

УДК 678.632+677.522

*М.В. Бурмістр, О.О. Ліпко, О.І. Михайлова, Ю.М. Кобельчук, Л.І. Сула*

## ОРГАНОПЛАСТИКИ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО ПОЛІАМІДОМ ТЕРМОРЕАКТИВНОГО ФЕНОЛО-ФОРМАЛЬДЕГІДНОГО ЗВ'ЯЗУВАЧА ТА ДИСКРЕТНИХ ОРГАНІЧНИХ ВОЛОКНИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ

ДВНЗ „Український державний хіміко-технологічний університет”, м. Дніпро

Розроблені нові полімерні композиційні матеріали на основі модифікованої спирторозчинним поліамідом марки П-548 феноло-формальдегідної матриці та дискретних поліамідних волокон: полігексаметиленадипамідного аліфатичного класу марки „Анід” вітчизняного виробництва та полібензімідазольного ароматичного класу марки „Русар<sup>®</sup>” (аналогі: „Кевлар”, „СВМ” та інші), властивості яких перевищують відомі на основі термореактивної феноло-формальдегідної матриці. Введення в структуру жорсткої фенольної матриці термопластичних фрагментів лінійного поліаміду дозволило покращити фізико-механічні характеристики композитів: з ударної в'язкості за Шарпі на 20%, з межею міцності при вигині на 23–38%, при стисненні на 32%, знизити водопоглинання на 12–17%. В процесі дослідження умов армування модифікованої поліамідом феноло-формальдегідної матриці дискретними волокнистими поліамідними наповнювачами були вивчені адгезійна взаємодія поверхонь полімерна матриця – волокнистий наповнювач, вплив ступеню наповнення полімерної матриці волокнистими наповнювачами, довжини дискретних волокон на реологічні властивості препрегів і фізико-механічні властивості композиційних матеріалів, визначені оптимальні склади та технологічні параметри одержання і перероблення композиційних матеріалів, які розроблялися. Завдяки модифікації поліамідом феноло-формальдегідної матриці одержані нові полімерні композиційні матеріали з наступними властивостями: з полігексаметиленадипамідним наповнювачем – ударною в'язкістю за Шарпі 98–154 кДж/м<sup>2</sup>, межею міцності при статичному вигині 118–148 МПа, при стисненні – 111–132 МПа, з теплостійкістю за Мартенсом 98–103°C, з водопоглинанням – 0,16%; з поліамідбензімідазольним наповнювачем – ударною в'язкістю за Шарпі 235–431 кДж/м<sup>2</sup>, межею міцності при статичному вигині – 320–437 МПа, при стисненні – 150–245 МПа, з теплостійкістю за Мартенсом – 240–245°C, з водопоглинанням – 0,23–0,27%. Розроблені полімерні композиційні матеріали відповідають вимогам конструкційних матеріалів, здатних працювати у вузлах тертя і агресивних середовищах замість текстоліту та інших композитних матеріалів.

**Ключові слова:** полімерний композиційний матеріал, модифікований фенол-формальдегідний зв'язувач, полігексаметиленадипамідні волокна, полібензімідазольні волокна, міцнісні властивості, поліамід.

### **Вступ**

Зростання випуску полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) в індустріально розвинених країнах на початок ХХІ століття становить 10–16% щорічно [1].

Однією із поширених матриць для полімерних композиційних матеріалів є фенольна. Тому метою дослідження була розробка полімерних композиційних матеріалів на основі модифікованої спирторозчинним поліамідом марки П-548

феноло-формальдегідної матриці та дискретних поліамідних волокон (ПАВ): полігексаметиленадипамідного (ПГМАА) аліфатичного класу торгової марки «Анід» вітчизняного виробництва та поліамідбензімідазольного (ПАБІ) ароматичного класу імпортного виробництва торгової марки „Русар<sup>®</sup>”.

Метою модифікації феноло-формальдегідної смоли (ФФС), яка одержується за типом резольної поліконденсації, спирторозчинним полі-

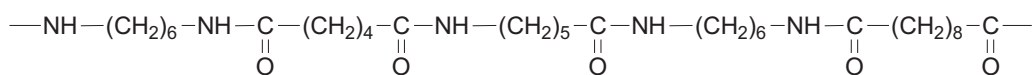


Схема 1

амідом було введення в структуру жорсткої термореактивної матриці термопластичних фрагментів поліаміду, які повинні підвищити її фізико-механічні властивості, такі як ударна в'язкість, межі міцності при вигині та стисненні, також водостійкість та антифрикційні властивості.

Застосування спирторозчинного поліаміду марки П-548 замість раніш розробленого авторами способу модифікації ФФС модифікованим полі-ε-капролактамом (ПА-6) [2] значно спрощує процес виготовлення модифікованої поліамідом ФФС та зв'язувача для ПКМ на його основі.

Поліамід спирторозчинний марки П-548 є співполімером солі АГ (адипінова кислота – гексаметилендіамін), солі СГ (себацінова кислота – гексаметилендіамін) і ε-капролактаму [3] (схема 1).

При твердненні під дією високих температур при пресуванні препрегів ПКМ відбувається утворення сумісної тримірної сітки, про що свідчить високий відсоток гел-фракції при екстракції отвердженого полімеру мурашиною кислотою, в якій добре розчинюються поліаміди (схема 2).

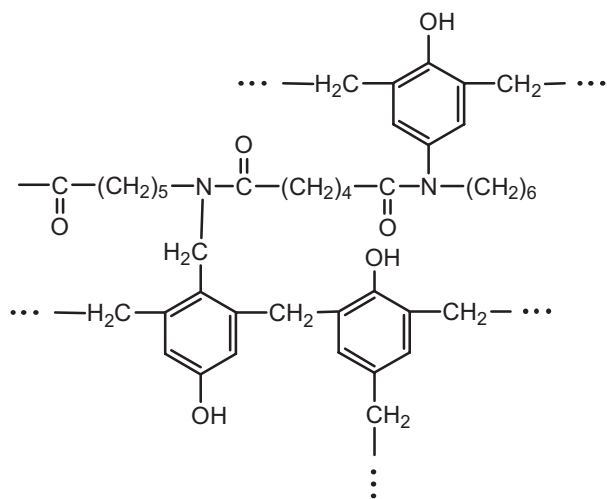


Схема 2

Модифікований поліамідом П-548 феноло-формальдегідний зв'язувач (МПФФЗ) одержували суміщенням спирторозчинної ФФС промислового виробництва марки ЛБС-1 зі спиртовим розчином спирторозчинного поліаміду промислового виробництва марки П-548.

Задачею здійснених досліджень загальних закономірностей армування модифікованої полі-

амідом феноло-формальдегідної матриці дискретними волокнистими наповнювачами було отримання нових ПКМ з високими міцносніми, триботехнічними властивостями зі зниженим вмістом вільного фенолу у зв'язувачах, які відповідають вимогам до конструкційних антифрикційних матеріалів, здатних працювати у вузлах тертя та агресивних середовищах.

#### Матеріали та методи

В якості зв'язувача використана модифікована спирторозчинним поліамідом П-548 термореактивна феноло-формальдегідна смола (лак ЛБС-1, ГОСТ 901-78), який одержували за методикою: 30 г поліаміду П-548 при перемішуванні і нагріві до 60°C розчиняли в 97,8 г етилового спирту, отриманий охолоджений розчин змішували з 122,2 г бакелітового лаку ЛБС-1 (сухий залишок 53,7 мас.%). Одержували 250 г 40% за вмістом сухого залишку зв'язувача. Кількість модифікатора склала 30 мас.% у складі МПФФЗ за сухим залишком.

В якості волокнистих наповнювачів використовувались: полігексаметиленадипінамідні волокна (ПГМААВ) марки „Анід” (ТУ У 24.7-00204048-184:2006), виробник ВАТ „Чернігівське Хімволокно”, м. Чернігів, Україна, довжина нарізки 10, 20–30 мм, лінійна густина 93 текс; поліамідбензімідазольні волокна (ПАБІВ) марки „Русар®” ТУ 2272-0011-51605609-00, довжина нарізки 10, 20–30, 50–70 мм, лінійна густина 58,8 текс.

Препреги ПКМ виготовляли просочуванням розчином зв'язувача ПГМААВ та ПАБІВ, кількість якого відповідала ступеню наповнення ПКМ 50, 60, 65, 70 мас.% та подальшим сушінням при кімнатній температурі до вмісту легкої фракції 5,0–6,5 мас.% [4,5]. Стандартні зразки ПКМ одержували гарячим пресуванням при температурі 170±10°C, питомому тиску 25 МПа і витримування матеріалу у прес-формі 3 хв/мм товщини зразка.

Сухий залишок і час гелеутворення зв'язувачів визначали згідно з ГОСТ 901–78.

Термогравіметричний аналіз зразків проводили на дериватографі фірми МОМ системи „Паулік-Паулік-Ердей”, швидкість підйому температури 5°C за хвилину (20–500°C), маса проби 200 мг.

Для вивчення адгезійної взаємодії в системі полімерна матриця – волокнистий наповнювач були виготовлені модельні зразки – мікропластики, які є комплексними нитками наповнювачів, що просочені зв'язувачем, з подальшим його твердненням при температурі

160±10°C. Приблизна кількість зв'язувача на волокні ~40 мас.%. Випробування модельних зразків виконувались на розривній машині FP-10.

Вивчення процесу тверднення зв'язувача композиційних матеріалів з дискретними волокнистими наповнювачами з хаотичною схемою армування проводилось методом ротаційної віскозиметрії на пластометрі ППР-1 (згідно з ГОСТ 15882-84). Досліди виконувались за наступних умов: використана прес-форма № 1, швидкість обертання ротора 0,05 об./хв, температура пресування 170°C, тиск пресування – 25 МПа.

Випробування стандартних зразків здійснювались відповідно до ГОСТів для пластмас: ударна в'язкість за Шарпі згідно з ГОСТ 4647-80, межа міцності при статичному вигині згідно з ГОСТ 4648-81, межа міцності при стисненні згідно з ГОСТ 4651-82, теплостійкість за Мартенсом згідно з ГОСТ 21341-75, щільність згідно з ГОСТ 15139-69, водопоглинання – з ГОСТ 4650-80. Щільність відпресованих зразків ПКМ визначалась методом гідростатичного зважування згідно з ГОСТ 15139-69.

Коефіцієнт тертя та масовий знос одержаних матеріалів визначали за допомогою машини тертя СМТ-1 (ТУ 25.06.813) при швидкості ковзання 0,75 м/с та питомому тиску 1,0 МПа, що відповідає умовам випробування для пластмас.

#### Обговорення результатів

Одержання ПКМ складається з наступних стадій: виготовлення МПФФЗ, просочення волокнистих наповнювачів зв'язувачем – одержання препрегів, і переробки їх методом високо-температурного пресування.

*Виготовлення модифікованого поліамідом зв'язувача*

МПФФЗ готували згідно з методикою, за якою розчиняли гранули поліаміду П-548 при температурі 60°C у необхідній кількості спирту з розрахунку одержання 40 мас.% за сухим залишком після суміщення розчину з бакелітовим лаком ЛБС-1, одержували МПФФЗ, який вміщує 30 мас.% модифікатора у його складі.

*Дослідження умов армування модифікованої поліамідом феноло-формальдегідної матриці (МПФФМ) поліамідними волокнами*

Властивості ПКМ визначаються як властивості полімерної матриці так і властивостями армуючих органічних волокон. Для досліджен-

ня були обрані низькомодульні поліамідні волокна аліфатичного класу – полігексаметиленадипамідні (єдині на даний час вітчизняного виробництва) і високомодульні полібензімідазольні ароматичного класу.

*Дослідження адгезійної взаємодії системи поверхонь полімерна матриця – волокнистий поліамідний наповнювач*

Стадія нанесення зв'язувача на поверхню волокнистого наповнювача супроводжується протіканням на межі розділу полімерна матриця – наповнювач низки фізико-хімічних явищ, до яких відносяться змочування, адсорбція і адгезія рідкого зв'язувача до поверхні волокна [6].

З метою досліджень адгезійної взаємодії поверхонь фенольна матриця – волокнистий наповнювач виготовлялись модельні зразки – мікропластики, які являють собою просочені зв'язувачами комплексні поліамідні нитки.

За отриманими результатами дослідження адгезійної взаємодії поверхонь МПФФМ і ПГМААВ, які наведені в табл. 1, встановлено, що МПФФМ значно підвищують розривну міцність модельних зразків у порівнянні з вихідною комплексною ниткою та модельними зразками з феноло-формальдегідною матрицею (ФФМ) – на 14% і на 30% відповідно.

Звісно, що ФФС погано працює сумісно з ПГМААВ – вільний фенол, кількість якого складає до 10 мас.%, впливає на поверхню волокна, вступає в реакційну взаємодію з амідними групами та змінює його структуру. Однак введення поліамідного модифікатора у кількості 30 мас.% в фенольний зв'язувач зменшує цей вплив, а також підвищує еластичність полімерної матриці.

Так, за результатом здійснених досліджень спостерігалось зменшення розривної міцності модельних зразків з ФФМ на 12,5%, та відносного подовження на 40%, а у випадку МПФФМ підвищення розривної міцності на 14%, а відносного подовження на 2,8% у порівнянні з непросоченою комплексною ниткою.

В табл. 2 наведені результати дослідження впливу модифікації поліамідом П-548 ФФС на адгезійну взаємодію МПФФЗ з поверхнею полібензімідазольних волокон (ПАБІВ).

За отриманими результатами встановлено, що у випадку МПФФМ значно підвищується розривна міцність модельних зразків у порівнянні з вихідною комплексною ниткою та

Таблиця 1

Результати досліджень впливу модифікації поліамідом П-548 ФФС на міцнісні властивості модельних зразків з ПГМААВ

Тип матриці	Міцність при розтязі, Н	Відносне подовження, %
Непросочена комплексна поліамідна нитка марки „Анід”	32,8	17,8
ФФМ	28,7	11,4
МПФФМ	37,5	12,8

Результати досліджень впливу модифікації поліамідом П-548 ФФС на міцнісні властивості модельних зразків з ПАБІВ

Тип матриці	Міцність при розтязі, Н	Відносне подовження, %
Непросочена комплексна ПАБІ нитка	94,8	3,8
ФФМ	115,4	4,2
МПФФМ	136,0	5,5

модельними зразками з ФФМ – на 11% і на 45% відповідно.

Відносне подовження зростає у випадку ФФМ на 21,7%, а у випадку МПФФМ на 43,5%, що свідчить про високу адгезію поверхонь фенольна матриця – волокнистий наповнювач, але для МПФФМ вона приблизно вдвічі міцніше, що пояснюється більшою еластичністю МПФФМ.

*Дослідження реологічних властивостей ПКМ*

Методом ротаційної віскозиметрії при температурі 170°C одержано кінетичні криві композицій, які досліджувались (рис. 1, 2).

Визначено вплив ступеня наповнення ПКМ на основі феноло-формальдегідного зв'язувача (ФФЗ) і МПФФЗ з ПГМААВ і ПАБІВ наповнювачами при довжині волокон 10 мм на значення напруження зсуву на кінцевій стадії тверднення фенольної матриці. Встановлено, що при збільшенні ступеня наповнення ПКМ напружен-

ня зсуву зростає, що свідчить про зростання його міцнісних властивостей.

Встановлено, що кінетичні криві тверднення ПКМ на основі ФФЗ як для ПГМААВ (рис. 1), так і для ПАБІВ (рис. 2) наповнювачів (крива 1) знаходяться вище усіх кінетичних кривих для ПКМ на основі МПФФЗ, що пояснюється більшою еластичністю МПФФМ, однак не обов'язково свідчить про більшу міцність.

Час виходу на плато кінетичної кривої для ПКМ на основі ФФЗ складає 20 хв, а на основі МПФФЗ ~30 хв, що відповідає кінцевій стадії тверднення фенольних матриць.

*Дослідження термостабільності ПКМ на основі МПФФМ з ПГМААВ і ПАБІВ*

Для визначення термостабільності ПКМ, які досліджувались, здійснено випробування на дериватографі фірми МОМ системи „Паулік-Паулік-Едей”, в інтервалі температур 20–500°C (рис. 3,4).

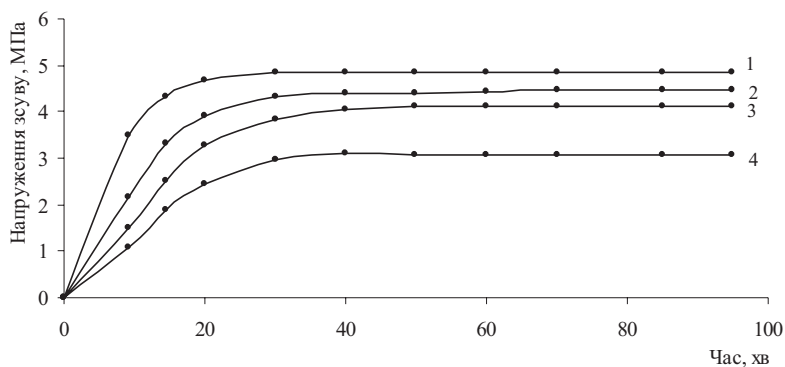


Рис. 1. Вплив ступеня наповнення ПКМ на кінетику тверднення препрегів на основі ФФЗ (1) і МПФФЗ з різним ступенем наповнення ПГМААВ (2, 3, 4): 1 – ступінь наповнення – 70 мас.%; 2 – 70 мас.%; 3 – 65 мас.%; 4 – 60 мас.%

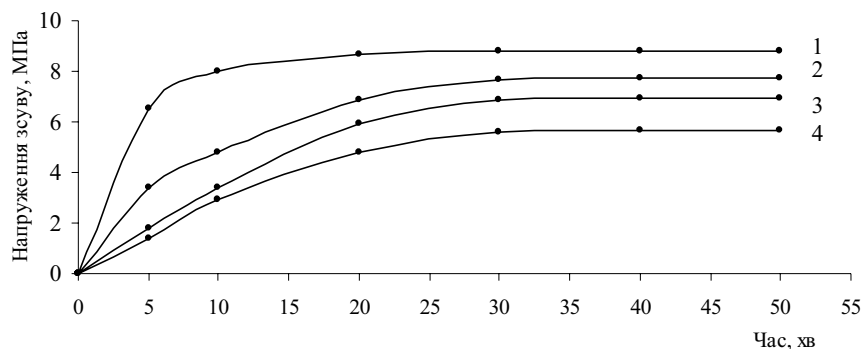


Рис. 2. Вплив ступеня наповнення ПКМ на кінетику тверднення препрегів на основі ФФЗ (1) і МПФФЗ з різним ступенем наповнення ПАБІВ (2, 3, 4): 1 – ступінь наповнення 60 мас.%; 2 – 65 мас.%; 3 – 60 мас.%; 4 – 50 мас.%

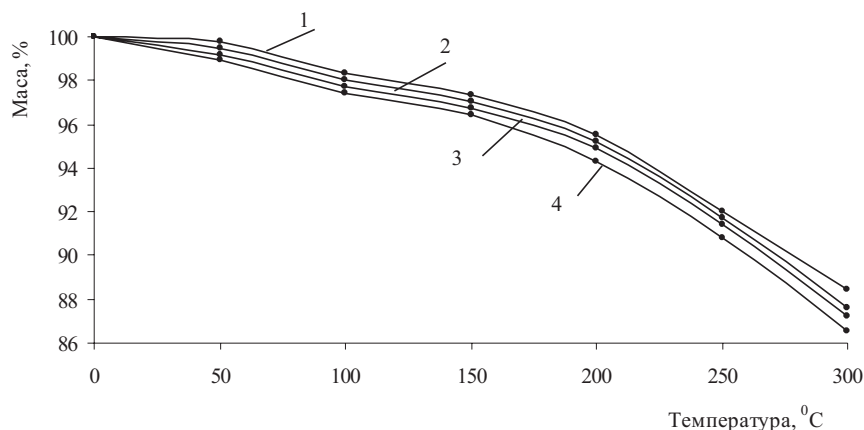


Рис. 3. Дані термогравіметричного аналізу ПКМ на основі ФФМ (1) і МПФФМ з різним ступенем наповнення ПГМААВ (2, 3, 4): 1 – ступінь наповнення 70 мас.%; 2 – 70 мас.%; 3 – 65 мас.%; 4 – 60 мас.%

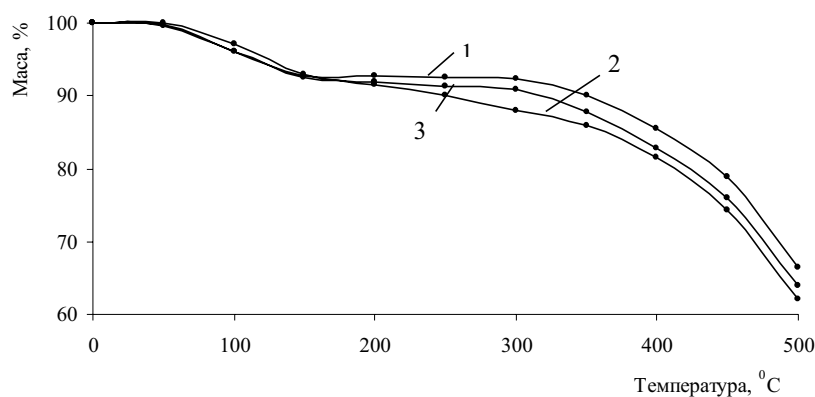


Рис. 4. Дані термогравіметричного аналізу ПКМ на основі ФФМ (1) і МПФФМ (2, 3) з різним ступенем наповнення ПАБІВ: 1 – ступінь наповнення – 60 мас.%; 2 – 60 мас.%; 3 – 50 мас.%

Характер усіх отриманих термогравіметричних кривих для обох наповнювачів приблизно однаковий. Спостерігалась невелика втрата маси в інтервалі температур від 50<sup>o</sup>С до 100<sup>o</sup>С, яка пов'язана з доотвердженням зв'язувача, яке супроводжується утворенням легких продуктів та видаленням вологи, значно більша втрата маси спостерігалась в інтервалі 150–300<sup>o</sup>С у випадку ПКМ з ПГМААВ, яка пов'язана з термічною деструкцією полімерної матриці і ПГМААВ наповнювача. Встановлено, що меншу термостабільність має ПКМ зі ступенем наповнення 60 мас.%.  
У випадку ПКМ з ПАБІВ наповнювачем значно більша втрата маси спостерігається після 300<sup>o</sup>С, що пов'язано з деструкцією полімерної матриці. Встановлено, що підвищення ступеня наповнення веде до збільшення термостабільності.

Дослідження впливу складу композиційних матеріалів і геометричних параметрів поліамідного та поліамідбензімідазольного наповнювачів на їх властивості

Для визначення фізико-механічних, теплофізичних, триботехнічних властивостей та водопоглинання ПКМ на основі МПФФЗ і для порівняння на основі ФФЗ з ПГМААВ та ПАБІВ

виготовлялися препреги ПКМ, з яких пресувалися стандартні зразки гарячим пресуванням при температурі прес-форми 170<sup>o</sup>С і витримці у прес-формі, згідно зі здійсненими дослідженнями реологічних властивостей, 30 хв (3 хв на 1 мм товщини). Випробування стандартних зразків проводились відповідно до державних стандартів для пластмас. Результати випробувань ПКМ наведені в табл. 3 і 4.

За результатами випробувань експериментальних зразків ПКМ, які досліджувались, встановлено:

- застосування модифікованого поліамідом П-548 ФФЗ підвищує властивості ПКМ у порівнянні з ФФЗ як при застосуванні ПГМААВ так і ПАБІВ наповнювачів;

- одержано ПКМ з оптимальним ступенем наповнення ПГМААВ – 65 мас.%, (довжина 10, 20–30 мм) на основі МПФФЗ, властивості якого у порівнянні з ФФЗ з ударної в'язкості перевищують на 20%, з меж міцності при вигині на 38%, при стисненні на 32%, з теплостійкістю за Мартенсом на ~30<sup>o</sup>С, з водопоглинання знижується на 12%, за триботехнічними характеристиками: коефіцієнт тертя знижується на 6%, масовий знос на 10%;

- при вивченні ступеня наповнення ПКМ

Результати досліджень впливу складу ПКМ на основі ФФЗ і МПФФЗ та ПГМААВ на його властивості

зв'язувач	Склад ПКМ		Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	Межа міцності, МПа, при		Теплостійкість за Мартенсом, °С	Водопоглинання, %	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт тертя	Масовий знос, мг/см <sup>2</sup> ·км
	наповнювач			статичному вигині	стисненні					
	довжина волокна, мм	ступінь наповнення, мас. %								
ФФЗ	10	70	50	56	88	60	0,17	1226	0,53	0,627
МПФФЗ	10	70	65	95	101	90	0,15	1230	0,50	0,567
ФФЗ	20–30	70	110	80	100	77	0,17	1230	0,52	0,627
МПФФЗ	20–30	70	132	110	112	100	0,16	1230	0,47	0,567
МПФФЗ	10	65	98	118	115	98	0,16	1230	0,45	1,081
МПФФЗ	20–30	65	154	148	132	103	0,16	1230	0,47	1,081
МПФФЗ	10	60	60	105	95	70	0,16	1230	0,40	1,326
МПФФЗ	20–30	60	124	116	100	70	0,16	1230	0,40	1,330

Результати досліджень впливу складу ПКМ на основі ФФЗ і МПФФЗ та ПАБІВ на його властивості

зв'язувач	Склад ПКМ		Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	Межа міцності, МПа, при		Теплостійкість за Мартенсом, °С	Водопоглинання, %	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт тертя	Масовий знос, мг/см <sup>2</sup> ·км
	наповнювач			статичному вигині	стисненні					
	довжина волокна, мм	ступінь наповнення, мас. %								
ФФЗ	10	65	210	260	130	250	0,36	1340	0,35	2,50
МПФФЗ	10	65	245	296	135	240	0,30	1340	0,33	2,30
МПФФЗ	10	60	235	320	150	240	0,27	1340	0,32	2,20
ФФЗ	20–30	65	300	280	140	250	0,35	1340	0,36	2,40
МПФФЗ	20–30	65	360	350	145	240	0,35	1340	0,34	2,30
ФФЗ	20–30	60	337	330	150	245	0,30	1340	0,32	2,40
МПФФЗ	20–30	60	392	405	160	245	0,25	1340	0,30	2,87
МПФФЗ	50–70	60	431	437	160	245	0,23	1340	0,30	2,70
МПФФЗ	20–30	50	320	368	140	200	0,29	1340	0,30	2,30

з ПАБІВ у кількості від 50 до 70 мас.%, оптимальним є 60 мас.%, який дає найкращі властивості. При ступені наповнення 70 мас.% не вдалося рівномірно просочувати всю поверхню волокна, а при ступені наповнення 50 мас.% спостерігалось стікання зв'язувача з поверхні волокнистого наповнювача;

– одержано ПКМ з оптимальним складом на основі МПФФЗ, властивості якого у порівнянні з ФФЗ з ударної в'язкості перевищують на 20%, з меж міцності при вигину на 23%, при стисненні на 32%, з водопоглинання знизується на 17%, коефіцієнт тертя знизується на 5%, масовий знос – на 8%.

#### Висновки

За результатом здійснених досліджень з розробки конструкційних композиційних матеріалів на основі модифікованої поліамідом П-548 фе-

ноло-формальдегідної матриці та дискретних волокнистих наповнювачів вивчені умови армування модифікованої фенольної матриці поліамідними волокнами аліфатичного і ароматичного класів.

Отримані ПКМ з ПГМААВ з ударною в'язкістю за Шарпі 98–154 кДж/м<sup>2</sup>, з межею міцності при статичному вигині – 118–148 МПа, при стисненні – 115–132 МПа, з теплостійкістю за Мартенсом – 98–103°С, з водопоглинанням – 0,16%.

Одержано ПКМ з ПАБІВ – з ударною в'язкістю за Шарпі 235–431 кДж/м<sup>2</sup>, з межею міцності при статичному вигині – 320–437 МПа, при стисненні – 150–245 МПа, з теплостійкістю за Мартенсом – 240–245°С, з водопоглинанням – 0,23–0,27%.

Триботехнічні характеристики у випадку

обох наповнювачів підвищені незначно, тому планується подальше їх підвищення шляхом застосування комбінованих наповнювачів і триботехнічних добавок.

Одержані нові ПКМ з високими міцнісними властивостями зі зниженим вмістом вільного фенолу у фенольному зв'язувачі за рахунок введення 30 мас.% поліамідного модифікатора у склад ФФЗ, які відповідають умовам конструкційних антифрикційних матеріалів, здатних працювати у вузлах тертя та агресивних середовищах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Копань В.С. Композиційні матеріали. – К.: Пульсар, 2004. – 200 с.
2. Розробка термореактивних зв'язувачів на основі фенолоформальдегідних смол, модифікованих поліамідом, для полімерних композиційних матеріалів / Бурмістр М.В., Бойко В.С., Ліпко О.О., Михайлова О.І., Федосєєва О.О., Кобельчук Ю.М., Герасименко К.О. // Вопр. химии и хим. технологии. – 2012. – № 3 – С.73-77.
3. Николаев А.Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. – М.-Л.: Химия, 1966. – 768 с.
4. Разработка основ получения углепреpregов на основе водорастворимых феноло-формальдегидных олигомеров с пониженной токсичностью / Бурмістр М.В., Мокиєнко Р.Л., Ліпко Е.А., Кобельчук Ю.М. // Вопр. химии и хим. технологии. – 2003. – № 1 – С.65-68.
5. Конструкционные композиционные фенопласты с высокими триботехническими свойствами / Ліпко Е.А., Бурмістр М.В., Кобельчук Ю.М., Михайлова О.І. // Вопр. химии и хим. технологии. – 2009. – № 6 – С.67-71.
6. Применение полиамидбензимидазольного волокнистого наполнителя для высокопрочного конструкционного композиционного материала с пониженной токсичностью / Ліпко Е.А., Кобельчук Ю.М., Бурмістр М.В., Михайлова О.І., Герасименко К.О., Ткаченко С.Н. // Вопр. химии и хим. технологии. – 2007. – № 6 – С.160-164.

Надійшла до редакції 7.02.2017

## PLASTICS BASED ON THERMOSETTING PHENOL-FORMALDEHYDE BINDERS, MODIFIED BY POLYAMIDE, AND DISCRETE ORGANIC FIBRED FILLERS

M.V. Burmistr, O.O. Lipko, O.I. Mikhaylova, Yu.M. Kobelchuk, L.I. Sula

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

We developed new polymeric composite materials based on phenol-formaldehyde matrix modified by alcohol-soluble polyamide P-548 and such discrete organic polyamide fibers as home-produced polyhexamethylenadipamide fibers of aliphatic type «Anid» and polybenzimidazole ones of aromatic type «Rusar®» (their analogues being «Kevlar», «SVM» etc.). The physical-mechanical properties

of the synthesized composites exceed those typical of common phenol-formaldehyde matrix. The introduction of thermoplastic linear polyamide fragments into the structure of hard phenolic matrix allowed increasing the physical-mechanical properties of composites as follows: impact strength by Sharp increases by 20%, the ultimate bending strength increases by 23 to 38%, the ultimate compression strength increases by 32%, and the water absorption reduces by 12 to 17%. The process of the reinforcement of phenol-formaldehyde matrix by polyamide discrete fibers was studied. The adhesion interaction between polymer-fibers surfaces was examined. The effects of the reinforcement degree and the length of discrete fibers on the rheological properties of prepregs as well as on the physical-mechanical properties of composite materials have been investigated. The optimum compositions and technological parameters of the fabrication and processing of the developed composite materials were considered. Due to modification of the phenol-formaldehyde matrix by polyamide, new polymeric composite materials have been obtained with the enhanced properties. When polyhexamethylenadipamide reinforcing filler is used, the impact strength by Sharp is 98–154 kJ m<sup>-2</sup>, the tensile strength at a static bend is 118–148 MPa, the compression strength is 111–132 MPa, the heat resistance by Martens is 98–103°C, and the water absorption is 0.16%. When polybenzimidazole filler is used, the impact strength by Sharp is 235–431 kJ m<sup>-2</sup>, the tensile strengths at a static bend is 320–437 MPa, the compression strength is 150–245 MPa, the heat resistance by Martens is 240–245°C, and the water absorption is 0.23–0.27%. The developed polymeric composite materials meet the requirements for structural materials that can be operated in friction units and corrosive environments to substitute textolite and other composite materials with inferior properties.

**Keywords:** polymeric composition material; modified phenol-formaldehyde binder; polyhexamethylenadipamide fibers; polybenzimidazole fibers; strength properties; polyamide.

## REFERENCES

1. Kopan V.S., *Kompozitsiyni materialy* [Composite materials]. Pulsary Publishers, Kyiv, 2004. 200 p. (in Ukrainian).
2. Burmistr M.V., Boiko V.S., Lipko O.O., Mikhaylova O.I., Fedoseeva O.O., Kobelchuk Yu.M., Gerasimenko K.O. Rozrobka termoreaktyvnykh zv'yazuvachiv na osnovi fenoloformaldegidnykh smol, modyfikovannykh poliamidom, dl'ya polimernykh kompozitsiynykh materialiv [Development of thermosetting binders based on phenol formaldehyde resins modified by polyamide for polymer composite materials]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2012, vol. 3, pp. 73-77. (in Ukrainian).
3. Nikolaev A.F., *Sinteticheskie polimery i plasticheskie massy na ikh osnove* [Synthetic polymers and plastics based on them]. Khimiya, Moscow, 1966. 768 p. (in Russian).
4. Burmistr M.V., Mokienko R.L., Lipko E.A., Kobelchuk Yu.M. Razrabotka osnov polucheniya ugleprepregov na osnove vodorastvorimykh phenol-formaldegidnykh oligomerov s ponizhennoi toksichnost'yu [Development of the basic principles for obtaining coalprepregs on the basis of water-soluble phenol-formaldehyde binders with lowered toxicity]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2003, vol. 1, pp. 65-68. (in Russian).
5. Lipko E.A., Burmistr M.V., Kobelchuk Yu.M., Mikhaylova O.I. Konstruktsionnyie kompozitsionnyie fenoplasty s vysokimi tribotekhnicheskimi svoistvami [Constructional composite phenoplasts with high tribotechnical characteristic]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2009, vol. 6, pp. 67-71. (in Russian).
6. Lipko E.A., Kobelchuk Yu.M., Burmistr M.V., Mikhaylova O.I., Gerasimenko K.O., Tkachenko C.N. Primenenie poliamidbenzimidazol'nogo voloknistogo napolnitel'ya dl'ya vysokoprochnogo konstruktsionnogo kompozitsionnogo materiala s ponizhennoi toksichnost'yu [The application of polyamide benzimidazol' fibered fillers for high-strength composite material with lowered toxicity]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2007, vol. 6, pp.160-162. (in Russian).