

РОЗРОБКА МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Сметанкін С. О., здобувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: seuto@ukr.net;

Нігалатій В. Д., асистент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: seuto@ukr.net;

Букетов А. В., д.т.н., проф., завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: buketov@tstu.edu.ua;

Шарко О. В., д.т.н., проф., професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії, E-mail: dmitro_step75@ukr.net;

Скирденко О. І., к.т.н., доц., доцент кафедри професійної освіти Херсонського державного університету, E-mail: ksu.profosvita@ukr.net;

Баглюк Г. А., д.т.н., с.н.с., керівник відділу зносостійких та корозійностійких порошкових конструкційних матеріалів Інституту проблем матеріалознавства імені І. М. Францевича НАН України (м. Київ), E-mail: gbag@rambler.ru

У роботі проведено дослідження впливу вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну на фізико-механічні властивості та структуру модифікованих епоксидних композитів на основі епоксидно-діанової смоли ЕД-20. У результаті аналізу отриманих даних вибрано оптимальну концентрацію добавки, за якої забезпечують оптимальні значення ударної в'язкості, руйнівних напружень і модуля пружності при згинанні розроблених композитних матеріалів. З метою підтвердження достовірності отриманих результатів дослідження фізико-механічних властивостей композитів додатково проаналізовано структуру поверхні зламу матеріалів. Аналіз фрактограм вихідної епоксидної матриці дозволяє стверджувати про формування поверхні зламу з розгалуженими лініями сколювання та організованими фракціями із шаруватою структурою з подальшими змінами залежно від вмісту модифікатора. Причому лінії сколювання у деяких випадках мають яскраво виражені заглиблення, які характеризують напружений стан матеріалу та його крихкість.

Ключові слова: епоксидний композит, оптимальне значення, модифікатор, фізико-механічні властивості, структура.

Постановка проблеми. Високонаповнені полімерні композити на основі синтетичних смол та модифікаторів широко застосовують у різних галузях промисловості. На сьогодні важливе місце займають нові методи використання та технології формування полімерних композитних матеріалів (КМ) із підвищеними експлуатаційними характеристиками. Відомо, що такі матеріали, порівняно з традиційними металами та сплавами, відзначаються підвищеними показниками адгезійної та когезійної міцності, незначними залишковими напруженнями [1, 2]. Це, у свою чергу, забезпечує не лише підвищення антикорозійних властивостей і зносостійкості технологічного обладнання, але й збільшує його міжремонтний ресурс експлуатації та економічність. Серед широкого спектру полімерних КМ, які використовують у машинно- та суднобудуванні як антикорозійні покриття, слід виділити епоксидні композити. Порівняно з підвищеними показниками адгезійної та когезійної міцності, слід звернути увагу на незначні релаксаційні властивості епоксидних КМ, а також несуттєву ударну в'язкість і циклічну міцність. Одним із шляхів підвищення експлуатаційних характеристик епоксидних композитів є модифікування матриці хімічними компонентами (модифікаторами, пластифікаторами), що дозволить поліпшити як їх адгезійні, так і когезійні (фізико-механічні) властивості [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо [5, 6], що серед існуючих полімерів відзначаються поліпшеними властивостями у комплексі матеріали на основі епоксидного зв'язувача. За рахунок розповсюдженої сировинної бази і можливості багатотоннажного постачання перспективним є використання епоксидного зв'язувача ЕД-20. Для поліпшення властивостей таких матеріалів у олігомер ЕД-20 вводять як наповнювачі, так і модифікатори різної фізичної природи та дисперсності. У даному аспекті перспективним є використання синтезованого нами модифікатору – бензен-1,3-діаміну (БД), який при введенні у епоксидний олігомер водночас може бути каталізатором процесу гелеутворення. Виходячи з цього, актуальним є проведення досліджень впливу концентрації синтезованого модифікатора на структуру та фізико-механічні властивості епоксидної матриці.

Мета роботи. Дослідити вплив модифікатора бензен-1,3-діамін на структуру та фізико-механічні властивості епоксидної матриці для формування покриттів із підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Матеріали та методика дослідження. Виходячи з наведеного вище, як основний компонент для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) (рис. 1). Як модифікатор використано бензен-1,3-діамін. Модифікатор вводили у зв'язувач за вмісту від 0,10 до 2,00 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 (тут і далі за текстом мас. ч. наводять на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20). Формула речовини бензен-1,3-діаміну має вигляд: $C_6H_8N_2$ (рис. 2).

Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78) (рис. 3), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Відомо, що ПЕПА є низькомолекулярною речовиною, яка складається з таких взаємозв'язаних компонентів: $[-CH_2-CH_2-NH-]_n$ [5, 7]. Різні стадії зшивання моделювали та досліджували при введенні твердника у композицію за вмісту 10 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20, з метою визначення оптимального для відповідних характеристик співвідношення компонентів у системі «зв'язувач – модифікатор». Характеристики епоксидного діанового олігомеру, модифікатора і твердника наведено у табл. 1.

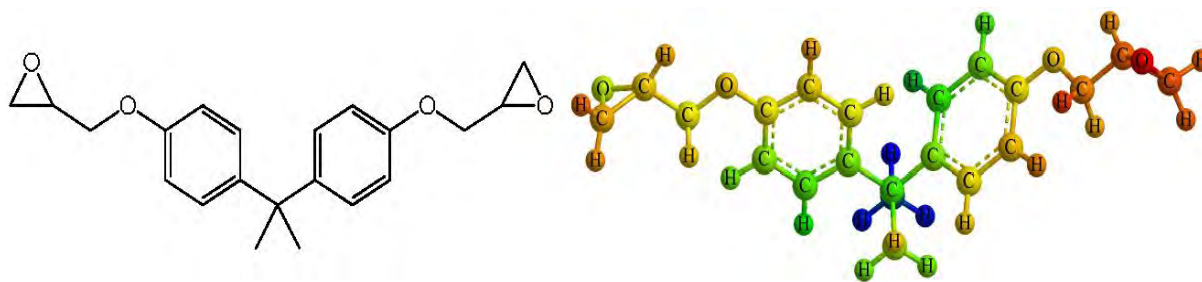


Рисунок 1 – Структурна формула фрагменту епоксидного діанового олігомеру ЕД-20 [8]

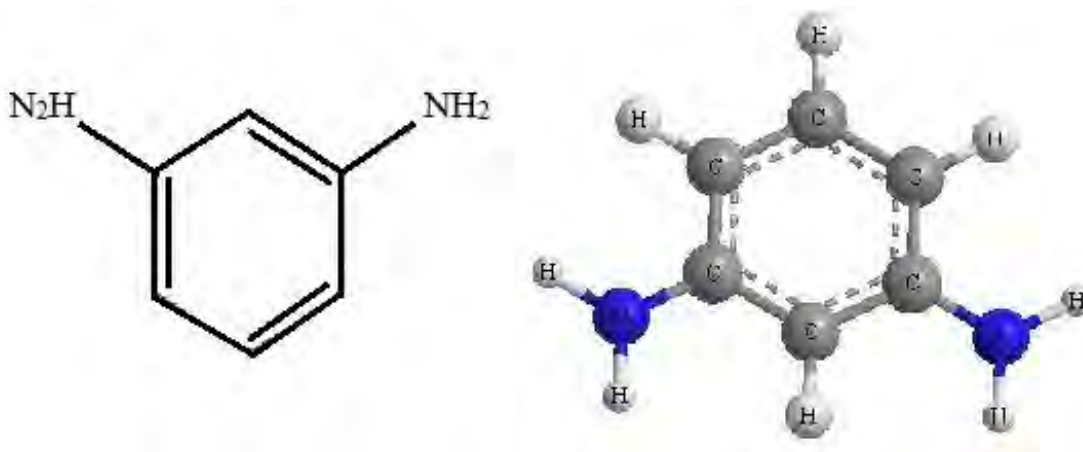


Рисунок 2 – Структурна формула фрагменту модифікатора бензен-1,3-діаміну (C₆H₈N₂)

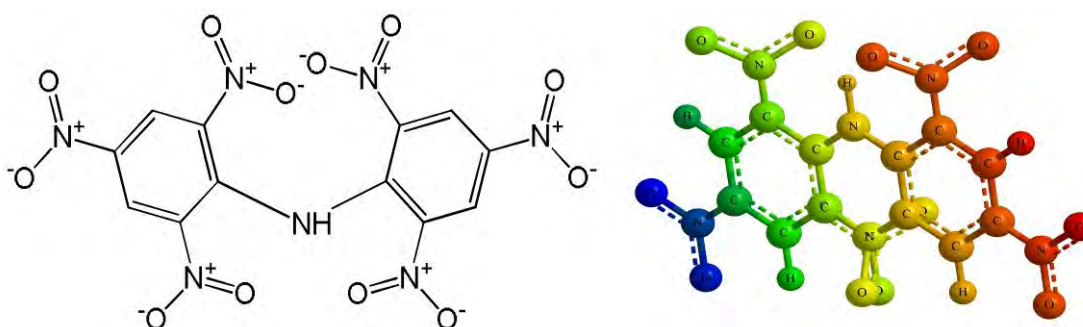


Рисунок 3 – Структурна формула фрагменту затверджувача ПЕПА [8]

Таблиця 1 – Характеристики компонентів епоксидного зв'язувача, твердника та модифікатора

Характеристики	Епоксидний олігомер ЕД-20	Модифікатор БД	Твердник ПЕПА
Молекулярна маса	390...430	108,14	230...250
Вміст епоксидних груп, %	20,0...22,5	–	–
Вміст гідроксильних груп, %	1,25	–	–
Середня функціональність за епоксидними групами, f_n	2,0	–	–
Вміст азоту, %	–	25,90	19,5...22,0
Вміст вуглецю, %	–	66,64	–
Вміст водню, %	–	7,46	–
В'язкість, η , Па·с	13...20	–	0,9
Густина, ρ , г/см ³	1,16	–	1,05

Епоксидний зв'язувач формували за такою технологією: дозування компонентів, підігрівання епоксидної смоли марки ЕД-20 до температури $T = 353...373$ К, витримка смоли при даній температурі впродовж часу $t = 15...20$ хв, гідродинамічне суміщення епоксидної смоли і модифікатора впродовж часу $t = 8...10$ хв, охолодження суміші впродовж часу $t = 50...60$ хв до кімнатної температури, введення твердника (ПЕПА), витримання композиції на повітрі впродовж часу $t = 12 \pm 0,1$ год, підігрівання композиції до температури $T = 393 \pm 2$ К і її витримання при даній температурі впродовж часу $t = 2 \pm 0,1$ год, охолодження композиції та її витримання на повітрі впродовж часу $t = 24 \pm 0,1$ год.

Руйнівні напруження і модуль пружності КМ 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 ГОСТу 4647-80 на маятниковому копрі МК-30 за температури $T = 298 \pm 2$ К і відносній вологості $d = 50 \pm 5\%$. Використовували зразки з розмірами: $(63,5 \times 12,7 \times 12,7) \pm 0,5$ мм.

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

Дослідження структури матеріалів проводили на металографічному мікроскопі моделі ХЛ-17АТ, який обладнаний камерою 130 UMD (1,3 Mega Pixels). Діапазон збільшення зображення від $\times 100$ до $\times 1600$ разів. Для обробки цифрових зображень використовували програмне забезпечення «Image Analyse».

Обговорення результатів експерименту. Для визначення оптимального вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну в епоксидній матриці з поліпшеними властивостями на початковому етапі проведено дослідження фізико-механічних властивостей КМ, а саме: руйнівного напруження при згинанні (σ_{32} , МПа), модуля пружності при згинанні (E , ГПа) й ударної в'язкості (W , кДж/м²). Попередніми дослідженнями [9–11] встановлено показники фізико-механічних властивостей вихідної (немодифікованої) епоксидної матриці при наведених вище режимах зшивання: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{32} = 48$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 2,8$ ГПа, ударна в'язкість – $W = 7,4$ кДж/м².

Експериментально встановлено (рис. 4, крива 1), що введення у епоксидний олігомер модифікатора за незначного вмісту $q = 0,10$ мас.ч. приводить до суттєвого збільшення модуля пружності до $E = 3,3$ ГПа. При подальшому введенні модифікатора у кількості $q = 0,25 \dots 0,50$ мас.ч. на кривій залежності модуля пружності при згинанні від вмісту добавки (рис. 4, крива 1) спостерігали максимум, показник якого становить $E = 3,4$ ГПа.

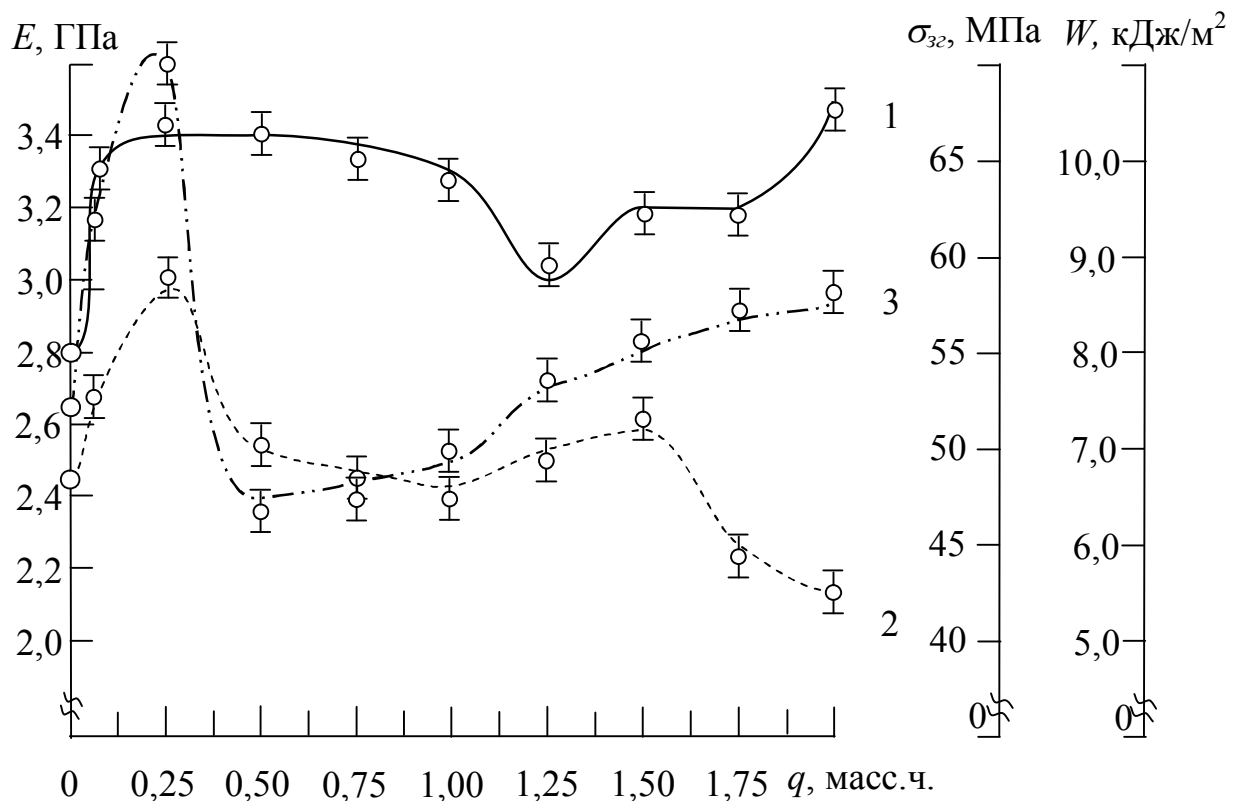


Рисунок 4 – Залежність фізико-механічних властивостей та ударної в'язкості матриці від вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну:

1 – модуль пружності при згинанні (E); 2 – руйнівні напруження при згинанні (σ_{32}); 3 – ударна в'язкість (W , кДж/м²)

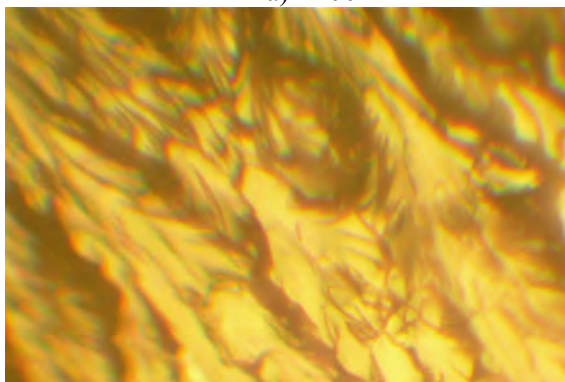
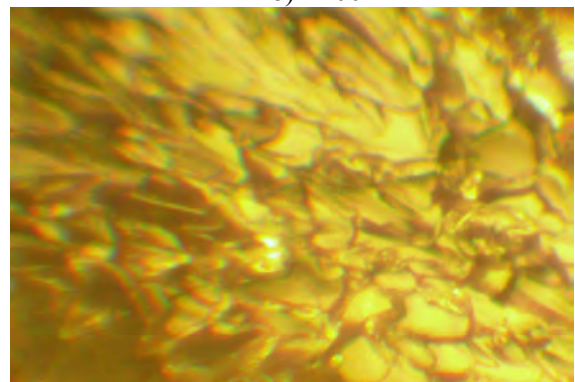
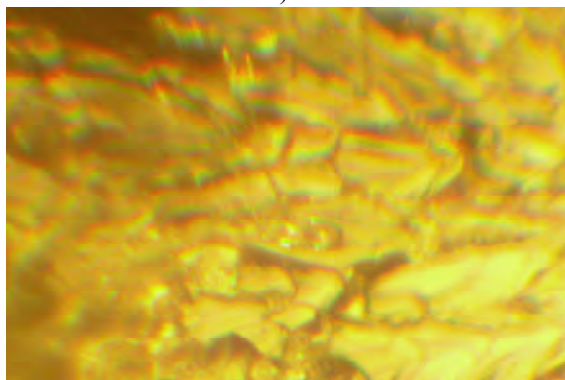
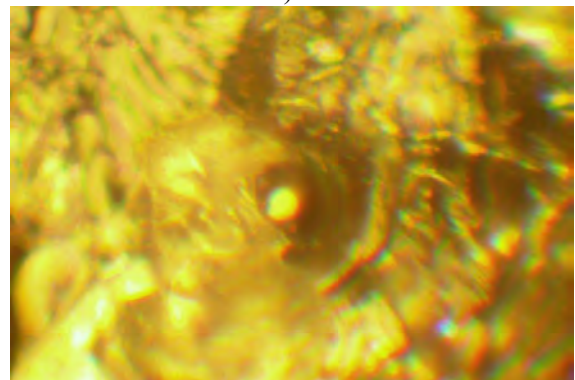
Вважали, що саме модифікатор приводить до активації процесів полімеризації внаслідок взаємодії функціональних груп з компонентами матриці. Надалі збільшення вмісту модифікатора до $q = 0,75 \dots 1,00$ мас.ч. призводить до монотонного зниження показників модуля пружності до $E = 3,0 \dots 3,3$ ГПа. Слід зазначити, що введення модифікатора у кількості $q = 1,25$ мас.ч. призводить до значного погіршення властивостей КМ. На кривій залежності $E - q$ формується мінімум (рис. 4, крива 1), величина якого становить $E = 2,7$ ГПа. Подальше введення модифікатора у кількості $q = 1,50 \dots 1,75$ мас.ч. забезпечує підвищення показників модуля пружності при згинанні КМ до $E = 3,2$ ГПа, а другий максимум ($E = 3,5$ ГПа) на кривій залежності $E - q$ спостерігали за вмісту модифікатора у кількості $q = 2,00$ мас.ч. Тобто, можна припустити, що перенасичення епоксидного олігомеру активними групами модифікатора бензен-1,3-діаміну також сприяє значній активації процесів структуроутворення модифікованої матриці.

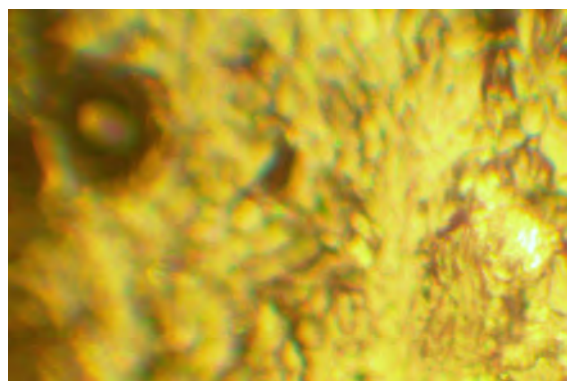
Дослідження залежності руйнівних напружень при згинанні від вмісту модифікатора підтверджує результати експериментальних досліджень, наведених вище (рис. 4, крива 2). При введенні модифікатора за вмісту $q = 0,10$ мас.ч. руйнівні напруження при згинанні суттєво зростають від $\sigma_{32} = 48$ МПа (для епоксидної матриці) до $\sigma_{32} = 52$ МПа. Максимум ($\sigma_{32} = 58$ МПа) на кривій залежності $\sigma_{32} - q$ виявлено за вмісту часток $q = 0,25$ мас.ч. При подальшому введенні модифікатора у кількості $q = 0,50 \dots 1,00$ мас.ч. показники когезійної міцності суттєво знижуються, при цьому отримали значення $\sigma_{32} = 48 \dots 50$ МПа. Слід відмітити, що подальше введення модифікатора у кількості $q = 1,25 \dots 1,50$ мас.ч. знову приводить до підвищення результатів експерименту до $\sigma_{32} = 49 \dots 51$ МПа, однак дані показники є несуттєвими порівняно з максимумом на кривій залежності $\sigma_{32} - q$. Надалі збільшення вмісту модифікатора до $q = 1,75 \dots 2,00$ мас.ч. призводить до значного погіршення когезійної міцності КМ. При цьому формуються матеріали, показники руйнівних напружень яких становлять $\sigma_{32} = 43 \dots 45$ МПа і є меншими за абсолютною величиною порівняно з матрицею ($\sigma_{32} = 48$ МПа).

Не менш важливим, з практичної та теоретичної точки зору є дослідження ударної в'язкості КМ. Встановлено (рис. 4, крива 3), що введення у епоксидний олігомер модифікатора за незначного вмісту $q = 0,10$ мас.ч. призводить до значного підвищення показника ударної в'язкості від $W = 7,4$ кДж/м² (для епоксидної матриці) до $W = 9,4$ кДж/м². При подальшому введенні модифікатора бензен-1,3-діаміну у кількості $q = 0,25$ мас.ч. спостерігали максимум ($W = 11,0$ кДж/м²) на кривій залежності $W - q$, що повністю корелює з результатами експериментальних даних, наведених вище. При збільшенні кількості модифікатора до $q = 0,50$ мас.ч. спостерігали значне погіршення результатів експерименту, позаяк сформований КМ відзначається показниками ударної в'язкості, яка становить $W = 6,5$ кДж/м² (рис. 4, крива 3). Подальше збільшення вмісту модифікатора до $q = 0,75 \dots 2,00$ мас.ч. призводить до монотонного зростання показників в'язкості при ударі до $W = 6,7 \dots 8,5$ кДж/м². Отже, аналіз кривої залежності ударної в'язкості від вмісту часток дозволяє констатувати про добру узгодженість результатів експериментальних досліджень когезійної міцності КМ (модуль пружності, руйнівні напруження при згинанні, ударна в'язкість), що свідчить про достовірність проведених випробувань.

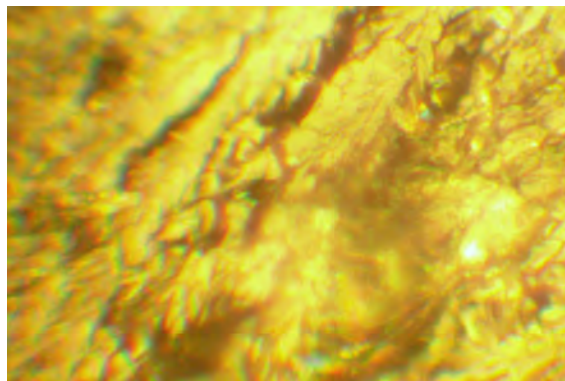
На завершальному етапі методом оптичної мікроскопії досліджували топологію зламу немодифікованої матриці (еталонного зразка) та модифікованої матриці з різним вмістом модифікатора бензен-1,3-діаміну. Аналіз фрактограм зламу епоксидної матриці (рис. 5а) дозволяє стверджувати про формування розгалужених ліній сколювання, які характеризуються вираженими заглибленнями. Це свідчить про напружений стан матеріалу, який призводить до його крихкості під час експлуатації. При введенні модифікатора за вмісту $q = 0,10$ мас.ч. формується матеріал з іншою структурою, що свідчить про значний вплив модифікатора на фізико-хімічні процеси при формуванні зразків. На фрактограммі зламу (рис. 5б) помітно, що розгалужені лінії сколювання з вираженими заглибленнями, характерними для вихідної епоксидної матриці,

змінюються випрямленими самоорганізованими фракціями із шаруватою структурою та меншим числом впадин. Це, на нашу думку, приводить до зміцнення матеріалу. Надалі, збільшення вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну до $q = 0,25$ мас.ч. (рис. 5в) забезпечує формування КМ, зі структурою, яка відзначається випрямленими лініями та подовженими фракціями. При цьому у полімері формуються фракції з голчастою структурою, яка забезпечує армуючий ефект. Слід відмітити, що лінії сколювання мають яскраво виражені заглиблення та розташовані вздовж випрямлених, нагромаджених фракцій у вигляді прямих ліній. Це свідчить про рівномірний розподіл сітки концентраторів напружень, що додатково зумовлює зміцнення матеріалу. Отримані дані добре узгоджуються з результатами досліджень фізико-механічних властивостей КМ з вмістом БД у кількості $q = 0,25$ мас.ч. (рис. 4), де встановлено максимальні значення руйнівних напружень при згинанні, модуля пружності при згинанні і ударної в'язкості. Наведене вище є підтвердженням того, що саме за такої концентрації модифікатора формується матеріал з покращеними когезійними властивостями.

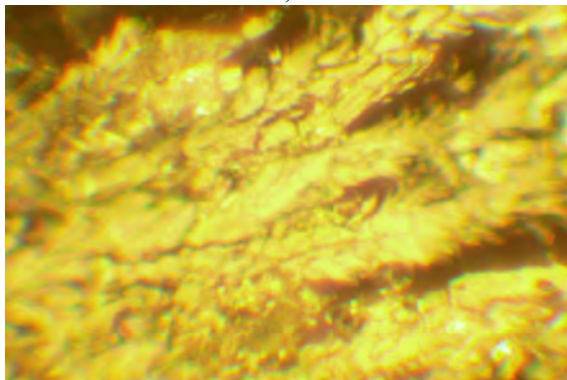
а) $\times 400$ б) $\times 400$ в) $\times 400$ г) $\times 400$ д) $\times 400$ е) $\times 400$



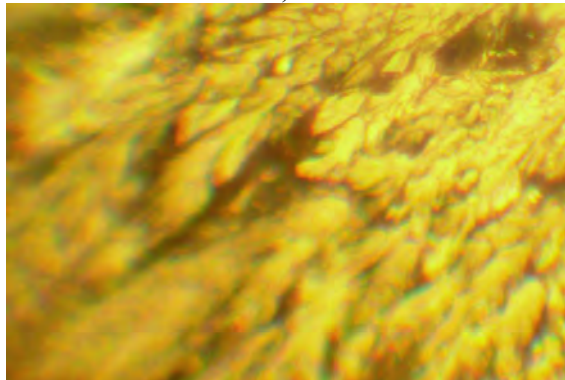
ж) ×400



з) ×400



и) ×400



к) ×400

Рисунок 5 – Фрактограми зламу вихідної і модифікованих бензен-1,3-діаміном епоксидних матриць:

- а) вихідна епоксидна матриця (контрольний зразок); б) $q = 0,10$ мас.ч. модифікатора; в) $q = 0,25$ мас.ч. модифікатора; г) $q = 0,50$ мас.ч. модифікатора; д) $q = 0,75$ мас.ч. модифікатора; е) $q = 1,00$ мас.ч. модифікатора; ж) $q = 1,25$ мас.ч. модифікатора; з) $q = 1,50$ мас.ч. модифікатора; и) $q = 1,75$ мас.ч. модифікатора; к) $q = 2,00$ мас.ч. модифікатора

При збільшенні вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну у зв'язувачі до $q = 0,50$ мас.ч. формується матеріал, на фрактограмі зламу якого (рис. 5г) чітко помітна різномірна блочна структура із щільним розташуванням кластерів по усій поверхні сколювання. При цьому спостерігали рельєф поверхні з в'язким характером руйнування. Складна топологія поверхні таких зразків свідчить про крихкість модифікованої матриці. Вважали, що саме модифікатор бензен-1,3-діамін за такого вмісту у процесі перебігу фізико-хімічних реакцій полімеризації призводить до утворення напруженого стану у полімері, спричинюючи значне погіршення когезійних властивостей матеріалу. Отже, характер фрактограм зламу підтверджує результати досліджень фізико-механічних властивостей матриці з даним вмістом модифікатора ($q = 0,50$ мас.ч.), де встановлено мінімальні показники руйнівних напружень, модуля пружності при згинанні і ударної в'язкості КМ (рис. 4).

При збільшенні вмісту модифікатора у зв'язувачі до $q = 0,75 \dots 1,25$ мас.ч. формуються матеріали, на фрактограмах зламу яких також спостерігали помітні зміни у структурі КМ, порівняно з вихідним епоксидним полімером. Слід відмітити підвищену в'язкість такої матриці. Причому поверхня зламу зразків відзначається наявністю нерівномірно розташованих заглиблень та кратерів, які є концентраторами напружень. При збільшенні вмісту модифікатора у зв'язувачі до $q = 1,50 \dots 2,00$ мас.ч. формуються матеріали, на фрактограмах зламу яких спостерігали однорідну структуру без глибоких кратерів. Водночас спостерігали тенденцію, що зі збільшенням вмісту модифікатора у КМ поверхня зламу зразків стає пологою та в'язкою. При цьому лінії сколювання набувають лінійного характеру, однак є нерівномірними. Це, у свою чергу, приводить до поліпшення фізико-механічних властивостей матеріалів.

Висновки. Доведено, що для формування матриці з поліпшеними фізико-механічними властивостями необхідно у епоксидний олігомер ЕД-20 (100 мас.ч.) вводити модифікатор бензен-1,3-діамін за вмісту $q = 0,25$ мас. ч. У такому випадку при полімеризації твердником ПЕПА (10 мас.ч.) формується матеріал із наступними властивостями: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{3z} = 58$ МПа, модуль пружності при згинанні – $E = 3,4$ ГПа, ударна в'язкість – $W = 11$ кДж/м².

Методом оптичної мікроскопії досліджено поверхню зламу вихідних і модифікованих матриць. Аналіз фрактограм зламу вихідної епоксидної матриці дозволяє стверджувати про формування поверхні з розгалуженими лініями сколювання та випрямленими фракціями із шаруватою структурою. Причому лінії сколювання, у деяких випадках, мають яскраво виражені заглиблення, які характеризують напружений стан матеріалу та його крихкість. За вмісту модифікатора бензен-1,3-діаміну у кількості $q = 0,25$ мас.ч. формується структура з випрямленими лініями та подовженими фракціями, які утворюють голчасту структуру, що забезпечує армуючий ефект. Слід відмітити, що лінії сколювання мають яскраво виражені заглиблення, які розташовані вздовж нагромаджених фракцій у вигляді прямих ліній. Це свідчить про формування сітки з рівномірно розподілених концентраторів напружень, що додатково зміцнює матеріал. Отже, результати дослідження поверхні зламу матеріалів, отриманих методом оптичної мікроскопії, корелюють із даними випробувань фізико-механічних властивостей КМ, що є підтвердженням їх достовірності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Букетов А. В. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, Є. М. Кальба. – Тернопіль : Збруч, 2005. – 182 с.
2. Стухляк П. Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов, І. Г. Добротвор. – Тернопіль : Збруч, 2008. – 208 с.
3. Пономарев А. Н. Технологии микромодификации полимерных и неорганических композиционных материалов с использованием наномодификаторов фуллероидного типа / А. Н. Пономарев // Труды международной конференции ТПКММ. – Москва, 2003. – С. 508–518.
4. Яновский Ю. Г. Композиты на основе полимерных матриц и углеродно-силикатных нанонаполнителей. Квантово-механическое исследование механических свойств, прогнозирование эффекта усиления / Ю. Г. Яновский, Е. А. Никитина, С. М. Никитин, Ю. Н. Карнет // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2009. – Т.15. – № 4. – С.66–89.
5. Букетов А. В. Исследование влияния 1,4-бис(Ν,Ν-диметилдителиокарбамато)бензена на механические свойства эпоксидной матрицы / А. В. Букетов, А. А. Сапронов, В. М. Яцюк, Б. Д. Грищук, В. С. Барановский // Пластические массы. – 2014. – № 3–4. – С. 26–34.
6. Букетов А. В. Исследование влияния модификатора 4,4'-метиленбис(4,1-фенилен)бис(Ν,Ν-диэтилдителиокарбамата) на структуру и свойства эпоксидной матрицы / А. В. Букетов, А. А. Сапронов, В. Н. Яцюк, В. О. Скирденко // Пластические массы. – 2014. – № 7–8. – С. 9–16.
7. Тхір І. Г. Фізико-хімія полімерів : навч. посібник / І. Г. Тхір, Т. В. Гуменецький. – Львів : Вид. нац. універ. «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.
8. Buketov A. V. Issledovanie fiziko-mehaničeskikh svojstv kompozitnyh materialov na osnove jepoksidianovoj smoly, otverzhdennoj polijetilenpoliaminom, s dobavljeniem plastifikatora-antipirena trihlorjetilfosfata / A. V. Buketov, A. V. Akimov, D. A. Zinchenko // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnični nauki. – 2015. – № 5. – S. 126–134.

9. Браїло М. В. Дослідження впливу вмісту твердника і температури зшивання на властивості епоксидних зв'язувачів / М. В. Браїло // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2013. – № 2 (65) – С. 3–12

10. Сапронов О. О. Дослідження природи хімічних і фізичних зв'язків епоксидних нанокompозитів методом ІЧ-, ЕПР-спектрального аналізу та оптичної мікроскопії / О. О. Сапронов // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ. – 2013. – Випуск 43. – С. 62–73.

11. Букетов А. В. Дослідження властивостей епоксикompозитів, наповнених нанодисперсним алмазом, методом ІЧ-спектрального аналізу та оптичної мікроскопії / А. В. Букетов, О. О. Сапронов // Вісник ТНТУ. – 2013. – № 4. – С. 190–198.

REFERENCES

1. Buketov A. V., Stukhlyak P. D., Kaljba E. M. (2005). *Fiziko-khimichni procesi pri formuvanni epoksidnykh materialiv*. Ternopilj : Zbruch.

2. Stukhlyak P. D., Buketov A. V., Dobrotvor I. G. (2008). *Epoksidnykh materialiv, modifikovani energetichnymi polyami*. Ternopilj : Zbruch.

3. Ponomarev A. N. (2003). Tekhnologii mikromodifikatsii polimernykh i neorganicheskikh kompozitsionnykh materialov s ispolzovaniem nanomodifikatorov fulleroidnogo tipa. *Trudih mezhdunarodnoy konferentsii TPKMM*. Moskva, 508–518.

4. Yanovskiy Yu. G., Nikitina E. A., Nikitin S. M., Karnet Yu. N. (2009). Kompozitih na osnove polimernykh matric i uglerodno-silikatnykh nanonapolniteley. Kvantovomekhanicheskoe issledovanie mekhanicheskikh svoystv, prognozirovaniye ehffekta usileniya. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruktsiy*, T.15, 4. 66–89.

5. Buketov A. V., Saponov A. A., Yacyuk V. M., Grithuk B. D., Baranovskiy V. S. (2014). Issledovanie vliyaniya 1,4-bis(N,N-dimetil-ditiokarbamato)benzena na mekhanicheskie svoystva epoksidnoy matricih *Plasticheskie massih*, 3–4, 26–34.

6. Buketov A. V., Saponov A. A., Yacyuk V. N., Skirdenko V. O. (2014). Issledovanie vliyaniya modifikatora 4,4'-metilenbis(4,1-fenilen)bis(N,N-diehtilditiokarbamata) na strukturu i svoystva epoksidnoy matricih. *Plasticheskie massih*, 7–8, 9–16.

7. Tkhir I. G. Fiziko-khimiya polimeriv : navch. posibnik / I. G. Tkhir, T. V. Gumenecjkiyj. – Ljviv : Vid. nac. univer. «Ljvivs'jka politekhnika», 2005. – 240 s.

8. Buketov A. V., Akimov A. V., Zinchenko D. A. (2015). Issledovanie fizikomekhanicheskikh svoystv kompozitnykh materialov na osnove jepoksidianovoy smoly, otverzhdennoy polijetilenpoliaminom, s dobavleniem plastifikatora-antipirena trihlorjetilfosfata. *Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki*, 5. 126–134.

9. Braїlo M. V. (2013). Doslidzhennya vplivu vmistu tverdnika i temperaturi zshivannya na vlastivosti epoksidnykh zv'yazuvachiv *Visnik Zhitomir's'kogo derzhavnogo tekhnologichnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki*, № 2 (65). 3–12

10. Saponov O. O. (2013). Doslidzhennya prirodi khimichnykh i fizichnykh zv'yazkiv epoksidnykh nanokompозитив metodom ICh-, EPR-спектрального аналізу та оптичної мікроскопії. *Naukovi notatki*, 43. Lucjk : LNTU. 62–73.

11. Buketov A. V., Saponov O. O. (2013). Doslidzhennya vlastivostey epoksidnykh nanokompозитив, napovnenikh nanodispersnim almazom, metodom ICh-спектрального аналізу та оптичної мікроскопії. *Visnik TNTU*, 4. 190–198.

Сметанкин С. А., Нигалатий В. Д., Букетов А. В., Шарко А. В., Скирденко О. И., Баглюк Г. А.
РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В работе проведено исследование влияния содержания модификатора бензол-1,3-диамина на физико-механические свойства и структуру модифицированных эпоксидных композитов на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-20. В результате анализа полученных данных выбран оптимальная концентрация добавки, при которой обеспечивают оптимальные значения ударной вязкости, разрушающих напряжений и модуля упругости при изгибе разработанных композитных материалов. С целью подтверждения достоверности полученных результатов исследования физико-механических свойств композитов дополнительно проанализирована структура поверхности излома материалов. Анализ фрактограмм исходной эпоксидной матрицы позволяет утверждать о формировании поверхности излома с разветвленными линиями скалывания и организованными фракциями со слоистой структурой с последующими изменениями в зависимости от содержания модификатора. Причем линии скалывания, в некоторых случаях, имеют ярко выраженные углубления, которые характеризуют напряженное состояние материала и его хрупкость.

Ключевые слова: эпоксидный композит, оптимальное значение, модификатор, физико-механические свойства, структура.

Smetankin S. A., Nigalatiy V. D., Buketov A. V., Sharko O. V., Skyrdenko O. I., Bagliuk G. A.
DEVELOPMENT OF MODIFIED POLYMER COMPOSITES FOR REPAIR PARTS OF TRANSPORT POWER PLANTS

The paper studied the effect of modifying the content of benzene-1,3-diamine in the physical and mechanical properties and structure of the modified epoxy composites based on ED-20 epoxy resin bisphenol. An analysis of the data selected optimum additive concentration at which values provide optimum toughness, and stress destroying the flexural modulus composite materials developed. In order to confirm the validity of the results of the study of physical and mechanical properties of composites further analyzed the structure of fracture surface materials. Analysis fraktogramm original epoxy matrix suggests the formation of a fracture surface of the branched lines chipping and organized factions with a layered structure with the subsequent changes depending on the content of the modifier. Wherein the cleaving line in some cases, have pronounced grooves that characterize the stress state of the material and its fragility.

Keywords: epoxy composite, the optimum value, a modifier of physical and mechanical properties of the structure.

© Сметанкін С. А., Нігалатій В. Д., Букетов А. В., Шарко О. В., Скирденко О. І., Баглюк Г. А.

Статтю прийнято
до редакції 19.05.16