

УДК: 620.179.16

П.П. Савчук, В.П. Кашицький, О.Л. Садова, Є.М. Кальба, М.В. Лучка

Луцький національний технічний університет

**ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ГРАФІТОПЛАСТІВ НАПОВНЕНИХ АРАМІДНИМИ ВОЛОКНАМИ**

*Представлено результати оптимізації складу епоксикомпозитних матеріалів триботехнічного призначення наповнених порошками пластинчастого та кулястого графіту, а також дискретними арамідними волокнами. Визначено вплив вмісту та довжини дискретних арамідних волокон на механічні характеристики епоксикомпозитів. Досліджено вплив вмісту та форми графіту на адгезійну міцність графітопластів.*

*Ключові слова:* епоксикомпозит, порошок наповнювач, дискретні волокна, адгезійна міцність, механічні властивості.

П.П. Савчук, В.П. Кашицкий, О.Л. Садова, Е.Н. Кальба, М.В. Лучка

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ГРАФИТОПЛАСТОВ НАПОЛНЕННЫХ АРАМИДНЫМИ ВОЛОКНАМИ**

*Представлены результаты оптимизации состава эпоксикомпозитных материалов триботехнического назначения наполненных порошками пластинчатого и шаровидного графита, а также дискретными арамидными волокнами. Определено влияние содержания и длины дискретных арамидных волокон на механические характеристики эпоксикомпозитов. Исследовано влияние содержания и формы графита на адгезионную прочность графитопластов.*

*Ключевые слова:* эпоксикомпозит, порошок наполнитель, дискретные волокна, адгезионная прочность, механические свойства.

P. Savchuk, V. Kashytskyi, O. Sadova, Ye. Kalba, M. Luchka

**OPTIMIZATION OF COMPOSITION OF THE TRIBOTECHNICAL GRAPHITE-REINFORCED PLASTICS FILLED WITH ARAMID FIBERS**

*Presented of the results of optimization of composition of tribological epoxy composite materials filled by powders of a lamellar and spherical graphite and discrete aramid fibers. The influence of the content and length of discrete aramid fibers on the mechanical properties of epoxy composites has been determined. The influence of content and form of graphite on adhesive strength of graphite-reinforced plastics has been studied.*

*Keywords:* epoxy composite material, powder filler, discrete fiber, adhesive strength, mechanical properties.

**Вступ.** Висока хімічна стійкість до впливу агресивних середовищ, висока адгезійна здатність, технологічність зумовлюють широке застосування епоксидних композитів у вигляді деталей вузлів тертя або покриттів для захисту металів і їх сплавів від корозії та спрацювання. Композити з епоксидною матрицею ефективно використовують для захисту технологічного устаткування від корозії та зношування деталей машин у багатьох галузях промисловості. Однак, експлуатація технологічного устаткування при жорстких умовах (робота механізмів в умовах високих навантажувально-швидкісних режимах тертя, знакозмінних навантажень і перепадів температур) зумовлює підвищення вимог до експлуатаційних характеристик епоксидних композитних матеріалів [1-2]. Тому створення нових композитів з поліпшеним комплексом експлуатаційних характеристик є одним з основних завдань сучасного трибоматеріалознавства.

Введення дрібнодисперсних порошоків графіту дозволяє підвищити триботехнічні характеристики епоксикомпозитів в широких межах та сприяє формуванню виробів, оскільки в технологічному аспекті порошок наповнювачі забезпечують достатню рідкотекучість системи [3]. Високий асортимент порошкових наповнювачів викликає інтерес до варіювання та оптимізації форми частинок, що сприятиме підвищенню фізико-механічних характеристик графітопластів. Однак висока здатність системи до крихкого руйнування обмежує використання графітопластів, особливо в умовах наявності динамічних навантажень. В даному випадку перспективним є введення до складу епоксикомпозитної системи дискретних вуглецевих або арамідних волокон, які виконують роль перешкод на шляху поширення тріщин в склоподібній епоксиполімерній матриці [4-5]. Довжина волокон відіграє значну роль в процесі формування композитів, оскільки регулює в'язкість системи та визначає складність переробки композиції.

**Мета роботи:** дослідження впливу морфологічних характеристик порошкових та волокнистих наповнювачів на механічні властивості епоксикомпозитів триботехнічного призначення.

**Матеріали і методи досліджень.** В якості полімерної матриці вибрано епоксидну смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), що являє собою рідкий реакційноздатний олігомерний продукт на основі дигліциділового ефіру дифенілолпропану. Епоксидно-діанові смоли характеризуються високою адгезією до металу, скла, кераміки, стійкістю в агресивних середовищах, високою твердістю та еластичністю. Для полімеризації епоксидних композицій використано твердник холодної дії поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78), який має високу швидкість взаємодії первинних і вторинних аміногруп з епоксидними групами за кімнатної температури.

Границю міцності на стиск визначали за ГОСТ 4651-82. Зразки у формі циліндрів діаметром  $10 \pm 0,5$  і висотою 15 мм піддавали стиску при рівномірному зростаючому зусиллі з швидкістю наближення рухомої плити 2 мм/хв.

Ударну міцність покриттів на сталевих пластинах розміром 60x200 мм визначали згідно методики [6], суть якої полягає у кількісному визначенні енергії удару, необхідної для наскрізного пошкодження захисних покриттів при падінні з певної висоти ударника з наконечником каліброваного розміру ( $d=8$  мм). Для визначення міцності захисних покриттів при ударі застосовували прилад УТ-1 (ГОСТ 25812-83).

Формування дослідних зразків полягало в отриманні однорідної композиції, до складу якої входили необхідні компоненти, з механічним вимішуванням складових на кожному етапі для забезпечення високої однорідності системи.

Сформовану композицію наносили на підготовлену поверхню, попередньо оброблену абразивом для досягнення необхідної шорсткості і знежирену ацетоном. Тверднення епоксикомпозитів за нормальних умов тривало 24 год. Для уникнення високих залишкових напружень для зразків застосовано ступінчастий режим термічної обробки: 1 год за температури  $50^\circ\text{C}$ , 1 год –  $100^\circ\text{C}$ , 4 год –  $120^\circ\text{C}$ .

**Дослідження механічних характеристик графітопластів.** Експериментально встановлено (рис. 1), що для епоксикомпозитних матеріалів, наповнених арамідними волокнами довжиною 4 мм в кількості 0,5 мас. ч. зафіксовано значне підвищення межі міцності при стисканні (80,2 МПа). Це пояснюється оптимальною довжиною волокнистого наповнювача, який компактно розміщується в об'ємі епоксидної матриці, що ускладнює деформацію зон епоксиполімеру на границі розділу фаз за умови високої адгезійної міцності.

Зі збільшенням вмісту арамідних волокон до 2,0 мас. ч. спостерігається різке зростання даної характеристики в 2,1...2,3 рази. Це можна пояснити формуванням додаткових фізико-хімічних зв'язків між функціональними групами епоксидної складової та арамідного волокна.

При збільшенні вмісту арамідних волокон до 2,5 мас. ч. спостерігається незначне підвищення межі міцності при стисканні на 4 % (волокна довжиною 2 мм та 4 мм) та різке – на 34% (волокна довжиною 6 мм), що пов'язано із насиченням системи армуючою фазою. Подальше збільшення вмісту волокна є недоцільним, оскільки виникає висока неоднорідність епоксикомпозитного матеріалу, яка пов'язана з підвищенням в'язкості композиції.

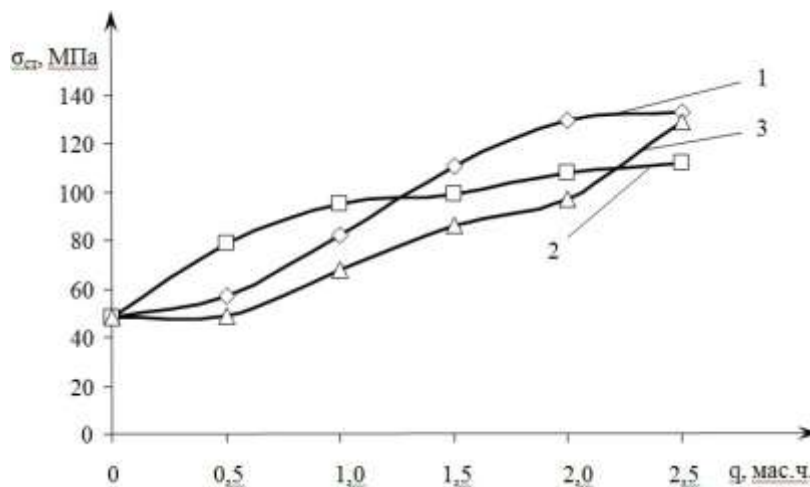


Рис. 1. Залежність межі міцності при стисканні епоксикомпозитів від вмісту та довжини арамідного волокна: 1 – 2 мм, 2 – 4 мм, 3 – 6 мм

В результаті експериментальних досліджень встановлено (рис. 2), що зростання межі міцності при стисканні епоксикомпозитів на 52 % при введенні порошкового графітового

наповнювача кулястої форми в кількості 4 мас. ч. можна пояснити збільшенням площі взаємодії частинок із полімерною матрицею за рахунок утворення додаткових зв'язків та рівномірним його розподіленням. Порівняно з порошком графіту пластинчастої форми значного підвищення даної характеристики не відбулось через формування системи з підвищеною кількістю концентраторів напружень у вигляді пластин графіту. У випадку подальшого підвищення вмісту порошку графіту кулястої форми до 12 мас.ч. спостерігається зниження межі міцності при стисканні, що зумовлено підвищенням крихкості матеріалів за рахунок утворення конгломератів частинок та зниженням їх змочуваності. У випадку наповнення системи порошком пластинчастого графіту відбувається підвищення даної характеристики на 38 % у зв'язку з руйнуванням пластинок графіту під час змішування композиції. В результаті утворюються дрібніші фракції частинок, форма яких трансформується в кулясту. Введення дискретних волокон до складу графітопластів забезпечує рівномірне підвищення міцності композитів через наявність додаткової армуючої фази.

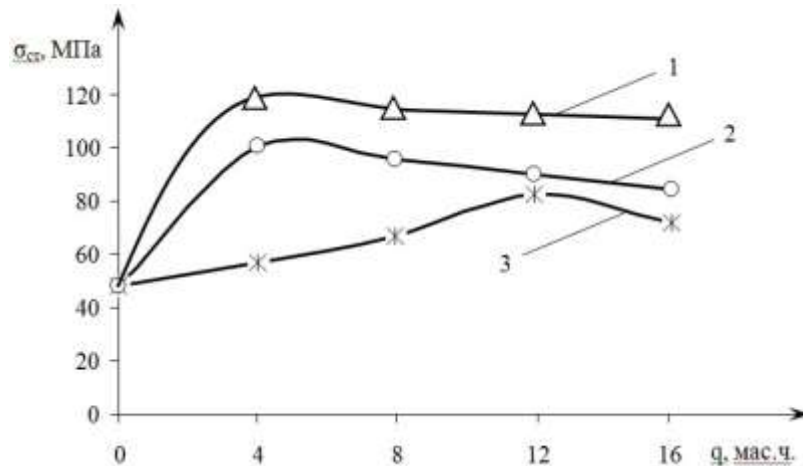


Рис. 2. Залежність межі міцності при стисканні графітопластів від вмісту та форми порошку графіту: 1 – арамідне волокно (1,5 мас.ч.) + кулястий графіт; 2 – кулястий графіт; 3 – пластинчастий графіт

Найкращі результати ударної міцності ( $A=13,8$  Дж) отримано для графітопластів (рис. 3), наповнених порошком сферичного графіту в кількості 12 мас.ч., порівняно із композитами, що містять пластинчастий графіт. Це можна пояснити утворенням системи з меншою кількістю концентраторів напружень за рахунок вищої дисперсності сферичного порошку та однорідного розміщення наповнювача в матриці, а також зниженням внутрішніх напружень в епоксикомпозиті. Введення порошку пластинчастого графіту призводить до плавного зниження ударної міцності на 36 % за вмісту порошку 16 мас.ч., оскільки дана форма наповнювача сприяє поширенню тріщин в ізотропному середовищі.

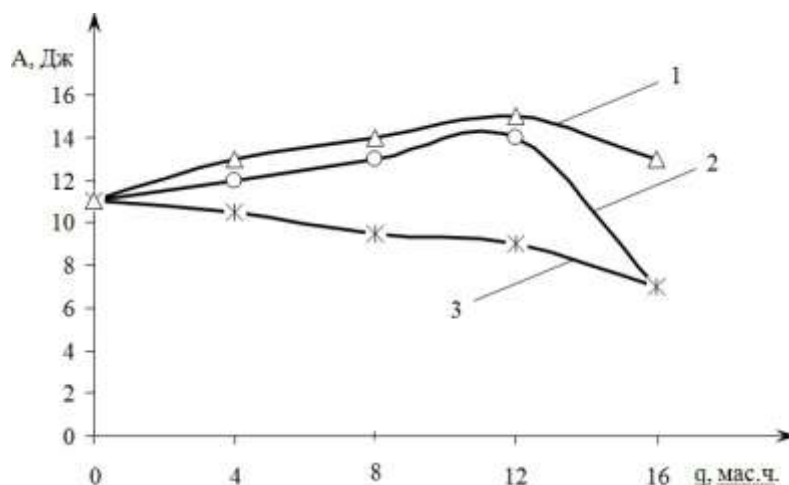


Рис. 3. Залежність ударної міцності графітопластів від вмісту та форми порошку графіту: 1 – арамідне волокно (1,5 мас.ч.) + кулястий графіт; 2 – кулястий графіт; 3 – пластинчастий графіт

Введення арамідного волокна до складу графітопластів не забезпечує суттєвого підвищення стійкості до динамічних навантажень, однак сприяє підвищенню межі міцності при стисканні, що є важливим моментом в процесі формування композитів триботехнічного призначення.

**Висновок.** Експериментально встановлено, що оптимальна довжина арамідних волокон становить 4 мм, оскільки відбувається стабілізація механічних характеристик. Короткі волокна не забезпечують значного підвищення міцності, а довгі волокна ускладнюють технологічний процес формування епоксикомпозитів. Оптимальний вміст волокон складає 1,5 мас.ч., за якого межа міцності зростає на 48 %, оскільки дана кількість забезпечує рівномірний розподіл дискретних волокон в об'ємі матриці.

Введення порошку графіту кулястої форми в кількості 8 мас.ч. забезпечує підвищення межі міцності при стискуванні на 47 % та ударної міцності на 18 %, що пов'язано з формуванням оптимальної структурної сітки епоксидного полімеру з рівномірним розподілом дисперсного наповнювача.

#### Список використаних джерел:

1. Материаловедение – основа развития современной триботехники / В.Ф. Лабунець, Л.С. Братица, Т.С. Климова, Н.А. Медведева; гол. ред. М.В. Кіндрачук // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – 2010. – № 53. – С. 34-41.
2. Косторнов А.Г. Триботехническое материаловедение: монографія / А.Г. Костронов. Изд-во "Ноулидж", 2012. – 696 с.
3. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. Тернопіль: Збруч, 2005.
4. Садова О.Л. Технологічні аспекти формування композиційних матеріалів триботехнічного призначення з високими механічними характеристиками / О.Л. Садова, В.П. Кашицький, П.П. Савчук // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Збірка матеріалів V міжнародної науково-практичної конференції, 28-30 травня 2013 р. – У 2-х тт. – Т.2. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2013. – С. 146-147.
5. Триботехнические характеристики полимерных композитов, армированных волокнистыми структурами / А.И. Юга, Т.В. Грудина, В.М. Волкогон [и др.] // Порошковая металлургия. – 2004. – №9-10. – С. 32-37.
6. Система антикорозійного захисту об'єктів нафтогазового комплексу захисні покриття. Методи випробування покриттів в лабораторних умовах. ВБН В.2.3-00018201.01.02.01-96. – Київ: Державний комітет нафтової, газової та нафтопереробної промисловості України, 1996.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2017