

УДК 543.632.542: 667.638: 667.637.222

О.Ю. Полоз, С.Г. Липицький, С.М. Кущенко, О.А. Семенець, Ю.Р. Ебїч

ГАЗОАБРАЗИВНЕ ЗНОШУВАННЯ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТИВ

ТОВ «Нові технології», м. Дніпропетровськ

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ

Досліджено вплив типу наповнювача та його концентрації на зносостійкість епоксидних композицій на основі смоли ЕД-20 при газоабразивному зношуванні і показано доцільність використання карбіду кремнію як наповнювача.

Вступ

Довговічність деталей і вузлів устаткування, пов'язаного з перероблення і транспортуванням абразивних матеріалів на гірничозбагачувальних підприємствах, кольоровій і чорній металургії, промисловості будівельних матеріалів і низки інших галузей, визначається, в першу чергу, зносостійкістю їх робочих поверхонь [1–4]. Аналіз досвіду експлуатації показує, що термін працездатності великої групи деталей машин в цих умовах дуже малий і складає навіть одну або декілька робочих змін (наприклад, лопатки дробометів, робочі колеса ґрунтових насосів та ін.).

Жорсткість режимів експлуатації машин, що обумовлена тенденцією до підвищення їх продуктивності, а отже, навантажень, швидкостей, температур та інших параметрів, потребує збільшення зносостійкості деталей і вузлів. Подальше розширення номенклатури деталей машин з композиційних матеріалів і вихід на новий, більш високий рівень їх зносостійкості вимагає різнобічних теоретичних і експериментальних досліджень зношування композиційних матеріалів в умовах контактнo-динамічного навантаження. Це пов'язано з тим, що у більшості публікацій розглядається зношування композиційних матеріалів для випадку тертя ковзання [1]. Зношування при ударі частинок по поверхні має свої особливості, принципово змінюючи характер контактнo-фрикційної взаємодії, за-

кономірності та механізм зношування.

На рис. 1 надані характерні об'єкти зношування деталей машин під дією часток абразивних матеріалів [2].



Рис. 1. Характерні об'єкти зношування в умовах контактнo-динамічного навантаження [2]

Зносостійкі деталі машин і механізмів окрім традиційних зносостійких сталей і чавуну виготовляють також з різноманітних полімерних матеріалів.

На рис. 2 наведена роботоздатність піскових насадок гідроциклонів на основі різних матеріалів на гірничо-збагачувальних комбінатах Дніпропетровської області.

Як видно, з доступності матеріалів і їх вар-

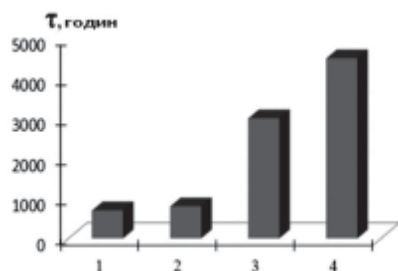


Рис. 2. Роботоздатність піскових насадок гідроциклонів на основі різних матеріалів: 1 – поліуретан; 2 – склонаповнений епісикомпозит; 3 – епісидний керамокомпозит з карбідом кремнію; 4 – самозв'язаний карбід кремнію

тості доцільно використовувати епоксидні композити, які найширше застосовуються для виготовлення і ремонту зношених деталей у світовій практиці. При цьому використовують заливні (менш в'язкі) і формовочні – високов'язкі, тиксотропні епоксидні композиції, що обумовлено їх високою адгезійною здатністю і хімічною стійкістю, а також зносостійкістю.

Одним з основних способів підвищення зносостійкості при одночасному зниженні вартості епоксидних композитів є введення в епоксидну матрицю різних за хімічною природою дисперсних і волокнистих наповнювачів [5]. При цьому важливою є можливість отвердження епоксидних ком-

Таблиця 1

Зносостійкість епоксидних композитів на основі смоли ЕД-20 з наповнювачами різної природи (20 мас.ч.) при газообразивному зношуванні під різними кутами атаки абразиву

Наповнювач	Щільність композиту, г/см ³	Кут атаки абразиву, градуси	Зношування		Інтенсивність зношування, см ³ /кг	Відносна зносостійкість (відносно сталі Ст. 3)
			г	см ³		
Без наповнювача	1,355	15	0,0104	0,0077	7,84	0,2372
		30	0,0235	0,0174	16,53	0,1316
		45	0,0265	0,0195	18,65	0,1488
		60	0,0175	0,0129	13,17	0,1757
		90	0,0106	0,0078	8,57	0,2344
Карбід кремнію F-1000	1,488	15	0,1038	0,0698	59,23	0,0261
		30	0,1197	0,0804	63,33	0,0284
		45	0,1237	0,0831	63,91	0,0350
		60	0,1149	0,0772	57,76	0,0294
		90	0,1097	0,0737	64,21	0,0249
Кварц мелений	1,428	15	0,1009	0,0707	47,29	0,0258
		30	0,1145	0,0802	49,38	0,0285
		45	0,1209	0,0846	49,00	0,0344
		60	0,1132	0,0793	52,12	0,0286
		90	0,1034	0,0724	45,67	0,0253
Оксид хрому	1,500	15	0,1028	0,0686	55,41	0,0266
		30	0,1185	0,0790	54,95	0,0289
		45	0,1236	0,0824	77,27	0,0353
		60	0,1147	0,0765	68,71	0,0297
		90	0,1051	0,0700	49,97	0,0262
Діоксид титану	1,448	15	0,1031	0,0712	44,26	0,0256
		30	0,1138	0,0786	50,19	0,0290
		45	0,1188	0,0721	53,58	0,0355
		60	0,1129	0,0780	51,66	0,0291
		90	0,1013	0,0700	49,45	0,0262
Нітрид бору (аморфний)	1,392	15	0,0242	0,0173	16,87	0,1047
		30	0,0397	0,0285	26,51	0,0800
		45	0,0464	0,0333	34,84	0,0873
		60	0,0487	0,0350	34,21	0,0649
		90	0,0261	0,0188	19,77	0,0978
Технічний вуглець N 330	1,340	15	0,0118	0,0088	6,06	0,2067
		30	0,0223	0,0166	12,74	0,1371
		45	0,0223	0,0167	13,01	0,1749
		60	0,0194	0,0145	11,78	0,1567
		90	0,0140	0,0104	10,08	0,1755
Алюмосилікат	1,317	15	0,0098	0,0075	7,02	0,2447
		30	0,0253	0,0192	15,50	0,1188
		45	0,0316	0,0240	20,00	0,1213
		60	0,0259	0,0197	15,53	0,1154
		90	0,0110	0,0083	6,79	0,2195

позицій, наприклад, аліфатичними амінами за енергозберігаючою технологією — тобто при звичайній температурі впродовж 12–24 годин, що і було використано в роботі.

Експериментальна частина

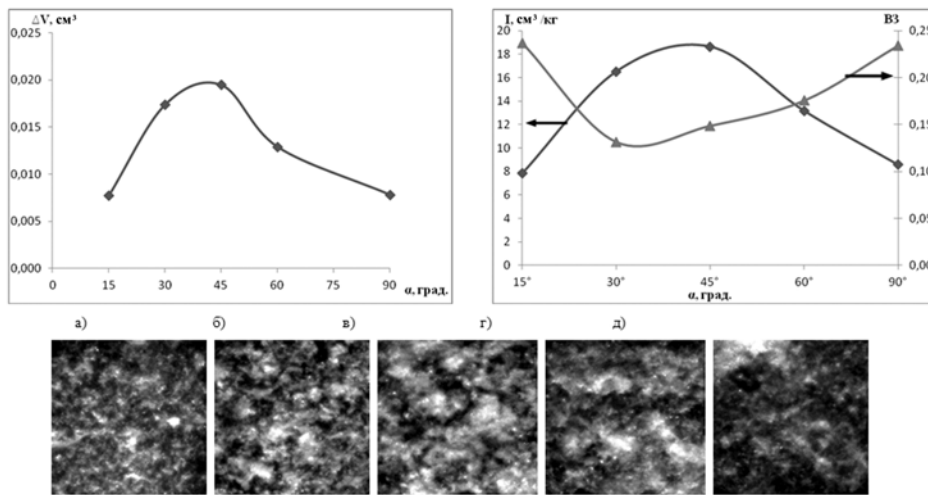
Зносостійкість епоксидних композитів оцінювали в умовах жорсткого газоабразивного зношування потоком піску з розміром часток 0,5–0,9 мм при швидкості 76 м/с згідно ГОСТ 23.201-78 на центробіжному прискорювачі твердих часток під різними кутами атаки абразиву: 15°, 30°, 45°, 60° і 90°. Згідно загальноприйнятої класифікації видів зношування [3] такі умови випробувань належать до високошвидкісного контактної-динамічного навантаження (швидкість потоку частинок >60 м/с).

Для визначення впливу типу наповнювача використовували модельні епоксидні композити, наповнені 20 мас.ч. дисперсних наповнювачів різної

природи і твердості часток за шкалою Мооса [4]: нітрид бору, карбід кремнію, кварц мелений, оксид хрому, діоксид титану, гіпс, активний технічний вуглець N 330. У якості зв'язувача використовували епоксидну композицію на основі найбільш поширеної смоли ЕД-20, у якості отверджувача — поліетиленполіамін (ПЕПА). Зразки готували шляхом змішування компонентів з наступним їх отвердженням при температурі 20°C впродовж 24 год. Для покращення фізико-механічних властивостей та зносостійкості зразки додатково термообробляли за режимом: 100°C×3 год.

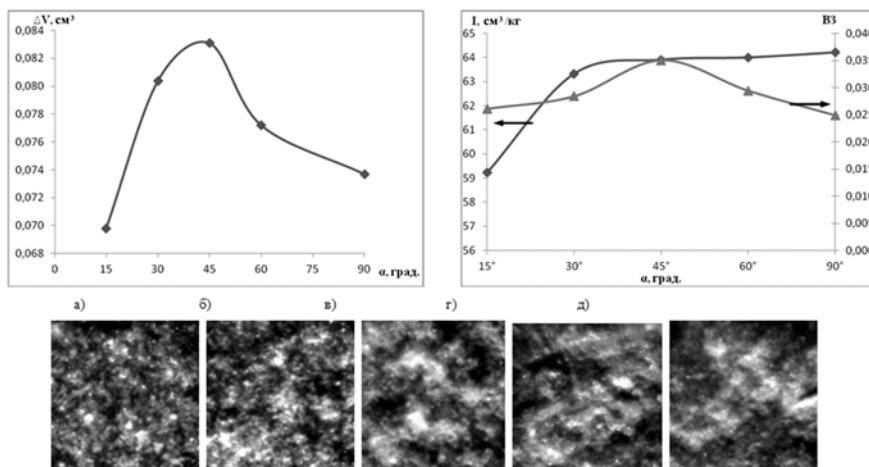
Результати та їх обговорення

Встановлено, що незалежно від типу наповнювача максимальний знос епоксидних композитів спостерігається при кутах атаки 45°–60° (табл. 1). Але при цьому величина зносу і характер зношеної поверхні, визначений мікроскопічним методом при збільшенні в 100 разів, істотно



Кут атаки: а – 15°; б – 30°; в – 45°; г – 60° д – 90°

Рис. 3. Вплив кута атаки абразиву (а) на величину зносу (ΔV), інтенсивність зношування (I), відносну зносостійкість (BЗ) та структуру (а–д; ×100) зношеного поверхнього шару ненаповненого епоксидного композиту на основі ЕД-20



Кут атаки: а – 15°; б – 30°; в – 45°; г – 60° д – 90°

Рис. 4. Вплив кута атаки абразиву (а) на величину зносу (ΔV), інтенсивність зношування (I), відносну зносостійкість (BЗ) та структуру (а–д; ×100) зношеного поверхнього шару епоксидного композиту на основі ЕД-20 з наповнювачем карбід кремнію F-1000 (20 мас.ч.)

Вплив наповнювачів (20 мас. ч.) різної природи на фізико-механічні властивості епоксидних композитів на основі смоли ЕД-20

Наповнювач	Міцність при розтягуванні, МПа	Міцність при вигині, МПа	Міцність при стисненні, МПа	Ударна в'язкість, кДж/м ²
Без наповнювача на основі ЕД-20	22,30	106,1	148,1	14,3
Карбід кремнію F-1000	19,77	47,5	121,0	5,6
Кварц мелений	22,19	58,5	123,9	5,2
Оксид хрому	14,57	51,6	115,1	6,4
Діоксид титану	14,41	49,4	83,1	5,8
Нітрид бору (аморфний)	15,71	46,2	95,8	4,1
Технічний вуглець N 330	6,71	16,6	80,8	2,1
Алюмосилікат	26,59	48,2	112,0	3,4

Зносостійкість високонаповнених карбідом кремнію F-1000 епоксидних композитів на основі смоли ЕД-20 при газообразивному зношуванні під різними кутами атаки абразиву

Наповнювач, мас.ч.	Щільність композиту, г/см ³	Кут атаки абразиву, градуси	Зношування		Інтенсивність зношування, см ³ /кг	Відносна зносостійкість (відносно сталі Ст. 3)
			г	см ³		
20	1,488	15	0,1038	0,0698	59,23	0,0261
		30	0,1197	0,0804	63,33	0,0284
		45	0,1237	0,0831	63,91	0,0350
		60	0,1149	0,0772	57,76	0,0294
		90	0,1097	0,0737	64,21	0,0249
40	1,594	15	0,0137	0,0086	5,91	0,2118
		30	0,0250	0,0157	10,83	0,1455
		45	0,0292	0,0183	14,03	0,1589
		60	0,0281	0,0176	12,49	0,1287
		90	0,0163	0,0102	6,75	0,1793
60	1,673	15	0,0135	0,0081	6,06	0,2256
		30	0,0209	0,0125	9,99	0,1827
		45	0,0252	0,0151	12,31	0,1932
		60	0,0243	0,0145	11,51	0,1562
		90	0,0124	0,0074	5,73	0,2474
100	1,803	15	0,0156	0,0087	5,74	0,2104
		30	0,0333	0,0185	11,36	0,1235
		45	0,0476	0,0264	12,62	0,1102
		60	0,0443	0,0246	14,71	0,0924
		90	0,0280	0,0155	11,06	0,1181
200	2,082	15	0,0178	0,0085	4,49	0,2129
		30	0,0361	0,0174	8,51	0,1316
		45	0,0607	0,0292	12,72	0,0998
		60	0,0612	0,0294	16,48	0,0772
		90	0,0464	0,0223	13,16	0,0823
300	2,385	15	0,0443	0,0186	8,53	0,0980
		30	0,0739	0,0310	15,07	0,0737
		45	0,1070	0,0449	21,03	0,0649
		60	0,1266	0,0531	25,68	0,0428
		90	0,1316	0,0552	30,06	0,0332

відрізняються (рис. 3–4). Причому для ненаповненого епоксидного композиту характерний менший знос, більш однорідніший пластичний характер руйнування в порівнянні з крихким руйнуванням для наповнених композитів з яскраво вираженим механізмом руйнування — викрошуванням за рахунок тріщиноутворення.

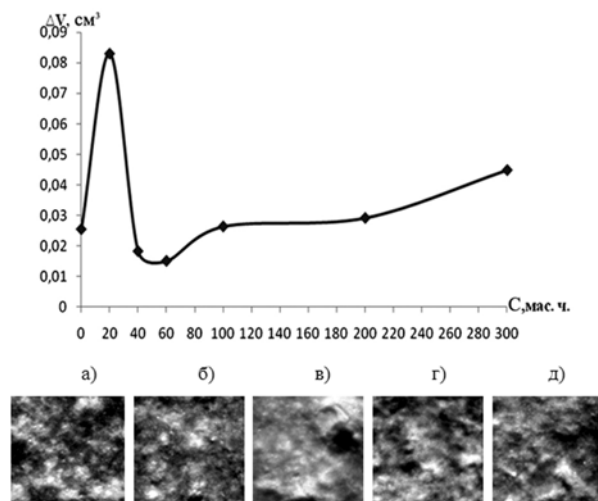
При додаванні наповнювачів в порівняно невеликій відомій кількості (10–20 мас.ч.) [5–14]

епоксидні композиції стають більш в'язкими, що характерно для литевих композицій. Природа вивчених наповнювачів (20 мас.ч.) суттєво не впливає як на технологічні властивості — початкову в'язкість композицій та температуру екзотермічної реакції їх отвердження, так і на зносостійкість. Слід відзначити, що зміною концентрації та природи наповнювачів можна здобувати епоксидні композиції для різних цілей: від менш в'язких —

для рівняння дефектів у заливках, до більш в'язких — для формовочних композитів. Так, введення технічного вуглецю N 330, який має порівняно з іншими дослідженими наповнювачами більш розвинуту питому поверхню, призводить до значного підвищення в'язкості композицій.

Для зменшення собівартості епоксидних композицій без суттєвої зміни їх зносостійкості, а в деяких випадках для її збільшення, в епоксидні композити вводять наповнювачі у підвищеній кількості [15]. З урахуванням відомих даних [5–7], зносостійкості, вартості, а також основних фізико-механічних характеристик епоксидного композиту: ударної в'язкості, міцності при розтязі, вигині та стисненні (табл. 2) наступні дослідження виконували з високодисперсним карбідом кремнію F-1000 (5–7 мкм), що має одну з найбільш високих твердість за шкалою Моса, у підвищених концентраціях (до 300 мас. ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли ЕД-20). Результати випробувань наведено у табл. 3.

На рис. 5 наведена залежність зносу епоксидних композитів від кількості введенного карбиду кремнію при куті атаки абразиву 45° , тобто при якому спостерігається максимальний знос. Наведені дані свідчать, що при введенні підвищених кількостей карбиду кремнію відбувається більш однорідний знос поверхні композитів та істотно підвищується їх зносостійкість; максимальний знос композитів відбувається при куті атаки абразиву 90° .



а — 40; б — 60; в — 100; г — 200; д — 300

Рис. 5. Вплив кількості (С) карбиду кремнію F-1000 на величину зносу (ΔV) та структуру (а–д; $\times 100$) зношеного поверхневого шару епоксидного композиту при дії абразиву під кутом атаки 45°

Висновки

Встановлено вплив наповнювачів різної природи на зносостійкість та фізико-механічні харак-

теристики епоксидних композитів на основі промислової смоли ЕД-20 і показано доцільність використання в них карбиду кремнію.

З'ясовано вплив кута атаки абразиву при газоабразивному зношуванні епоксидних композитів на їх зносостійкість і виявлено, що максимальне зношування малонаповнених композитів відбувається при кутах атаки абразиву 45° – 60° , високонаповнених (300 мас.ч.) — при 90° , що необхідно враховувати при їх експлуатації.

Методом оптичної мікроскопії досліджено рельєф зношеної поверхні епоксидних композитів, який корелює з результатами їх зношування при різних кутах атаки абразиву.

Проведено порівняльну оцінку експлуатаційної витривалості піскових насадок гідроциклонів на основі різних матеріалів на гірничо-збагачувальних комбінатах Дніпропетровської області і рекомендовано використовувати для цих цілей епоксидні композити з карбідом кремнію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пенкин Н.С., Капралов Е.П. Повышение износостойкости горно-обогатительного оборудования. — М.: Недра, 1992. — 265 с.
2. Копченков В.Г. Трение и изнашивание эластомеров в условиях контактно-динамического нагружения: Дис... докт. техн. наук: 05.02.04. — Ставрополь, 2004. — 427 с.
3. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. — М.: Наука, 1970. — 270 с.
4. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. — К.: Техніка, 1989. — 128 с.
5. Ягер М. Абразивный износ — неразрешимая проблема? // Композитный мир. — 2010. — № 29. — С.6-15.
6. Durand J. M., Vardavoulis M, Jeandin M. Role of reinforcing ceramic particle in the wear behaviour of polymer-based model composites // Wear. —1995. — № 181–183. — P.833–839.
7. Axen N., Jacobson S. A model for the abrasive wear resistance of multiphase materials // Wear. — 1994. — № 174. — P.187–189.
8. Пат. 20070155885 США, МПК⁷ С 08 К 3/22. Wear resistant polymers / Bell D., Casey P., Gozukara Y., Hill A., Mardel J., Markley T., Meakin P., Oh C.H., Turney T. (Японія). — № 2007/0155885; Заявл. 10.10.2003; Оpubл. 07.05.2007. — 13 с.
9. Пат. 4944913 США, МПК⁴ В 22 F 3/00. Abrasive and wear resistant material / Stephen A., Dyer H.B., Dodsworth J. (США). — № 07/449472; Заявл. 12.11.1989; Оpubл. 07.31.1990. — 4 с.
10. Пат. 5633086 США, МПК⁵ В 32 В 5/16. Friction and wear resistant coating for titanium and its alloys / Hsu S.M., Gu J. (Японія). — № 08/455212; Заявл. 05.31.1995; Оpubл. 05.27.1997. — 6 с.
11. Пат. 5362557 США, МПК⁵ В 32 В 3/00. Wear resistant decorative laminates comprising mineral particles and

- methods for producing same / Albrinck D.J., Mascavage J.J. (США). — № 07/967917; Заявл. 10.28.1992; Опубл. 11.08.1994. — 7 с.
12. Пат. 20030045412 США, МПК⁷ В 29 С 33/40, В 21 D 53/00, В 29 С 59/00. Laser engraved embossing roll with wear-resistant coatings and method of making them / Schulz G.A., Buchholz W.T., Rasmussen J. (США). — № 2003/0045412; Заявл. 07.03.2002; Опубл. 03.06.2003. — 11 с.
13. Пат. 20070225178 США, МПК⁷ F 16 С 33/20, F 16 С 33/04. Wear resistant lubricious composite / Sawyer W.G., Boesl B.P., Mccook N.L., Burris D.L. (США). — № 2007/0225178; Заявл. 03.21.2006; Опубл. 09.27.2007. — 14 с.
14. Пат. 7910527 США, МПК⁷ С 10 М 177/00, С 10 М 125/10, F 16 С 33/20. Wear resistant lubricious composite / Sawyer W.G., Boesl B.P., Mccook N.L., Burris D.L. (США). — № 11/385062; Заявл. 03.21.2006; Опубл. 03.22.2011. — 12 с.
15. Добротвор І.Г., Стухляк П.Д., Букетов А.В. Модель для визначення оптимального вмісту дисперсного наповнювача // Вісник Житомирського держ. технол. ун-ту. Сер. Технічні науки. — 2009. — № 1 (48). — С.48-57.

Надійшла до редакції 6.12.2011