

DOI: 10.20535/1810-0546.2018.5.146165

УДК 621.923.6:621.318.4:621.002.1

Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк*, О.І. Хмілярчук
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ І ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН НА ОСНОВІ УТИЛІЗОВАНИХ ВІДХОДІВ

Проблематика. Розробка технологічних заходів для створення нових антифрикційних композиційних матеріалів на основі промислових шліфувальних відходів сталі 2Х6В8М2К7 з домішками твердого мастила CaF_2 , а також розширення технологічних можливостей використання більш широкої гами цінної вторинної сировини для синтезу якісних конструкційних матеріалів.

Мега дослідження. Встановлення особливостей структуроутворення і їх впливу на властивості композиційних антифрикційних матеріалів на основі промислових шліфувальних відходів сталі 2Х6В8М2К7 з домішками твердого мастила CaF_2 , призначених для роботи у вузлах поліграфічних машин в умовах самозмащування за швидкостей обертання до 750 об/хв і навантажень до 8,0 МПа на повітрі.

Методика реалізації. Розробка технологічних режимів регенерації промислових шліфувальних відходів сталі 2Х6В8М2К7, визначення технологічних операцій виготовлення нових антифрикційних композитів, що включають змішування металевих порошків сталі з твердим мастилом, пресування і спікання композитів. Дослідження процесів структуроутворення і властивостей матеріалів виконувалось із застосуванням методів оптичної та електронної мікроскопії, стандартних методів визначення механічних властивостей і випробувань на тертя і знос.

Результати дослідження. Визначено та обґрунтовано вплив розробленої технології виготовлення на формування структури, фізико-механічних і триботехнічних властивостей матеріалів на основі шліфувальних відходів сталі 2Х6В8М2К7 з домішками твердого мастила CaF_2 , наслідком чого є формування складного гетерогенного антифрикційного матеріалу з високими функціональними характеристиками.

Висновки. Обґрунтовано можливість керувати структурою і функціональними властивостями композиційних антифрикційних матеріалів на основі відходів сталі 2Х6В8М2К7 з домішками твердого мастила CaF_2 для деталей друкарської техніки технологічним способом, вибираючи для цього відповідну марку металевих шліфувальних відходів залежно від призначення деталі, кількісними варіаціями твердого мастила, а також можливість застосовувати раціональні технологічні режими виготовлення для одержання наперед заданої структури і прогнозованого рівня функціональних властивостей.

Ключові слова: композиційний антифрикційний матеріал; шліфувальні відходи; легована сталь; тверде мастило; технологія виготовлення; структура; властивості; деталі тертя.

Вступ

Сучасний розвиток видавничо-поліграфічної галузі вимагає від науковців при розробленні нових високоякісних матеріалів для об'єктів новітньої техніки твердо дотримуватись сукупного поєднання технологічних і технічних аспектів розробок з економічними. Це повною мірою стосується матеріалів контактних пар, що працюють у важких умовах вузлів тертя поліграфічних машин, насамперед композиційних матеріалів антифрикційного призначення.

Антифрикційні деталі в таких вузлах працюють за підвищених швидкостей обертання до 800 об/хв і більше, за навантажень на пару тертя 5,0–8,0 МПа, що викликає розігрів робочих поверхонь до 400–500 °С на повітрі.

Для виготовлення деталей обладнання видавничо-поліграфічної галузі використовують велику номенклатуру литих і порошкових антифрикційних матеріалів на основі заліза, міді тощо. Проте головними їх недоліками є великі показники зношування і тертя.

Основною причиною незадовільних властивостей литих матеріалів, що застосовуються у важких умовах роботи, є нездатність поєднати у своєму складі відмінні за природою та цільовим додаванням домішки, які могли б утворити міцну матрицю та містили б протизадирні присадки у вигляді сульфідів, халькогенідів, фторидів, оксидів.

Це є причиною швидкого зносу литих матеріалів, виготовлених за традиційною технологією, а отже, і наслідком виходу з ладу вузлів тертя поліграфічного обладнання.

* corresponding author: iuvitsiuk@gmail.com

Порошкові антифрикційні матеріали мають багато переваг над литими, а також широкий спектр можливостей, особливо за умови роботи у важких режимах, коли стає можливим поєднати те, що методами лиття не поєднується [1, 2].

Проте використання порошкових високошвидкісних матеріалів обмежене високою вартістю вихідної сировини та обладнання, необхідного для їх одержання.

Першочерговим завданням на сьогодні є пошук більш дешевих видів сировини для виготовлення таких матеріалів з високими показниками надійності.

Розвиток сучасного поліграфічного машинобудування дає змогу відшукати великі сировинні резерви, які не використовуються для виготовлення деталей вузлів тертя.

Раціональним підходом до вирішення цього питання є використання шліфувальних відходів чорних і кольорових металів та сплавів машинобудівної галузі нашої країни. Відходи утворюються внаслідок технологічних операцій шліфування штампів, підшипників, різального інструмента та не застосовуються у подальшому виробництві.

Ці відходи, зокрема інструментальних штампових сталей 5Х3В3МФС, 4Х2В5МФ, 2Х6В8М2К7 та багатьох інших сталей і сплавів, містять у своєму складі значну кількість цінних гостродефіцитних елементів – титан, хром, молібден, вольфрам, ванадій, нікель, кобальт тощо.

Наявність у шліфувальних відходах перелічених легувальних елементів, що у різних співвідношеннях містяться у вторинній сировині, надає можливість їх подальшого використання з метою одержання з них якісних високолегованих матеріалів антифрикційного призначення.

Перспективним є вирішення проблеми захисту довкілля від забруднень завдяки утилізації цінної сировини у великих кількостях та застосування її у повторному циклі виробництва.

Загалом можливість використання у повторному циклі виробництва вторинної сировини – шліфувальних високолегованих відходів кольорових і чорних металів та сплавів як основи для синтезу якісних антифрикційних матеріалів і деталей із них – є на часі і потребує подальших розвідок.

Останніми роками за ідеями вчених було започатковано науково-практичні роботи зі створення композиційних матеріалів із порошків вторинної сировини, а саме з регенованих шліфувальних відходів. Такою сировиною

для виготовлення композиційних антифрикційних матеріалів стали порошки-відходи сталей ШХ15 і Р6М5. Матеріали на основі порошків-відходів цих сталей з домішками твердого мастила CaF_2 виявились здатними працювати за підвищених температур, а також витримувати підвищені навантаження в умовах окисного середовища – повітря [3, 4].

Іншими вченими було розроблено технології перероблення вторинної сировини, а саме відходів деяких інструментальних сталей у вигляді стружки, для повторного виготовлення різальних інструментів і отримано позитивні результати [5]. Також напрацювання вчених [3, 4] за останні роки засвідчили доцільність використання шліфувальних відходів деяких марок сталей і сплавів для виготовлення з них якісних конструкційних деталей.

Однак дослідження із застосування шліфувальних відходів широкої номенклатури сталей і сплавів як основи композиційних антифрикційних матеріалів для різноманітних, насамперед важких, умов експлуатації були проведені в обмеженій кількості, про що свідчать лише окремі публікації з означеної проблематики [6–8].

Використання промислових шліфувальних відходів є привабливим з багатьох причин. По-перше, це найдешевша сировина, по-друге, сировина надзвичайно цінна з точки зору наявності легувальних елементів, що містяться у порошках-відходах, і, нарешті, по-третє, доступність сировини у великих кількостях.

На сьогодні існує достатньо велика кількість суперечливих експериментальних і теоретичних досліджень у галузі тертя та зношування. На жаль, відсутні кореляції між властивостями, складом, типом кристалічної ґратки, обмежені дані щодо фазового складу досліджуваних матеріалів, особливо за наявності антизадирних присадок [9]. Все це значно ускладнює питання створення антифрикційних матеріалів для підвищених режимів експлуатації і водночас обумовлює актуальність теми досліджень.

Перелічені обставини стали підґрунтям для проведення комплексу досліджень, що спрямовані на створення нових антифрикційних матеріалів для роботи за швидкостей обертання до 750 об/хв і підвищених навантажень до 8,0 МПа, а також на розширення технологічних можливостей використання більш широкої гами вторинної сировини на основі науково обґрунтованого матеріалознавчого підходу для одержання можливості прогнозування та

керування службовими характеристиками матеріалів при одночасному пошуку нових видів сировини, створення ресурсоощадних технологій та вирішення проблеми захисту навколишнього середовища, що є актуальною науково-практичною задачею.

Постановка задачі

Метою роботи є встановлення особливостей структуроутворення і їх впливу на властивості композиційних антифрикційних матеріалів на основі промислових шліфувальних відходів сталі 2Х6В8М2К7 з домішками твердого мастила CaF_2 , призначених для роботи у вузлах поліграфічних машин в умовах самозмащування за швидкостей обертання до 750 об/хв і навантажень до 8,0 МПа на повітрі.

Результати досліджень

У роботі досліджувались нові антифрикційні композиційні матеріали на основі шліфувальних відходів штампової сталі 2Х6В8М2К7 з домішками твердого мастила CaF_2 такого складу, мас. %: 2Х6В8М2К7 + (4,0–8,0) CaF_2 .

Хімічний склад сталі 2Х6В8М2К7, мас. %: С – 0,22–0,30; Si – 0,3–0,6; Mn – 0,2–0,4; Cr – 6,5–7,0; Mo – 1,8–2,3; W – 7,0–8,0; V – 0,1–0,25; Co – 6,8–7,5; Fe – решта. Ці цінні порошки-відходи сталі 2Х6В8М2К7 забруднені абразивною крихтою та компонентами змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР), що перешкоджає їх подальшому використанню і є причиною вивозу великої кількості потенціальної сировини у відвали.

Для очищення відходів сталей від абразиву та ЗОР застосовували розроблену авторами [2–4] технологію регенерації, яка серед інших операцій включала магнітну сепарацію шліфувальних відходів.

Частинки сталі після операцій регенерації мають вигляд мікростружок із розмірами частинок від 0,05 до 0,15 мм (рис. 1).

Головними вимогами, що висуваються до технології виготовлення матеріалів для вузлів тертя, є послідовність виконання технологічного процесу, його доступність, використання дешевої вихідної сировини та відсутність допоміжних матеріалів і обладнання. Перелічені вимоги було враховано при розробці технологічного процесу виготовлення антифрикційних порошкових матеріалів на основі відходів сталі 2Х6В8М2К7.

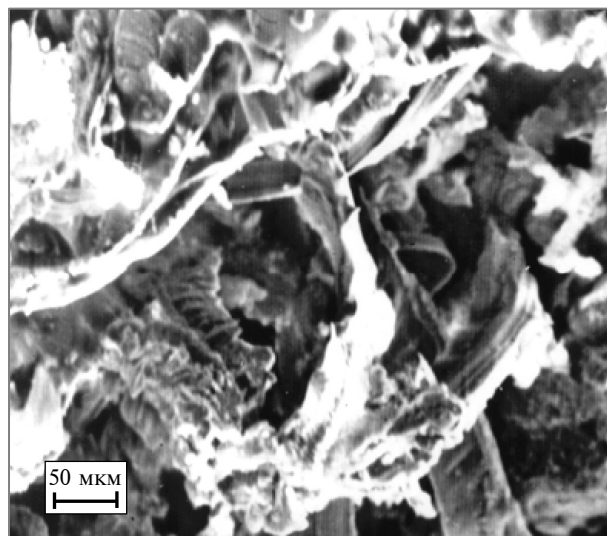


Рис. 1. Вигляд частинок порошоків-відходів сталі 2Х6В8М2К7 після регенерації

Оскільки кількість твердого мастила, що додається у шихту, становила більше 2,5–3,0 мас. %, а саме 4,0–8,0 мас. %, згідно з рекомендаціями [10] застосовували “мокре” змішування. Призначення зволожувача – усунути сегрегацію та пилення більш легкого за щільністю компонента шихти, а саме CaF_2 . Як зволожувач використовували до 1–2 % бензину або етилового спирту.

Наступними операціями були пресування брикетів при 700–800 МПа і спікання у середовищі висушеного водню (точка роси = $-40\text{ }^\circ\text{C}$) за температур 1100–1150 $^\circ\text{C}$ [11].

У результаті технологічних операцій виготовлення було одержано складну гетерогенну структуру антифрикційного композиційного матеріалу 2Х6В8М2К7 + (4,0–8,0) % CaF_2 . Вона складається з металевої матриці, в якій рівномірно розміщені включення твердого мастила CaF_2 . Металева матриця матеріалу – це зернистий сорбітоподібний перліт (рис. 2).

Сталь 2Х6В8М2К7 належить до класу сталей із карбідо-інтерметалідним зміцненням з високою теплостійкістю. Кількість карбідних фаз у матеріалі 2Х6В8М2К7 + 5 % CaF_2 унаслідок невеликої кількості вуглецю становить 6–7 %. Основними карбідними фазами в матеріалі 2Х6В8М2К7 + 5 % CaF_2 є карбіди Me_6C та Me_{23}C_6 [12].

Багатокомпонентний карбід хрому (Cr, Fe, Mo, W, V) $_{23}\text{C}_6$, що позначається Me_{23}C_6 , найчастіше вторинного походження: виділяється з аустеніту. Його твердість – 1000–1100 HV [12, 13].

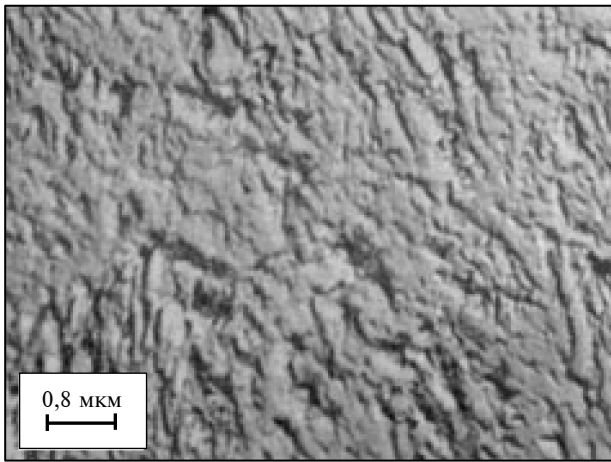


Рис. 2. Дрібнозерниста структура перлиту в матеріалі 86X6HFT + 6 % CaF₂

Залізо заміщає в карбіді до 35–40 % Cr, що полегшує розчинність карбиду в аустеніті. У карбіді можуть міститися, але в менших кількостях, Mo, W і V, що заміщають у ньому частину атомів хрому [12].

На мікрофотографії, зробленій за допомогою електронного мікроскопа, зображено вигляд карбиду (Cr,Fe)₂₃C₆ (рис. 3).

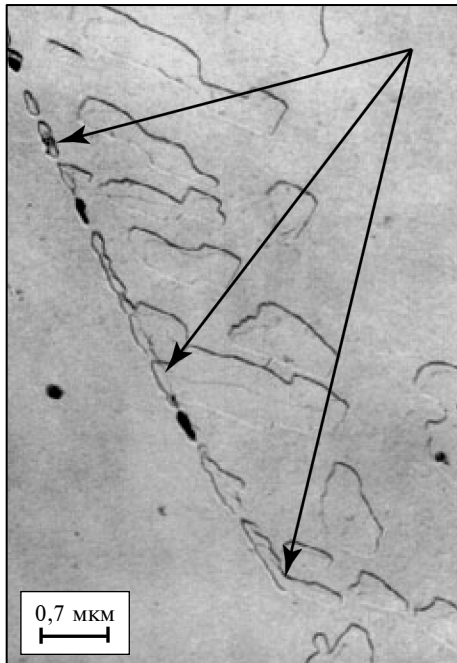


Рис. 3. Пряма вугільна репліка. Карбід (Cr,Fe)₂₃C₆ (вказано стрілками)

Чітко проглядаються прошарки карбиду (Cr,Fe)₂₃C₆ на границях зерен. За допомогою методу електронної дифракції [6, 7] вдалося виявити два майже близьких за періодами грат-

ки карбіди типу Me₂₃C₆ – це карбіди Fe₂₁W₂C₆ з $a = 1,064$ нм та Fe₂₁Mo₂C₆ з $a = 1,100$ нм з кубічною упорядкованою граткою, а також карбід хрому Cr₂₁W₂C₆ з кубічною граткою, у якого $a = 1,08$ нм.

Кобальт, що знаходиться в матриці сплаву, на відміну від молібдену, вольфраму та хрому, не утворює карбідів. Він міститься в α -фазі, а також у карбіді Me₆C, в якому заміщує частину атомів заліза [13].

Кобальт – єдиний легувальний елемент, що найбільш істотно підвищує теплостійкість сталі, посилюючи стійкість твердого розчину проти знеміцнення при нагріванні (при розігріві третьової пари), підвищуючи температуру початку $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення [12]. Крім того, кобальт покращує теплопровідність і посилює дисперсійне твердіння при охолодженні з температур спікання. Зміцнювальні фази, що виділяються додатково внаслідок впливу кобальту, – це інтерметаліди (Co,Fe)₇(W,Mo)₆- θ -фаза та Co₇W₆, які було виявлено також за допомогою методу електронної мікродифракції. Гратка θ -фази ромбічна з параметрами $a = 0,474$ нм, $c = 2,560$ нм. Фаза Co₇W₆ має ромбоєдричну гратку з параметрами $a = 0,895$ нм, $\alpha = 30^\circ 41'$.

У матеріалі виявлено в невеликій кількості інтерметалідну фазу Fe₃W₂ (Fe₃Mo₂) з ромбоєдричною граткою з параметрами $a = 0,902$ нм, $\alpha = 30^\circ 31'$.

Інтерметалідні частинки дрібні (до 1–2 мкм) та рівномірно розподілені в структурі матеріалу.

Крім вказаних вище, у структурі матеріалу 2X6B8M2K7 + 5 % CaF₂ вдалося виявити дрібнодисперсні інтерметаліди типу Fe₃Co (рис. 4).

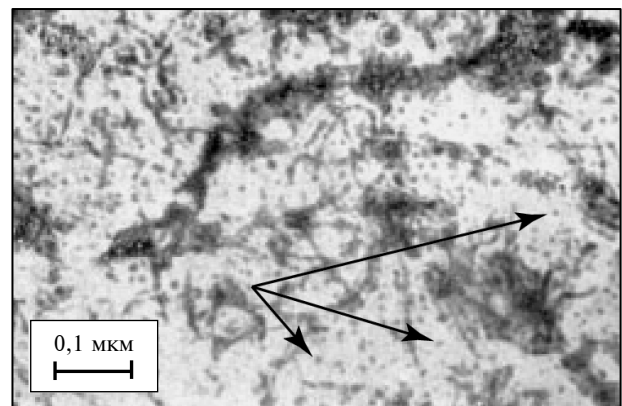


Рис. 4. Тонка фольга. Інтерметалідні сполуки типу Fe₃Co (вказано стрілками) у матеріалі 2X6B8M2K7 + 5 % CaF₂

Фаза типу Fe₃Co вирізняється дрібнодисперсністю (рис. 4), вона виділилась по всій

матриці і спостерігається у вигляді дрібних, сильно диспергованих чорних плям. Фазу ідентифіковано методом електронної мікродифракції [6–8].

У матриці матеріалу 2Х6В8М2К7 + 5 % СаF₂ дослідження в електронному мікроскопі виявило також багато невеликих подовжених чорних пластинок (рис. 5).

Електронна дифракція свідчить про наявність у матеріалі (див. рис. 5) фази тієї ж природи, що і фаза Лавеса Fe₂W, а саме інтерметаліду Fe₂W.

При дослідженні матеріалу за допомогою реплік було виявлено (рис. 6), що основний карбід композита 2Х6В8М2К7 + 5 % СаF₂ типу Me₆C – це карбід (Fe,W)₆C.

На рис. 6 зображено карбіди (Fe,W)₆C, що виділились на границях зерен та іноді (більш великі виділення) усередині зерен матриці. У матриці ідентифіковані дрібні виділення залізо-вольфрамового інтерметаліду – фази Лавеса Fe₂W (типу MgZn₂).

Відомо, що кобальт у сталі 2Х6В8М2К7 спільно з хромом дуже зменшує коефіцієнт лінійного розширення (КЛР) [12, 14], що є суттєво важливою обставиною в розрахунках зазо-

рів при конструюванні конкретного вузла тертя. Але й інші легувальні елементи, за даними [12, 14], що містяться в α-твердому розчині, а саме Cr, W і Mo, теж сприяють зменшенню коефіцієнта лінійного розширення.

Слід звернути увагу на ще один позитивний факт, що майже всі легувальні елементи, які знаходяться у шліфувальних відходах сталі штампового виробництва 2Х6В8М2К7, сприяють підвищенню гранично допустимих навантажень. Найбільше граничне навантаження забезпечують вуглець, вольфрам, молібден, ванадій та кобальт [8, 12, 13].

Це дає змогу інтенсифікувати режими роботи нових матеріалів і застосовувати антифрикційні деталі з них у вузлах тертя друкерських машин, що працюють у високооберткових і високонавантажених умовах.

Отже, в процесі спікання матеріалів з використанням високолегованих порошків-відходів сталі 2Х6В8М2К7 з домішками СаF₂ формується складна дрібнозерниста структура. Вона являє собою міцну, достатньо пластичну металеву матрицю, що складається з високолегованого α-твердого розчину і твердих зерен складних карбідів легувальних елементів та ін-

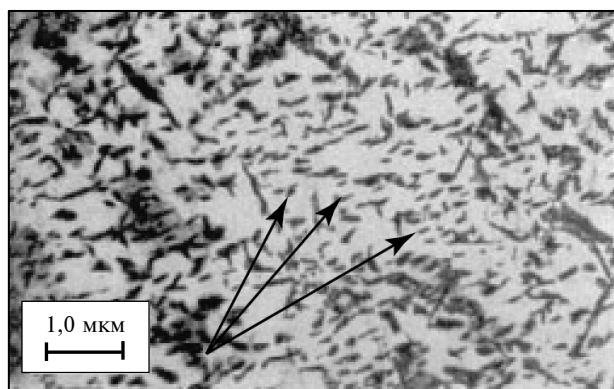


Рис. 5. Тонка фольга. Фаза Лавеса Fe₂W (вказано стрілками) у металевій матриці спеченого композита 2Х6В8М2К7 + 5 % СаF₂

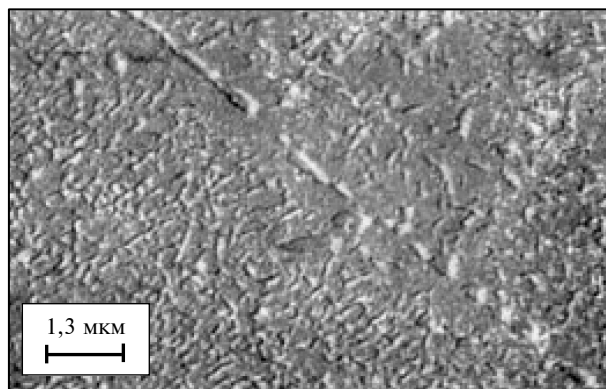


Рис. 6. Двоступенева вугільна репліка, попереднє відтінення Ge, 30°. Карбіди (Fe,W)₆C і фази Лавеса Fe₂W у матриці матеріалу 2Х6В8М2К7 + 5 % СаF₂

Таблиця. Фізико-механічні й антифрикційні характеристики матеріалів на основі відходів сталі 2Х6В8М2К7

| Склад, % мас. | $\sigma_{\text{виг}}$, МПа | КС, Дж/м ² | НВ, МПа | Коефіцієнт тертя при 7 МПа | Інтенсивність зношування при 7 МПа, мкм/км | Гранично допустимі навантаження, МПа | Гранично допустимі швидкості обертання, об/хв |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------|----------------------------------|---|---|---|
| 2Х6В8М2К7 + 5 СаF ₂ | 570–580 | 740–780 | 730–750 | 0,14 | 27 | 8,0 | 750 |
| ЖГр3М15 [8, 9] | 290–410 | 80–94 | 700–800 | 0,29* | 470* | 3,0 | 200 |

*Коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування за навантаження 5 МПа.

терметалідів, а також рівномірно розподілених у ній включень протизадирного твердого мастила CaF_2 .

Одержана структура забезпечує раціональну комбінацію фізико-механічних і антифрикційних характеристик, значення яких наведено в таблиці.

Випробування на тертя та зношування проводили в парі з контртілом зі сталі P18 (52–54 HRC_c) за навантажень 3,0–7,0 МПа, швидкості обертання 750 об/хв, що відповідає реальним умовам роботи низки вузлів тертя друкарського обладнання [15].

Аналіз результатів досліджень, які наведено в таблиці, показує, що новий матеріал порівняно з відомим [8, 9], який використовується нині в аналогічних умовах, має набагато вищі як механічні, так і антифрикційні властивості, а також здатний працювати у більш важких режимах тертя.

У процесі тертя на контактуючих поверхнях утворюються антизадирні плівки [15], що є носіями високих антифрикційних властивостей. Зовнішній вигляд поверхонь тертя показано на рис. 7.

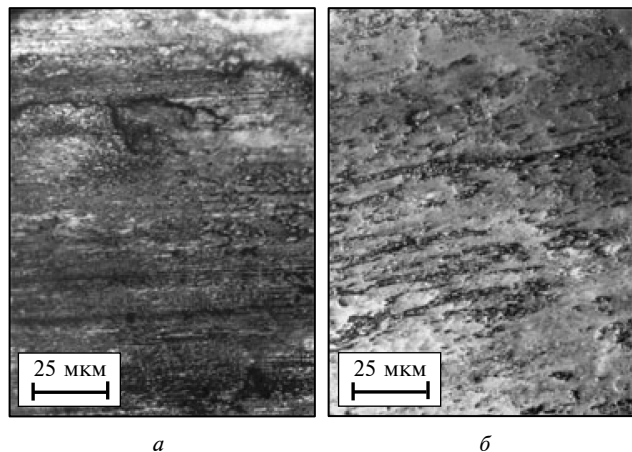


Рис. 7. Поверхня тертя матеріалу 2X6B8M2K7 + 5 % CaF_2 (а) та контртіла зі сталі P18 (б)

Процес утворення щільних і гладких плівок тертя товщиною 20–30 мкм є багатоетапним. На першому етапі на поверхні з'являється тонка суцільна плівка чорного кольору товщиною 8–10 мкм, на якій містяться вкраплення CaF_2 білого кольору.

References

- [1] A. Kostornov, *Tribotechnical Material Science*. Lugansk, Ukraine: Noulyge, 2012.
- [2] T. Roik et al., *Composite Bearing Materials for Increased Operating Conditions*. Kyiv, Ukraine: Politekhnik, 2007.
- [3] P.O. Kyrychok et al., *Newest Composite Materials for Friction Parts of Printing Machines*. Kyiv, Ukraine: NTUU KPI, 2015.

Наявність легувальних елементів, що обумовлюють гетерогенну структуру при виділенні дисперсних карбідних фаз та інтерметалідів за наявності твердого мастила фториду кальцію, забезпечує зниження інтенсивності зношування та коефіцієнта тертя, внаслідок чого новий матеріал здатний витримувати та стабільно працювати за більш високих швидкостей обертання і навантажень порівняно з матеріалами, що застосовуються у теперішній час.

Зменшення коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування обумовлює зростання стійкості вузла тертя за рахунок менш інтенсивного виділення тепла, що відбувається в процесі тертя, та зниження деформування елементів вузла.

Висновки

Визначено та обгрунтовано вплив розробленої технології виготовлення на формування структури, фізико-механічних і триботехнічних властивостей матеріалів на основі шліфувальних відходів сталі 2X6B8M2K7 з домішками твердого мастила CaF_2 , наслідком чого є формування складного гетерогенного антифрикційного матеріалу з високими функціональними характеристиками.

Обгрунтовано можливість керування структурою і функціональними властивостями композиційних антифрикційних матеріалів на основі відходів сталі 2X6B8M2K7 з домішками твердого мастила CaF_2 для деталей видавничо-поліграфічної галузі удосконаленням технології. Зокрема, кількісними варіаціями твердого мастила та застосуванням раціональних технологічних режимів виготовлення можна одержати наперед задану структуру і прогнозований рівень функціональних властивостей.

Результати комплексних досліджень свідчать про доцільність використання більш широкої номенклатури шліфувальних відходів штампових сталей у повторному циклі виробництва для виготовлення, зокрема, якісних антифрикційних деталей для важких умов експлуатації.

Наступним етапом досліджень буде визначення елементного та фазового складу плівок тертя нових матеріалів, що призначені для деталей тертя поліграфічного обладнання.

- [4] A.P. Havrysh *et al.*, “Technological parameter optimization for the production of new composite bearings from steel wastes for printing machines”, *Technologichni Kompleksy*, no. 1, pp. 137–145, 2013.
- [5] P.A. Shpak *et al.*, “Influence of electron-beam remelting on the structure and properties of high-speed steel R6M5”, *Problemy Special'noj Metallurgii*, no. 3, pp. 14–17, 2002.
- [6] J.W. Kaczmar *et al.*, “The production and application of metal matrix composite materials”, *J. Mater. Proc. Tech.*, vol. 106, no. 1-3, pp. 58–67, 2000. doi: 10.1016/S0924-0136(00)00639-7
- [7] A. Kurzawa *et al.*, “Analysis of ceramic-metallic composites of ballistic resistance on shots by 5.56 mm ammunition”, in *Proc. 23rd Int. Conf. Engineering Mechanics 2017*, Svratka, Czech Republic, May 15–18, 2017, pp. 574–577.
- [8] *Powder Metal Technologies and Applications*, vol. 7. New York: The Materials International Society 1998, 1146 p.
- [9] I. Fedorchenko *et al.*, *Sintered Composite Antifriction Materials*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka, 1980.
- [10] V.D. Zozulia, *Lubricants for Sintered Self-Lubricating Bearings*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka, 1976.
- [11] T. Roik and Iu. Vitsiuk, “The manufacturing technology and its effect on the tribological properties of the new parts for printing machines”, *Technologiya i Texnika Drukarstva*, no. 4, pp. 58–66, 2016.
- [12] Yu.A. Heller, *Tool Steels*. Moscow, SU: Metallurhiya, 1983.
- [13] Z. Du *et al.*, “Fabrication of a new Al-Al₂O₃-CNTs composite using friction stir processing (FSP)”, *Mater. Sci. Eng.*, vol. 667, pp. 125–131, 2016. doi: 10.1016/j.msea.2016.04.094
- [14] A. James and T. Kilduff, *Engineering Materials Technology: Structures, Processing, Properties and Selection*. Pearson/Prentice Hall, 2005.
- [15] T. Roik and Iu. Vitsiuk, “The Properties of the New Composite Antifriction Parts for Printing Equipment’s Friction Units”, *Technologiya i Texnika Drukarstva*, no. 2, pp. 16–23, 2017.

T.A. Роик, Ю.Ю. Вицюк, О.И. Хмиллярчук

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИН НА ОСНОВЕ УТИЛИЗИРОВАННЫХ ОТХОДОВ

Проблематика. Разработка технологических мероприятий для создания новых антифрикционных композиционных материалов на основе промышленных шлифовальных отходов стали 2Х6В8М2К7 с добавками твердой смазки CaF₂, а также расширение технологических возможностей использования более широкой гаммы ценного вторичного сырья для синтеза качественных конструкционных материалов.

Цель исследования. Установление особенностей структурообразования и их влияния на свойства композиционных антифрикционных материалов на основе промышленных шлифовальных отходов стали 2Х6В8М2К7 с добавками твердой смазки CaF₂, предназначенных для работы в узлах полиграфических машин в условиях самосмазывания при скоростях вращения до 750 об/мин и нагрузках до 8,0 МПа на воздухе.

Методика реализации. Разработка технологических режимов регенерации промышленных шлифовальных отходов стали 2Х6В8М2К7, определение технологических операций изготовления новых антифрикционных композитов, включающих смешивание металлических порошков стали с твердой смазкой, прессование и спекание композитов. Исследование процессов структурообразования и свойств выполнялось с применением методов оптической и электронной микроскопии, стандартных методов определения механических свойств и испытаний на трение и износ.

Результаты исследования. Определено и обосновано влияние разработанной технологии изготовления на формирование структуры, физико-механических и триботехнических свойств материалов на основе шлифовальных отходов стали 2Х6В8М2К7 с добавками твердой смазки CaF₂, следствием чего является формирование сложного гетерогенного антифрикционного материала с высокими функциональными характеристиками.

Выводы. Обоснована возможность управлять структурой и функциональными свойствами композиционных антифрикционных материалов на основе отходов стали 2Х6В8М2К7 с добавками твердой смазки CaF₂ для деталей печатной техники технологическим путем, выбирая для этого соответствующую марку металлических шлифовальных отходов в зависимости от назначения детали, количественными вариациями твердой смазки, а также возможность применять рациональные технологические режимы изготовления для получения наперед заданной структуры и прогнозируемого уровня функциональных свойств.

Ключевые слова: композиционный антифрикционный материал; шлифовальные отходы; легированная сталь; твердая смазка; технология изготовления; структура; свойства; детали трения.

T.A. Roik, Iu.Iu. Vitsiuk, O.I. Khmiliarчук

FEATURES OF STRUCTURE FORMATION AND PROPERTIES OF COMPOSITE ANTI-FRICTION MATERIALS FOR PRINTING MACHINES BASED ON RECOVERED WASTES

Background. Development of the technological measures for creating new antifriction composite materials based on industrial grinding waste of steel 2X6B8M2K7 with solid lubricant CaF₂, and also the technological possibilities expansion of using a wider range of valuable secondary raw materials for the synthesis of qualitative structural materials.

Objective. The aim of the paper is to determine the features of structure formation and their influence on the properties of composite antifriction materials based on industrial grinding waste of steel 2X6B8M2K7 with solid lubricant CaF₂ designed for the printing machine's friction unit in conditions of self-lubrication at speeds up to 750 rpm and loads up to 8.0 MPa in the air.

Methods. Development of the recovery technological modes of the industrial grinding waste of steel 2X6B8M2K7; determination of technological manufacturing operations for new antifriction composites that include mixing of steel powders with solid lubricant, pressing and sintering of composites. The study of the structure formation processes and properties of materials was carried out using optical and electron microscopy methods, standard methods for determining mechanical properties and tests for friction and wear.

Results. The influence of the developed manufacturing technology on the structure formation, physicomaterial and tribotechnical properties of materials based on steel 2X6B8M2K7 grinding waste with solid lubricant CaF_2 was determined and grounded, resulting in the formation of complex heterogeneous antifriction material with high functional characteristics.

Conclusions. The possibility to control the structure and functional properties of composite antifriction materials based on steel 2X6B8M2K7 grinding waste with solid lubricant CaF_2 for the printing machines' parts by technological means, selecting the appropriate mark of metal grinding waste depending on the purpose of the part, the solid lubricant quantitative variations, and to apply rational manufacturing technological modes for obtaining a predetermined structure and predicted level of functional properties are grounded.

Keywords: composite antifriction material; grinding waste; alloyed steel; solid lubricant; manufacturing technology; structure; properties; friction parts.

Рекомендована Радою
Видавничо-поліграфічного інституту
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
21 лютого 2018 року

Прийнята до публікації
6 вересня 2018 року