

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ НА ОСНОВІ МІДІ ДЛЯ ВИСОКООБЕРТОВИХ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ

В статті показано вплив технології виготовлення на закономірності формування структури і свойств нових подшипникових матеріалів на основі міді в присутстві твердої смазки – фторида кальція для екстремальних умов роботи. Технологія ґрунтується на отриманні ціленаправлених технологічних засобів, забезпечуючих управляемість експлуатаційними властивостями високооборотних вузлів тертя. Ці закономірності заключаються в ціленаправленому забезпеченні таких об'ємних характеристик подшипників, які є передумовою високих функціональних свойств і досягаються шляхом варіювання технологічними параметрами виготовлення деталей.

In the article the influence of making technology for the structure formation and properties of new bearings materials based on copper with solid lubricant CaF_2 for heavy exploitation conditions have been presented. This technology is founded on obtaining purposeful resources which ensure controllability of service properties of high-speed rotating friction units. The rules mentioned above guarantee certain volumetric characteristics of the bearings in order to provide high durability of the friction unit depending on operating regime.

Вступ.

Успішне функціонування підприємства будь-якої галузі промисловості, зокрема, поліграфічної, в умовах сучасної ринкової економіки вимагає виготовлення продукції не тільки високої якості, але і випуск цієї продукції у досить вузький термін. Тобто перед підприємствами постає завдання виготовлення продукції «сьогодні на завтра».

Досягти таких результатів можна декількома шляхами, наприклад, розширенням кількості обладнання. Даний шлях розв'язання проблеми не завжди виправданий, більш того, придбання обладнання є досить дорогим у реалізації. Іншим шляхом є збільшення потужностей машин, зростання швидкостей руху виконавчих і допоміжних механізмів задля нарощування випуску кількості продукції в одиницю часу. З іншого боку, постійне підвищення вимог до надійності й довговічності роботи обладнання.

Зростання ж швидкостей руху механізмів вузлів тертя поліграфічного машинобудування призводить до підвищення температур в зоні контакту і в сукупності з відсутністю необхідного змащування контактуючих поверхонь, дії знакозмінних циклічних навантажень, агресивних середовищ, спричинює посилений знос поверхонь тертя. При цьому в процесі експлуатації обладнання змінюються розміри деталей машин, їх геометричні характеристики, структура, властивості й напружений стан поверхневих шарів. Зношування робочих поверхонь деталей обмежує строк служби обладнання та призводить до погіршення критеріїв працездатності: втраті кінематичної точності механізмів, зниженню міцності деталей, підвищенню шуму та вібрацій внаслідок збільшення зазорів у передачах.

Окрім того, на сьогоднішній день залишаються не з'ясованими механізми технологічного впливу на високошвидкісне тертя, особливо при відсутності змащування рідкими мастилами в умовах одночасної дії підвищених навантажень та агресивного середовища (повітря), коли на контактних поверхнях виникають миттєві температури до 500°C . Також до теперішнього часу відсутні цілеспрямовані технологічні заходи, які б дозволили одержувати не тільки прогнозовану структуру об'єму високошвидкісного підшипнику, а і сприяли б керованому трибосинтезу антифрикційних плівок, що утворились у процесі роботи тертьової пари за даних екстремальних умов.

Тому створення керованих технологічних заходів, що відкривають можливість виготовляти підшипники з прогнозованими механічними і функціональними властивостями, а відтак і з високим рівнем довговічності є **актуальним завданням** і потребує виконання комплексу досліджень.

Названі обставини послужили підставою для проведення **комплексу досліджень**, спрямованих на створення нових ефективних підшипників для вузлів тертя високооборотної поліграфічної техніки, що працюють в умовах широкого діапазону швидкостей ковзання та навантажень, розробки технологічних режимів їх виготовлення для конкретних умов експлуатації з метою прогнозування та керування робочими параметрами деталей.

Предметом досліджень було обрано підшипники ковзання на основі міді (ДН5МЗКФ9), що призначені для функціонування при швидкостях обертання від 200 до 400 об./хв. у вузлах тертя друкарських машин.

Застосування підшипників ковзання на основі міді пов'язано з наявністю спеціальних фізичних властивостей мідних матеріалів, і, перш за все, з їх високою теплопровідністю (у порівнянні з іншими матеріалами, наприклад, на основі заліза). Це дозволяє матеріалам на основі міді чинити інтенсивний опір зносу в умовах гранично важких режимів тертя (за рахунок інтенсивного відводу тепла із зони тертя) при одночасному збереженні високих фізико-механічних характеристик.

На основі аналізу літературних даних та багаторічного досвіду спеціалістів, які займаються розробками антифрикційних матеріалів різного призначення, для роботи у високошвидкісних вузлах тертя були обрані та виготовлені вихідні шихти композиції складу, наведеного в табл.1.

Склади досліджуваних матеріалів, мас. %

Матеріал	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>CaF₂</i>
ДН5МЗКФ9	Основа	5	3	9

Крім того, у важких і надважких умовах роботи пари тертя, коли між інших навантажуючих факторів присутній вплив високих швидкостей і, як наслідок, високих температур навколишнього середовища, і ніяке рідке мастило непрацездатне, особливо важливо захистити поверхні тертя від посиленого зносу та схоплення. Для цієї мети використовують домішки, що виконують роль твердої або сухої змазки. Враховуючи досить високу термічну та хімічну стабільність CaF_2 [2, 3], можна припустити, що у важких та надважких умовах роботи матеріали з присадками фториду кальцію будуть відповідати вимогам антифрикційності.

Аналіз результатів дослідів [3-5] показав, що зі збільшенням кількості CaF_2 від 7 % до 10 % зносостійкість зменшується, а коефіцієнт тертя зростає. Збільшення кількості CaF_2 до 15 мас.% призводить до катастрофічного зносу матеріалів.

Збільшення кількості фториду у матеріалах на основі міді повинно нібито призвести до полегшення умов припрацювання та зниження сили тертя внаслідок утворення розділювальних плівок. Проте, при цьому вступає в дію фактор міцності матриці, що впливає на зносостійкість матеріалу в цілому. Підвищення вмісту CaF_2 до 15 мас.% різко знижує ударну в'язкість матеріалу внаслідок зменшення загальної площі металевого контакту в матриці (завдяки непластичній та легкій речовині CaF_2) [3]. Тобто фактор міцності стає вирішальним при оцінюванні працездатності матеріалу за таких умов тертя.

Як показали експерименти [3-5], найкращі результати було одержано на матеріалах з вмістом CaF_2 у межах 4-9 мас.%.

Виготовлення зразків з матеріалів на основі міді (табл. 2.2), проводилось методами порошкової металургії шляхом змішування, пресування та спікання.

Виготовлення шихти здійснювалось в 3 етапи: 1 етап – змішування порошоків міді та нікелю, молібдену протягом 1,5 години; 2 етап – змішування порошоків міді, нікелю, молібдену з додаванням порошку CaF_2 («сухе» змішування) протягом 1,5 години; 3 етап – змішування отриманої суміші з розчином гліцерину у спирті протягом 1 години («мокре» змішування).

Використання трьохетапного змішування дозволяє уникнути сегрегацій за густиною окремих порошоків у складі шихтових композицій.

Для оцінки якості порошкової шихти застосовували метод уточненого відбору, що застосовується для вивчення кінетики процесу підготовки шихти. Після зупинки змішувача брали проби суміші. Проби, які відбираються на аналіз та за якими оцінюється якість шихти, повинні були мати таку масу, щоб будь-які випадкові відхилення не мали впливу на кінцевий результат. Чим менша маса проб, тим точніше може бути охарактеризовано якість шихти. За даними [3], для реальної суміші, де немає комочків, мінімально допустима маса проби в $I_m(\text{г})$ описується формулою:

$$I_m = 1,26 \cdot \frac{10^4 d_k^3 \rho_n}{C_0},$$

де d -діаметр частинок, що складають суміш, см; ρ - щільність матеріалу частинок, г/см^3 ; d_k -середньоарифметичний діаметр комка, см; ρ_n - середньоарифметична щільність комків, г/см^3 ; C_0 -концентрація основного компоненту, %.

Необхідна умова: $I \geq I_m$;

Однорідність суміші характеризували коефіцієнтом однорідності, що обчислюється за формулою:

$$K = \frac{\left(\frac{100}{n}\right) \cdot \sqrt{\sum (C_i - C_0)^2}}{n},$$

де n - кількість проб, що взяли із суміші для аналізу на вміст компоненту; C_i - фактичний вміст компоненту у пробі суміші, %; C_0 - заданий вміст компоненту, %.

При ідеальному перемішуванні, тобто коли досягається заданий вміст компоненту в будь-якій пробі суміші, коефіцієнт $K=0$. Чим менший ступінь однорідності суміші, тим вище значення K .

Розрахований коефіцієнт однорідності при змішуванні порошоків Cu , Ni , Mo , CaF_2 протягом 120 хвилин на повітрі у змішувачі дорівнював 4,50.

При виготовленні зразків застосовували двостороннє пресування, що дозволило досягти пористість 15-20%. Досягнення більш низьких значень пористості вимагає застосування повторного циклу допресовки або обтискання після спікання, двократного циклу пресування або спікання, а також інших методів ущільнення.

Величини тиску, застосовані при пресуванні, залежать від міцності і пластичності матеріалів шихти і їх кількісного співвідношення, наявність мастила, конструкції прес-форм, величини частинок порошку і їх форми, розмірів і форми пресованого виробу і інших чинників. Величини питомого тиску пресування були 400–450 МПа.

Спікання проводили в лабораторній печі СНОЛ 1.3 з продуванням захисного газу (H_2) для виключення можливого окиснення зразків. Зразки поміщали у контейнер із засипкою глинозему (Al_2O_3). Режими спікання були наступні 820 – 870 °С.

Для оптимізації температури спікання було виконано серію експериментів. Критеріями вибору температури були зміни об'ємної усадки, твердості та ударної в'язкості, що видно з рис. 1.

Спикання при різних температурах проводили з метою встановлення оптимальної температури. Критеріями оцінки оптимальної температури спикання були величини ударної в'язкості (KC), об'ємної усадки ($\frac{\Delta V}{V}$), твердості (HV), а також зміни структури матеріалів (рис. 1 а, б).

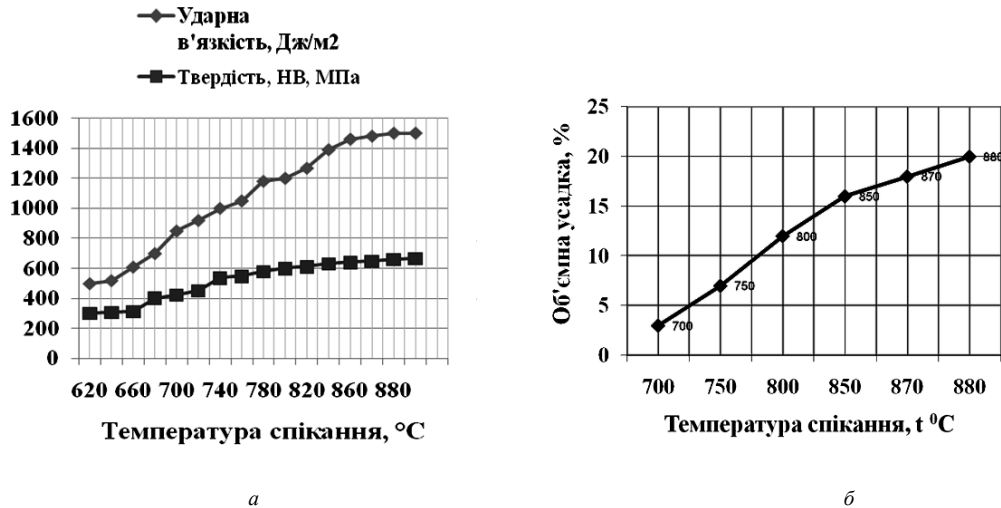


Рис. 1. Залежності а) ударної в'язкості та твердості, б) об'ємної усадки від температури спікання підшипників ковзання на основі міді

Як видно з рис. 1 а, б суттєве збільшення об'ємної усадки і механічних властивостей (HV і KC) починається з температури спікання 800°C. Підвищення температури спікання до 870°C призводить до подальшого збільшення $\frac{\Delta V}{V}$ і механічних властивостей. Можна припустити, що, починаючи з температури спікання 800°C, відбувається взаємодія складових металевих компонентів досліджених композицій з утворенням твердих розчинів. Отже, оптимальною температурою спікання було встановлено 820-870° С.

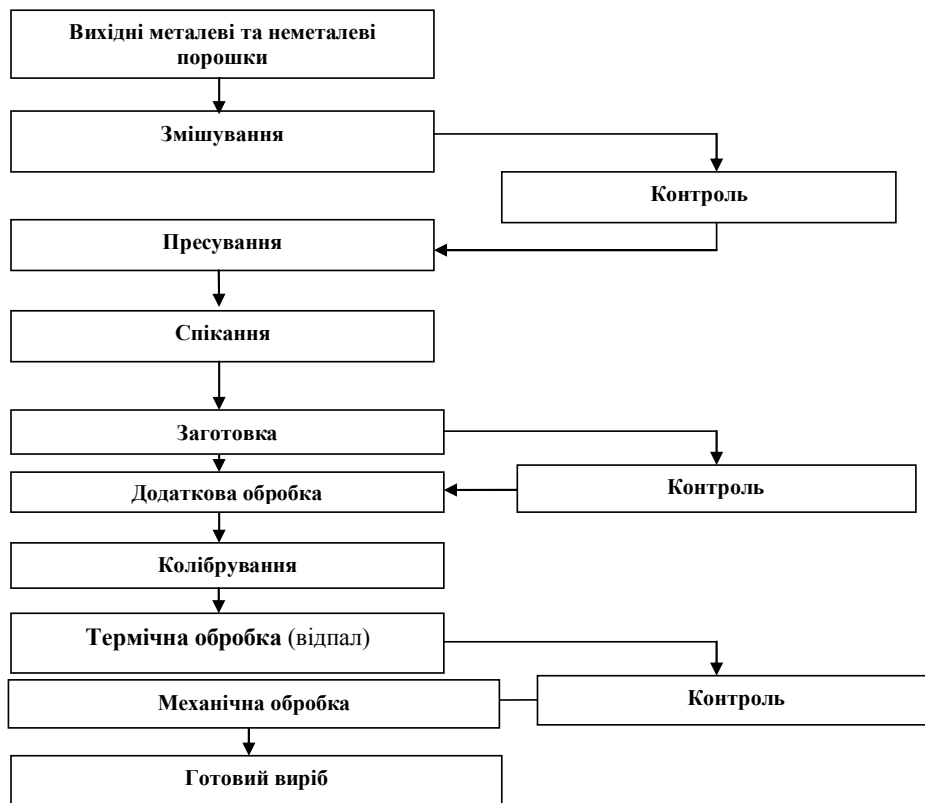


Рис. 2. Загальна схема процесу виготовлення композиційних високошвидкісних підшипників на основі міді

Загальна схема процесів одержання підшипників на основі міді наведена на рис. 2.

Для підшипнику з матеріалу ДН5МЗКФ9 застосовували додаткову механічну операцію – калібрування при питомому тиску 840 МПа і відпал при $t = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 1 години у середовищі водню. Зазначені операції проводили для забезпечення мінімальної залишкової пористості.

За цією схемою (рис. 2) виготовляли підшипники з композиту ДН5МЗКФ9 з пористістю 6 - 8%. Для виготовлення підшипників з більш низькою пористістю (3,6 – 4,2 %) після спікання, калібрування застосували додаткове пресування і повторну термічну обробку (відпал).

На основі проведених досліджень та правил вибору пар тертя у якості контртіл для підшипникових матеріалів на основі міді було обрано контртіло зі сталі 20X.

Ефективність розроблених технологічних режимів виготовлення підтвердили дані триботехнічних досліджень зразків усіх отриманих складів і зразків з литого бабіту Б83 та бронзи Бр.ОЦС6-6-3 (для порівняння) при режимах, що відповідають роботі натуральних підшипників. Випробування виконувались як у присутності рідкого мастила, так і при «сухому» терті. Ці дослідження проводились після застосування нового методу механічної обробки робочих поверхонь підшипників за режимами.

Для триботехнічних випробувань використовували машину тертя ВМТ-1, швидкість обертання 120-400 об./хв. (60 м/с), навантаження 5,0-7,0 МПа в парі з контртілом зі сталі 20X ($\text{HRC}_3=51-55$), для зразків з Б83 та Бр.ОЦС6-6-3 застосовували мастило И-20 [3, 4]. Результати триботехнічних випробувань наведено у табл. 2.

Знак мінус (“-”) в табл. 2 у колонці “ваговий знос контртіла” означає, що має місце приріст за рахунок переносу твердого мастила на поверхню контртіла в процесі тертя. Досліджуваний матеріал ДН5МЗКФ9 при високих навантаженнях демонструє низькі значення коефіцієнту тертя і величину зносу, у той час як бабіт Б83 та бронза Бр.ОЦС6-6-3 стають непрацездатними.

Таблиця 2

Триботехнічні властивості досліджуваних підшипників, литого бабіту Б83 і бронзи Бр.ОЦС6-6-3

Марка матеріалу	Швидкість, об./хв.	Навантаження, Р, МПа	Коефіцієнт тертя, f	Лінійний знос зразка, мкм/км	Масовий знос контр-тіла, мг/км	Температура зразка, $^{\circ}\text{C}$	Примітка
Б83	70	1,5	0,028	7	+0,08	51	Тертя з рідким мастилом
Б83	80	1,5	0,073	9	+0,1	60	
Б83	90	2,0	пластичне деформування				-
БрОЦС6-6-3	100	3,0	0,098	124	+3,28	370	Тертя з рідким мастилом
ДН5МЗКФ9	200	7,0	0,16	30	-0,7	130	Тертя без мастила, на поверхні контртіла видно розділову плівку
ДН5МЗКФ9	400	5,0	0,2	46	-2,8	280	Тертя без мастила, на поверхні контртіла видно розділову плівку

Новий матеріал, що містить тверду змазку CaF_2 має переваги перед бабітом Б83 та бронзою Бр.ОЦС6-6-3 ще в тому, що у разі припинення подачі мастила він стабільно працює завдяки утворенню розділових плівок тертя.

Температури в зоні тертя при високих навантаженнях на пару тертя можуть досягати вершин більше $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, але завдяки високій теплопровідності нового матеріалу на основі міді (на відміну від бабіту та бронзи), досягається інтенсивне відведення тепла із зони тертя.

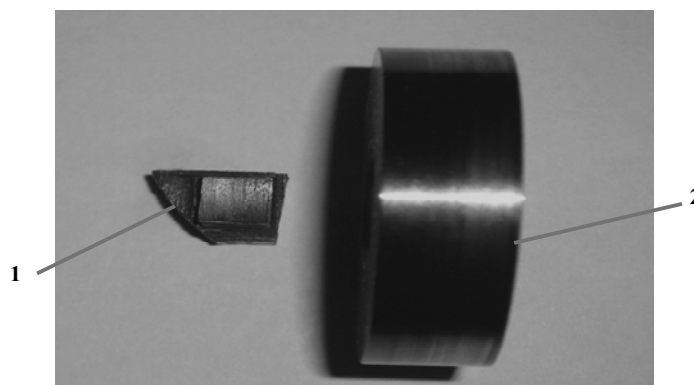


Рис. 3. Поверхня тертя матеріалу підшипника ДН5МЗКФ9 (1) і контртіла зі сталі 20X (2) після триботехнічних випробувань у друкарській машині KBA RAPIDA-105

Результати триботехнічних випробувань (табл. 2) показали, що підшипник ДН5МЗКФ9 [4] за рівнем антифрикційних властивостей у важких умовах праці значно перевершує литий бабіт Б83 та бронзу Бр.ОЦС6-6-3. Наявність CaF_2 забезпечує перенос матеріалу твердої змазки на робочу поверхню контртіла, про що свідчить утворення розділових антизадирих плівок. Це може забезпечити безперебійну роботу вузла тертя при раптовому припиненні подачі змащувального мастила чи інших аварійних ситуаціях.

Загальний вид робочих поверхонь після триботехнічних випробувань матеріалу ДН5МЗКФ9 і контртіла зі сталі 20Х зображено на рис. 3.

Після триботехнічних випробувань (рис. 3) має місце наявність гладких, рівних і однорідних поверхонь тертя (як на робочій поверхні зразка з матеріалу ДН5МЗКФ9, так і контртіла), відсутні сліди зчеплень, глибинних вириків і підплавлень, що свідчить про стабільну роботу матеріалів при важких умовах навантаження на пару тертя, що є характерним для роботи, зокрема, ротаційних поліграфічних машин.

Висновки. Застосування принципово нових технологій виготовлення підшипників на основі міді забезпечує формування принципово нових матеріалів, як головних елементів конструкції підшипників, з таким рівнем конструкційних властивостей, який є визначальним фактором для забезпечення високого рівня експлуатаційних характеристик удосконаленої друкарської техніки. Ефективність розробленої технології підтверджено результатами впровадження нових підшипників ковзання на основі міді з домішками твердого мастила на державних підприємствах України, виготовлених за розробленими технологіями. Сумарний економічний ефект від впровадження складає 149768,94 грн. на рік. З урахуванням цих даних розроблені типові технологічні процеси, які пройшли всебічну промислово апробацію.

Список літератури.

1. Федорченко И.М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. / И.М.Федорченко, Л.И. Пугина – К.: Наукова думка, 1980. – 404 с.
2. Жидецкий Ю.Ц. Поліграфічні матеріали / Ю.Ц. Жидецкий – Львів: Афіша, 2001. – 327 с.
3. Пат. 40139 Україна МПК С22С9/02, С22С9/00, С22С1/00, С22С1/04, С22С1/05. Антифрикційний композиційний матеріал / Т.А. Роїк, А.П. Гавриш, О.А. Гавриш, В.В. Холявко, Ю.Ю.Віщок, О.О. Мельник; власник НТУУ «КПІ». –№ u200812686; заявл. 29102008, опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6.
4. Вибір режимів експлуатації композиційних антифрикційних нікелевих матеріалів на основі аналізу вторинних структур / [Гавриш А.П., Роїк Т.А., Віщок Ю.Ю., Мельник О.О.] // Наукові нотатки. - Луцьк: ЛНТУ, 2009.-Вип.25.-ч.І.- С.73-78.
5. Либенсон Г.А. Основы порошковой металлургии / Либенсон Г.А. – М: Металлургия, 1996. – 220 с.5.Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин / В.П. Когаев, Ю.Н.Дроздов. – М.: «Высшая школа», 1991. – 320 с.