліпшення показників фізико-механічних і теплофізичних властивостей композитів. Встановлено, що введення у зв'язувач часток конвертерного і зварювального шлаків за критичного вмісту забезпечує поліпшення когезійних властивостей матеріалів за рахунок активації фізико-хімічних процесів міжфазової взаємодії при формуванні композитів і збільшення ступеня їх зшивання.

- Обґрунтовано вибір інгредієнтів для епоксикомпозитів та з використанням методів математичної статистики оптимізовано склад адгезійного та функціональних шарів покриттів з нано- і мікродисперсними наповнювачами для захисту деталей, які працюють в мовах впливу гідроабразиву та агресивних середовищ.

Практичне значення роботи. На основі проведених досліджень і отриманих результатів створено нові композитні матеріали і покриття на їх основі з прогнозованими властивостями для підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування. Розроблено технологічний регламент нанесення покриттів на деталі устаткування, які експлуатують в умовах впливу агресивних корозійно-активних середовищ і гідроабразиву при динамічних навантаженнях.

Розроблено нові матеріали, методи та способи підвищення корозійної тривкості і гідроабразивної зносостійкості захисних покриттів, які мають пріоритетний характер, захищені патентами України на корисні моделі і характеризуються поліпшеними властивостями порівняно з відомими аналогами. Високу ефективність сформованих багат шарових покриттів підтверджено актом впровадження з метою підвищення експлуатаційних характеристик обладнання та його ремонту.

Нові композити і технологія їх формування впроваджені на ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА» (м. Тернопіль), що дозволило підвищити показники фізико-механічних властивостей у 2,1 рази; показники антикорозійних властивостей у 1,8

разів; показники гідроабразивної зносостійкості у 2,4 рази. Це дало можливість збільшити міжремонтний ресурс експлуатації деталей у 3,4 рази.

Особистий внесок автора. У дисертаційну роботу увійшли наукові результати, отримані автором особисто. Автору належать вибір об'єктів і методик дослідження, а також теоретичне обґрунтування результатів. Здобувачем виготовлено та досліджено експериментальні зразки композитів, узагальнено та описано отримані результати, сформульовано практичні рекомендації для впровадження розробленої технології у виробництво. Обґрунтування та аналіз отриманих результатів здійснено у творчій співпраці з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на: IV-VII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО)» (м. Херсон, 2013 – 2016), V, VII, VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (м. Херсон, 2013, 2015, 2016), відкритій науково-технічній конференції «Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи» (м. Львів, 2013, 2015), Міжнародній науковій конференції «Ukraine – Bulgari – European Union: contemporary and perspectives» (м. Варна, 2014), Міжнародній науково-практичній конференції «Possibilities of scientific and educational cooperation between universities of ukraine and poland» (м. Люблін, 2015), VII Міжнародній науково-технічній конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми» (Миколаїв, 2015), IV Міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2015), Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток інноваційної діяльності в галузі технічних і фізико-математичних наук» (м. Миколаїв, 2016), I Міжнародній науково-практичній конференції «Системи розробки та постановки продукції на виробництво» (м. Суми, 2016), Міжнародній конференції «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций» (м. Томськ, 2016).

Роботу у повному обсязі було розглянуто на:

- науково-технічному семінарі відділу фізико-хімії і технології композиційних абразивних матеріалів, розробки і використання інструментів з них Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України, м. Київ (протокол № 1 від 21 січня 2016 р.).

- розширеному науково-технічному семінарі Херсонської державної морської академії, м. Херсон (протокол № 1 від 12 лютого 2017 р.);

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 33 наукові праці, з яких: 11 статей у фахових виданнях, 20 тез доповідей та матеріалів конференцій, 2 патенти на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота виконана на 148 сторінках машинописного тексту, включає 49 рисунків, 31 таблицю, список використаних джерел із 119 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертації – 187 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність розробки нових матеріалів і захисних епоксикомпозитних покриттів на їх основі з прогнозованими властивостями, сформульовано мету і завдання роботи, наведено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, показано зв'язок дисертації з науковими планами і темами. Висвітлено особистий внесок здобувача і наведено відомості про апробацію результатів та кількість публікацій.

У першому розділі показано, що перспективним напрямком вирішення завдання підвищення ресурсу роботи машин, механізмів і технологічного устаткування є застосування захисних полімерних композитних покриттів. Серед найбільш розповсюджених полімерних зв'язувачів можна виокремити епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20, який характеризується можливістю тверднення при кімнатній та підвищеній температурі, поліпшеною адгезійною міцністю до металевої основи, фізико-механічними, теплофізичними і антикорозійними властивостями. Окрім того, введення різних за природою, формою і дисперсністю наповнювачів зумовлює покращену міжфазову взаємодію між активними центрами на поверхні часток та макромолекулами олігомеру, внаслідок чого утворюється сіткова структура КМ з високим ступенем зшивання.

Обґрунтовано, що для покращення властивостей матеріалів важливим є використання нанонаповнювачів. Властивості композитних матеріалів (КМ), наповнених наночастками, суттєво поліпшуються навіть при введенні нанонаповнювача за «гомеопатичного» вмісту. Серед методів регулювання структури, а, отже, і поліпшення властивостей КМ важливими також є технологічні прийоми їх формування при дії зовнішніх енергетичних полів. У цьому плані перспективним є використання ультразвукової обробки (УЗО) композицій з наночастками чи мікродисперсними добавками до введення твердника. Це приводить до рівномірного розподілу наповнювача у об'ємі композиції, додаткового його змочування, активації епоксидних макромолекул і поліпшення їх сегментальної рухливості з наступним утворенням активних радикалів. Це, у свою чергу, забезпечує підвищення експлуатаційних характеристик КМ, а, отже, і захисних покриттів на їх основі.

У другому розділі описано об'єкти і методи досліджень. Обґрунтовано вибір зв'язувача, модифікатора і наповнювачів для формування матеріалів. Описано схеми обладнання і режими випробування композитів. У вигляді основи для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидно-діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для зшивання композицій використовували твердник холодного затвердження поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-02-594-85). Як модифікатор використано 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрил) (ФБХПН), який характеризується реакційною здатністю до взаємодії з макромолекулами епоксидного олігомеру завдяки значній кількості активних груп. Формула ФБХПН має вигляд $C_{12}H_{10}Cl_2N_2$.

Для покращення властивостей композитів у модифікований епоксидний зв'язувач вводили різні за природою і дисперсністю добавки. Зокрема, використано нанодисперсний наповнювач фулерен C_{60} з дисперсністю 5 нм. Вміст наповнювача змінювали в межах $q = 0,010 \dots 0,100$ мас.ч.

Як мікродисперсний наповнювач для експериментальних досліджень використано частки пічної сажі (ПМ-75). ПМ-75 – це вуглецевий матеріал, що утворюється при неповному згоранні або термічному розкладанні мастила. Елементарний склад наповнювача ПМ-75: С = 97,3 %; Н = 0,5 %; S = < 0,8 %; О = 1,2 %; мінеральний залишок – 0,2 %. Розмір часток ПМ-75 становить 8...12 мкм.

Додатково як наповнювачі для досліджень використано дисперсні частки конвертерного шлаку (КвШ), який характеризується наступним складом, %: SiO₂ – 20,85; Al₂O₃ – 2,42; Fe₂O₃ – 12,69; FeO – 7,68; MgO – 5,08; MnO – 2,94; CaO – 46,70; S – 0,19; Fe – 14,85 і зварювального шлаку (ЗвШ), який характеризується наступним складом, %: SiO₂ – 11,64; Al₂O₃ – 1,00; Fe₂O₃ – 25,58; FeO – 59,09; MgO – 0,51; MnO – 0,98; CaO – 0,21; S – 0,048; Fe – 63,82. Зернистість часток становить $d = 60...63$ мкм.

При розробці КМ використовували відомі методи дослідження адгезійної міцності, залишкових напружень, фізико-механічних властивостей, корозійної тривкості (імпедансна спектроскопія) і гідроабразивної зносостійкості композитів; методи дослідження теплофізичних (дериватограф «Thermoscan-2», термічний коефіцієнт лінійного розширення, теплостійкість) властивостей та структури (металографічний мікроскоп моделі XJL-17AT з камерою 130 UMD) матеріалів; спектральні вимірювання проводили на ІЧ-спектрофотометрі «IRAffinity-1». Для оптимізації складу матеріалів застосовані методи багатофакторного планування експерименту з використанням комп'ютерної та статистичної обробки результатів.

Третій розділ присвячений дослідженню вмісту модифікатора та нанодисперсного наповнювача фулерену C₆₀ на адгезійні, фізико-механічні і теплофізичні властивості КМ. Перспективним у цьому плані є використання модифікатора 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрилу) (ФБХПН), що містить компоненти, які активно взаємодіють з епоксидним зв'язувачем. У роботі встановлено оптимальний вміст модифікатора ФБХПН в епоксидній матриці з поліпшеними властивостями. Встановлено (рис. 1, рис. 2), оптимальний вміст ФБХПН у модифікованій матриці з поліпшеними адгезійними і когезійними властивостями, який складає $q = 0,1$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20. Така матриця має наступні властивості: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 25,7$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 12,3$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_3 = 2,1$ МПа, руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{3z} = 90,0$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 2,9$ ГПа, теплостійкість (за Мартенсом) – $T = 346$ К.

Методом ІЧ-спектрального аналізу досліджено природу хімічних зв'язків, які виникають при структуроутворенні модифікованої матриці. Встановлено міжмолекулярну взаємодію модифікатора з макромолекулами епоксидного зв'язувача, про що свідчить зміщення смуги поглинання при $\nu = 759,95$ см⁻¹ у бік більших хвильових чисел відносно вихідної матриці. Це вказує на взаємодію СІ-груп модифікатора при термічному зшиванні. Встановлено «розщеплення» смуг поглинання модифікованої матриці у діапазоні хвильових чисел: $\nu = 2318,44...2353,16$ см⁻¹, $\nu = 2819,93...3035,96$ см⁻¹ та $\nu = 3672,47...3734,19$ см⁻¹, що свідчить про взаємодію активних груп модифікатора і ланцюгів епоксидного олігомеру. У результаті формуються композити з підвищеними показниками фізико-механічних і теплофізичних

властивостей. Додатково методом ЕПР-спектрального аналізу досліджено кількість парамагнітних центрів, ширину та інтенсивність лінії на спектрах вихідної і модифікованих епоксидних матриць. Найменшу кількість парамагнітних центрів ($N = 6,84 \times 10^{21}$) та інтенсивність лінії ($h = 11043$ мТл) у модифікованій матриці спостерігали за вмісту модифікатора $q = 0,1$ мас.ч. Це свідчить про високий ступінь зшивання даної матриці, що підтверджено високими показниками її фізико-механічних властивостей.

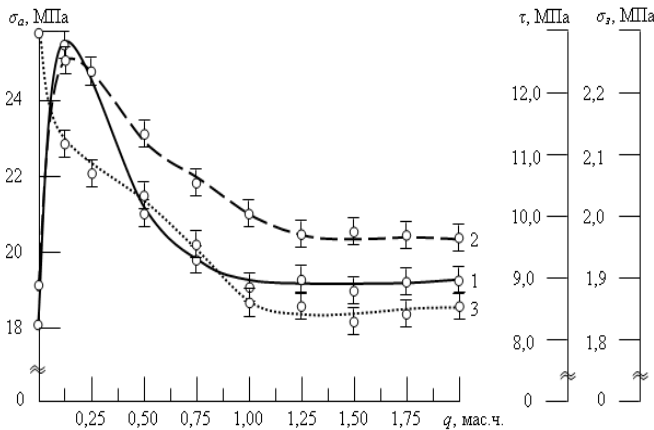


Рис. 1. Залежність адгезійної міцності та залишкових напружень (σ_z) у матриці від вмісту модифікатора 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрилу): 1 – адгезійна міцність при відриві (σ_a); 2 – адгезійна міцність при зсуві (τ); 3 – залишкові напруження (σ_z). Матеріал основи – сталь марки Ст 3.

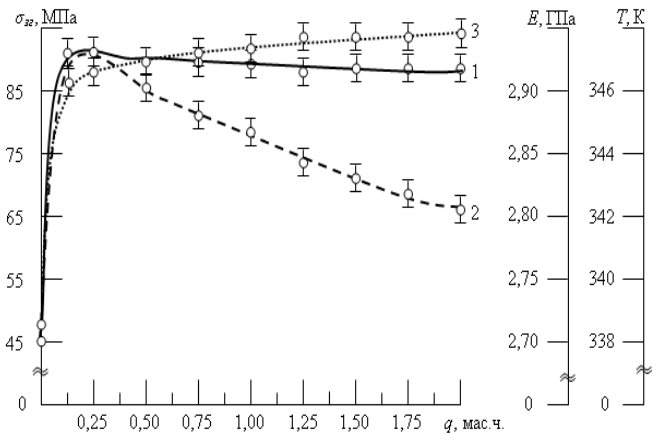


Рис. 2. Залежність фізико-механічних властивостей і теплостійкості матриці від вмісту модифікатора 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрилу): 1 – руйнівні напруження при згинанні (σ_{32}); 2 – модуль пружності при згинанні (E); 3 – теплостійкість (T).

Доведено, що для формування покриттів з підвищеними показниками як адгезійної міцності, так і фізико-механічних властивостей необхідно у епоксидний олігомер ЕД-20 ($q = 100$ мас.ч.), що зшивають поліетиленполіаміном ($q = 10$ мас.ч.), вводити фулерен C_{60} (5 нм) за оптимального вмісту $q = 0,05$ мас.ч. Такий матеріал відзначається наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 35,9$ МПа, при зсуві – $\tau = 9,6$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_z = 1,0$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 3,2$ ГПа, руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{32} = 102,2$ МПа. При цьому слід зазначити, що за рахунок незначної адгезійної міцності і високої вартості фулерену C_{60} використання матеріалу як адгезиву не є рентабельним. Водночас такі матеріали доцільно використовувати як поверхневий шар захисного покриття, позаяк показники його фізико-механічних характеристик у більшості випадків перевищують аналогічні значення композитів, наповнених дисперсними і дрібнодисперсними частками.

Методом термогравіметричного та диференційно-термічного аналізу встановлено термостійкість розроблених нанокомпозитів, яка характеризує кінцеву температуру втрати маси. Експериментально встановлено, що найменшою відносною втратою маси, яка складає $\varepsilon_m = 49,0 \dots 53,0$ %, характеризуються матеріали із вмістом наночасток фулерену C_{60} – $q = 0,025 \dots 0,050$ мас.ч., при цьому максимальне значення температури піка екзофекту становить $T_{max} = 503 \dots 530$ К.

Вважали, що для більш детального дослідження процесів, які відбуваються на різних етапах термічної деструкції, проведення лише ДТА і ТГА-аналізу є недостатнім. Тому для встановлення закономірностей перебігу фізико-хімічних процесів у КМ додатково проводили ІЧ-спектральний аналіз сформованих нанокомпозитів на різних етапах термічної деструкції. Аналізуючи отримані результати досліджень, вважали за доцільне проведення ІЧ-спектрального аналізу нанокомпозиту (за вмісту C_{60} $q = 0,05$ мас.ч.) при початковій (T_0) і кінцевій температурі втрати маси (T_K) (рис. 3, крива 1). Паралельно проводили дослідження процесів, які спостерігали за початкової (T_n), кінцевої (T_K') температури і максимального значення екзотермічного ефекту (T_{max}) (рис. 3, крива 2).

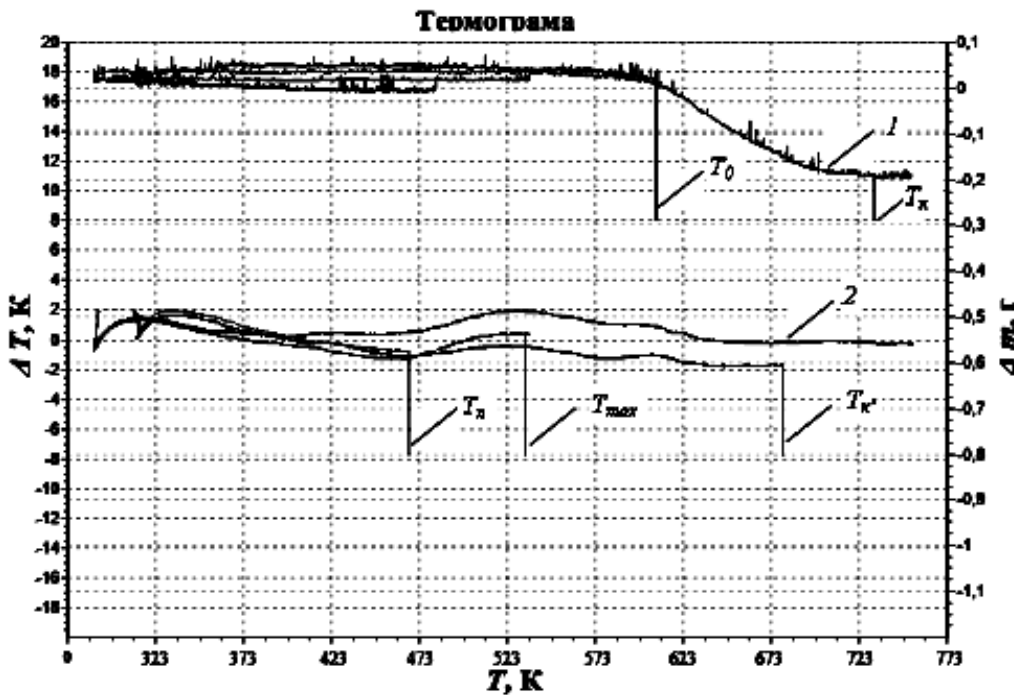


Рис. 3. Результати термогравіметричного (1) і диференціально-термічного (2) аналізу при дослідженні термічної деструкції у КМ, наповнених C_{60} , за вмісту $q = 0,050$ мас.ч.

На основі проведеного ІЧ-спектрального аналізу розроблених нанокомпозитів встановлено температурні діапазони, при яких відбуваються структурні перетворення, що безпосередньо впливають на теплофізичні властивості розроблених матеріалів. Доведено (рис. 4), що у температурному діапазоні $T = 323 \dots 465$ К структурних перетворень не виявлено, позаяк на ІЧ-спектрі спостерігали постійні параметри інтенсивності пропускання, напівширини і відносної площі піків. Такі матеріали доцільно використовувати для експлуатації у зазначеному температурному діапазоні. Температурний діапазон $T = 465 \dots 530$ К характеризує початок структурних перетворень, позаяк спостерігали руйнування зв'язків $-C-C-$, $-C-N-$, $-C-O-$, $-CH-$, метиленової $-CH_2-$ і метильної CH_3-C груп. Тобто, діапазон температур $T = 465 \dots 530$ К обмежує використання розроблених композитів. У температурному діапазоні $T = 530 \dots 737$ К спостерігали руйнування значної кількості груп ($-CH_2-$ груп, пара бензолу, епоксидних, алкінних $-C \equiv C-H$, гідроксильних OH груп), що свідчить про недоцільність використання матеріалів у вище зазначеному діапазоні.

При експлуатації нанесених покриттів виникає необхідність протидіяти навантаженням ударного характеру. Зважаючи на наведене вище актуальним для

полімерного матеріалознавства є розроблення захисних покриттів з комплексом підвищених характеристик, зокрема, їх здатності протидіяти навантаженням ударного характеру. Випробування ударної в'язкості зразків проводили на копрі РКР-300 для високошвидкісного навантаження (5,2 м/с) і реєстрацією діаграми деформування у координатах «навантаження – час» і «навантаження – згинання».

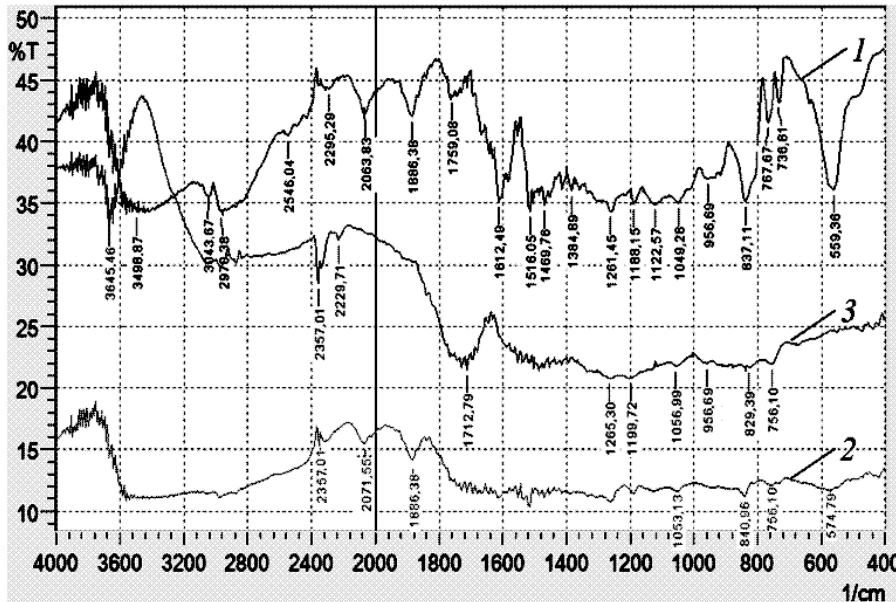


Рис. 4. ІЧ-спектральний аналіз КМ за вмісту C_{60} ($q = 0,050$ мас.ч.):
1 – спектр вихідного КМ (контрольний зразок);
2 – спектр КМ при початковій температурі втрати маси;
3 – спектр КМ при кінцевій температурі втрати маси.

Встановлено (рис. 5), що частки фулерену C_{60} за оптимального вмісту $q = 0,025 \dots 0,050$ мас.ч. сприяють формуванню матеріалу з високим ступенем зшивання. Це забезпечує максимальне підвищення ударної в'язкості композитів порівняно з матрицею від $W = 0,7$ Дж/см² до $W = 1,1 \dots 1,8$ Дж/см². При цьому, енергія, яка затрачається на руйнування матеріалів, збільшується від $E = 0,9$ Дж до $E = 1,55 \dots 2,90$ Дж.

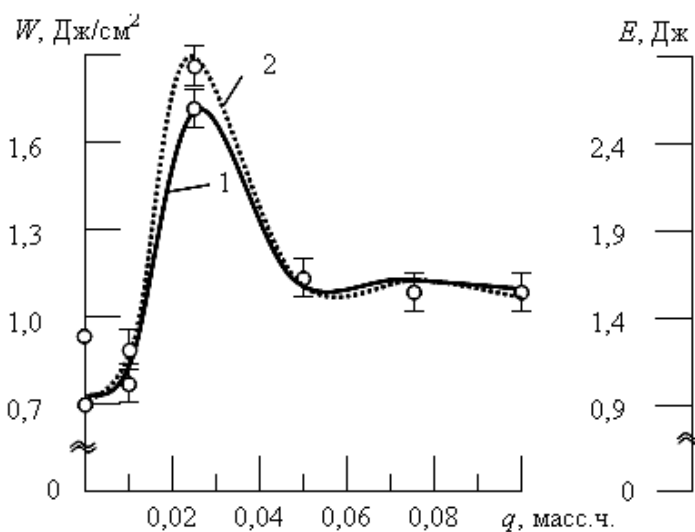


Рис. 5. Залежність ударної в'язкості (W) і енергії (E), затраченої на руйнування матеріалів, від вмісту наповнювача C_{60} :
1 – ударна в'язкість (W);
2 – енергія, затрачена на руйнування КМ (E).

Вперше досліджено динаміку руйнування епоксидних композитів, наповнених фулереном C_{60} , при ударному навантаженні. Доведено, що руйнування КМ при

ударному навантаженні відбувається у декілька етапів, серед яких чітко можна виокремити процес зародження тріщини, її поширення та безпосередньо руйнування матеріалів (рис. 6). Вважали, що початок зародження тріщини характеризує точка на осі ординат (I) при навантаженні $P = 9,4$ кН. Очевидно, що при збільшенні навантаження під час удару копра до $P = 10,2 \dots 11,3$ кН відбувається інтенсивне поширення сітки тріщин, які беруть початок у точці удару (ділянка II). При цьому значну увагу при кількісному аналізі необхідно звернути на час поширення тріщини (II) до моменту руйнування (III). У досліджуваних КМ він становить $\tau = 0,05 \dots 0,15$ мс, що дозволяє оцінити характер руйнування зразків. Встановлено, що при максимальному навантаженні вихідної матриці $P = 10,0$ кН спостерігали значення критичної деформації $l = 0,55$ мм. При введенні часток фулерену C_{60} за оптимального вмісту $q = 0,025 \dots 0,050$ мас.ч. спостерігали, порівняно з вихідною матрицею, збільшення максимального значення навантаження у момент руйнування композитів на $\Delta P = 0,7 \dots 1,2$ кН і часу поширення тріщини на $\Delta \tau = 0,1 \dots 0,4$ мс. Припускали, що введення фулерену C_{60} за оптимального вмісту зумовлює зміну топологічної структури композиту та, як наслідок, максимально зростає механічна міцність та ударна в'язкість матеріалу.

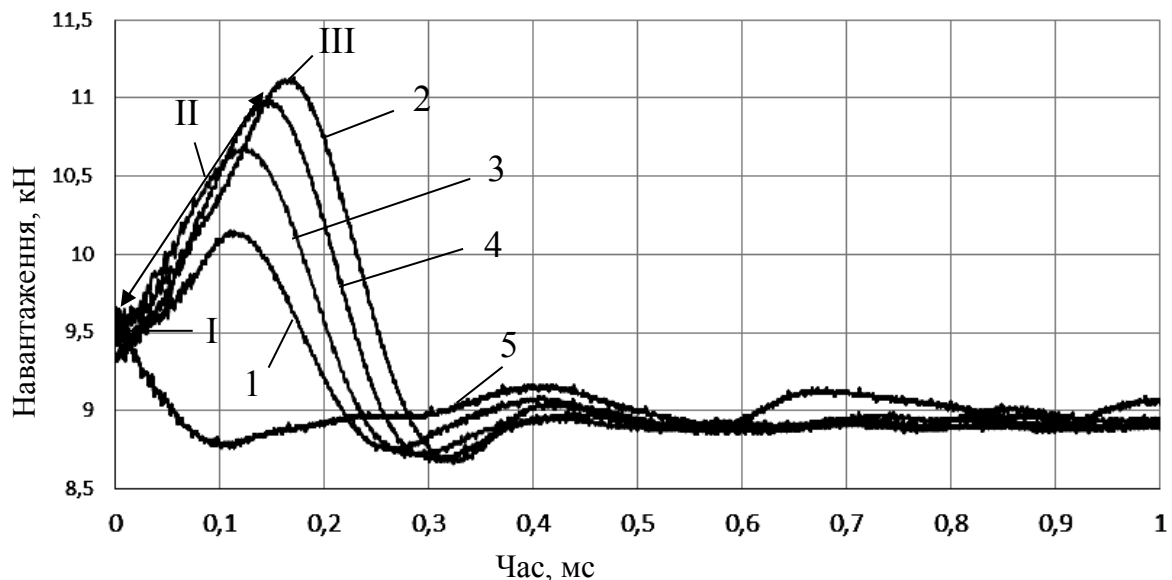


Рис. 6. Залежність тривалості поширення тріщини від навантаження під час удару КМ з різним вмістом часток C_{60} , q , мас.ч.: 1 – 0,010; 2 – 0,025; 3 – 0,050; 4 – 0,075; 5 – 0,100.

I – початок зародження тріщини; II – інтенсивне поширення сітки тріщин; III – момент руйнування.

Для детального аналізу структури матеріалів у роботі проаналізовано фрактограми поверхні руйнування КМ. Вважали за доцільне наведення результатів дослідження поверхні руйнування матриці і КМ з максимальними і помірними значеннями ударної в'язкості ($q = 0,010 \dots 0,050$ мас.ч.). Попередньо аналізували поверхню руйнування матриці (рис.7, а). Аналіз фрактограми зламу дозволив виявити неоднорідність фасіток із хаотичним напрямком поширення тріщин, що свідчить про нестабільність експлуатаційних характеристик такого матеріалу.

Аналіз поверхні руйнування КМ (рис. 7, б) дозволив виявити неоднорідність топології поверхні руйнування, що характеризує присутність залишкових напру-

жень у об'ємі матеріалу і є причиною поширення тріщин в найбільш напружених ділянках (рис. 7, в), які подібні до топології поверхні епоксидної матриці (рис. 7, а). Особливої уваги заслуговує аналіз поверхні руйнування КМ із вмістом $q = 0,025$ мас.ч. (рис. 7, г). Такі нанокомпозити характеризуються більш дрібною і однорідною топологією поверхні руйнування, що дає можливість припустити про наявність стоперів поширення мікротріщин, якими можуть бути атоми фулерену C_{60} у рівномірно структурованій системі «полімер – наночастки». Завдяки організації нанорівневої системи стоперів мікротріщин, підвищується енергія, яка затрачається на руйнування матеріалів (рис. 5, крива 2), водночас зростають показники ударної в'язкості КМ. Крім того, виявлені криволінійні магістральні тріщини, які беруть початок у місці удару, що додатково підтверджує наведені вище положення (рис. 7, д). Аналіз поверхні руйнування КМ із вмістом часток $q = 0,050$ мас.ч. (рис. 7, е, є) аналогічно дозволив виявити дрібну і однорідну топологію поверхні руйнування, що дозволяє констатувати про помірну жорсткість і відповідно високі показники механічної міцності матеріалу.

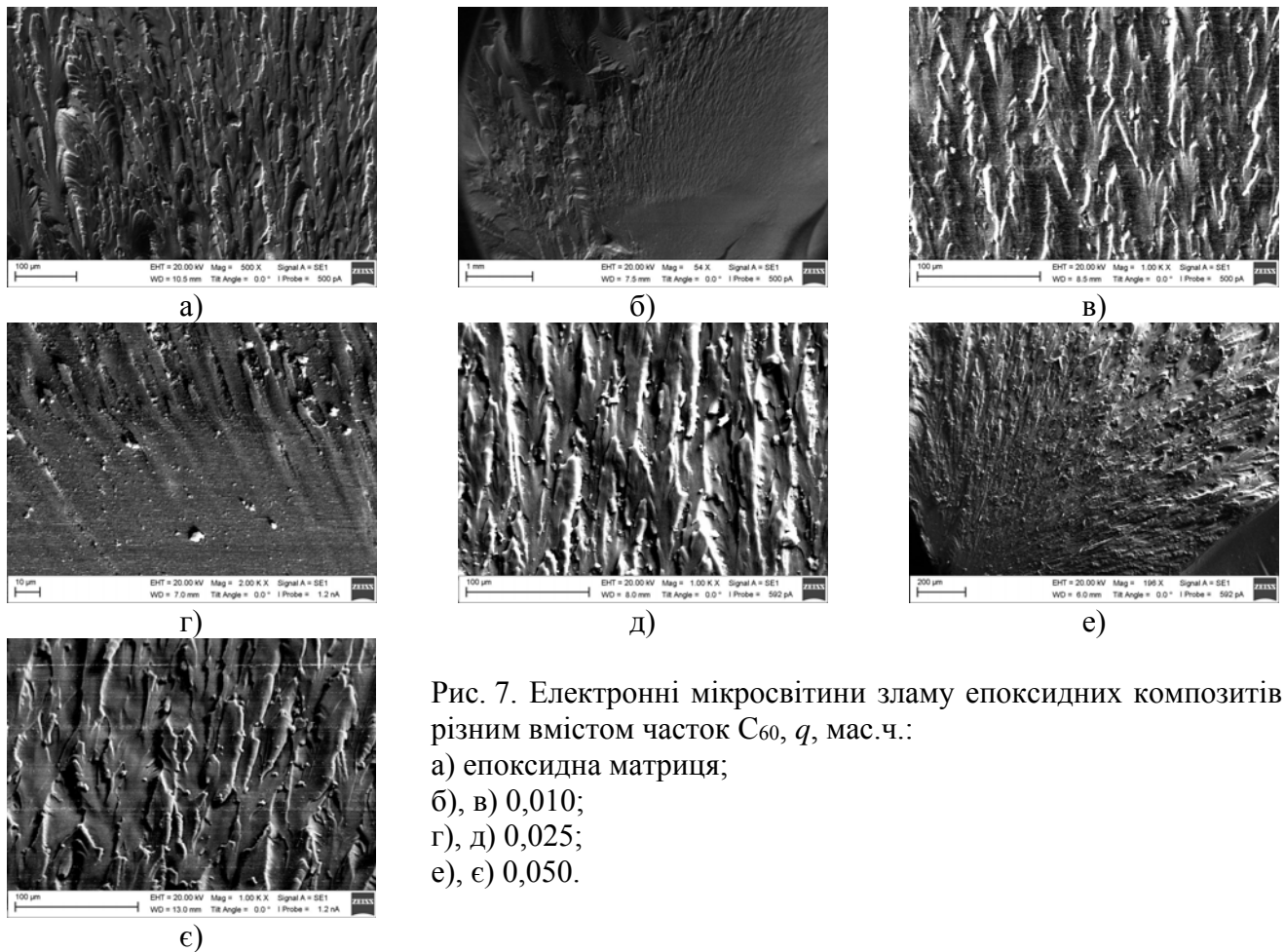


Рис. 7. Електронні мікросвітини зламу епоксидних композитів з різним вмістом часток C_{60} , q , мас.ч.:

- а) епоксидна матриця;
- б), в) 0,010;
- г), д) 0,025;
- е), є) 0,050.

У четвертому розділі показано, що на сьогодні все більшої уваги приділяють вторинній переробці відходів металургійного виробництва. Це дозволяє окрім очищення довкілля заощадити значні кошти, спрямовані на утилізацію відходів. Одними з таких матеріалів є сажа та шлаки різної природи. Характеристики структури і широкий діапазон дисперсності таких добавок дозволяє

використовувати їх у вигляді наповнювачів для полімерних КМ, що забезпечує поліпшення властивостей останніх та водночас сприяє здешевленню матеріалів.

За результатами комплексних досліджень встановлено оптимальний вміст дисперсного наповнювача пічної сажі ПМ-75 (5...10 мкм) у захисних епоксикомпозитних покриттях. Експериментально доведено, що для формування покриттів з поліпшеними адгезійними властивостями (адгезійний шар) необхідно використовувати композицію наступного складу: епоксидний олігомер марки ЕД-20 ($q = 100$ мас.ч.), твердник поліетиленполіамін ПЕПА ($q = 10$ мас.ч.), дисперсний наповнювач пічна сажа ПМ-75 ($q = 25$ мас.ч.). Такий матеріал відзначається наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 54,1$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_3 = 0,9$ МПа.

Експериментально доведено, що для формування покриттів з поліпшеними когезійними властивостями (поверхневий шар) необхідно використовувати композицію наступного складу: епоксидний олігомер марки ЕД-20 ($q = 100$ мас.ч.), твердник поліетиленполіамін ПЕПА ($q = 10$ мас.ч.), дисперсний наповнювач пічна сажа ПМ-75 ($q = 20$ мас.ч.). Такий матеріал відзначається наступними властивостями: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{3z} = 60,0$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 3,0$ ГПа, ударна в'язкість – $W = 9,8$ кДж/м², теплостійкість (за Мартенсом) – $T = 344$ К, термічний коефіцієнт лінійного розширення у високотемпературній області ($\Delta T = 303...473$ К) – $\alpha = (6,53) \times 10^{-5}$ К⁻¹, а усадка захисних покриттів не перевищує $\epsilon = 1$ %. Результати, отримані методом оптичної мікроскопії, добре узгоджуються з випробуваннями фізико-механічних та теплофізичних властивостей матеріалів. Зокрема, за вмісту дисперсної пічної сажі ПМ-75 у кількості $q = 20...25$ мас.ч. спостерігали однорідну топологію поверхні зламу, що характеризує в'язкий стан структури матеріалів. Такі композити відзначаються довговічністю у процесі експлуатації.

На основі проведених досліджень можна констатувати, що використання відходів промислового виробництва при формуванні епоксидних композитів є досить ефективним. Доведено (рис. 8, а), що для формування матеріалів з поліпшеними фізико-механічними властивостями у комплексі необхідно у епоксидний олігомер ЕД-20 ($q = 100$ мас.ч.) вводити наповнювач конвертерний шлак (КвШ) за вмісту $q = 40$ мас.ч. У такому випадку формується матеріал із наступними властивостями: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{3z} = 55,0$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 4,7$ ГПа. Додатково методом оптичної мікроскопії досліджено поверхню зламу епоксидної матриці і розроблених композитних матеріалів (рис. 9, а-в). Показано, що поверхня зламу епоксидного КМ за вмісту наповнювача $q = 40$ мас.ч. характеризуються впорядкованою структурою, без наявних включень, що дає можливість стверджувати про максимальний ступінь його зшивання та можливість тривалої експлуатації.

Встановлено оптимальний вміст зварювального шлаку ($q = 40$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20 і 10 мас.ч. твердника ПЕПА) для формування КМ, який характеризується наступними властивостями: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{3z} = 52,5$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 4,7$ ГПа (рис. 8, б). Аналіз топології поверхні зламу КМ із вмістом ЗвШ у кількості $q = 40$ мас.ч. (рис. 9, г-е)

дозволяє констатувати, що такі матеріали характеризуються впорядкованою структурою з рівномірно розподіленими частками у об'ємі полімеру. При цьому їх фізико-механічні властивості є значно кращими з усього спектру досліджуваних КМ. Це характерно для КМ із високим ступенем зшивання.

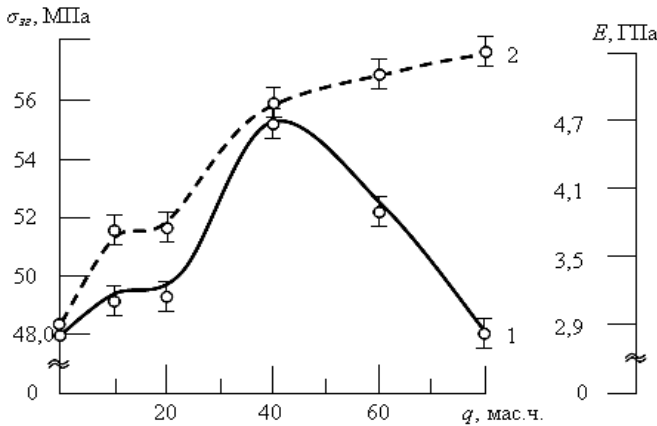


Рис. 8, а. Залежність руйнівних напружень при згинанні (σ_{32}) і модуля пружності при згинанні (E) КМ від вмісту конвертерного шлаку (КвШ): 1 – руйнівні напруження при згинанні (σ_{32}); 2 – модуль пружності при згинанні (E).

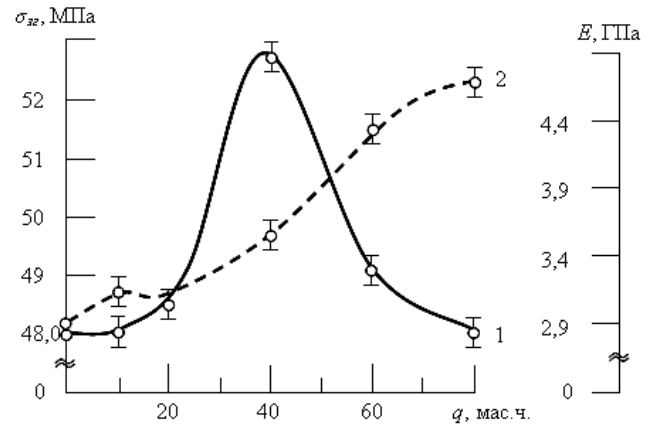
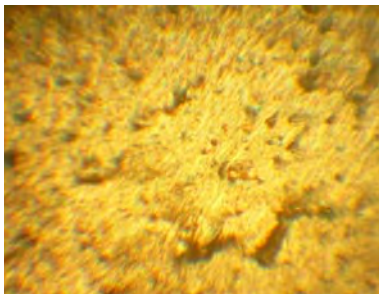
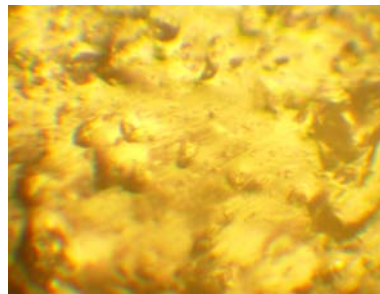


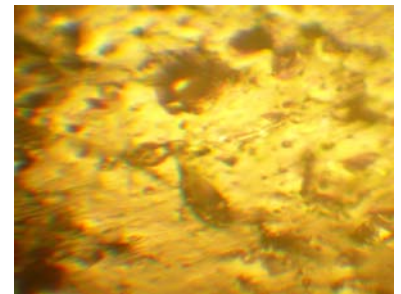
Рис. 8, б. Залежність руйнівних напружень при згинанні (σ_{32}) і модуля пружності при згинанні (E) КМ від вмісту зварювального шлаку (ЗвШ): 1 – руйнівні напруження при згинанні (σ_{32}); 2 – модуль пружності при згинанні (E).



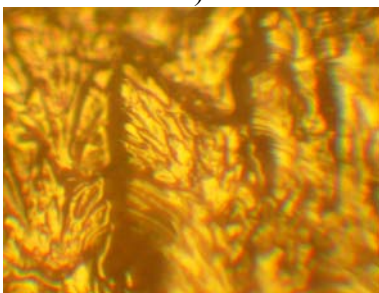
а)



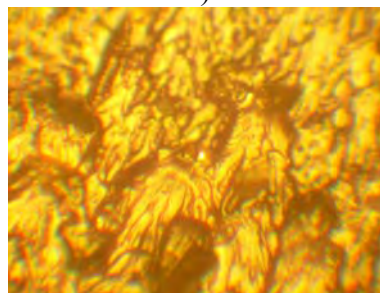
б)



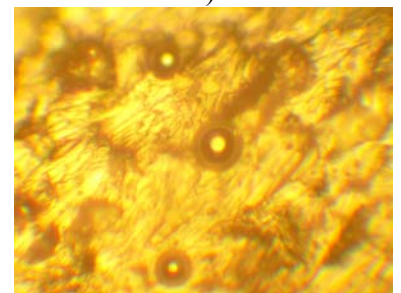
в)



г)



д)



е)

Рис. 9. Електронні мікросвітини зламу епоксидних композитів з частками КвШ і ЗвШ ($\times 400$): а) КвШ ($q = 20$ мас.ч.); б) КвШ ($q = 40$ мас.ч.); в) КвШ ($q = 60$ мас.ч.); г) ЗвШ ($q = 20$ мас.ч.); д) ЗвШ ($q = 40$ мас.ч.); е) ЗвШ ($q = 60$ мас.ч.).

Аналіз результатів дослідження залежності теплофізичних властивостей КМ від вмісту дисперсних часток КвШ і ЗвШ показує, що вищими показниками когезійної міцності матеріалів в умовах впливу теплового поля відзначаються композити, наповнені конвертерним шлаком ($q = 60 \dots 80$ мас.ч.). Водночас, слід зауважити, що за вибраних умов експлуатації засобів транспорту можливе використання матеріалів

з частками ЗвШ, введення яких у зв'язувач ($q = 80$ мас.ч.) забезпечує формування пластичних КМ.

У п'ятому розділі наведено результати дослідження двошарових покриттів, які відрізняються поліпшеними адгезійними, фізико-механічними, теплофізичними властивостями, а також корозійною тривкістю і зносостійкістю.

Попередньо досліджували фізико-механічні (руйнівні напруження при згинанні, σ_{32} , МПа; модуль пружності при згинанні, E , ГПа) і теплофізичні (теплостійкість (за Мартенсом), T , К) властивості КМ, що містять модифікатор, нано- і мікродисперсний наповнювач. Для прогнозування властивостей і оптимізації вмісту добавок у КМ проводили статистичну обробку результатів експерименту за допомогою прикладного пакету STATGRAPHICS® Centurion XVI.

Після статистичної обробки результатів випробувань отримали математичні моделі фізико-механічних та теплофізичних властивостей матеріалів:

$$\sigma_{32} = 87,93 + 1406,7 \cdot q_1 - 2,005 \cdot q_2 - 11575,3 \cdot q_1^2 - 5,134 \cdot q_1 \cdot q_2 + 0,0203 \cdot q_2^2$$

$$E = 2,82 + 104,72 \cdot q_1 + 0,0229 \cdot q_2 - 824,3 \cdot q_1^2 - 0,649 \cdot q_1 \cdot q_2 - 0,000132 \cdot q_2^2$$

$$T = 303,8 + 703,2 \cdot q_1 + 1,256 \cdot q_2 - 1661,15 \cdot q_1^2 - 11,54 \cdot q_1 \cdot q_2 - 0,00965 \cdot q_2^2$$

На рис. 10 наведено результати моделювання властивостей КМ при змінних значеннях двох факторів (вміст наповнювача фулерену C_{60} (q_1), вміст наповнювача конвертерного шлаку (q_2)). За результатами математичного моделювання було вибрано КМ з різним вмістом трикомпонентної добавки (модифікатора, нано- і мікродисперсних часток) з метою проведення наступних випробувань їх корозійної тривкості і гідроабразивної зносостійкості.

Для протикорозійного захисту технологічного устаткування, яке експлуатують у агресивних середовищах, досліджували розроблені покриття на основі епоксидного зв'язувача з двокомпонентним бідисперсним наповнювачем, вміст якого попередньо визначали методом математичного моделювання. Випробовували п'ять складів антикорозійних матеріалів і покриттів на їх основі:

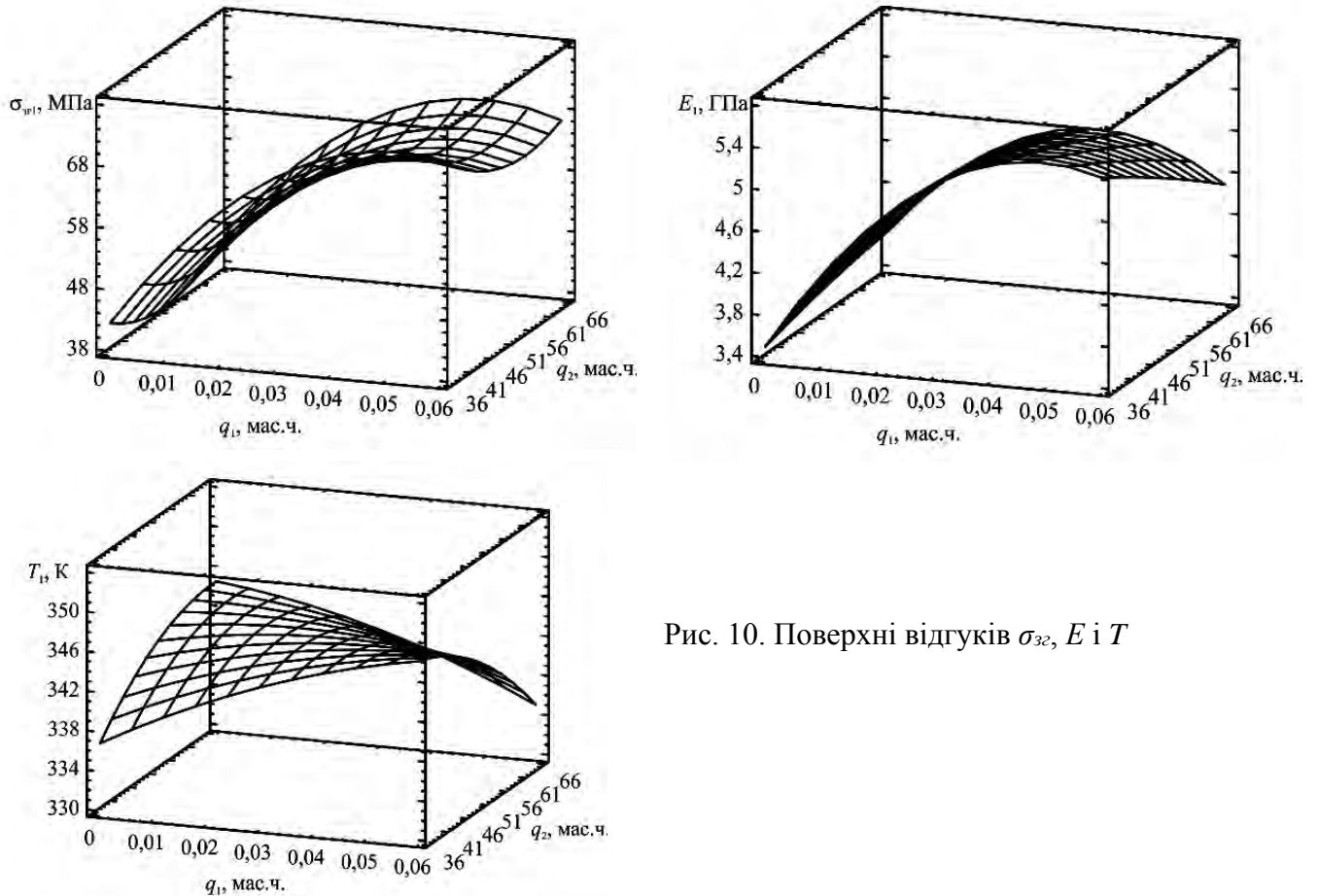
- матриця (контрольний зразок) (матрицю формували за наступного співвідношення компонентів – епоксидний олігомер ЕД-20 : твердник ПЕПА – 100 : 10);

- КМ 1 (композит формували за наступного співвідношення компонентів – зв'язувач : модифікатор 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрил) (ФБХПН) : фулерен C_{60} (5 нм) : конвертерний шлак (КвШ) (60...63 мкм) – 100 : 0,01 : 0,06 : 40);

- КМ 2 (композит формували за наступного співвідношення компонентів – зв'язувач : модифікатор ФБХПН: C_{60} : КвШ – 100 : 0,02 : 0,04 : 60);

- КМ 3 (композит формували за наступного співвідношення компонентів – зв'язувач : модифікатор ФБХПН: C_{60} : зварювальний шлак (ЗвШ) (60...63 мкм) – 100 : 0,01 : 0,05 : 60);

- КМ 4 (композит формували за наступного співвідношення компонентів – зв'язувач : модифікатор ФБХПН : C_{60} : ЗвШ – 100 : 0,02 : 0,03 : 80).

Рис. 10. Поверхні відгуків $\sigma_{зз}$, E і T

Встановлено, що найбільшим опором і найменшими показниками ємності характеризується захисне покриття на основі епоксидної матриці (100 мас.ч.) із вмістом добавок (модифікатор – 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрил) – $q = 0,01$ мас.ч., фулерен C_{60} – $q = 0,06$ мас.ч., конвертерний шлак – $q = 40$ мас.ч.). Доведено, що після витримки у агресивному середовищі 5%-го розчину соляної кислоти зразків впродовж $\tau = 30$ діб опір покриття становить $R = 7,9$ Ом·см², що у 3,8 рази перевищує опір епоксидної матриці. Після витримки покриття у середовищі 5%-го розчину соляної кислоти впродовж $\tau = 30$ діб показники його ємності становлять $C = 540$ пФ/см², що у 2,9 разів менше, порівняно з ємністю епоксидної матриці. Тобто, розроблено захисне покриття відрізняється поліпшеними антикорозійними властивостями.

Аналогічні матеріали досліджували на стійкість до дії гідроабразиву. Встановлено, що найкращими показниками зносостійкості відзначається полімерний композит, що складається з наступних компонентів: епоксидна діанова смола – $q = 100$ мас.ч., твердник поліетиленполіамін – $q = 10$ мас.ч., модифікатор 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрил) – $q = 0,01$ мас.ч., фулерен C_{60} – $q = 0,05$ мас.ч., зварювальний шлак – $q = 60$ мас.ч. Показано (рис. 11), що при куті атаки гідроабразиву $\alpha = 45^\circ$ зносостійкість композиту підвищується стосовно матриці від $Kз = 1,4$ до $Kз = 2,5$. Під час зношування матеріалу домінуючим є механізм мікрорізання і частково пластичної деформації, коли абразивні частки вклинюються у поверхневий шар композиту, пластично деформуючи при цьому епоксидну матрицю.

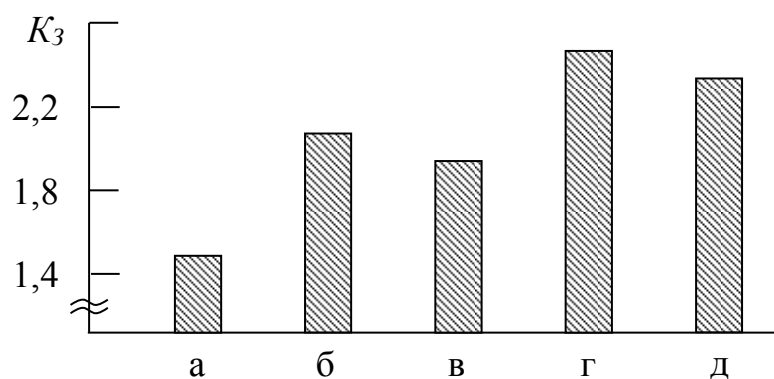


Рис. 11. Залежність коефіцієнту зносостійкості (K_z) при куті атаки гідроабразиву $\alpha = 45^\circ$ від вмісту та природи інгредієнтів у композитах: а) матриця (контрольний зразок); б) КМ 1; в) КМ 2; г) КМ 3; д) КМ 4. Еталон – сталь Ст 3.

На основі проведених досліджень розроблено епоксидні композити і захисні покриття на їх основі для підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування. Нові композити і технологія їх формування впроваджені на ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА» (м. Тернопіль), що дозволило підвищити показники експлуатаційних характеристик устаткування і збільшити міжремонтний ресурс роботи деталей у 3,4 рази.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-технічна задача створення нових композитів для захисних покриттів з поліпшеними антикорозійними властивостями і гідроабразивною зносостійкістю для підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування. Вирішення наукової задачі полягає у дослідженні властивостей і науково-обґрунтованому керуванні процесами структуроутворення в результаті прогнозованого введення у зв'язувач нано- та мікродисперсних часток за оптимального вмісту, а також у встановленні закономірностей підвищення експлуатаційних характеристик епоксикомпозитів внаслідок поліпшення міжфазової взаємодії у процесі формування матеріалів. У результаті виконання роботи отримано такі основні результати:

1. Встановлено, що для формування матриці з покращеними адгезійними і когезійними властивостями необхідно у епоксидний зв'язувач вводити модифікатор 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрил) у кількості $q = 0,1$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД-20 та 10 мас.ч. твердника ПЕПА. Така матриця має наступні властивості: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 25,7$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 12,3$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_3 = 2,1$ МПа, руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{3z} = 90,0$ МПа, модуль пружності – $E = 2,9$ ГПа, теплостійкість (за Мартенсом) – $T = 346$ К.

2. Методом термогравіметричного та диференційно-термічного аналізу встановлено термостійкість розроблених нанокомпозитів, яка характеризує кінцеву температуру втрати маси. Встановлено, що найменшою відносною втратою маси, яка складає $\varepsilon_m = 49,0 \dots 53,0$ %, характеризуються матеріали із вмістом наночастинок фулерену $C_{60} - q = 0,025 \dots 0,050$ мас.ч., при цьому максимальне значення температури піка екзофекту становить $T_{max} = 503 \dots 530$ К. Методом ІЧ-спектроскопії встановлено температурні діапазони, при яких відбуваються структурні перетворення, що безпосередньо впливають на теплофізичні властивості розроблених матеріалів. Доведено, що у температурному діапазоні $T = 323 \dots 465$ К структурних перетворень не виявлено, позаяк на ІЧ-спектрі спостерігали постійні параметри інтенсивності про-

пускання, напівширини і відносної площі піків. Тобто, розроблені наноматеріали доцільно використовувати для експлуатації у зазначеному температурному діапазоні. Температурний діапазон $T = 465 \dots 530$ К характеризує початок структурних перетворень, позаяк спостерігали руйнування зв'язків -C-C-, -C-N-, -C-O-, -CH-, метиленої -CH₂- і метильної CH₃-C груп, що обмежує використання розроблених композитів. У температурному діапазоні $T = 530 \dots 737$ К спостерігали руйнування значної кількості груп (-CH₂-груп, пара бензолу, епоксидних, алкінних -C≡C-H, гідроксильних OH груп), що свідчить про недоцільність використання матеріалів у вище зазначеному діапазоні.

3. Досліджено динаміку руйнування епоксидних композитів, наповнених фулереном C₆₀, і обґрунтовано механізм руйнування при ударному навантаженні, який характеризується трьома етапами: зародження тріщини, зростання тріщини, руйнування матеріалу. Встановлено, що частки фулерену C₆₀ за оптимального вмісту $q = 0,025 \dots 0,050$ мас.ч. сприяють формуванню матеріалу з високим ступенем зшивання. Це забезпечує максимальне підвищення ударної в'язкості композитів порівняно з матрицею від $W = 0,7$ Дж/см² до $W = 1,1 \dots 1,8$ Дж/см². При цьому, енергія, яка затрачається на руйнування матеріалів, збільшується від $E = 0,9$ Дж до $E = 1,6 \dots 2,9$ Дж.

4. Встановлено, що при максимальному навантаженні вихідної матриці $P = 10,0$ кН спостерігали значення критичної деформації $l = 0,55$ мм. При введенні часток фулерену C₆₀ за оптимального вмісту $q = 0,025 \dots 0,050$ мас.ч. спостерігали, порівняно з вихідною матрицею, збільшення максимального значення навантаження у момент руйнування композитів на $\Delta P = 0,7 \dots 1,2$ кН і часу поширення тріщини на $\Delta \tau = 0,1 \dots 0,4$ мс. Припускали, що введення фулерену C₆₀ за оптимального вмісту зумовлює зміну топологічної структури композиту та, як наслідок, максимально зростає механічна міцність та ударна в'язкість матеріалу. Методом оптичної і електронної мікроскопії встановлено однорідну топологію поверхні руйнування таких зразків за рахунок утворення поверхнею часток нанорівневої системи стоперів, що забезпечує гальмування процесів поширення мікротріщин у об'ємі матеріалу.

5. За результатами комплексних досліджень встановлено оптимальний вміст дисперсного наповнювача пічної сажі ПМ-75 (5...10 мкм) у захисних покриттях. Доведено, що для формування покриттів з поліпшеними адгезійними властивостями (адгезійний шар) необхідно використовувати композицію наступного складу: епоксидний олігомер марки ЕД-20 ($q = 100$ мас.ч.), твердник поліетиленполіамін ПЕПА ($q = 10$ мас.ч.), дисперсний наповнювач – пічна сажа ПМ-75 ($q = 25$ мас.ч.). Формування такого матеріалу забезпечує порівняно з матрицею збільшення адгезійної міцності при відриві у 2,1 рази ($\sigma_a = 54,1$ МПа) і зменшення залишкових напружень у 2,3 рази ($\sigma_z = 0,9$ МПа). Методом ІЧ-спектрального аналізу проаналізовано активність до міжфазової взаємодії часток пічної сажі ПМ-75. Характерною особливістю наповнювача є значна кількість активних груп С-С (при хвильовому числі $\nu = 1122,57$ см⁻¹), а також С-О і О=C-H (при хвильовому числі $\nu = 1398,39$ см⁻¹). Додатково виявлено значну кількість аміногруп -NH₂ і CH₂-NH₂, С=C, С=О, карбонільних С=О груп, а також СН-, -ОН, -NH-, -ОН груп, що

забезпечує взаємодію центрів на поверхні часток з макромолекулами та сегментами епоксидного зв'язувача при його формуванні.

6. На основі проведених досліджень можна констатувати, що використання відходів промислового виробництва при формуванні епоксидних композитів є досить ефективним. При цьому забезпечується їх утилізація та водночас суттєве поліпшення показників адгезійної міцності композитів та їх фізико-механічних властивостей. Встановлено, що введення у зв'язувач часток конвертерного і зварювального шлаків ($q = 40$ мас.ч. на 100 мас.ч. ЕД-20) забезпечує порівняно з матрицею збільшення адгезійної міцності у 1,8...2,0 рази ($\sigma_a = 45,6...52,8$ МПа), модуля пружності у 1,6 разів ($E = 4,7$ ГПа), при цьому руйнівні напруження при згинанні зменшуються у 1,6...1,8 разів ($\sigma_{зг} = 52,5...55,0$ МПа). Це зумовлено активацією фізико-хімічних процесів міжфазової взаємодії при формуванні композитів, внаслідок чого на фрактограмах зламу композитів спостерігали впорядковану структуру без включень, що дає можливість стверджувати про максимальний ступінь їх зшивання та можливість тривалої експлуатації.

7. Розроблено антикорозійні епоксикомпозитні покриття для підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування. Встановлено, що найбільшим опором і найменшими показниками ємності характеризується захисне покриття на основі епоксидної матриці (100 мас.ч.) із вмістом добавок (модифікатор – 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрил) – $q = 0,01$ мас.ч., фулерен C₆₀ – $q = 0,06$ мас.ч., конвертерний шлак – $q = 40$ мас.ч.). Доведено, що після витримки у агресивному середовищі 5%-го розчину соляної кислоти зразків впродовж $\tau = 30$ діб опір покриття становить $R = 7,9$ Ом·см², що у 3,8 рази перевищує опір епоксидної матриці. Після витримки покриття у середовищі 5%-го розчину соляної кислоти впродовж $\tau = 30$ діб показники його ємності становлять $C = 540$ пФ/см², що у 2,9 разів менше, порівняно з ємністю епоксидної матриці. Тобто, розроблено захисне покриття відрізняється поліпшеними антикорозійними властивостями.

8. Доведено, що найкращими показниками зносостійкості відзначається полімерний композит, що складається з наступних компонентів: епоксидна діанова смола – $q = 100$ мас.ч., твердник поліетиленполіамін – $q = 10$ мас.ч., модифікатор 3,3¹ – (1,4-фенілен)біс(2 – хлоропропіонітрил) – $q = 0,01$ мас.ч., фулерен C₆₀ – $q = 0,05$ мас.ч., зварювальний шлак – $q = 60$ мас.ч. Показано, що при куті атаки гідроабразиву $\alpha = 45^\circ$ зносостійкість композиту підвищується стосовно матриці від $Kз = 1,4$ до $Kз = 2,5$. Під час зношування матеріалу домінуючим є механізм мікрорізання і частково пластичної деформації, коли абразивні частки вклинюються у поверхневий шар композиту, пластично деформуючи при цьому епоксидну матрицю.

9. Нові композити і технологія їх формування впроваджені на ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА» (м. Тернопіль), що дозволило підвищити показники фізико-механічних властивостей у 2,1 рази; показники антикорозійних властивостей у 1,8 разів; показники гідроабразивної зносостійкості у 2,4 рази. Це дало можливість збільшити міжремонтний ресурс експлуатації деталей у 3,4 рази. Впровадження розробленого покриття, технологічного регламенту його формування і нанесення дозволяє відмовитися від використання традиційних матеріалів, що забезпечує отримання економічного ефекту від 16,4 до 17,2 тис. грн. на рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Долгов М. Вплив крайового ефекту на руйнування протикорозійних епоксикомпозитних покриттів при дослідженні зразків на розтяг / М.Долгов, Н.Букетова // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2012. – Спец. вип. №9. – С. 560-565. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ** (Внесок дисертанта: обґрунтування зміни когезійних властивостей композитів від вмісту наповнювача).

2. Долгов Н.А. Сравнение различных методов определения остаточных напряжений в полимерных покрытиях / Н.А.Долгов, Н.Н.Букетова, А.В.Бесов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №3/7(57). – С. 40-42. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних IndexCopernicus** (Внесок дисертанта: дослідження властивостей і обґрунтування методики визначення залишкових напружень у полімерних покриттях).

3. Долгов М.А. До питання моделювання адгезійної міцності захисного покриття залежно від складу та режимів отримання композиції / М.А.Долгов, Н.М.Букетова, Н.А.Зубрецька // Проблемы прочности. – 2012. – №2 (416). –С. 135-144. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ** (Внесок дисертанта: оптимізація складу інгредієнтів полімерної композиції методом математичного планування експерименту).

Dolgov M.A. On the problem of modeling adhesive strength of protective coating depending on the content and conditions of formation of composition / M.A.Dolgov, N.M.Buketova, N.A. Zubrets'ka // Strength of Materials. – Vol. 44, N 2. – 2012. – P. 212-218. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних Scopus** (Внесок дисертанта: оптимізація складу інгредієнтів полімерної композиції методом математичного планування експерименту).

4. Долгов Н.А. Особенности измерения остаточных напряжений в полимерных композиционных покрытиях / Н.А.Долгов, Н.Н.Букетова // Науковий вісник ХДМА. – 2012. – № 1 (6). – С. 235-242. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ** (Внесок дисертанта: проведення експерименту і обґрунтування результатів дослідження).

5. Бень А. Дослідження впливу модифікатора 3,3'-(1,4-фенілен)біс(2-хлоропропіонітрилу) на властивості епоксидної матриці / А.Бень, О.Сапронов, Н.Букетова, В.Яцюк // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2014. – Спец. вип. №10. – С. 341-346. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ** (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів стосовно впливу модифікатора на руйнівні напруження при згинанні епоксикомпозитів).

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. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ**.

7. Сапронов О.О. Розробка полімерних композитів для ремонту транспортної техніки, яку експлуатують в умовах впливу теплового поля / О.О. Сапронов, Н.М. Букетова, В.Д. Михайлик, К.М. Клевцов // Вісник ХНТУ. – 2015. – №4(55). – С. 196-202. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ** (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів стосовно впливу часток на теплостійкість композитів).

8. Сапронов А.А. Исследование адгезионных и физико-механических свойств эпоксидных нанокомпозитов, наполненных фуллереном C₆₀ / А.А. Сапронов, А.П.Бень, Н.Н.Букетова // Пластические массы. – 2015. – № 9-10. – С. 18-21. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ** (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів стосовно впливу наночасток на адгезійні властивості композитів).

9. Сапронов О.О. Дослідження структури полімерних покриттів для захисту конструктивних деталей СЕУ методом ІЧ-спектроскопії / О.О. Сапронов, Н.М.Букетова, А.П. Бень, В.О. Скирденко, Б.О. Масляк // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛНТУ. – Випуск 52. – 2015. – С. 75-82. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ** (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів стосовно впливу часток на перебіг процесів міжфазової взаємодії при структуроутворенні матеріалів).

10. Сапронов О.О. Використання вторинних енергоресурсів для підвищення адгезійних і фізико-механічних властивостей епоксидних композитів / О.О. Сапронов, Н.М. Букетова // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛНТУ. – Випуск 53. – 2016. – С. 154-161. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ** (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів стосовно впливу наповнювача на фізико-механічні властивості матеріалів).

11. Сапронов А. Исследование теплофизических свойств эпоксикомпозитов, наполненных наночастицами / А. Сапронов, Н. Букетова, А. Лещенко // Наноиндустрия. – 2016. – №4 (66). – С. 98-103. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ** (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів дослідження термічного коефіцієнту лінійного розширення композитів).

Sapronov A. Study of thermal properties of epoxy composites filled with nanoparticles / A. Sapronov, N. Buketova, A. Leshchenko // Nano industry. – Vol. 4. – 2016. – P. 98-103. **Журнал входить у міжнародну наукометричну базу даних РИНЦ** (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів дослідження термічного коефіцієнту лінійного розширення композитів).

Статті у збірниках матеріалів і тез конференцій:

12. Buketova N.M. Mechanical properties of epoxy functionally graded coatings bonded to steel substrate evaluated by bending / N.M.Buketova, N.A.Dolgov, V.M.Krasnen'kiy // Metallurgy. – Vol. 51, N.3. – 2012. – P. 385. (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів дослідження стосовно впливу дисперсного наповнювача на механічні властивості покриттів).

13. Долгов Н.А. Исследование остаточных напряжений в эпоксикомпозитных покрытиях / Н.А.Долгов, Н.Н.Букетова, В.М.Красенький // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО-2012)». – Херсон: ХДМА, 2012. – С. 91-92. (Внесок дисертанта: обговорення результатів експерименту).

14. Букетова Н.Н. Исследование поведения эпоксикомпозитов при ударном нагружении / Н.Н.Букетова, В.С.Шоркин, М.А.Долгов, А.В.Бесов // Матеріали 4-й Всеукр. науч.-практ. конф. «Современные энергетические установки на транспорте, технологии и оборудование для их обслуживания». – Херсон: ХГМА, 2013. – С. 94-96. (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів дослідження ударної в'язкості композитів).

15. Браїло М.В. Дослідження динаміки властивостей епоксидної матриці залежно від вмісту твердника / М.В. Браїло, О.О. Сапронов, В.О. Скирденко, Н.М. Букетова // Матеріали відкритої наук.-техн. конф. молод. науковців і спеціалістів «Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи». – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2013. – С. 183-186. (Внесок дисертанта: дослідження впливу вмісту твердника на механічні властивості матриці).

16. Бень А.П. Закономірності впливу вмісту модифікатора на механічні властивості епоксидної матриці / А.П. Бень, О.О. Сапронов, Н.М. Букетова, В.М. Яцюк // Матеріали 6-ї Міжнарод. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». – Херсон: ХДМА, 2014. – С. 226-227. (Внесок дисертанта: дослідження впливу вмісту модифікатора на модуль пружності матриці).

17. Sapronov A.A. Forming technology epochu nanocomposites / A.A. Sapronov, A.P. Ben, N.N. Buketova // Материалы международной научной конференции «Ukraine – Bulgaria – European Union: contemporary state and perspectives». – Варна, 2014. – Р. 49. (Внесок дисертанта: розробка температурно-часових режимів формування захисних покриттів).

18. Бень А.П. Формування нанокompозитів з поліпшеними адгезійними властивостями / А.П. Бень, О.О. Сапронов, Н.М. Букетова, О.В. Лещенко // Материалы 5-й Международ. науч.-практ. конф. «Современные энергетические установки на транспорте, технологии и оборудование для их обслуживания». – Херсон: ХДМА, 2014. – С. 241-242. (Внесок дисертанта: проведення порівняльного аналізу стосовно впливу наночасток на процеси зшивання епоксикompозитів).

19. Бень А.П. Дослідження поведінки епоксидних нанокompозитів під впливом температури / А.П. Бень, О.О. Сапронов, Н.М. Букетова, О.В. Лещенко // Материалы 7-ї Міжнарод. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». – Херсон: ХДМА, 2015. – С. 247. (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів дослідження властивостей матеріалів методом ДТА).

20. Sapronov O.O. The research of thermal coefficient of linear expansion of the epochu nanocomposites / O.O. Sapronov, N.M. Buketova, O.V. Leshenko, V.M. Krasnenkiy // International scientific-practical conference «Possibilities of scientific and educational cooperation between universities of Ukraine and Poland». – Lublin: Publishing house Kherson National Technical University, Publishing department, 2015. – Р. 106-108. (Внесок дисертанта: обґрунтування механізму впливу наночасток на процеси зшивання матеріалів).

21. Сапронов О.О. Дослідження структурних перетворень у композитних матеріалах, наповнених частками фулерену C_{60} , методом ІЧ-спектрального аналізу / О.О. Сапронов, А.П. Бень, Н.М. Букетова, О.В. Лещенко, О. Прентковскіс // Матеріали 6-ї Міжнародної наук.-практ. конф. «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування». – Херсон: ХДМА, 2015. – С. 221. (Внесок дисертанта: аналіз природи хімічних зв'язків у композитних матеріалах).

22. Сапронов О.О. Дослідження термічної деструкції композитних матеріалів, наповнених частками нанотрубок, методом ДТА та ІЧ-спектрального аналізу / О.О. Сапронов, М.В. Браїло, Н.М. Букетова, В.Д. Нігалатій // Відкрита наук.-техн. конф. молод. науковців і спеціалістів «Проблеми корозійно-механічного руйнування,

інженерія поверхні, діагностичні системи. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2015. – С. 202-204. (Внесок дисертанта: формування зразків та проведення випробувань методом ІЧ-спектроскопії).

23. Сапронов О.О. Розроблення епоксикомпозитів для захисту палубних механізмів від зовнішніх факторів / О.О. Сапронов, Н.М. Букетова, О.В. Лещенко // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 75-річчю кафедри ССЕУ «Суднова енергетика: стан та проблеми». – Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2015. – С. 183-185. (Внесок дисертанта: аналіз основних напрямків впровадження антикорозійних покриттів на морському та річковому транспорті).

24. Сапронов О.О. Аналіз екзотермічних ефектів у епоксидних композитах, наповнених фулереном C_{60} / О.О. Сапронов, Н.М. Букетова, О.В. Лещенко // Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – С. 68. (Внесок дисертанта: обґрунтування результатів дослідження стосовно втрати маси композитів під впливом температури).

25. Бень А.П. Дослідження структури епоксидних композитів, наповнених частками конвертерного шламу / А.П.Бень, О.О.Сапронов, Н.М.Букетова, О.В.Лещенко, В.Д.Нігалатій // Матеріали 8-ї Міжнарод. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 302-303. (Внесок дисертанта: проведення дослідження поверхні зламу зразків методом оптичної мікроскопії).

26. Сапронов О.О. Дослідження ударної в'язкості епоксидних композитів, наповнених ультрадисперсним алмазом / Сапронов О.О., Букетова Н.М., Лещенко О.В. Нігалатій В.Д // Міжнародної наук.-практ. конф. «Розвиток інноваційної діяльності в галузі технічних і фізико-математичних наук». – Миколаїв: Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського, 2016. – С. 207-209. (Внесок дисертанта: обґрунтування методики проведення експерименту).

27. Сапронов О.О. Особливості впливу дисперсних добавок на перебіг процесу теплового розширення епоксидних композитів / О.О. Сапронов, Н.М. Букетова, О.В. Лещенко, В.М. Яцюк, І.Т. Ярема // Матеріали 7-ї Міжнародної наук.-практ. конф. «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 203. (Внесок дисертанта: обґрунтування механізму впливу активності наповнювача на когезійні властивості матеріалів).

28. Долгов Н.А. Исследование остаточных напряжений в эпоксидных композитах, наполненных нанодисперсным алмазом / Н.А. Долгов, Н.Н. Букетова // Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Системи розробки та постановки продукції на виробництво». – Суми: Сумський державний університет, 2016. – С. 213-214. (Внесок дисертанта: обґрунтування механізму впливу наноалмазу на залишкові напруження у покриттях).

29. Сапронов А.А. Исследование влияния сажи ПМ-75 на физико-механические свойства защитных полимерных покрытий / А.А.Сапронов, П.О.Марущак, Н.М.Букетова, А.В.Лещенко, С.В.Панин // Тезисы докладов Международной конференции «Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций». – Томск, Россия: ИФПМ СО РАН, 2016. –

С. 180-181. (Внесок дисертанта: проведення експерименту стосовно дослідження модуля пружності композитів).

30. Saprionov O. Investigation of Pm-75 Carbon Black Addition on the Properties of Protective Polymer Coatings // O.Saprionov, P.Maruschak, N.Buketova, O.Leschenko, S.Panin / Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures, 2016, AIP Conf. Proc. 1783, 020194-1–020194-4; doi: 10.1063/1.4966488. **Матеріали входять у міжнародну наукометричну базу даних Scopus** (Внесок дисертанта: проведення експерименту стосовно дослідження фізико-механічних властивостей композитів).

31. Сапронов О.О. Дослідження ударної в'язкості епоксидних композитів, наповнених фулереном C₆₀ // О.О. Сапронов, О.В. Акімов, Н.М. Букетова // Тези доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – Том 1. – С. 84. (Внесок дисертанта: обґрунтування методики формування зразків з використанням ультразвукової обробки).

Патенти на корисну модель:

32. Патент № 89893. Україна, МПК (2014.01) C08L 63/00. Епоксидне зв'язуюче з підвищеними фізико-механічними характеристиками, модифіковане 3,3'-(1,4-фенілен)біс(2-хлоропропанонітрилом) / А.П.Бень, Н.М.Букетова, В.М.Яцюк, Б.Д.Гришук (Україна). – Заявл. 23.05.2013; Опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. – 3 с. (Внесок дисертанта: розробка матриці з поліпшеними фізико-механічними властивостями).

33. Патент № 89899. Україна, МПК (2014.01) C09D 4/00. Спосіб отвердіння епоксидного зв'язуючого з підвищеними фізико-механічними характеристиками, модифікованого 3,3'-(1,4-фенілен)біс(2-хлоропропанонітрилом) / А.П.Бень, Н.М.Букетова, В.М.Яцюк, Б.Д.Гришук (Україна). – Заявл. 23.05.2013; Опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. – 4 с. (Внесок дисертанта: розробка технології отримання матриці з поліпшеними фізико-механічними властивостями).

АНОТАЦІЯ

Букетова Н.М. Розробка фулереновмісних епоксидних композитів з мікродисперсними наповнювачами для захисних покриттів з підвищеними експлуатаційними характеристиками. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство. – Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2017.

Встановлено основні закономірності впливу нано- та мікродисперсних наповнювачів на експлуатаційні характеристики епоксидних матеріалів та надано рекомендації щодо створення на їх основі покриттів для захисту технологічного устаткування від корозії та дії гідроабразиву.

Досліджено вплив модифікатора 3,3'-(1,4-фенілен)біс(2-хлоропропіонітрилу) на структуроутворення епоксидного зв'язувача і доведено поліпшення адгезійних, фізико-механічних та теплофізичних властивостей матриці при введенні добавки за критичного вмісту. Експериментально встановлено оптимальний вміст нано- та мікродисперсних наповнювачів у епоксидному зв'язувачі для формування

композитних матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками і досліджено фізико-хімічну взаємодію на межі розділу фаз «матриця – наповнювач». Встановлено вплив структури композитів на адгезійні, фізико-механічні, теплофізичні властивості за наявності нано- і мікродисперсних наповнювачів.

Методами математичної статистики оптимізовано склад дисперсних наповнювачів для отримання функціональних шарів різного призначення у захисних покриттях з підвищеними експлуатаційними характеристиками. У результаті експериментальних досліджень розроблено композитні матеріали з нано- і мікродисперсними наповнювачами для підвищення експлуатаційних характеристик деталей, які працюють в мовах впливу гідроабразиву та агресивних середовищ. Результати роботи впроваджено на підприємстві ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА» (м. Тернопіль) та у навчальному процесі.

АННОТАЦІЯ

Букетова Н.Н. Разработка фуллереносодержащих эпоксикомпозитов с микродисперсными наполнителями для защитных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 – материаловедение. – Луцкий национальный технический университет, Луцк, 2017.

Диссертационная работа посвящена созданию новых композитов и защитных покрытий с улучшенными антикоррозийными свойствами и гидроабразивной износостойкостью для повышения эксплуатационных характеристик технологического оборудования. Исследовано влияние модификатора 3,3¹ – (1,4-фенилен)бис(2 – хлоропропионитрила) на структурообразование эпоксидного связующего и установлено улучшение адгезионных, физико-механических и теплофизических свойств матрицы при введении добавки при ее критическом содержании.

Исследована динамика разрушения эпоксидных композитов, наполненных фуллереном C₆₀, и обоснован механизм разрушения образцов при ударной нагрузке, объединяющий этап зарождения трещины, ее увеличение и непосредственно разрушения материалов. Исследовано влияние фуллерена C₆₀ на свойства композитов и установлено его оптимальное содержание (0,025...0,050 масс.ч. на 100 масс.ч. олигомера ЭД-20) в эпоксидном связующем. Доказано, что введение фуллерена C₆₀ при оптимальном содержании обуславливает изменение топологической структуры композита и конформационного набора макромолекул, что обеспечивает улучшение механической прочности и ударной вязкости материала.

Установлены закономерности влияния дисперсных частиц печной сажи ПМ-75 на процессы структурообразования материалов, что позволяет путем введения в связующее микрочастиц при незначительном содержании (20...25 масс.ч. на 100 масс.ч. эпоксидной смолы) получать композиты с повышенными показателями адгезионной прочности и механических характеристик за счет взаимодействия активных групп С-С (при волновом числе $\nu = 1122,57 \text{ см}^{-1}$), а также С-О и О = СН (при волновом числе $\nu = 1398,39 \text{ см}^{-1}$) на поверхности частиц с макромолекулами и сегментами эпоксидного связующего.

Обоснована перспективность использования отходов промышленного производства (конвертерный и сварочный шлак) при формировании эпоксидных композитов, что обеспечивает их утилизацию и одновременно существенное улучшение показателей физико-механических и теплофизических свойств композитов. Установлено, что введение в связующее частиц конвертерного и сварочного шлака при критическом содержании обеспечивает улучшение когезионных свойств за счет активации физико-химических процессов межфазного взаимодействия при формировании композитов и увеличение степени их сшивания.

Обоснован выбор ингредиентов для эпоксикомпозитов и с использованием методов математической статистики оптимизирован состав адгезионного и функциональных слоев защитных покрытий с нано- и микродисперсными наполнителями для формирования покрытий, работающих в условиях влияния гидроабразива и агрессивных сред.

В результате экспериментальных исследований разработаны композитные материалы с нано- и микродисперсными наполнителями, работающих в условиях влияния гидроабразива и агрессивных сред. Результаты работы внедрены на предприятии ООО «ОСП Корпорация ВАТРА» (г. Тернополь) и в учебном процессе.

ABSTRACT

Buketova N.M. The development of epoxy composites, containing fullerenes, with microdispersed fillers for protective coatings with enhanced exploitation characteristics. – Manuscript.

The thesis for candidate degree of technical sciences, specialty 05.02.01 – materials science. – Lutsk National Technical University, Lutsk, 2017.

The basic regularities of influence of nano- and microdispersed fillers on exploitation characteristics of epoxy materials were set and recommendations on creation of coatings on their base for protection of technological equipment against corrosion and hydroabrasive effect were given.

The influence of modifier 3,3¹ – (1,4-phenylene) bis (2 – chloropropionitrile) on structuring of epoxy binder was investigated and the improvement of adhesive, physico-mechanical and thermophysical properties of matrix with the input of additive of critical content was proved. The optimal content of nano- and microdispersed fillers in epoxy binder was experimentally set for creation of composite materials with improved exploitation characteristics, and physico-chemical interaction on the interphase boundary «matrix – filler» was studied. The influence of composites structure on adhesive, physico-mechanical and thermophysical properties at availability of nano- and microdisperse fillers was set.

The content of dispersed fillers was optimized by the methods of mathematical statistics for creation of functional layers of various purposes in the protective coatings with enhanced exploitation characteristics. The composite materials with nano- and microdispersed fillers were developed as a result of experimental researches to enhance the exploitation characteristics of parts that operate under the influence of hydroabrasive and corrosive environments. The results of the work were implemented in the enterprise LLC «OSP Corporation VATRA» (Ternopil) and in the educational process.

Підписано до друку 10.05.2017 р.
Тираж 120 прим.

Видавництво
Херсонська державна морська академія,
просп. Ушакова, 20, м. Херсон, 73000
Тел. 091-32-65-473

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої
справи до Державного реєстру
ДК № 4319 від 10.05.2012 р.