

УДК 621.763:621.762(07)

О.І. Давидюк, Т.Ю. Маркін, П.П. Савчук, О.М. Люшук
Луцький національний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ АРМОВАНИХ ПРОДУКТАМИ ШЛІФУВАННЯ СТАЛІ ШХ-15

В статті представлено дослідження властивостей епоксикомпозитів наповнених порошком сталі ШХ-15, продукта шліфування кілець підшипників. Встановлено, що використання даного наповнювача в оптимальній кількості та визначеного гранулометричного складу підвищує механічні характеристики епоксикомпозитного матеріалу та значно його здешевлює.

Ключові слова: епоксикомпозит, прескомпозит, пресування, адгезійна міцність, відходи механічної обробки.

Рис. 5. Літ. 6.

О.И. Давыдюк, Т.Ю. Маркин, П.П. Савчук, О.Н. Люшук **ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЕПОКСИКОМПОЗИТОВ АРМИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ ШЛИФОВАНИЯ СТАЛИ ШХ-15**

В статье представлены исследования свойств эпоксикомпозитов наполненных порошком стали ШХ-15, продукта шлифовки колец подшипников. Установлено, что использование данного наполнителя в оптимальном количестве та определенном гранулометрического состава повышает механические характеристики эпоксикомпозитного материала и значительно его удешевляет.

Ключевые слова: эпоксикомпозит, прескомпозит, прессование, адгезионная прочность, отходы механической обработки.

O. Davydyuk, T. Markin, P. Savshuk, O. Lyushuk **OPTIMIZATION OF THE PRODUCTS ЕРОКСYКОМПОZYTYV REINFORCED GRINDING STEEL SHH15**

Optimization of epoxy composites reinforced by steel products of grinding SHH15. The article presents research of properties of epoxy composites filled with powder of steel Shh15, which is the product of grinding bearing rings. It was established that the use of the filler in the optimal quantity and size distribution improves specified mechanical properties of epoxy composite materials and significantly reduces the cost of it.

Keywords: epoksykompozyt, preskompozyt, pressing, adhesive strength, waste of machining.

Вступ. Область використання композитних матеріалів на полімерній основі в різних галузях промисловості швидко збільшується, що пов'язано із високою технологічністю процесів отримання виробів, низькими енергетичними та порівняно невисокими матеріальними затратами. Зниження собівартості виробництва полімеркомпозитів можливе за умови використання недорогих компонентів композиції, зокрема матеріалів, які є відходами і потребують утилізації. Одним з варіантів ефективного наповнення полімеркомпозитної системи є використання порошку сталі

ШХ-15, який можливо отримати шляхом обробки продуктів шліфування комплектуючих підшипників.

Актуальність досліджень. Актуальною задачею є розробка епоксикомпозитів армованих недорогими порошковими наповнювачами, які здатні також підвищити механічні та експлуатаційні властивості [1, 2]. Розробка полімерних композитів полягає у забезпеченні міцних адгезійних зв'язків між функціональними групами на поверхні наповнювача та кінцевими групами епоксидної складової, а також рівномірному розподілі дисперсного наповнювача. Оскільки форма частинок продуктів шліфування являє собою мікростружку з великою кількістю гострих кутів, які виступають концентраторами напружень, тому у вихідному стані даний порошок без додаткової обробки не здатний забезпечити високі механічні характеристики полімеркомпозитного матеріалу. Крім того, використання шламу сталі ШХ-15 є ускладненим через широкий спектр гранулометричного складу вихідного матеріалу. Тому важливим технологічним процесом виготовлення виробів з епоксикомпозитних матеріалів є підготовчі операції обробки порошку сталі ШХ-15, які полягають в класифікації та дозуванні наповнювача. Також значний науковий та практичний інтерес представляє аналіз гранулометричного складу порошку сталі ШХ-15, форми та розмірів частинок порошку та їх ефективність використання в якості наповнювача.

Постановка задачі. Основною метою досліджень є визначення ефективності використання порошків отриманих з продуктів шліфування кілець підшипників в якості дисперсного наповнювача та дослідження впливу гранулометричного складу та кількості наповнювача на властивості та процеси структуривання епоксикомпозитних матеріалів.

Матеріали і методи досліджень. Для формування полімеркомпозитних матеріалів наповнених порошком сталі ШХ-15 в якості полімерної матриці використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 для затвердіння якої використовували твердник холодної дії поліетиленполіамін (ПЕПА). Формування дослідних зразків здійснювали методом вільного заливання та пресування під тиском 30...32 МПа. Підготовка композиції полягала у механічному вимішуванні попередньо просушених наповнювачів та підігрітої смоли. Попереднє структуривання епоксикомпозитів тривало 24 год при кімнатній температурі. З метою зміцнення епоксикомпозитів проводили термічну обробку за ступінчастим режимом для уникнення високих залишкових напружень протягом 4 год, яка полягала у нагріві до температури 50 °С, 100 °С, 120 °С та 140 °С з витримкою 1 год при кожній температурі.

Для визначення міцнісних характеристик проводили випробування на стиск та адгезійну міцність. Межу міцності при стискуванні визначали на лабораторній установці УММ-5 на зразках, що мають форму циліндра діаметром 10 мм і висотою 15 мм.

Границю адгезійної міцності при нормальному відриві визначали за ГОСТ 14759-69. Досліджуваний матеріал наносили на торцеву поверхню стержнів (грибків) з конічним виступом у місці захватів для самоцентрування. Дослідження проводили на розривній машині марки УММ-5 при швидкості переміщення нижньої траверси 2 мм/хв.

Ступінь структуривання визначали за вмістом гель фракції. Екстракцію зразків полімеркомпозиту наповненого порошком ШХ15 фракції менше 0,04 мм у кількості 300 мас.ч. в формі пластин розміром 30x40 мм товщиною 5 мм проводили протягом 8 год з наступним сушінням при температурі 393 К до постійної маси. Масу зразків до і після екстракції визначали на аналітичних лабораторних вагах з точністю до 0,001 г.

Дослідження зносостійкості проводили на машині тертя СМЦ-2за схемою "вал-сегмент втулки" в умовах сухого тертя. Зразок встановлювали на циліндричну поверхню металевого контртіла, яке оберталося із заданою швидкістю. Зразки досліджували при наступних режимах: швидкість $v = 0,9$ м/с, $v = 1,2$ м/с, $v = 2,3$ м/с при питомих навантаженнях $P = 1$ МПа та $P = 1,5$ МПа. Шлях тертя становив $S = 1000$ м. Масу зразків визначали на аналітичних лабораторних вагах типу ВЛА-200 з точністю 0,001 г.

Результати досліджень. Результати експериментальних досліджень на стиск показують (рис. 1), що найбільшу міцність – 119,8 МПа мають епоксикомпозити, що наповнені 250 мас.ч. порошку фракції менше 0,04 мм. При введенні до складу системи порошку з розміром частинок не менше 0,09 мм відбувається підвищення межі міцності при стискуванні, що пов'язано з високою

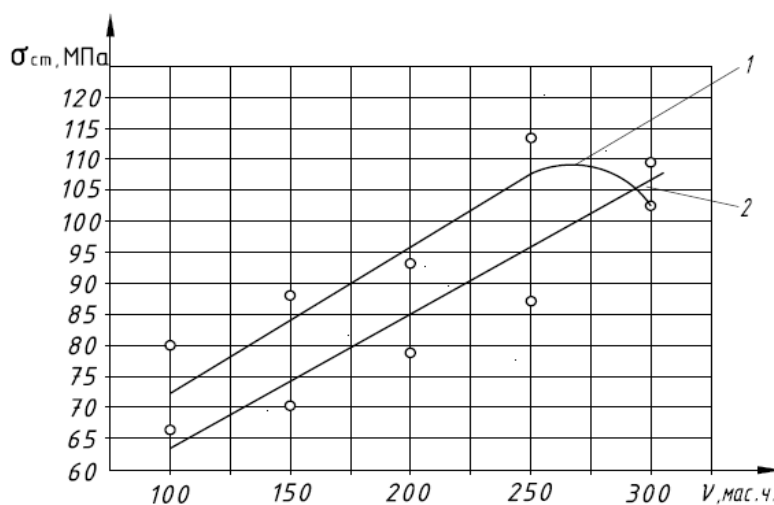


Рис. 1. Залежність міцності при стиску від кількості наповнювача: 1 - фракція менше 0,04 мм; 2 – фракція не менше 0,09 мм

твердістю наповнювача. Ефективність механічної обробки порошку сталі полягає у зменшенні розмірів частинок порошку та зменшення кількості гострих кутів, що знижує імовірність появи

концентраторів напружень. Оптимальним ступенем наповнення епоксикомпозиту є вміст 250 мас.ч., що забезпечує найвищі значення міцності, оскільки при більших ступенях наповнення дана характеристика починає знижуватися. Це пояснюється тим, що частинки при високих ступенях наповнення починають контактувати між собою і стають концентраторами напружень, що спричинює зниження міцності.

Найменшу міцність – 70,3 МПа показали епоксикомпозити, наповнені порошком фракції не менше 0,09 мм з вмістом наповнювача 150 мас.ч. Це пояснюється тим, що дана фракція є менш дисперсною, та можливо містить частинки абразиву, що призводить до росту внутрішніх напружень та окрихчування системи.

При дослідженні ступеня структурування експериментально встановлено, що найбільші втрати маси зазнав зразок наповнений 100 мас.ч. порошку ШХ15 та 10 мас.ч. ацетону (рис. 3). Найвищі значення ступеня структурування отримано для епоксикомпозитів зі ступенем наповнення порошком ШХ15 у 100 мас.ч. та 20 мас.ч ацетону. Збільшення кількості наповнювача до 300 мас.ч. при вмісті розчинника 10 мас.ч. призводить до підвищення ступеня структурування, що вказує на оптимальну кількість розчинника в епоксикомпозиті. Епоксикомпозити без розчинника та при кількості 20 мас.ч мають нижчі значення вмісту гель-фракції з підвищенням вмісту наповнювача. Очевидно, що в епоксикомпозитах без розчинника частинки наповнювача не змочуються в повній мірі через підвищену в'язкість композиції, а при введенні 20 мас.ч. – розчинник перешкоджає процесам структурування.

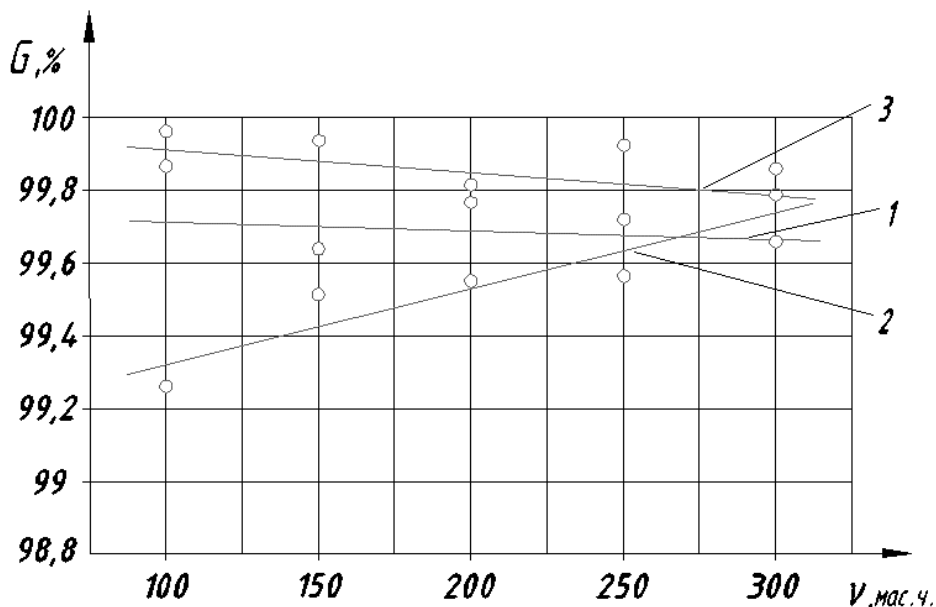


Рис. 2. Залежність ступеня структурування від вмісту наповнювача та розчинника, мас.ч.: 1 - 0; 2 - 10; 3 - 20

Дослідження адгезійної міцності показали, що екстремальне значення показника спостерігається у епоксикомпозитах зі ступенем наповнення 250 мас.ч. фракцією менше 0,04. Що приблизно на 8% вище за значення для епоксикомпозитів з аналогічним ступенем наповнення з фракцією не менше 0,09 мм. Це відбувається за рахунок більшої дисперсності порошку наповнювача, кращого розподілу наповнювача в матриці. Фракція порошку не менше 0,09 мм має, очевидно гострі кути на поверхні частинок, які виступають концентраторами напружень і знижують значення адгезійної міцності. При подальшому збільшенні кількості наповнювача дана характеристика починає знижуватись, що пов'язано з надлишковим вмістом наповнювача та підвищення в'язкості композиції. В результаті відбувається неповне змочування частинок наповнювача і зниження кількості хімічних та фізичних вузлів на поверхні частинок та епоксидною складовою. Значення адгезійної міцності для епоксикомпозитів наповнених фракцією менше 0,04 мм мають вищі значення порівняно з системою при наповненні фракцією не менше 0,09 мм в усьому досліджуваному діапазоні наповнення.

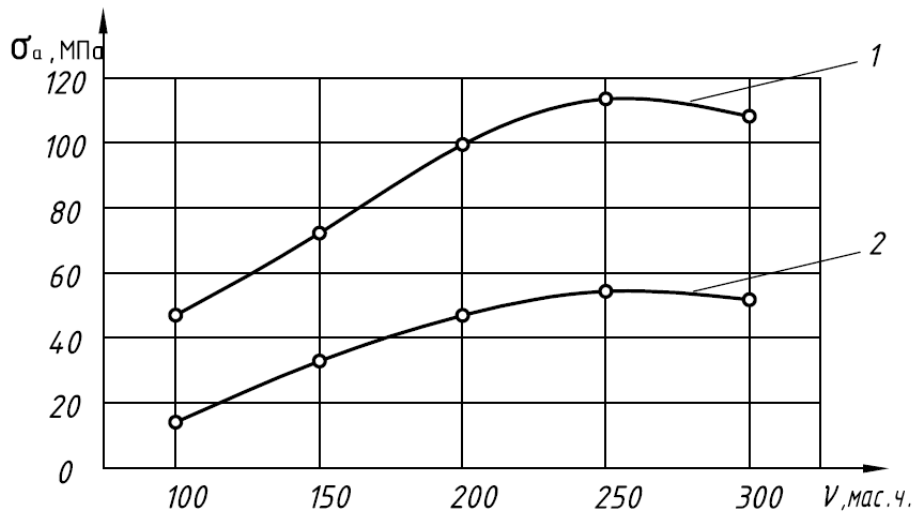


Рис 3. Залежність адгезійної міцності від ступеня наповнення полімеркомпозиту: 1 - фракція менше 0,04 мм; 2 - фракція не менше 0,09 мм

Дослідження зносостійкості проводили для епоксикомпозитів наповнених різними фракціями не менше 0,09 мм та менше 0,04 мм зі ступенем наповнення 300 мас.ч. (рис. 4). В результаті експериментальних досліджень встановлено, що найбільшу втрату маси має зразок з фракції не менше 0,09 мм при швидкості обертання контртіла 0,9 м/с, що у два рази більше ніж для епоксикомпозитів з фракцією менше 0,04 мм. Це пояснюється тим, що частинки фракції не менше 0,09 мм є крупнішими і при викришуванні з поверхні трибоконтакту призводять до більшої втрати маси порівняно з дрібнішими частинками. З підвищенням швидкості ковзання відбувається зниження інтенсивності зношування, що пов'язано з структурними перетвореннями в поверхневому шарі при вищих температурах та формуванні стійких перехідних шарів.

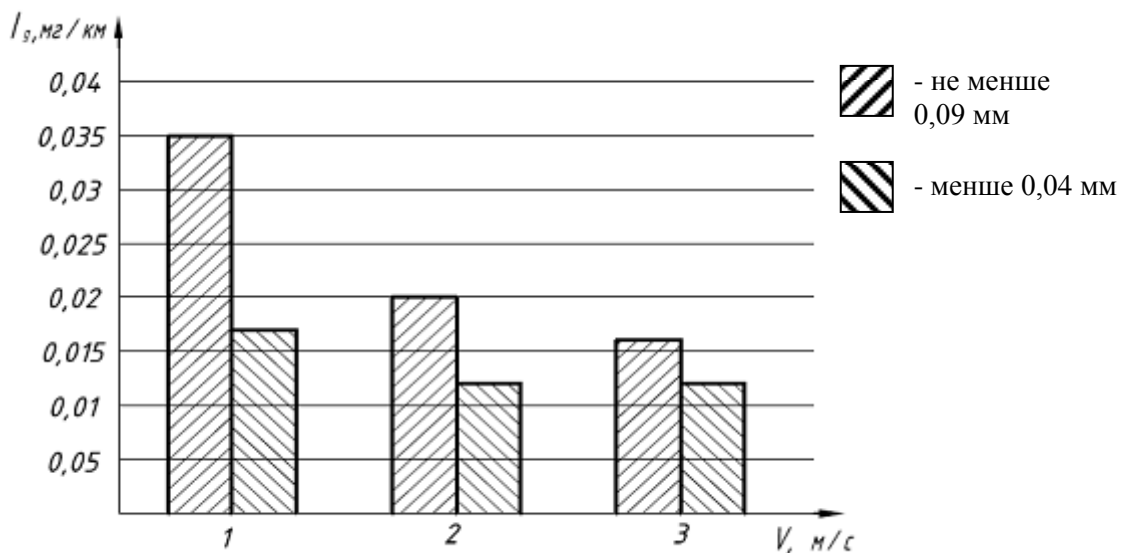


Рис. 4. Залежність інтенсивності вагового зношування від швидкості ковзання, м/с: 1 - 0,9; 2 - 1,2; 3 - 2,3

Аналіз зображення поверхні трибоконтакту підтвердив вищі значення зносостійкості епоксикомпозит наповнений фракцією менше 0,04 мм, оскільки поверхня є гладкою, без видимих тріщин, що пояснюється вищою дисперсністю наповнювача та рівномірним розподілом в об'ємі епоксидної матриці (рис. 5, а).

Поверхня епоксикомпозиту наповненого порошком фракції не менше 0,09 мм містить чітко виражені тріщини на початковій зоні входження контртіла, які розташовані перпендикулярно до напрямку обертання. Це вказує на втомний характер походження тріщин, які призводять до підвищеної інтенсивності зношування системи (рис. 5, б).

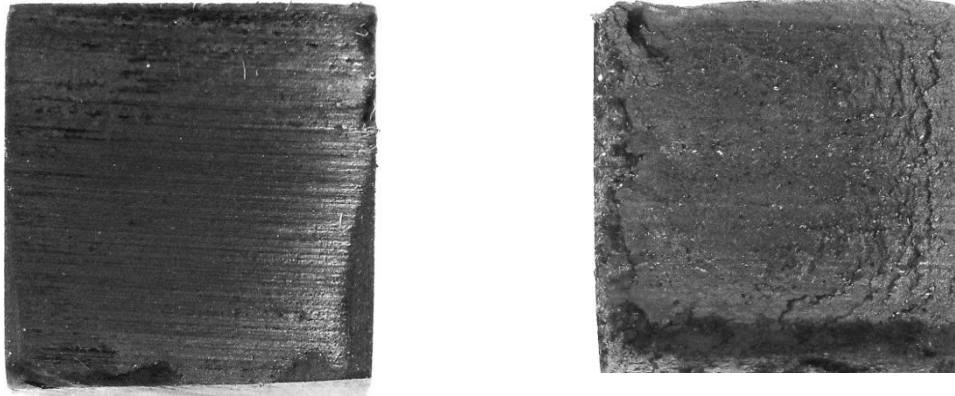


Рис. 5. Поверхня трибоконтакту епоксикомпозиту, наповненого фракцією менше 0,04 мкм (а) та 0,09 мкм (б) з вмістом наповнювача 300

Висновки. Використання в епоксикомпозитах металевго наповнювача отриманого із продуктів шліфування кілець підшипників є доцільним при вмісті порошку в діапазоні 250-300 мас.ч. та розміром частинок менше 0,04 мм. В результаті чого відбувається підвищення адгезійної міцності та зносостійкості системи через формування структури з рівномірним розташуванням частинок наповнювача в об'ємі полімерної матриці. Використання більш дрібних частинок (менше 0,04 мм) знижує імовірність появи концентраторів напружень, оскільки форма частинок стає більш округлою.

1. Кербер М.Л. и др. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии: учебное пособие. СПб, Профессия, 2008. - 560 с.
2. Кац Г.С., Милевски Д.В. (ред.). Наполнители для полимерных композиционных материалов. Справочное пособие: пер. с англ. - М. : Химия, 1981. - 736 с.
3. Ананьева Е.С. Прессование изделий из полимерных материалов. Барнаул, АлтГТУ, 2006. - 89 с.
4. Ермилов А.С. Теоретические основы процессов получения и переработки полимерных материалов. Курс лекций. Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета, 2009. – 159 с.
5. Огневой В.Я. Прессование порошков, пластмасс и композитов. Барнаул, АлтГТУ, 2010. - 102 с.
6. Крыжановский В.К. (ред.) Производство изделий из полимерных материалов. Крыжановский В.К., Кербер М.Л., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д. - Под общ. ред. В. К. Крыжановского. СПб.: Профессия, 2008. – 460 с.

Стаття надійшла в редакцію 25.03.2015.