

УДК 620.178.16:678.680

*О.Ю. Полоз<sup>а</sup>, С.М. Кущенко<sup>б</sup>, С.Г. Ліницький<sup>б</sup>***ГІДРОАБРАЗИВНЕ ЗНОШУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ РІЗНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТРИЦЬ**<sup>а</sup> ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна<sup>б</sup> ТОВ «Нові Технології», м. Дніпро, Україна

Прогрес у захисті обладнання гірничозбагачувальних підприємств і гідротехнічних споруд від гідроабразивного зношування пов'язаний із застосуванням і аналізом експлуатації зносостійких матеріалів на основі різних полімерних матриць: епоксидних смол, поліуретанів, полісечовин, еластомерів. Метою даного дослідження є тестова та експлуатаційна порівняльна оцінка гідроабразивного зношування сучасних зносостійких матеріалів вітчизняного і закордонного виробництва під дією потоку твердих частинок матеріалів, що транспортуються у пульпі. Встановлено залежність гідроабразивного зношування зносостійких матеріалів від їх полімерної основи і показано, що з урахуванням функціональності застосування, величини зношування при тестових випробуваннях і роботоздатності готових виробів (піскових насадок гідроциклону ГЦК-710 на другій стадії класифікації залізної руди ПРАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат» (м. Кривий Ріг)) перевагу мають епоксидні композити. З'ясовано вплив дисперсності, твердості і особливостей форми частинок гідроабразивної пульпи на зношування кращих епоксидних композитів. Показано, що на початковій стадії дії пульпи різного складу зношування епоксидних композитів відбувається за прямолінійними залежностями зношення від часу. Здійснено порівняльне оцінювання гідроабразивного зношування розробленого епоксидного композиту з мультидисперсним кремній карбідом (порівняно з кращими закордонними аналогами Belzona 1811 - Великобританія, Loctite 7219 - Німеччина) і встановлено, що за показником зношування розроблений композит не поступається їм при меншій на порядок вартості.

**Ключові слова:** зносостійкі полімерні матеріали, гідроабразивне зношування, тестові та експлуатаційні випробування, властивості полімерних матриць.

DOI: 10.32434/0321-4095-2024-155-4-61-68

**Вступ**

Стабільна робота гірничозбагачувальних підприємств залежить від багатьох факторів, основним з яких є стабільне функціонування обладнання. Найбільш поширеною причиною недостатнього строку експлуатації такого обладнання (гідроциклони, насоси тощо) та його елементів (піскові насадки, зливні патрубки гідроциклонів, робочі колеса насосів) є їх гідроабразивне зношування під дією потоку твердих частинок матеріалів в пульпі, що передаються [1,2]. Гідроабразивне зношування характерне і для

гідротехнічних споруд, їх бетонних покриттів [3]. Для захисту та ремонту такого обладнання та споруд від гідроабразивного зношування застосовуються сучасні зносостійкі полімерні матеріали на основі різних матриць: епоксидних смол, поліуретанів, полісечовин, еластомерів тощо [3–5]. Сучасні захисні зносостійкі полімерні матеріали мають високі антикавітаційні властивості, стійкість до стирання, корозійну стійкість [6,7]. Серед цих матеріалів найбільше застосування в світовій практиці мають епоксидні завдяки простоті їх використання, низькій вартості, мінімальній усадці,

© О.Ю. Полоз, С.М. Кущенко, С.Г. Ліницький, 2024



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

*Hydroabrasive wear of compositions based on various polymer matrices*

високій адгезії та механічній міцності [8]. Ос-танні розробки епоксидних зносостійких матері-алів на основі епоксидних смол із структурою «морських островів» показали їх високу ефек-тивність при захисті гідротехнічних споруд [3].

Подальший прогрес застосування відомих і нових полімерних матеріалів, стійких до гідроаб-разивного зношування, безумовно пов'язаний з їх порівняльною оцінкою, що і стало метою да-ного дослідження.

#### Методика експерименту

Дослідження гідроабразивного зношування композицій під дією пульпи з частинками різної природи і твердості проводили із застосуванням зносостійких полімерних матриць: епоксидних смол, поліуретанів, епоксиуретанів, полісечовин, еластомерів. Розроблений дослідний епоксидний композит [9] був виготовлений на основі діанової смоли CHS-Ероху 525 виробництва фірми Spolchemie, Чехія (епоксидний еквівалент 182 г/екв, динамічна в'язкість 11 Па·с при 25°C) із застосуванням як наповнювача мульти-дисперсного кремній карбїду вітчизняного ви-робництва (ТУ У 24.1-00222226-059:2006) з роз-мірами частинок 5–1800 мкм, і отверджений 10 мас.ч. на 100 мас.ч. смоли Polyamine B, AkzoNobel, Швеція (суміш тетраетилпентаміну, пентаетилгексаміну, гексаетилгептаміну і більш високомолекулярних амінів) за енергозбе-рігаючою технологією при 20°C×24 год з доот-вердженням за розробленим оптимальним режи-мом: 80°C×2,4 год+100°C×2,2 год для покращен-ня їх властивостей.

Литтєвий поліуретан Modelast 24 фірми KLEIBERIT (Німеччина) одержували при взаємодії поліолу з в'язкістю 2800 мПа·с при 25°C (компонент А) з діізоціанатом з в'язкістю

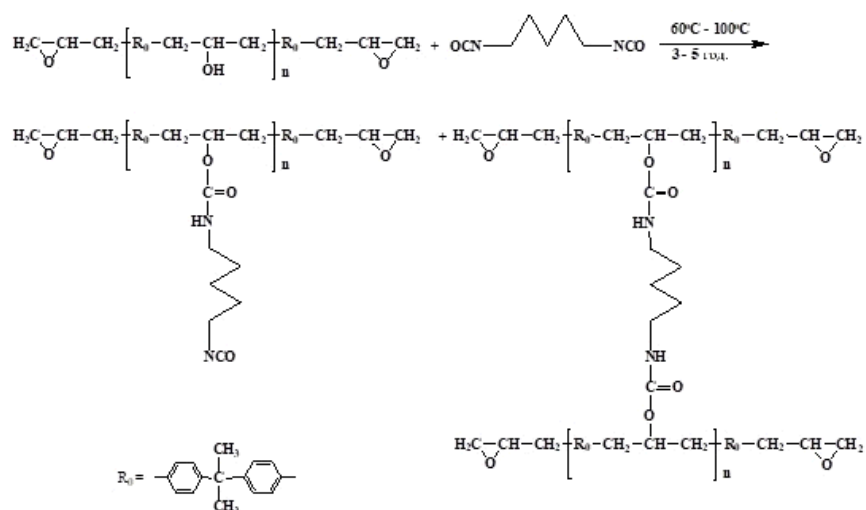
160 мПа·с при 25°C (компонент В) при масовому співвідношенні компонентів 100:50 і отверджени за режимом 20°C×24 год. Поліуретан після от-вердження мав твердість 85 одиниць за Шо-ром А.

Литтєвий поліуретан Neuthane 128S фірми Notedome LTD (Великобританія) одержували при взаємодії преполімеру PTMEG з вмістом 2,8 мас.% ізоціанатних груп з отверджувачем СА6 при масовому співвідношенні компонентів 100:6,8 і отверджени за режимом 100°C×16 год. Поліуре-тан після отвердження мав твердість 82 одиниць за Шором А.

Полісечовину EPAPROOF FPCS07 фірми EPAFLEX POLYURETANES, Італія (двокомпо-нентна система: компонент А – ароматичні діізоціанати+компонент В – ди- і поліаміни на основі аліфатичних олігомерних полієфірів з в'язкістю 680 мПа·с при 25°C) одержували при об'ємному змішуванні компонентів 1:1 в установці Reactor A-XP1 фірми GRACO (США) при 70°C з отвердженням при 20°C×24 год. Полісечовина після отвердження мала твердість 95 одиниць за Шо-ром А.

Гібридну поліуретан-полісечовину Eraspray ESP880 фірми Era Polymers LTD, Австралія (дво-компонентна система: компонент А – діізоціанат з в'язкістю 920 мПа·с при 25°C+компонент В – поліол з в'язкістю 600 мПа·с при 25°C) одержували при змішуванні компонентів в об'ємно-му співвідношенні 1:1 в установці Reactor A-XP1 фірми GRACO (США) при 70°C з отвердженням при 20°C×24 год. Поліуретан-полісечовина після отвердження мала твердість 95 одиниць за Шо-ром А.

Епоксиуретан одержували за наступною схе-мою [3].



Схема

Як епоксидну компоненту використовували діанову смолу CHS-Ероху 525 (100 мас.ч.), ізоціанатну – преполімер PTMEG Neuthane 128S (10 мас.ч.). Охолоджений до кімнатної температури продукт реакції змішували з мультидисперсним кремній карбідом впродовж 7 хв в планетарному змішувачі і отверджували за участю епоксидних груп поліамінним отверджувачем Polyamine B (при його додаванні у кількості 10 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксиуретану і перемішували впродовж 7 хв в планетарному змішувачі) за енергозберігаючою технологією при 20°C×24 год з доотвердженням за розробленим оптимальним режимом: 80°C×2,4 год+100°C×2,2 год для покращення їх властивостей.

Зносостійкі гуми застосовували на основі ненаповненого натурального каучуку (НК) RSS-1 виробництва фірми Viruco (В'єтнам) та наповнені технічним вуглецем N330 виробництва ТОВ «Кременчуцький завод технічного вуглецю» (Україна).

Гідроабразивна пульпа високої концентрації мала у своєму складі 400 г води технічної та 700 г абразиву різної твердості з частинками: мультидисперсного кремній карбід (SiC) з твердістю за шкалою Мооса 9,2 балів (склад пульпи з розмірами частинок: 1600–1800 мкм – 400 г+400–500 мкм – 150 г+125–200 мкм – 150 г), мультидисперсного електрокорунду (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) нормального з твердістю за шкалою Мооса 9,0 балів (склад пульпи з розмірами частинок: 1600–1800 мкм – 400 г+400–500 мкм – 150 г+125–200 мкм – 150 г), мультидисперсного річкового піску з твердістю за шкалою Мооса 6,5 балів (Придніпровського родовища складу: 1250 мкм – 1%+670 мкм – 2%+500 мкм – 3%+355 мкм – 25%+100 мкм – 69%), кварцевого піску з твердістю за шкалою Мооса 7,0 балів (Клесівського кар'єру нерудних копалин складу: 1250 мкм – 3%+1000 мкм – 11%+500 мкм – 10%+355 мкм – 70%+100 мкм – 6%). Залізородна пульпа II стадії класифікації на підприємстві ПРАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат» (м. Кривий Ріг) мала склад: вода – 40%, залізна руда Криворізького родовища – 60%.

Тестові випробування гідроабразивного зношування композицій виконували на дослідній установці із застосуванням двох пар зразків розмірами 20×15×4 мм в середовищі водяної пульпи різного складу. Кожна пара зразків була закріплена на своєму валу, які оберталися із швидкістю 600 об/хв за складною траєкторією для інтенсифікації процесу зношування: по колу за рахунок зубчастої передачі і одночасно навколо

своєї осі. Зношування кожної пари зразків відбувалось в проміжку між двома стінками корпусу з відстанню від пари зразків до стінки – 5 мм. Термін тестових випробувань становив 2–10 год. Зношування композицій характеризували зміною маси двох пар зразків, яку визначали на аналітичних вагах; об'ємне зношування ( $\Delta V$ ) зразків розраховували з урахуванням їх щільності.

При виготовленні піскових насадок гідроциклону ГЦК-710 з різними матрицями в залежності від їх в'язкості застосовували наступні методи: вільного лиття (поліуретан), контактний і пресування (епоксидні та епоксиуретан).

#### **Результати та обговорення**

В табл. 1 наведено результати вимірювання гідроабразивного зношування композицій при дії пульпи різного складу. Звертає увагу висока стійкість до гідроабразивного зношування (особливо при дії пульпи з високоабразивними частинками мультидисперсного SiC) композицій на основі поліуретанів, полісечовин, гум у порівнянні із епоксидними, що найбільш широко використовуються у світовій практиці.

Після тестових випробувань із застосуванням в пульпі найбільш твердих частинок мультидисперсного кремній карбід зношені поверхні композицій на основі полімерних матриць різної природи мають певні відмінності: на основі поліуретану – поверхневі подряпини, на основі полісечовини та поліуретан-полісечовини – рівномірне зношування, на основі наповненої гуми – неглибокі порізи по всій поверхні (рис. 1).

Слід, однак, зауважити, що при цьому необхідно враховувати і поліфункціональність застосування композицій – можливість їх використання для виготовлення як нових виробів (наприклад, гідроциклонів та їх складових елементів), так і при відновленні зношених. З цих позицій найбільш зносостійкі гуми на основі ненаповненого НК, які забезпечують значну роботоздатність виробів (наприклад, піскових насадок гідроциклону, табл. 2), не можуть застосовуватись як ремонтний матеріал та ремонтуватись внаслідок специфіки одержання виробів з них. Композиції на основі поліуретану можуть застосовуватись тільки для виготовлення нових виробів і для відновлення виробів простої конфігурації; однак, вироби на їх основі – піскові насадки гідроциклону ГЦК-710 – показали низьку роботоздатність (табл. 2) в умовах ПРАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат» внаслідок, імовірно, низької можливості поглинання енергії діючого потоку частинок пульпи.

Отже, тести на зносостійкість композицій є

Таблиця 1

**Порівняльна оцінка гідроабразивного зношування композицій на основі полімерних матриць різної хімічної природи при застосуванні абразивної пульпи (терміни дії пульпи 2 год)**

Полімерна матриця	Зношування композицій, $\Delta V \cdot 10^3$ , см <sup>3</sup>		
	пульпа мультидисперсного кремній карбїду	пульпа піску Придніпровського родовища	пульпа піску Клесівського кар'єру нерудних копалин
Епоксидна смола з наповнювачами:			
– мультидисперсний електрокорунд	70	10	–
– мультидисперсний кремній карбїд (розроблений склад)	49	8	9
– мультидисперсний кремній карбїд (серійний склад ТОВ «Нові Технології», Україна)	62	9	11
Belzona 1811 (Великобританія)	58	9	9
– Loctite 7219 – Німеччина	48	8	9
Поліуретан:			
– Neuthane 128S (Великобританія)	9	2	–
– Modelast 24 (Німеччина)	9	5	–
Полісечовина: EPAPROOF FPCS07 (Італія)	23	8	–
Поліуретан-полісечовина Eraspray ESP880 (Австралія)	10	4	–
Гуми на основі натурального каучуку RSS-1:			
– ненаповнена	7	4	–
– наповнена технічним вуглецем N330	18	13	–

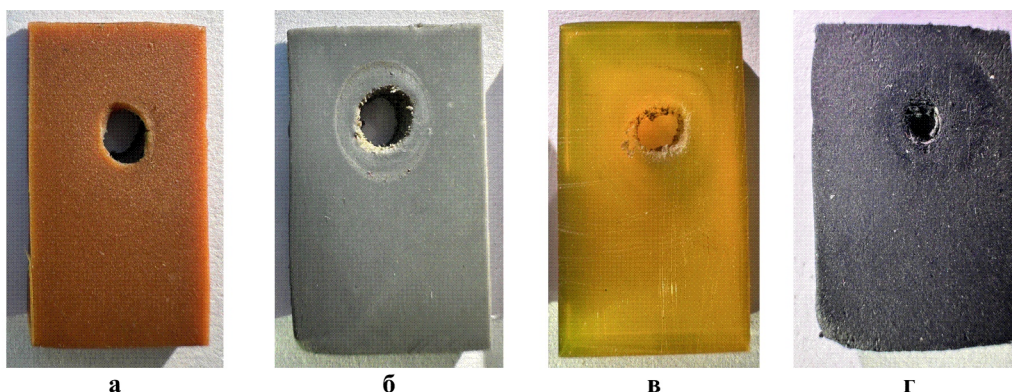


Рис. 1. Зношені зразки композицій з різними полімерними матрицями після 2 год дії пульпи мультидисперсного кремній карбїду: а – поліуретан-полісечовина Eraspray ESP880; б – полісечовина EPAPROOF FPCS07; в – поліуретан Neuthane 128S; г – наповнена гума на основі натурального каучуку RSS-1

орієнтовними при їх зіставленні і розробленні нових складів, а кінцевий висновок залежить від експлуатаційних випробувань виробів на їх основі. Таким чином, з урахуванням функціональних можливостей, експлуатаційних випробувань, доступності сировини та собівартості перевагу слід віддати епоксидним композитам.

Науково-практичний інтерес має порівняльна оцінка гідроабразивного зношування вітчизняних і кращих закордонних епоксидних композитів. На рис. 2 надано результати вимірювання

зношування таких композитів при дії пульпи з високотвердими частинками мультидисперсного SiC та промислової пульпи залізної руди підприємства ПРАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат» на початковій стадії процесу.

В перші дві години випробувань відбувається відносно невелике (у випадку застосування пульпи з мультидисперсним SiC) або взагалі не відбувається (у випадку застосування залізородної пульпи) зношування промислових епоксидних композитів. У подальшому на початковій стадії (2–

10 год) зношування характеризується прямо-лінійними залежностями (рис. 2), що дозволяє певною мірою прогнозувати довгострокове зношування композитів. Зношування епоксидних композитів значною мірою визначається твердістю абразивного матеріалу за шкалою Мооса у складі пульпи (табл. 3): з підвищенням твердості абразивного матеріалу пульпи зношування композитів закономірно збільшується.

Зношені поверхні досліджених епоксидних композитів під дією пульпи мультидисперсного кремній карбїду мають явні ознаки абразивного зношування (рис. 3), найбільш нерівномірно виражені для серійного композиту виробництва ТОВ «Нові технології»; зношені поверхні інших композитів характеризуються рівномірним абра-

зивним зношуванням.

Слід зазначити, що на зношування епоксидних композитів впливає також дисперсність (табл. 4) і особливості форми частинок абразиву у складі пульпи (табл. 5). При відносно близьких значеннях твердості електрокорунду та кремній карбїду за шкалою твердості Мооса ( $\approx 9$  балів) ребристі частинки з гострими кутами кремній карбїду у порівнянні з ребристими частинками електрокорунду (рис. 4) мають більший вплив на їх зношування. Наведені у табл. 4 дані показують, що найбільший вплив на гідроабразивне зношування розглянутих епоксидних композитів, як і очікувалось, має кремній карбїд з найбільш крупними частинками (1600–1800 мкм) з явно вираженими гострими кутами.

Таблиця 2

**Роботоздатність піскових насадок з вихідним діаметром 90 мм гідроциклону ГЦК-710 на другій стадії класифікації залізорудної пульпи ПРАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат» (м. Кривий Ріг) із застосуванням зносостійких композицій**

Полімерна матриця	Спосіб формування	Роботоздатність, місяці	Збільшення діаметру після зношування, мм
Поліуретан Neuthane 128S	литтєвий	1,8	15
Поліуретан Modelast 24	литтєвий	1,4	17
Епоксіуретан, наповнений мультидисперсним кремній карбїдом	пресування	7,6	8
Епоксидна смола, наповнена мультидисперсним кремній карбїдом (серійний склад ТОВ "Нові Технології")	пресування	8,7	8
Епоксидна смола, наповнена мультидисперсним кремній карбїдом (розроблений склад)	пресування	10,0	7
Гума на основі ненаповненого натурального каучуку RSS-1	пресування	12,0	5

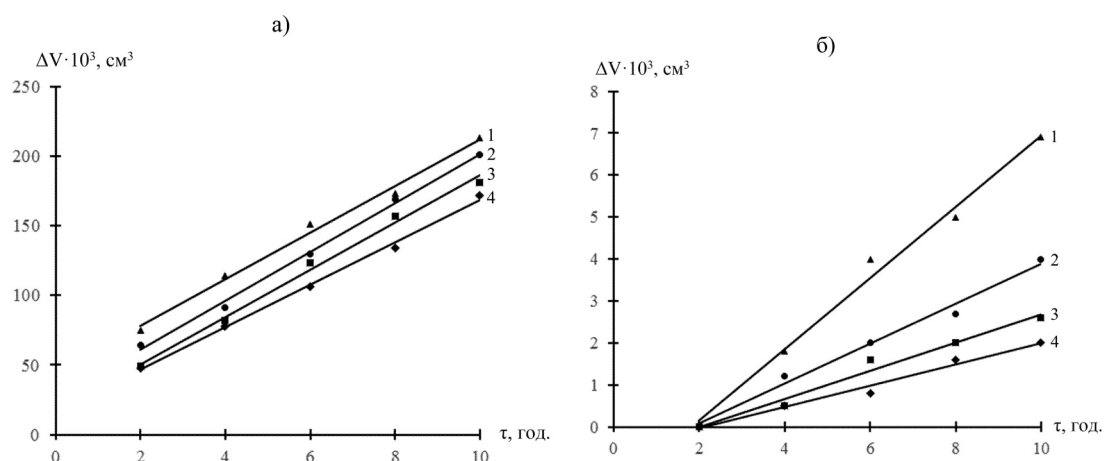


Рис. 2. Зношування промислових епоксидних композитів при дії пульпи мультидисперсного кремній карбїду (а) та залізної руди (б): 1 – серійний (ТОВ «Нові технології»); 2 – Belzona 1811; 3 – розроблений; 4 – Loctite 7219

Таблиця 3

**Зношування промислових епоксидних композитів в залежності від твердості абразивного матеріалу у складі пильки (терміни дії пильки 10 год)**

Епоксидний композит	Зношування при застосуванні пильки з мультидисперсним абразивом, $\Delta V \cdot 10^3, \text{ см}^3$ (твердість абразиву за шкалою Мооса, бали)		
	кремній карбід (9,2)	пісок Клесівського кар'єру нерудних копалин (7,0)	залізна руда (6,5)
серійний з мультидисперсним кремній карбідом (ТОВ "Нові Технології")	213	28	6,9
розроблений з мультидисперсним кремній карбідом	181	26	2,6
Belzona 1811	201	27	4,0
Loctite 7219	172	26	2,0

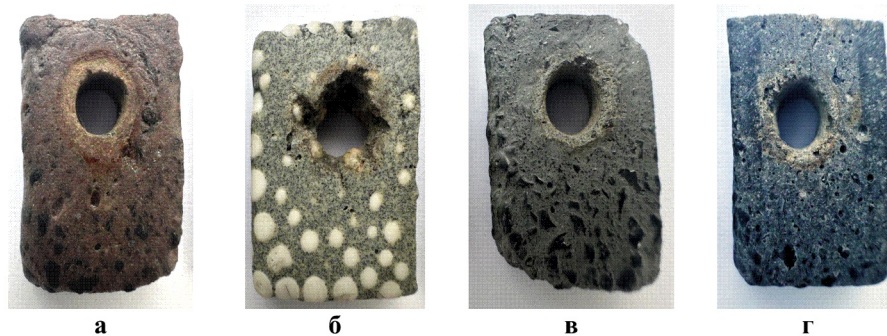


Рис. 3. Зношені зразки епоксидних композитів після 10 год дії пильки мультидисперсного кремній карбїду: а – Belzona 1811; б – Loctite 7219; в – серійний з мультидисперсним кремній карбїдом (ТОВ «Нові Технології»); г – розроблений з мультидисперсним кремній карбїдом

Таблиця 4

**Вплив пильки з частинками кремній карбїду різного ступеню дисперсності на гідроабразивне зношування епоксидних композитів (терміни дії пильки 2 год)**

Епоксидний композит	Зношування, $\Delta V \cdot 10^3, \text{ см}^3$			
	розмір частинок кремній карбїду			
	5–7 мкм	125–200 мкм	400–500 мкм	1600–1800 мкм
серійний з мультидисперсним кремній карбїдом (ТОВ "Нові Технології")	4	30	31	75
розроблений з мультидисперсним кремній карбїдом	3	24	27	70
Belzona 1811	4	22	25	73
Loctite 7219	3	18	21	73



Рис. 4. Зовнішній вигляд частинок абразивів: а – електрокорунд нормальний; б – кремній карбїд; в – кварцевий пісок

Таблиця 5

Вплив особливостей форми частинок мультидисперсного абразиву у складі пульпи на зношування промислових епоксидних композитів (термін дії пульпи 10 год)

Епоксидний композит	Зношування, $\Delta V \cdot 10^3$ , см <sup>3</sup>	
	форма частинок в мультидисперсному абразиві пульпи	
	ребриста з гострими кутами (кремній карбід)	ребриста (електрокорунд нормальний)
серійний з мультидисперсним кремній карбідом (ТОВ "Нові Технології")	213	145
розроблений з мультидисперсним кремній карбідом	181	112
Belzona 1811	201	138
Loctite 7219	172	108

Наведені дані (табл. 3–5) доводять, що гідроабразивне зношування епоксидного композита розробленого складу із застосуванням як наповнювача мультидисперсного кремній карбідом менше у порівнянні з епоксидними композитами ТОВ «Нові Технології» (Україна) та Belzona 1811 (Великобританія) і наближається до зношування одного із найефективніших закордонних аналогів – Loctite 7219 (Німеччина).

#### Висновки

Встановлено залежність гідроабразивного зношування зносостійких матеріалів від їх полімерної основи і показано, що з урахуванням функціональності застосування, величини зношування при тестових випробуваннях і робоздатності готових виробів (піскових насадок гідроциклону ГЦК-710 на другій стадії класифікації залізної руди ПРАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат», м. Кривий Ріг) перевагу мають епоксидні композити.

З'ясовано вплив дисперсності, твердості і особливостей форми частинок гідроабразивної пульпи на зношування кращих епоксидних композитів. Показано, що на початковій стадії дії пульпи різного складу зношування епоксидних композитів вітчизняного та закордонного виробництва відбувається за прямолінійними залежностями.

Проведено порівняльну оцінку гідроабразивного зношування розробленого епоксидного композиту з мультидисперсним кремній карбідом з кращими закордонними аналогами (Belzona 1811, Великобританія та Loctite 7219, Німеччина) і встановлено, що при меншій на порядок вартості розроблений композит за цим показником не поступається їм.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Полоз А.Ю., Липицький С.Г., Кущенко С.Н. Выбор параметров для сравнительной оценки износостойкости эпоксидных композиционных материалов // Технол. аудит и резервы производства. – 2016. – № 5/3(31). – С.26-31.
2. Горяева Ю.Е., Семенець О.А., Анисимов В.М. Порівняльні дослідження працездатності матеріалів при зношуванні в потоці абразивних часток // Вопросы химии и хим. технол. – 2003. – № 6. – С.128-131.
3. Xu L., Zhang K, Liu Y. Hydraulic abrasion-resistant elastic epoxy resin materials // Adv. Mater. Sci. Eng. – 2019. – Vol.2019. – Art. No. 9358139.
4. Shu-fang M., Wen-shi F., Jing-wei L.I. Study and application of «sea island structure» epoxy resin «alloy» materials resistant to erosion and abrasion // Construct. Technol. – 2005. – Vol.34. – No. 4. – P.36-39.
5. Cryogenic mechanical properties of epoxy resin toughened by hydroxyl-terminated polyurethane / Wu T., Liu Y., Li N., Huang G.W., Qu C.B., Xiao H.M. // Polym. Test. – 2019. – Vol.74. – P.45-56.
6. Vakhrushev A.V., Haghi A.K. Composite materials engineering: modeling and technology. – Apple Academic Press, 2019. – 236 p.
7. Стухляк П.Д. Эпоксидные композиты для защитных покрытий. – Тернополь: Збруч, 1994. – 177 с.
8. Williams R.J.J. Pascault J.P. Epoxy polymers: new materials and innovations. – WileyYCH, 2009. – 387 p.
9. Полоз О.Ю., Ебіч Ю.Р. Поведінка зносостійких епоксидних композицій в умовах контактної-динамічного навантаження // Проблеми тертя та зношування. – 2021. – № 2(91). – С.46-52.

Надійшла до редакції 12.03.2024

## HYDROABRASIVE WEAR OF COMPOSITIONS BASED ON VARIOUS POLYMER MATRICES

O.Yu. Poloz<sup>a,\*</sup>, S.M. Kushchenko<sup>b</sup>, S.G. Lipitsky<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

<sup>b</sup> LTD «New Technologies», Dnipro, Ukraine

\* e-mail: ua.apolo@gmail.com

Progress in protecting the equipment of mining and beneficiation enterprises, hydrotechnical structures from hydroabrasive wear is associated with the use and analysis of wear-resistant materials based on various polymer matrices: epoxy resins, polyurethanes, polyureas, and elastomers. The purpose of this study is a test and operational comparative assessment of hydroabrasive wear of up-to-date wear-resistant materials of domestic and foreign production under the action of the flow of solid particles of transported materials in the pulp. The dependence of hydroabrasive wear of wear-resistant materials on their polymer base was established, and it was shown that, taking into account the functionality of the application, the amount of wear during test trials and the performance of the finished products (sand nozzles of the HCC-710 hydrocyclone at the second stage of iron ore classification at the PJSC «Northern Mining and Processing Plant» (Kryvyi Rih)), epoxy composites are preferred. The influence of dispersion, hardness and shape features of hydroabrasive pulp particles on the wear of the best epoxy composites were clarified. It was shown that wear of epoxy composites obeys a linear time dependences in the initial stage of action of the pulp of different composition. A comparative evaluation hydroabrasive wear of the developed epoxy composite with multidisperse silicon carbide was carried out with the best foreign analogues (Belzona 1811, Great Britain, and Loctite 7219, Germany), and it was established that the developed composite is not inferior to them in this respect, being an order of magnitude lower cost.

**Keywords:** wear-resistant polymer materials; hydroabrasive wear; operational tests; properties of polymer matrices.

### REFERENCES

1. Poloz AYu, Lipitsky SG, Kushchenko SN. Vybory parametrov dlya sravnitel'noi otsenki iznosostoikosti epoksidnykh kompozitsionnykh materialov [The choice of parameters for the comparative evaluation of wear resistance of the epoxy composite materials]. *Technology Audit and Production Reserves*. 2016; 5/3(31): 26-31. (in Russian). doi: 10.15587/2312-8372.2016.81253.
2. Goryaeva YuE, Semenets OA, Anisimov VM. Porivnyal'ni doslidzhennya pratsездatnosti materialiv pry znoshuvanni v pototsi abrazyvnykh chastok [Comparative studies of the workability of materials during wear in the flow of abrasive particles]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2003; (6): 128-131. (in Ukrainian).
3. Xu L, Zhang K, Liu Y. Hydraulic abrasion-resistant elastic epoxy resin materials. *Adv Mater Sci Eng*. 2019; 2019: 9358139. doi: 10.1155/2019/9358139.
4. Shu-fang M, Wen-shi F, Jing-wei LI. Study and application of «sea island structure» epoxy resin «alloy» materials resistant to erosion and abrasion. *Construct Technol*. 2005; 34(4): 36-39.

5. Wu T, Liu Y, Li N, Huang GW, Qu CB, Xiao HM. Cryogenic mechanical properties of epoxy resin toughened by hydroxyl-terminated polyurethane. *Polym Test*. 2019; 74: 45-56. doi: 10.1016/j.polymertesting.2018.11.048.

6. Vakhrushev AV, Haghi AK. *Composite materials engineering: modeling and technology*. Apple Academic Press; 2019. 236 p. doi: 10.1201/9780429242762.

7. Stukhlyak PD. *Epoksidnyye kompozity dlya zashchitnykh pokrytiy* [Epoxy composites for protective coatings]. Ternopil: Zbruch; 1994. 177 p. (in Russian).

8. Williams RJJ, Pascault JP. *Epoxy polymers: new materials and innovations*. Wiley; 2009. 387 p.

9. Poloz OYu, Ebich YuR. Povedinka znosostiyykh epoksidnykh kompozitsii v umovakh kontaktno-dynamichnoho navantazhennya [Behavior of wear-resistant epoxy compositions in conditions of contact-dynamic loading]. *Problems of Friction and Wear*. 2021; 2(91): 46-52. (in Ukrainian). doi: 10.18372/0370-2197.2(91).15528.