

О. А. ПІВОВАРОВ, д-р техн. наук, проф.

А. А. ПАВЛЕНКО, викладач

ІННОВАЦІЙНЕ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЮМОСИЛІКАТНИХ МІКРОСФЕР (ЦЕНОСФЕР) ЯК ЕФЕКТИВНОГО НАПОВНЮВАЧА В КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Резюме. Алюмосилікатні мікросфери як промислові відходи теплових електричних станцій внаслідок згоряння енергетичного вугілля знаходять широке застосування в різноманітних галузях виробництва завдяки унікальності фізико-хімічних властивостей. У статті розглянуто застосування алюмосилікатних мікросфер у технологіях створення композитних матеріалів на основі бутадієн-стирольного та нітрильного каучуків із підвищеними властивостями отриманих матеріалів до абразивного зносу. Досліджено зміни типових характеристик отриманих гумових композиційних матеріалів за рахунок додавання до гумової матриці алюмосилікатних порожнистих мікросфер у кількості від 1 до 8 масових відсотків. Визначено деформаційно-міцнісні характеристики новітніх композитів і вплив алюмосилікатних мікросфер на створення триботехнічних полімерних матеріалів широкого призначення. Показано, що збільшення кількості алюмосилікатних порожнистих мікросфер у межах від 2 до 8 масових відсотків до бутадієн-стирольного та нітрильного каучуків сприяє стабілізації значень інтенсивності зношування, що є позитивним технологічним фактором у створенні композитних матеріалів з інноваційним наповнювачем.

Ключові слова: алюмосилікатні мікросфери, бутадієн-стирольний каучук, нітрильний каучук, триботехнічні матеріали, деформаційно-міцнісні характеристики, тертя.

ВСТУП

Нині потреби техніки та промисловості в наборі полімерних матеріалів із різними фізичними, хімічними та механічними властивостями переважно задовольняються не за рахунок синтезу нових полімерів, а шляхом комбінації та модифікації вже давно відомих хімічних сполук. Властивості гуми можна змінювати шляхом введення наповнювачів різної форми, хімічної природи, питомої поверхні та розміру. На сьогодні науковий і прикладний інтерес викликають можливості використання алюмосилікатних мікросфер у каучуках, що мають особливий комплекс властивостей і характеристик.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Одним із найважливіших напрямів, що визначають розвиток усіх галузей промисловості та будівництва, є нові екологічні, економічні та високоякісні матеріали із заданими технологічними параметрами. Створення сучасних композиційних матеріалів, що поєднують в собі властивості, які необхідні залежно від умов експлуатації виробів, а також розв'язання екологічних проблем, вважається одним із найперспективніших шляхів. Прикладом у ролі наповнювача для таких матеріалів є застосування відходів з

енергогенерувальних виробництв, а саме: продуктів згоряння твердого палива — алюмосилікатні мікросфери.

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАНИХ ПУБЛІКАЦІЙ

Алюмосилікатні мікросфери (ценосфери легкої фракції золи віднесення) — цінний компонент золувугільних відходів, що утворюються при спалюванні вугілля для отримання енергії, які є порожнистими склокерамічними мікросферами. Властивості цих порожнистих мікросфер роблять їх придатними для широкого застосування [1; 2].

Варто наголосити на унікальних властивостях мікросфер [3]:

- щільність мікросфер становить близько 25 % від густини інших неорганічних наповнювачів, при цьому вони зберігають достатню міцність, необхідну для того, щоб витримувати процес змішування добавки та обробку;
- завдяки формі частинок мікросфери мають високу плинність, що забезпечує ефективне заповнення форм і зручність їх використання у виробничих умовах;
- сфери забезпечують мінімальне співвідношення площі поверхні до об'єму, що вони займають, що призводить до зменшення

витрати полімерної смоли або зв'язуючого, що надає можливість використовувати суміш із високим вмістом сухих речовин. Коефіцієнт укладання — 60–80 % від теоретичного;

- за високих концентрацій сфери ущільнюються, але надалі відбувається не ущільнення, а випаровування розчинника або води. Таким чином, використання сфер допомагає зберегти об'єм вихідного виробу;
- низька теплопровідність, що становить 0,08 Вт/м·К за 20 °С;
- мікросфери мають підвищену міцність на стиск завдяки більш міцній оболонці. Міцність на стиск — 150–280 кг/см², за шкалою Мооса — 5–6. Тверда поверхня мікросфер забезпечує високу стійкість до ерозії;
- кремнеземні мікросфери мають дуже низьку реакційну здатність. Їх хімічний склад забезпечує високу стійкість до кислот і лугів; вони рН-нейтральні;
- температура плавлення — не нижче 1300 °С, що значно вище за температуру плавлення синтетичних скляних мікросфер;
- мікросфери на 50–200 % дешевші за порожні скляні сфери. Вони також більш ефективні з фінансової точки зору за рахунок економії на вантажно-розвантажувальних роботах, а також зниження ваги.

Привабливою є також технологія виробництва алюмосилікатних мікросфер [4]. Після спалювання вугілля на теплових електростанціях з енергетичною метою, зола та шлак змішуються з водою і направляються трубопроводами до збірників відходів. Тяжка фракція золи осідає на дно сміттєзбірників, а плаваюча фракція — мікросфери — розтікається на поверхні води [5]. За спеціальною технологією мікросфери збираються з такої поверхні й упаковуються у біг-беги місткістю 1 м³. Вологість мікросфер 20–30 %. Первинна обробка включає сушіння до вологості 0,5 % і сортування за фракціями. Технологічні втрати не перевищують 2 %.

У праці [6] досліджено ефективну комбінацію сухих методів вилучення як дрібних зольних частинок, так і алюмосилікатних мікросфер із летючої вугільної золи. Вони складаються з сепарації в псевдозрідженому шарі з подальшим просіюванням та пневматичною сепарацією повітряної камери вільного падіння. Відновлення ценосфер становило близько 81 %. Використання комбінації сухих способів дало змогу зберегти майже 83 мас.% сировини в сухому вигляді. Окрім того, отримані фракції золівинесення можуть бути використані для різних промислових цілей. Така технологія заслуговує на увагу фахівців, бо не потребує додаткового використання води.

Сучасний розвиток техніки тісно пов'язаний з інноваціями в галузі розроблення нових полімерних композиційних матеріалів. Полімерні композити переважно застосовуються як матеріали конструкційного призначення [7]. Актуальною проблемою сучасної техніки є необхідність створення матеріалів з підвищеною зносо- та абразивостійкістю.

Важлива роль в надійних та високоефективних машинах і механізмах належить різним триботехнічним матеріалам, які працюють у вузлах тертя, а також здатні забезпечувати низький коефіцієнт тертя ковзання, і тим самим низькі втрати на тертя та малу швидкість зношування сполучених деталей. Тому розробка більш досконалих методів їх дослідження та створення матеріалів з підвищеною зносостійкістю є актуальною задачею і викликає науковий та практичний інтерес [8].

Бутадієн-стирольний каучук (БСК) — один із найдешевших синтетичних еластомерів загального призначення, який іноді використовується як замітник натурального каучуку [9]. Він може бути отриманий радикальною полімеризацією в розчині як емульсійною полімеризацією, так і в теплому стані при температурі від 30 до 60 °С (гаряча гума) або в холодному стані при температурі близько 0 °С (холодна гума). Емульсійний БСК продовжує поступатися місцем розчинному БСК, який краще підходить для шин із високими експлуатаційними характеристиками. Проте на сьогодні на емульсійні марки БСК, як і раніше, припадає понад 75 % загальної світової потужності. Однак дедалі більше БСК виробляється шляхом полімеризації в розчині [10].

Алюмосилікатні порожнисті мікросфери (АСПМ) — кристалічні алюмосилікатні кульки, які утворюються при високотемпературному факельному спалюванні вугілля, є порожнистими, майже ідеальної форми силікатними кульками з гладкою поверхнею, діаметром від 10 до декількох сотень мікрометрів. Стінки суцільні непористі з товщиною 2–10 мкм, температура плавлення 1400–1500 °С, щільність 580–690 кг/м³ [11].

Україна багата на алюмосилікатні порожнисті мікросфери за рахунок наявності визначеної кількості електричних теплових станцій, які працюють на вугіллі і після згоряння яких зі шлаків досить нескладно вилучити у якості промислових відходів корисний продукт АСПМ (табл. 1) [12].

Вміст ценосфер у золі від спалювання різних видів вугілля коливається в досить широкому діапазоні від 0,01 до 35,6 мас. %. У ценосферах є три основні елементи: кремній, алюміній та залізо, оксиди яких становлять близько 89 % матеріалу. Мінералогічний аналіз показує, що

Хімічний склад зольних мікросфер ТЕС

ТЕС	Хімічний склад зольних мікросфер ТЕС, мас. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	Pb ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	CuO	CaO
Бурштинська	56,44	32,54	5,54	1,08	0,04	0,01	5,21	0,08	0,01	–
Криворізька	57,12	30,48	5,02	1,05	0,05	0,01	6,06	0,12	0,01	–
Придніпровська	52,91	36,11	3,01	0,69	0,04	0,01	6,42	–	0,01	0,6
Трипільська	60,68	34,24	1,67	1,19	–	–	0,95	0,26	–	1,01
Курахівська	56,2	30,01	4,09	0,98	–	–	5,11	0,26	–	3,35

вихідні ценосфери переважно містять муллiт i кварц як основні мінералогічні фази. Розмір ценосфер коливається від 5 до 500 мкм, найпоширеніший розмір 20–300 мкм [13]. Ценосфери характеризуються низькою насипною щільністю (0,2–0,8 г/см³) i легко відокремлюються гравітаційними методами у вигляді концентрату у водних середовищах або збираються з водної поверхні лагун, призначених для зберігання золашлакових відходів. Унікальні властивості цих порожнистих мікросфер роблять їх придатними для широкого застосування. Сфера використання: нафтова промисловість: тампонажні матеріали для нафтових свердловин, бурові розчини, матеріали для дроблення, вибухові речовини; будівництво: надлегкий бетон, будівельні розчини, цемент, штукатурка, покриття, покрівельні та звукопоглинальні матеріали; кераміка: вогнетриви, вогнетривка цегла, покриття, ізоляційні матеріали; хімічна промисловість: пластиди, а саме нейлон, поліетилен, поліпропілен та інші матеріали різної щільності; автомобілебудування: композити, шини, аксесуари, звукопоглинальні матеріали, заземлення. Наведені в **табл. 1** дані свідчать про те, що в зольних відвалах теплових електростанцій містяться корисні хімічні сполуки, вилучення яких уже в недалекому майбутньому може скласти левову частку корисної для хімічної та металургійної промисловості сировини.

Мета статті полягає в дослідженні особливостей реалізації різних методів модифікування гумотехнічних виробів, що застосовуються для комплектації вузлів тертя різноманітних агрегатів, а також особливості модифікації бутадієнстирольного каучуку різноманітного призначення.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Вибір у ролі досліджуваного матеріалу бутадієн-стирольного каучуку зумовлений його доступністю i широким використанням у гумотехнічній промисловості, зокрема для виготовлення автомобільних шин [14; 15].

Дослідні гумові суміші було виготовлено на лабораторних вальцях марки ПД-630 315/315 шляхом введення наважки АСПМ у гумову суміш, яку нагрівали на вальцях протягом 5–6 хв i зрізали у вигляді листа товщиною 2 мм, що клали на стіл i наносили мітку, яка визначає лінію каландрування.

Для виготовлення гумових зразків формовим способом було використано гідравлічний вулканізаційний прес з електрообігрівом марки 100–400 2Е. Процес вулканізації гумової суміші проведено в прес-формах методом прямого пресування протягом 3 хв при температурі 157±2 °С.

Зразки, виготовлені з гуми, випробували не раніше ніж через 16 годин та не пізніше 28 діб після вулканізації. Перед випробуванням зразки та пластини, з яких їх вирубували, утримували при температурі 23±2 °С не менше 60 хв. Зразки вирубували на вирубних пресах з висувною плитою та ручним або пневматичним приводом за допомогою стандартних штанцевих ножів, що забезпечують задану форму i розміри зразка. Ніж укладали таким чином, щоб напрямок поздовжньої осі співпадав із напрямком каландрування. Довжина робочої ділянки зазначається мітками штампа, ширина кромки якого не перевищує 0,5 мм.

Зносостійкість було визначено шляхом плавного переміщення досліджуваного зразка гуми по поверхні абразивної стрічки, яка прикріплена до барабана, що обертається, та зазначається як втрата об'єму в кубічних міліметрах або як індекс зносостійкості у відсотках. Чим менше значення втрати об'єму, тим вищою є зносостійкість. Що стосується індексу зносостійкості, то чим менше його значення, тим нижчою є зносостійкість.

Дослідна установка (**рис. 1**) складається з барабана, який являє собою тонкостінну трубу, з обох кінців якої запресовані кришки з алюмінію. На барабан за допомогою двосторонньої ліпкої стрічки закріплено наждачну шкурку. Барабан

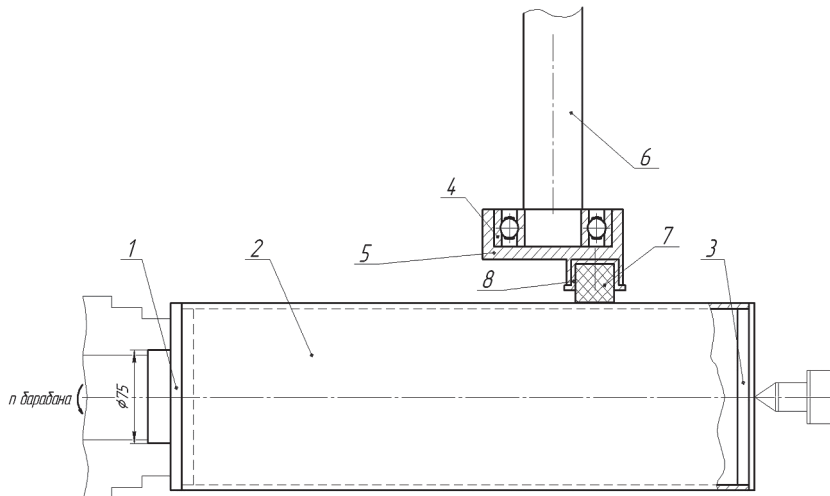


Рис. 1. Схема дослідної установки

Примітка: 1 — ліва кришка; 2 — барабан; 3 — права кришка; 4 — підшипник; 5 — обойма; 6 — труба; 7 — дослідний зразок; 8 — тримач зразка.

зафіксовано в трикулачковому патроні та підтиснено задньою бабкою верстата.

При обертанні барабана по ньому проходить деякий шлях дослідний зразок (7). Його було закріплено в тримачі (8), який розташовано на обоймі (5), що напресовано на підшипник (4). Підшипник напресований на трубу 6, на яку встановлено необхідне навантаження. Після установки барабана налаштовували токарно-гвинторізний верстат типу 1К62 на необхідні режими роботи, а саме: швидкість обертання шпинделя 40 об./хв, повздовжня подача супорта 4,0 мм/об. Далі було виготовлено полімерний зразок до випробувань, який повинен мати циліндричну форму діаметром 16 мм та заввишки 10 мм. Наступним кроком було зважування зразка на аналітичних вагах марки АДВ-200М 2 кл. Під час експерименту дослідний зразок терся по абразивній шкірці та з певною силою тягнув тензобалку у бік обертання барабана, що викликало деформацію тензобалки та виникнення в тензобалці невеликих струмів, пропорційних деформації балки, що дало змогу провести тарування. Після того, як зразок проходив необхідний шлях, підіймали трубу з тримачем зразка, останній виймався з тримача і зважувався на аналітичних вагах. Так було визначено втрату маси зразка за рахунок тертя в грамах. За результат випробування прийнято середньоарифметичне значення всіх випробуваних зразків. Значення показників, що відрізняються від середньоарифметичного більш ніж на 10 %, не враховувалося і середньоарифметичне розраховано зі зразків, що залишилися, кількість яких становила не менше трьох.

Введення до складу бутадієн-стирольного каучуку від 1 до 8 масових відсотків алюмосилікатних порожнистих мікросфер сприяє зменшенню ряду деформаційно-міцнісних характеристик. Так, умовна міцність при розтягуванні зменшується від 18,4 МПа до 10–14 МПа, опір до роздирання з 64,7 кН/м до 34,8 кН/м, відносне подовження з 490 до 410 %, ступінь набухання в рідині з 33,3 до 22,0 %. Майже не змінюється твердість за Шором (60–63 умовних одиниць), щільність (1085–1075 кг/м³), залишкове подовження (20 %). Несуттєво, але збільшується коефіцієнт теплопровідності (з 0,518 до 0,607 Вт/(м·К)). Змінення значень наведених характеристик має переважно монотонний характер.

Дещо інший характер спостерігається при дослідженнях на абразивне зношування бутадієн-стирольної групи гумової суміші з різним вмістом алюмосилікатних порожнистих мікросфер (**рис. 2**). За відсутності наповнювача інтенсивність абразивного зношування становить 301,6 мм³. Введення до складу бутадієн-стирольного каучуку вже 1 мас. % АСПМ сприяє стрімкому зниженню величини інтенсивності зношування до 172,7 мм³.

Подальше збільшення кількості алюмосилікатних порожнистих мікросфер у межах від 2 до 8 мас. % сприяє стабілізації значень інтенсивності зношування на монотонно низькому рівні. Що стосується коефіцієнта тертя, то він суттєво не змінювався і мав однаково стабільні значення при дослідженнях усіх зразків композицій (**рис. 2**).

Такий характер зношування можна пояснити тим, що алюмосилікатні порожнисті мікросфери,

які знаходяться на поверхні тертя, слугують своєрідним захисним екраном від подальшого зношування. До того ж, аналогічний ефект спостерігався і при газоабразивному зношуванні еластомерів [16]. Мікроструктури шинних гум з АСПМ вивчали за допомогою растрового електронного мікроскопа типу REM-106I. Мікрофотографії поверхонь тертя показано на **рис. 3**.

Для подальшого вивчення попередньо встановленого екранувального ефекту було обрано нитрильний каучук [17], вироби з якого переважно застосовуються під час виготовлення транспортних стрічок поточно-механізованих ліній. Деформаційно-міцнісні характеристики нитрильної гуми та композицій з алюмосилікатними порожнистими мікросферами свідчать, що вони також мають стабільно-монотонний характер. Так, відносне подовження зменшується в межах 270–230 %, умовна міцність при розтягу 11,5–8,9 МПа, опір до роздирання 26,5–29,3 кН/м, твердість за Шором 73–68 умовних одиниць, щільність 1216–1190 кг/м³. Величина залишкового подовження є стабільною та складає 20 %. Дещо збільшується коефіцієнт теплопровідності з 0,381 до 0,427 Вт/(м·К). Варто вважати, що первинна структура гуми та композиційних матеріалів на її основі має умовно заморожений стан, що є характерним для протекторних гум (**табл. 2**).

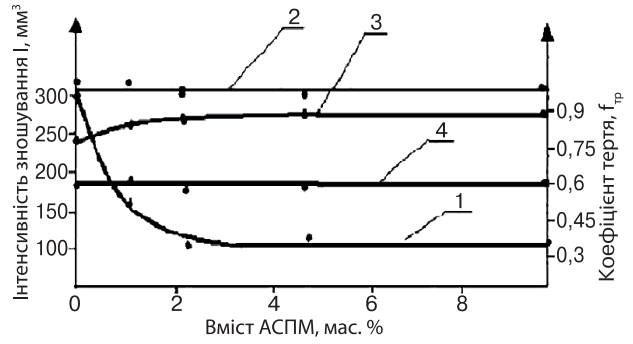


Рис. 2. Залежності інтенсивності абразивного зношування (1) та коефіцієнту тертя (2) бутадієн-стирольної гуми та інтенсивності абразивного зношування (3) та коефіцієнту тертя (4) нитрильної гуми з різним вмістом алюмосилікатних порожнистих мікросфер

Саме цим можна пояснити монотонну стабільність значень інтенсивності абразивного зношування та коефіцієнту тертя полімерних композицій на основі нитрильного каучуку з вмістом алюмосилікатних порожнистих мікросфер у межах від 1 до 8 мас. % (**рис. 2**).

Окрім того, досить значна твердість нитрильної гуми (до 73 одиниць за Шором) та порівняно низькі значення деформаційно-міцнісних характеристик (умовна міцність при розтягу, опір до роздирання, відносне подовження тощо) не

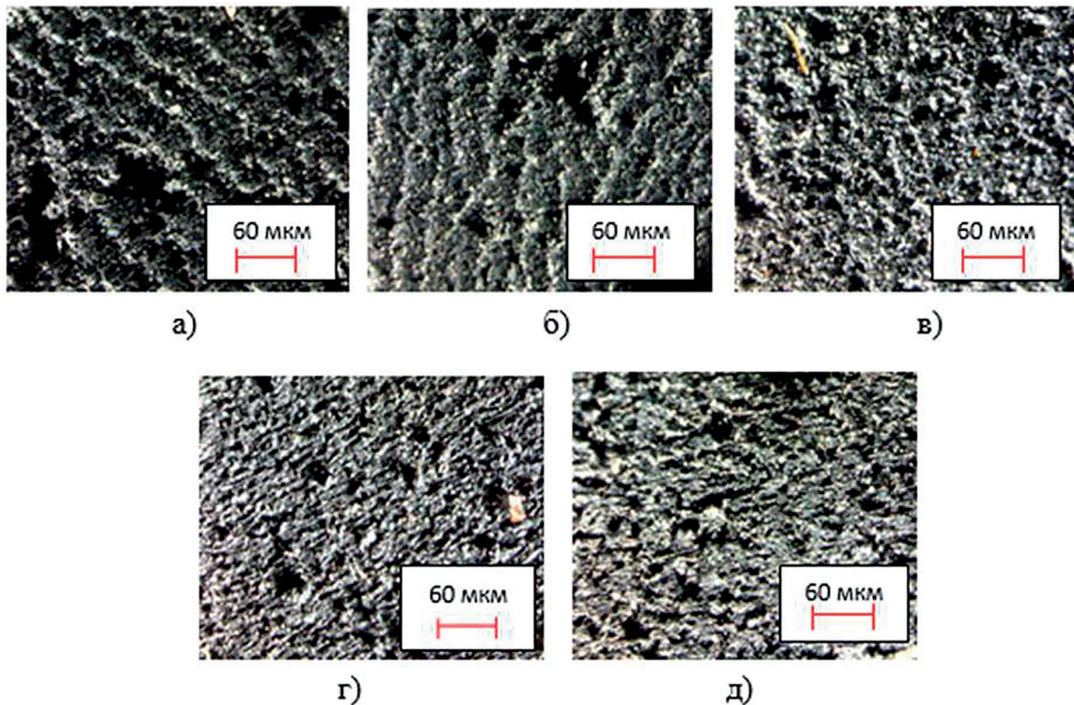


Рис. 3. Мікрофотографії поверхонь тертя бутадієн-стирольного каучуку з вмістом алюмосилікатних мікросфер (мас. %): а) 0; б) 1; в) 2; г) 4; д) 8

Властивості полімерної композиції на основі бутадієн-стирольного та нітрильного каучуку з вмістом АСПМ (мас. % на 100 г гумової суміші)

Показник	Вміст наповнювача				
	0	1	2	4	8
Технологічні характеристики					
Усадка за товщиною, %	$\frac{13,4}{10,3}$	$\frac{15,1}{4,6}$	$\frac{26,9}{6,0}$	$\frac{11,8}{5,7}$	$\frac{9,6}{7,6}$
Твердість (за Шором), ум. од.	$\frac{60}{73}$	$\frac{61}{68}$	$\frac{60}{71}$	$\frac{61}{70}$	$\frac{63}{68}$
Щільність, кг/м ³	$\frac{1085,1}{1216,1}$	$\frac{1079,5}{1190,8}$	$\frac{1075,2}{1191,7}$	$\frac{1061,9}{1205,0}$	$\frac{1085,2}{1210,6}$
Ступінь набухання в рідині за 24 год., %	$\frac{33,3}{24,2}$	$\frac{26,2}{23,8}$	$\frac{26,8}{23,1}$	$\frac{20,3}{16,9}$	$\frac{22,0}{16,9}$
Деформаційно-міцнісні характеристики					
Відносне подовження, %	$\frac{490}{270}$	$\frac{510}{270}$	$\frac{460}{270}$	$\frac{430}{250}$	$\frac{410}{250}$
Залишкове подовження, %	$\frac{20}{20}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{20}{20}$
Умовна міцність при розтягу, МПа	$\frac{18,4}{11,5}$	$\frac{18,4}{11,3}$	$\frac{17,1}{11,1}$	$\frac{10,7}{10,2}$	$\frac{14,1}{8,9}$
Опір до роздирання, кН/м	$\frac{64,7}{26,5}$	$\frac{61,1}{29,3}$	$\frac{67,6}{26,0}$	$\frac{61,0}{27,3}$	$\frac{34,8}{27,5}$
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	$\frac{0,518}{0,381}$	$\frac{0,522}{0,390}$	$\frac{0,587}{0,399}$	$\frac{0,597}{0,418}$	$\frac{0,607}{0,427}$

Примітка: чисельник — полімерні композиції на основі бутадієн-стирольного каучуку; знаменник — полімерні композиції на основі нітрильного каучуку.

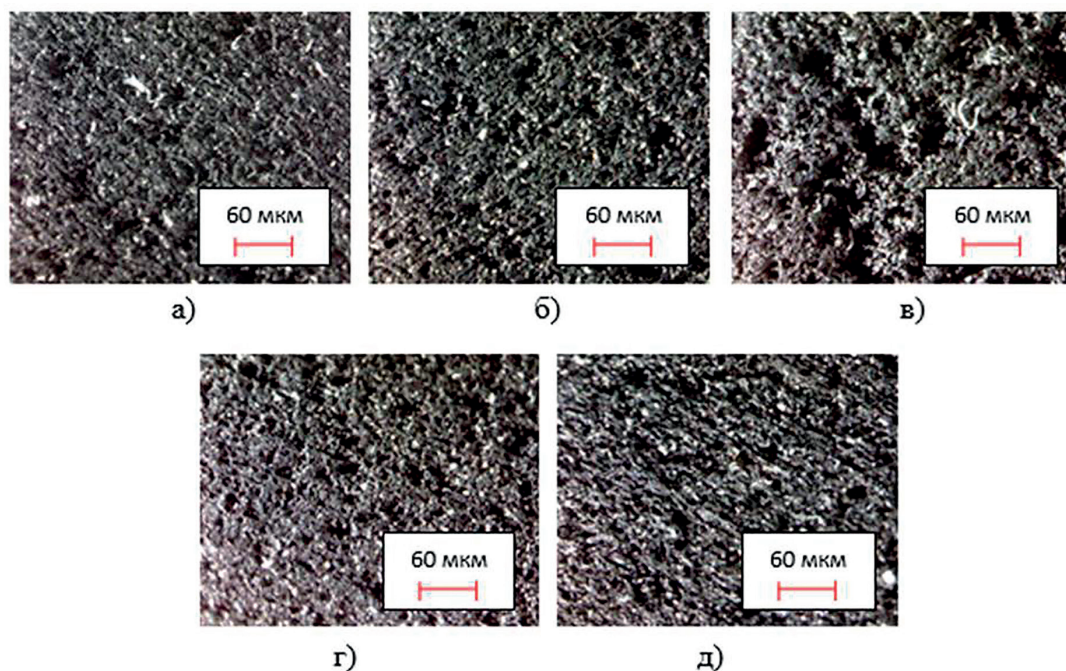


Рис. 4. Мікрофотографії поверхонь тертя нітрильного каучуку з вмістом алюмосилікатних мікросфер (мас. %): а) 0; б) 1; в) 2; г) 4; д) 8

сприяють локалізації мікросфер на поверхні та їх сегрегації в приповерхневому шарі. Мікрофотографії поверхонь тертя показано на **рис. 4**.

Використовуючи традиційні мікророзмірні наповнювачі, можна оптимізувати властивості композитних матеріалів. Полімерна матриця і мікророзмірні наповнювачі з'єднані полімерні за допомогою слабких міжмолекулярних сил і хімічний зв'язок утворюється рідко.

ВИСНОВКИ

Для проведення досліджень на абразивне зношування на машині тертя було обрано полімерні композиції на основі бутадієн-стирольного і нітрильного каучуків із різним вмістом алюмосилікатних порожнистих мікросфер, а також визначено поведінку цих матеріалів під час процесу абразивного зношування. Встановлено, що введення до складу бутадієн-стирольного каучуку від 1 до 8 мас. % алюмосилікатних порожнистих мікросфер сприяє стрімкому зниженню величини об'ємного зношування до 140–160 мм³. Такий характер зношування можна пояснити тим, що алюмосилікатні порожнисті мікросфери, які знаходяться на поверхні тертя, слугують своєрідним захисним екраном від подальшого зношування.

Композиційні матеріали на основі нітрильного каучуку та їх характеристики відрізняються від композицій на основі бутадієн-стирольного каучуку за рахунок того, що вихідні властивості цих двох каучуків мають суттєві відмінності, що позначається на властивостях саме композиційних матеріалів, але функціонально вони подібні, різним має бути їхнє застосування за призначенням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Haustein E.* The characteristics of selected properties of the cenospheres — fraction of fly ash — by-product of coal combustion / E. Haustein, B. Quant // *Gospodarka Surowcami Mineralnymi — Mineral Resources Management.* — 2021. — Vol. 27. — No. 3. — P. 95–111.
2. *Ranjbar N.* Cenospheres: A review / N. Ranjbar, C. Kuenzel // *Fuel.* — 2017. — Vol. 207. — P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2017.06.059>.
3. Recent Advances in Methods for Recovery of Cenospheres from Fly Ash and Their Emerging Applications in Ceramics, Composites, Polymers and Environmental Cleanup / V. K. Yadav, K. K. Yadav, V. Tirth, A. Jangid et al. // *Crystals.* — 2021. — Vol. 11 (9). — P. 1067. <https://doi.org/10.3390/cryst11091067>.
4. Surface structure changes on aluminosilicate microspheres at the interface with simulated body fluid / M. Todea, B. Frentiu, R. F. V. Turcu, P. Berce, S. Simon // *Corrosion Science.* — 2012. — Vol. 54. — P. 299–306. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.09.032>.
5. *Mukund J. Y.* Floating microspheres: a review / J. Y. Mukund, B. R. Kantilal, R. N. Sudhakar // *Braz.*

6. *Wrona J.* Recovery of Cenospheres and Fine Fraction from Coal Fly Ash by a Novel Dry Separation Method / J. Wrona, D. Bradlo, P. Czuprynski, W. Zukowski // *Energies.* — 2020. — No. 13. — P. 3576. <https://doi.org/10.3390/en13143576>.
7. *Polymer Composites in Construction: An Overview / A. S. Mosallam, A. Bayraktar, M. Elmikawi, S. Pul, S. Adanur // SOJ Mater Sci Eng.* — 2013. — No. 2 (1). — 25 p. <http://dx.doi.org/10.15226/sojmse.2014.00107>.
8. Recent Progress on Wear-Resistant Materials: Designs, Properties, and Applications / W. Zhai, L. Bai, R. Zhou, Fan X. et al. // *Adv. Sci.* — 2021. — No. 8. — 2003739. <https://doi.org/10.1002/adv.202003739>.
9. Preparation of Styrene-Butadiene Rubber (SBR) Composite Incorporated with Collagen-Functionalized Graphene Oxide for Green Tire Application / A. Khan, L. K. Kian, M. Jawaid, A. A. P. Khan et al. // *Gels.* — 2022. — No. 8. — 161 p. <https://doi.org/10.3390/gels8030161>.
10. Continuous Emulsion Styrene-Butadiene Rubber (SBR) Process: Computer Simulation Study for Increasing Production and for Reducing Transients between Steady States / Minari Roque, Gugliotta Luis, Vega Jorge, Meira G. // *Industrial & Engineering Chemistry Research.* — 2006. — No. 45. — P. 245–257. <https://doi.org/10.1021/ie0504755>.
11. Microspheres as potential fillers in composite polymeric materials / A. Magiera, M. Kuźnia, W. Jerzak, M. Ziąbka et al. // *E3S Web Conf.* — 2019. — No. 108. — 02009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910802009>.
12. *Свідерський В.* Хімічний склад і дисперсність зольних мікросфер / В. Свідерський, В. Демченко // *Товари і ринки.* — 2017. — № 1. — С. 69–79.
13. *Haustein E.* The characteristics of selected properties of the cenospheres — fraction of fly ash — by-product of coal combustion / E. Haustein, B. Quant // *Gospodarka Surowcami Mineralnymi — Mineral Resources Management.* — 2011. — Vol. 27. — No. 3. — P. 95–111.
14. *Vilmin F.* Fast and robust method for the determination of microstructure and composition in butadiene, styrene-butadiene, and isoprene rubber by nearinfrared spectroscopy / F. Vilmin, C. Dussap, N. Coste // *Appl Spectrosc.* — 2006. — No. 60 (6). — P. 619–30. <https://doi.org/10.1366/000370206777670675>.
15. *Bielinski D.* Modification of styrene-butadiene rubber with polymethylsiloxanes / D. Bielinski, P. Głąb, J. Chruściel // *Polimery/Polymers.* — 2007. — No. 52. — P. 195–202. <https://doi.org/10.14314/polimery.2007.195>.
16. *Coveney V. A.* Abrasive Wear of Elastomers / V. A. Coveney, D. E. Johnson // *Elastomers and Components: Service Life Prediction — Progress and Challenges.* — 2006. — P. 113–138. <https://doi.org/10.1533/9781845691134>.
17. *Rubber, 3. Synthetic Rubbers, Introduction and Overview / D. Threadingham, W. Obrecht, W. Wieder, G. Wachholz, R. Engehausen // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.* — 2011. https://doi.org/10.1002/14356007.a23_239.pub5.

REFERENCES

1. Haustein, E., & Quant, B. (2021). The characteristics of selected properties of the cenospheres — fraction of fly ash — by-product of coal combustion.

- Gospodarka Surowcami Mineralnymi – [Mineral Resources Management]. 27 (3), 95–111.*
- Navid, Ranjbar, & Carsten, Kuenzel. (2017). Cenospheres: A review. *Fuel, 207*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2017.06.059>.
 - Yadav, V. K., Yadav, K. K., Tirth, V., Jangid, A., Gnana-moorthy, G., & Choudhary, N., et al. (2021). Advances in Methods for Recovery of Cenospheres from Fly Ash and Their Emerging Applications in Ceramics, Composites, Polymers and Environmental Cleanup. *Crystals. 11 (9)*, 1067. <https://doi.org/10.3390/cryst11091067>.
 - Todea, M., Frentiu, B., Turcu, R. F. V., Berce, P., & Simon, S. (2012). Surface structure changes on aluminosilicate microspheres at the interface with simulated body fluid. *Corrosion Science. 54*, 299–306. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.09.032>.
 - Mukund, J. Y., Kantilal, B. R., & Sudhakar, R. N. (2012). Floating microspheres: a review. *Braz. J. Pharm. Sci. 48 (1)*. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502012000100003>.
 - Wrona, J., Bradło, D., Czuprynski, P., & Zukowski, W. (2020). Recovery of Cenospheres and Fine Fraction from Coal Fly Ash by a Novel Dry Separation Method. *Energies. 13*. 3576. <https://doi.org/10.3390/en13143576>.
 - Mosallam, A. S., Bayraktar, A., Elmikawi, M., Pul, S., & Adanur, S. (2013). Polymer Composites in Construction: An Overview. *SOJ Mater Sci Eng. 2 (1)*, 25. <http://dx.doi.org/10.15226/sojmse.2014.00107>.
 - Zhai, W., Bai, L., Zhou, R., Fan, X., Kang, G., Liu, Y., Zhou, K. (2021). Recent Progress on Wear-Resistant Materials: Designs, Properties, and Applications. *Adv. Sci. 8*, 2003739. <https://doi.org/10.1002/advs.202003739>.
 - Khan, A., Kian, L. K., Jawaid, M., Khan, A. A. P., Alo-taibi, M. M., Asiri, A. M., & Marwani, H. M. (2022). Preparation of Styrene-Butadiene Rubber (SBR) Composite Incorporated with Collagen-Functionalized Graphene Oxide for Green Tire Application. *Gels. 8*, 161. <https://doi.org/10.3390/gels8030161>.
 - Minari, R., Gugliotta, L., Vega, J., & Meira, G. (2006). Continuous Emulsion Styrene-Butadiene Rubber (SBR) Process: Computer Simulation Study for Increasing Production and for Reducing Transients between Steady States. *Industrial & Engineering Chemistry Research. 45*, 245–257. <https://doi.org/10.1021/ie0504755>.
 - Magiera, A., Kuźnia, M., Jerzak, W., Ziąbka, M., Lach, R., & Handke, B. (2019). Microspheres as potential fillers in composite polymeric materials. *E3S Web Conf., 108*, 02009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910802009>.
 - Sviderskyi, V., & Demchenko, V. (2017). Khimichnyi sklad i dyspersnist zolnykh mikrosfer [Chemical composition and dispersion of ash microspheres]. *Tovary i rynky – Goods and markets, 1*, 69–79. [in Ukr.].
 - Haustein, E., & Quant, B. (2011). The characteristics of selected properties of the cenospheres — fraction of fly ash — by-product of coal combustion. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management. 27 (3)*, 95–111.
 - Vilmin, F., Dussap, C., & Coste, N. (2006). Fast and robust method for the determination of microstructure and composition in butadiene, styrene-butadiene, and isoprene rubber by near-infrared spectroscopy. *Appl Spectrosc. 60 (6)*, 619–30. <https://doi.org/10.1366/00037020677670675>.
 - Bielinski, D., Głab, P., & Chruściel, J. (2007). Modification of styrene-butadiene rubber with polymethylsiloxanes. *Polimery/Polymers. 52*, 195–202. <https://doi.org/10.14314/polimery.2007.195>.
 - Coveney, V. A., & Johnson, D. E. (2006). *Abrasive Wear of Elastomers. Elastomers and Components. Service Life Prediction — Progress and Challenges*, 113–138. <https://doi.org/10.1533/9781845691134>.
 - Threadingham, D., Obrecht, W., Wieder, W., Wachholz, G., & Engehausen, R. (2011). *Rubber, 3. Synthetic Rubbers, Introduction and Overview*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. https://doi.org/10.1002/14356007.a23_239.pub5.

O. A. PIVOVAROV, D. Sc. in Engineering, Professor

A. A. PAVLENKO, Teacher

INNOVATIVE APPLICATION OF ALUMINUM SILICATE MICROSPHERE (CENOSPHERE) AS AN EFFECTIVE FILLER IN COMPOSITE MATERIALS

Abstract. Aluminosilicate microspheres as industrial waste of thermal power plants as a result of the combustion of thermal coal are widely used in various industries due to the uniqueness of their physical and chemical properties. The paper considers the use of aluminosilicate microspheres in the technologies of creating composite materials based on butadiene-styrene and nitrile rubbers with increased properties of the obtained materials for abrasive wear. Changes in the typical characteristics of the obtained rubber composite materials due to the addition of aluminosilicate hollow microspheres in the amount of 1 to 8 mass percent to the rubber matrix were studied. The deformation-strength characteristics of the latest composites and the effect of aluminosilicate microspheres on the creation of tribotechnical polymer materials for general purposes are determined. It is shown that increasing the amount of aluminosilicate hollow microspheres in the range from 2 to 8 mass percent to butadiene-styrene and nitrile rubbers contributes to the stabilization of wear intensity values, which is a positive technological factor in the creation of composite materials with an innovative filler.

Keywords: aluminosilicate microspheres, butadiene-styrene, nitrile rubber, tribotechnical materials, deformation-strength characteristics, friction.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Півоваров Олександр Андрійович — д-р техн. наук, проф., проф. кафедри харчових технологій, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000; +38 (097) 342-46-60; apivo@ua.fm; ORCID: 0000-0003-0520-171X

Павленко Алла Анатоліївна — викладач кафедри харчових технологій, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000; +38 (097) 240-91-24; aavsaa@ukr.net; ORCID: 0000-0002-7580-3612

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pivovarov O. A. — D. Sc. in Engineering, Professor, Professor of the Department of food technology, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhiy Yefremov Str., Dnipro, 49000; +38 (097) 342-46-60; apivo@ua.fm; ORCID: 0000-0003-0520-171X

Pavlenko A. A. — Teacher of the Department of food technology, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhiy Yefremov Str., Dnipro, 49000; +38 (097) 240-91-24; aavsaa@ukr.net; ORCID: 0000-0002-7580-3612



<http://doi.org/10.35668/2520-6524-2023-2-07>

УДК 662.7+665.6

О. В. ТЕРТИШНА, д-р техн. наук, проф.

К. О. ЗАМІКУЛА, аспірант

О. О. ТЕРТИШНИЙ, канд. техн. наук, доц.

ВПЛИВ РОСЛИННИХ ПРИСАДОК НА ФЛОКУЛЯЦІЮ АСФАЛЬТЕНІВ У НАФТОВИХ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМАХ

Резюме. У статті розглянуто наявні інгібітори флокуляції асфальтенів у нафтових дисперсних системах — нафторозчинні поверхнево-активні речовини різної природи. Запропоновано використання в ролі інгібіторів флокуляції поверхнево-активних речовин рослинного походження — фосфатидного концентрату та натрію сульфосукцинату. Досліджено процес флокуляції асфальтенів на модельних сумішах асфальтенів різної концентрації з толуолом та осадниками, а також вплив запропонованих інгібіторів на агрегативну стійкість сумішей. Фотоколориметричним методом визначено точку початку флокуляції (точку онсет) кожної суміші.

Ключові слова: нафтові дисперсні системи, асфальтени, інгібітори флокуляції, точка онсет.

ВСТУП

Асфальтени як найбільш полярна фракція нафти виявляють значну поверхневу активність. Прогнозування фазової поведінки асфальтенів у нафтових дисперсних системах є актуальною проблемою для нафтової промисловості, особливо зараз, коли спостерігається стійка тенденція зростання обсягів переробки важкої нафти, що характеризується їх високим вмістом. При концентруванні асфальтенових розчинів і зміні температури, з'являються асоціати, які структурують нафтові системи — нафта стає більш в'язкою. Також від кількості асфальтенів у нафті залежать її реологічні властивості. Формування відкладів на робочих поверхнях вик-

ликає проблемні ситуації в нафтотехнологічних процесах.

У нафтових дисперсних системах (НДС) асфальтенові частки є структуроутворювальними елементами і головним компонентом дисперсної фази. Композиційні зміни дисперсного середовища впливають на внутрішню структуру дисперсної системи. Процес флокуляції асфальтенів означає втрату системою кінетичної стійкості [1].

Знання про вплив важких асфальтенових сполук у робочих умовах процесів транспортування та переробки нафти надасть можливість із високою точністю моделювати процеси утворення асфальтенів і запобігати утворенню відкладів.