

УДК 002.3:621.89

© Ю. Ю. Віцюк, к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА АНТИФРИКЦІЙНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ
ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ**

Проведено дослідження закономірностей формування структури та комплексу властивостей нових композиційних антифрикційних матеріалів на основі міді для роботи у високошвидкісних вузлах тертя. Нові підшипникові матеріали за триботехнічними характеристиками перевершують литі аналоги і можуть працювати в режимі самозмащення при високих швидкостях ковзання і підвищених навантаженнях.

Ключові слова: композиційний підшипник; мідь; тверде мастило; структура; властивості; швидкість ковзання; навантаження.

Постановка проблеми

Підшипники ковзання відцентрового устаткування в процесі експлуатації піддаються одночасному впливу навантажень P — до 7,0 МПа і високих швидкостей ковзання V — до 70 м/с, що відповідає швидкостям обертання 10000–12800 об./хв. Зазначені режими роботи призводять до нагрівання мастила і робочих поверхонь підшипників до 140–160° С.

Найбільш широко відомими [1, 2] підшипниковими матеріалами, що мають високу несучу здатність ($P \times V$), є бабіти Б83, Б88, БК, що зумовило їх застосування у високошвидкісних вузлах тертя.

Проте, незважаючи на високі антифрикційні властивості, бабіти не здатні забезпечити стабільну роботу вузла тертя при таких екстремальних режимах навантаження — відбувається зменшення несучої

здатності, зниження механічних властивостей, пластичні деформації і підплавлення бабіту [3–5].

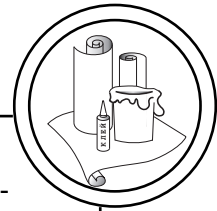
Дані обставини стали підставою для проведення досліджень з розробки нових матеріалів, здатних забезпечити необхідний рівень механічної міцності в поєднанні з високою несучою здатністю і високим рівнем зносостійкості.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження впливу технології виготовлення на формування структури і комплексу властивостей нових композиційних підшипникових матеріалів на основі міді, призначених для високошвидкісних вузлів тертя.

Результати проведених досліджень

Композиційні антифрикційні матеріали мають суттєві переваги порівняно з литими, а саме:



можливість точного регулювання антифрикційних властивостей за рахунок введення різного роду присадок як взаємодіючих, так і не взаємодіючих з металом основи, велику економію металів через майже повну відсутність втрат у стружку, економію енерговитрат і, нарешті, зведення до мінімуму забруднення навколишнього середовища [6, 7].

Тому для отримання можливості забезпечення необхідного рівня антифрикційності підшипників найбільш доцільним є вибір матеріалів, отриманих із застосуванням технології порошкової металургії.

Проведений комплекс аналітичних досліджень показав [8–11], що найбільш доцільними підшипниковими матеріалами для таких умов експлуатації є композиційні матеріали на основі міді, що мають у своєму складі тверде мастило (графіт або фторид кальцію). Нові композиційні матеріали виготовлялися методами порошкової металургії.

У процесі виконання досліджень були відпрацьовані технологічні режими виготовлення нових антифрикційних композиційних матеріалів, які включали в себе змішування порошків вихідних компонентів, пресування при тисках $P = 400\text{--}500$ МПа, спікання при температурах $820\text{--}870^\circ\text{C}$, 2 год. у середовищі водню, повторне пресування при $P = 840$ МПа та відпал при $t = 450^\circ\text{C}$.

Дослідження структури проводили з використанням металографічного мікроскопа відбитого світла «Neophot-32», три-

ботехнічні випробування виконували на машині тертя ВМТ-1 при різних швидкостях і навантаженнях на пару тертя в парі з контртілом зі сталі 20Х на повітрі.

В результаті виготовлення за відпрацьованою технологією сформована структура антифрикційних матеріалів на основі міді забезпечила високий рівень фізико-механічних і триботехнічних властивостей при відповідних режимах роботи (табл.).

Для триботехнічних випробувань використовували машину тертя ВМТ-1, що має можливість створювати високі питомі навантаження на пару тертя, проте має обмеження за швидкостями ковзання [10].

Тому при дослідженнях виходили з практики дотримання рівності несучої здатності ($P \times V$) при різних P і V :

— за реальних умов роботи:
 $P \times V = 3,5 \text{ МПа} \times 70,5 \text{ м/с} = 246,75 \text{ (МПа} \times \text{м/с)}$.

— за умовами випробувань:
 $P \times V = 385 \text{ кгс/см}^2 \times 6,4 \text{ м/с} = 246,4 \text{ (МПа} \times \text{м/с)}$.

Таким чином, для збереження рівності $P \times V$ при зменшенні швидкості ковзання (V) збільшували навантаження (P).

Умови випробувань:

— швидкість ковзання, V — $6,4$ м/с;

— питоме навантаження, P — $18,0$ та $38,5$ МПа;

— контртіло — сталь 20Х (HRC_э = $51\text{--}55$);

— шлях тертя — 1 км;

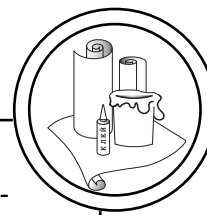
— схема сполучення: вал—пальчиковий зразок;

— тертя з мастилом — масло індустриальне И-20.



Властивості композиційних підшипникових матеріалів для гранично важких умов роботи

№	Склад, мас. %	Твердість, НВ, МПа	Межа міцності при вигині, $\sigma_{\text{н}}$, МПа	Теплопровідність, λ , Вт/(м·град)	Питоме навантаження, Р, МПа	Коеф. тертя, f	Знос, мкм/км	t° зразка, $^{\circ}\text{C}$	Примітки
1	ДН5КФ9 (Cu+5Ni+9CaF ₂)	519–625	180–240	56	18	0,16	30	130	
					38,5	0,18–0,2	46	280	Тертя без змащування
2	ДГр10 (Cu+10C)	296	190–200	110	18,0	0,034	5	43	
					38,5	0,051	15,4	80	
3	Бабіт Б83	300	210	46,5	18,0	0,028	7	51	
					38,5	пластична деформація	164		



Аналіз результатів досліджень показує, що нові композиційні антифрикційні матеріали (табл.) за фізико-механічними властивостями не поступаються властивостям литого бабіту Б83, а за величиною теплопровідності — перевершують його, що забезпечує низьку температуру зразка при високих ($P \times V$).

Триботехнічні властивості нових композиційних матеріалів ДГр10 і ДН5КФ9 в гранично важких умовах роботи значно перевершують литий бабіт Б83.

Причому матеріал ДН5КФ9 також демонструє високі антифрикційні властивості при випробуваннях без мастила. Високі навантаження на пару тертя призводять до підвищення температури в робочій зоні (до 300°C), що є сприятливим для роботи матеріалів, які містять у своєму складі високотемпературне тверде мастило — CaF_2 [10].

Матеріал на основі міді, який містить у своєму складі графіт

— ДГр10, має найкращі антифрикційні характеристики при роботі з мастилом в даних умовах навантаження, і, маючи високу теплопровідність, забезпечує низьку температуру робочої поверхні за рахунок інтенсивного відводу тепла із зони тертя. Наявність графіту забезпечує перенесення матеріалу твердого змащення на робочу поверхню контртіла, про що свідчить утворення розділових антизадирних плівок. Це може забезпечити безперебійну роботу вузла тертя при раптовому припиненні подачі мастила або інших аварійних ситуаціях.

Загальний вигляд робочих поверхонь після трибовипробувань матеріалу ДГр10 і контртіла зі сталі 20Х представлений на рис. 1.

Результати триботехнічних випробувань (рис. 1, а, б) демонструють наявність гладких, рівних і однорідних поверхонь тертя (як на робочій поверхні зразка з матеріалу ДГр10, так і контртіла), відсутні сліди

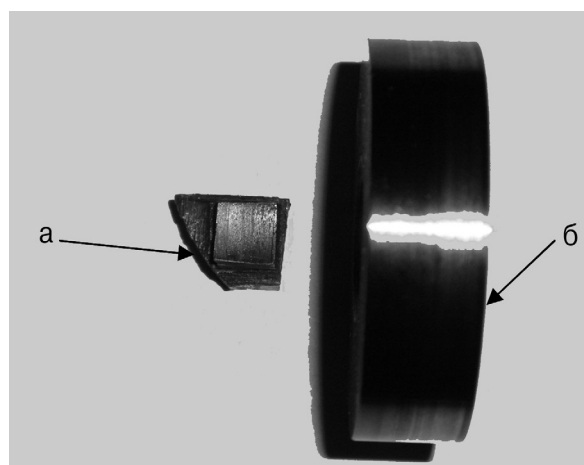


Рис. 1. Поверхні тертя після трибовипробувань: а — матеріал композиційного підшипника ДГр10; б — контртіло зі сталі 20Х



Рис. 2. Мікроструктура композиційного матеріалу Cu + 10 %C, $\times 650$

заїдань, захоплення, глибинних вириків і підпалення.

Металографічна структура матеріалу складу 1 являє собою легований нікелем твердий розчин на основі міді з рівномірно розподіленими частинками CaF_2 в металевій матриці [8].

З огляду на те, що графіт не взаємодіє з міддю, структура композиційного матеріалу складу 2 являє собою мідну матрицю з рівномірно розташованими в ній частинками графіту, що показано на рис. 2.

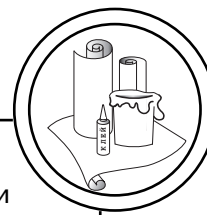
Зазначена металографічна структура обох композиційних матеріалів у поєднанні з присутнім твердим мастилом (CaF_2 або C) забезпечує формування

сплавів з гетерогенною структурою, що є важливою обставиною для матеріалів антифрикційного призначення [2, 3].

Поверхні тертя після трибовипробувань покриті щільною роздільною плівкою (так звані вторинні структури), які за даних умов роботи забезпечують стабільну роботу вузла тертя, мінімізують коефіцієнт тертя і знос, як нового матеріалу, так і працюючого в парі з ним контртіла.

Висновки

При виконанні досліджень були розроблені нові технологічні режими виготовлення підшипників ковзання на основі



міді для високих швидкостей тертя, які забезпечують підвищення комплексу властивостей і сприяють підвищенню довговічності вузлів тертя, що працюють при високих швидкостях ковзання.

Наявність фториду кальцію або графіту забезпечує перенесення твердої змазки на робочу поверхню контртіла, про що свідчить утворення розділових антизадирих плівок (вторинних

структур). Це може забезпечити безперебійну роботу вузла тертя при раптовому припиненні подачі мастила або інших аварійних ситуаціях.

Результати виконаних робіт дозволяють рекомендувати порошкові матеріали ДН5КФ9 і ДГр10 для виготовлення підшипників ковзання відцентрового устаткування як альтернативи застосовуваним бабітовим сплавам.

Список використаної літератури

1. Роїк Т. А. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації : Монографія [Текст] / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш. — К. : НТУУ «КПІ», 2007. — 404 с.
2. Федорченко И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы : Монографія [Текст] / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина. — К. : Наукова думка, 1980. — 404 с.
3. Киричок П. О. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин : Монографія [Текст] / П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, А. В. Шевчук, Ю. Ю. Віцюк. — К. : НТУУ «КПІ», 2015. — 428 с.
4. Роїк Т. А. Антифрикційні матеріали для вузлів тертя високошвидкісного поліграфічного обладнання [Текст] / Т. А. Роїк, П. О. Киричок, А. П. Гавриш, О. А. Гавриш // Технологія і техніка друкарства. — 2007. — № 1–2. — С. 65–73.
5. Roik T. Physical Mechanical And Tribotechnical Properties Of New Composite Bearings For Printing Equipment [Text] / T. Roik, A. Gavrish, P. Kyrychok, Yu. Vitsuk, M. Askerov // Journal of Science of the Gen. Tadeusz Kościuszko Military Academy of Land Forces, Wrocław, Poland. 2014. — № 2(172). — P. 141–149.
6. Віцюк Ю. Ю. Підвищення працездатності вузлів тертя поліграфічних машин [Текст] / Ю. Ю. Віцюк, Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, О. О. Мельник // Технологія і техніка друкарства. — 2010. — № 2 (28). — С. 4–9.
7. Роик Т. А. Композиционные материалы для высокотемпературных узлов трения [Текст] / Т. А. Роик, Ю. Ю. Вицюк // Наукові нотатки. — Вип. 24. — 2009. — С. 474–479.
8. Konopka K. Effect of CaF₂ surface layers on the friction behavior of copper-based composite [Текст] / K. Konopka, T. A. Roik, A. P. Gavrish, Yu. Yu. Vitsuk, T. Mazan // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. — New York : Volume 51, Number 5–6, 2012. — P. 363–367.
9. Роїк Т. А. Забезпечення надійності та довговічності роботи вузлів тертя поліграфічних машин [Текст] / Т. А. Роїк, А. П. Гавриш, О. О. Мельник, Ю. Ю. Віцюк // Металознавство та обробка металів. — 2011. — № 2. — С. 24–26.
10. Зозуля В. Д. Смазки для спечених самосмазуючихся підшипників : Монографія [Текст] / В. Д. Зозуля. — К. : Наукова думка, 1976. — 191 с.



11. Зозуля В. Д. Особенности высокотемпературной трибологии порошковых материалов [Текст] / В. Д. Зозуля, Т. А. Роик, В.Т. Варченко // Порошковая металлургия. — 1988. — № 4. — С. 101–104.

References

1. Roik T. A. Kompozytsiini pidshytnykovi materialy dlia pidvyshchennykh umov ekspluatatsii : Monohrafiia [Tekst] / T. A. Roik, P. O. Kyrychok, A. P. Havrysh. — K. : NTUU «KPI», 2007. — 404 s.

2. Fedorchenko I. M. Kompozicionnye spechennye antifrikcionnye materialy : Monografija [Tekst] / I. M. Fedorchenko, L. I. Pugina. — K. : Naukova dumka, 1980. — 404 s.

3. Kyrychok P. O. Novitni kompozytsiini materialy detalei tertia polihrafichnykh mashyn : Monohrafiia [Tekst] / P. O. Kyrychok, T. A. Roik, A. P. Havrysh, A. V. Shevchuk, Iu. Iu. Vitsiuk. — K. : NTUU «KPI», 2015. — 428 s.

4. Roik T. A. Antyfyktsiini materialy dlia vuzliv tertia vysokoshvydkisnoho polihrafichnoho obladnannia [Tekst] / T. A. Roik, P. O. Kyrychok, A. P. Havrysh, O. A. Havrysh // Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva. — 2007. — № 1–2. — S. 65–73.

5. Roik T. Physical Mechanical And Tribotechnical Properties Of New Composite Bearings For Printing Equipment [Text] / T. Roik, A. Gavrish, P. Kyrychok, Yu. Vitsuk, M. Askerov // Journal of Science of the Gen. Tadeusz Kościuszko Military Academy of Land Forces, Wroclaw, Poland. 2014. — № 2(172). — P. 141–149.

6. Vitsiuk Iu. Iu. Pidvyshchennia pratsezdatsnosti vuzliv tertia polihrafichnykh mashyn [Tekst] / Iu. Iu. Vitsiuk, T. A. Roik, A. P. Havrysh, O. O. Melnyk // Tekhnolohiia i tekhnika drukarstva. — 2010. — № 2 (28). — S. 4–9.

7. Roik T. A. Kompozicionnye materialy dlja vysokotemperaturnykh uzlov trenija [Tekst] / T. A. Roik, Ju. Ju. Vicjuk // Naukovi notatki. — Vip. 24. — 2009. — S. 474–479.

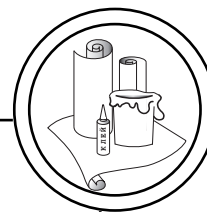
8. Konopka K. Effect of CaF₂ surface layers on the friction behavior of copper-based composite [Текст] / K. Konopka, T. A. Roik, A. P. Gavrish, Yu. Yu. Vitsuk, T. Mazan // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. — New York : Volume 51, Number 5–6, 2012. — P. 363–367.

9. Roik T. A. Zabezpechennia nadiinosti ta dohovichnosti roboty vuzliv tertia polihrafichnykh mashyn [Tekst] / T. A. Roik, A. P. Havrysh, O. O. Melnyk, Iu. Iu. Vitsiuk // Metaloznavstvo ta obrobka metaliv. — 2011. — № 2. — S. 24–26.

10. Zozulja V. D. Smazki dlja spechennykh samosmazyvajushchih podshipnikov : Monografija [Tekst] / V. D. Zozulja. — K. : Naukova dumka, 1976. — 191 s.

11. Zozulja V. D. Osobennosti vysokotemperaturnoj tribologii poroshkovykh materialov [Tekst] / V. D. Zozulja, T. A. Roik, V.T. Varchenko // Poroshkovaja metallurgija. — 1988. — № 4. — S. 101–104.

Проведены исследования закономерностей формирования структуры и комплекса свойств новых композиционных антифрикционных материалов на основе меди для работы в высокоскоростных узлах трения. Новые подшипниковые материалы по триботехническим характеристикам превосходят литые аналоги и могут работать в режиме



самосмазывания при высоких скоростях скольжения и повышенных нагрузках.

Ключевые слова: композиционный подшипник; медь; твердая смазка; структура; свойства; скорость скольжения; нагрузка.

Research of regularities in formation of the structure and complex properties of new composite antifriction materials based on copper for use in high-speed friction units has been carried out. The presence of calcium fluoride or graphite (as solid lubricants) in materials provides the transfer of solid lubricant on the counterpart working surface. This is evidenced by the formation of antifriction dividing films (so called secondary structures). These facts can ensure the stable operation of friction units at a sudden termination of the oil supply or other emergencies. The new bearing materials for tribological characteristics are superior to cast counterparts and can operate in self-lubrication conditions at high sliding speeds and high loads. The research results allow us to recommend powder materials ДН5КФ9 and ДГр10 for the manufacture of plain bearings and use such parts in rotating equipment as an alternative to Babbitt alloys.

Keywords: composite bearings; copper; solid lubricant; structure; properties; sliding speed; load.

Рецензент — О. І. Лотоцька, к.т.н.,
доцент, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 06.08.15