

УДК 621.002.3:621.89

Т. А. Роїк, І. Є. Дорфман

Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут»

Тел./Факс: +38 (066) 2004870; E-mail roik2011@gmail.com

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДШИПНИКОВИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ТЕХНІКИ

У статті наведено результати розробки та досліджень нових антифрикційних підшипникових матеріалів для поліграфічної техніки. Проілюстровано можливість підвищення ефективності роботи вузлів тертя поліграфічних машин завдяки використанню вторинної сировини – силумінових шламових відходів. Виконано комплексний Фур'є-аналіз періодичності структури, який надав можливість підтвердити ефективність даної розробки. Слід відмітити, що результати Фур'є-аналіза корелюють з дослідженими триботехнічними характеристиками підшипникових антифрикційних деталей.

Ключові слова: підшипникові матеріали, поліграфічна техніка, вузли тертя, Фур'є-аналіз, шламові алюмінієві відходи.

Вступ.

В даний час видавнича і поліграфічна індустрія переживає корінні технологічні зміни і знаходиться в стадії бурхливого розвитку. Найпоширеніший попит на різні види друкарської продукції, що відрізняються великим розмаїттям і номенклатурою, високими вимогами до якості продукції сприяє не тільки розвитку й удосконаленню класичних і давно відомих способів друку, але призводить до того, що велике значення надають вузлам та деталям поліграфічних машин, а саме їх здатності чинити опір різним видам контактної взаємодії. Тому центральне місце займають питання використання матеріалів тертьових сполучень, насамперед, антифрикційних матеріалів [1].

Підвищення технічного рівня машинобудування вимагає пошук дешевої, доступної, економічно вигідної сировини для створення антифрикційних матеріалів, що здатні забезпечити надійність, довговічність вузлів тертя, але при цьому їх потрібно буде виготовляти за нескладною технологією та з недорогої сировини.

В сучасному машинобудуванні наявні великі сировинні резерви, а саме шламові відходи чорних та кольорових металів і сплавів машинобудівного та приладобудівного виробництва. Такі відходи, зокрема, сплаву на основі алюмінію АК12ММгН, містять у своєму складі значну кількість цінних елементів — Cu, Mg, Si, Kd, Ni, Co, Mn та інших. Наявність у шламових відходах легувальних елементів, що в різних кількостях та комбінаціях містяться у вторинній сировині, зробила їх привабливою для подальшого використання з метою одержання з них якісних високолегованих антифрикційних матеріалів. Тому питання створення нових антифрикційних деталей, які б відповідали сучасним вимогам поліграфічного машинобудування, а також були б недорогими потребує подальшого дослідження.

Постановка задачі.

Метою роботи є розробка принципово нових технологічних режимів виготовлення підшипників ковзання з відходів силуміну АК12ММгН та визначення їх

впливу на формування властивостей нових композитів з утилізованої сировини, що здатні забезпечити істотне підвищення надійності і довговічності вузлів тертя поліграфічного обладнання, що працюють за швидкостей обертання 100-200 об/хв та при навантаженні 5-7 МПа.

Результати досліджень та їх аналіз.

Основою підшипникових матеріалів було обрано промислові шліфувальні відходи алюмінієвого сплаву АК12ММгН. Складнолегований силумін АК12ММгН має у своєму складі велику кількість легувальних елементів[2], масова частка яких становить, %: Si – 11,0...13,0, Cu – 1,2...1,6, Mg – 0,9...1,2, Zn – 0,3...0,5, Sn – 0,01...0,02, Mn – 0,3...0,6, Cr – 0,05...0,2, Ni – 0,8...1,3, Na – 0,05...0,1, Fe – 0,5...0,8, Ti – 0,05...0,2.

Шламкові шліфувальні відходи силуміну АК12ММгН є відходами виробництва заводу «Київтрактородеталь» (м. Київ), що утворились під час операцій шліфування поршнів двигунів тракторів, забруднені частками абразиву та компонентами мастильно-охолоджувальної рідини (МОР).

Спільно з Інститутом газу НАН України та колективом авторів [3] було відпрацьовано режими сушіння та відпал порошоків-відходів сплаву АК12ММгН від вологи і компонентів МОР. Було розроблено спеціальну установку (реактор), що являє собою трубу з товстостінної жароміцної та жаростійкої сталі. Сюди за допомогою шнека подається силуміновий шлам. Для видалення МОР нагрівання здійснюється природним газом з випалюванням продуктів сушіння. Нагрівання відбувається через випромінювання труби, яку нагріто до температури близько 900 °С.

Висушений шлам після печі охолоджували на повітрі в бункері, де збирається сировина. Після висушування від вологи та відпалення компонентів МОР проводили сепарацію силумінових відходів від абразиву методом електростатичних полів. Завдяки таким операціям одержували майже чисті порошки сплаву АК12ММгН з умістом забруднень до 2 %, придатні для подальшого використання у процесі виготовлення матеріалів потрібних характеристик, [1].

Для відпрацьовування технології виготовлення антифрикційних матеріалів з відходів силуміну АК12ММгН [1,3,4] було використано методику гарячого пресування.

У загальному вигляді схему технології виготовлення антифрикційних матеріалів з відходів силуміну АК12ММгН показано на рис. 1 [1]. Згідно з відпрацьованою технологічною схемою спочатку пресували заготовки за навантаження 500 МПа та кімнатної температури. Це забезпечило одержання щільних заготовок з поруватістю 7...8 %.

Пресування виконували на гідравлічному пресі ПСУ-125. Після цього проводили операцію гарячого пресування заздалегідь спресованих зразків за температури зовнішнього нагрівання 400 °С та навантаження 300 МПа. Для уникнення припикання зразків до прес-форми її змазували дисульфідом молібдену MoS₂. Власне гаряче пресування проводили на гідравлічному пресі для гарячого пресування номінальним зусиллям 1,6 МН.

Застосування операції гарячого пресування забезпечує повноту дифузійної гомогенізації матеріалу з відходів силуміну та дозволяє приблизити його властивості до властивостей литого сплаву.

Температуру гарячого пресування обирали відповідно до діаграми стану сплаву так, щоб вона була вищою від температури повного розчинення легувальних елементів у Al, але нижча за температуру плавлення (564 °С) незрівноважної евтектики у сплаві. Нагрівання понад температуру незрівноважної евтектики може призвести до появи

рідкої фази, що негативно впливає на міцність і, особливо, на пластичні властивості матеріалу. Так, після гарячого пресування заготовки з матеріалу на основі відходів силуміну АК12ММгН майже не мали залишкової поруватості – відносна щільність становила 0,98...0,99. При цьому щільність порошкових зразків дорівнювала $2,72 \text{ г/см}^3$, а з литого сплаву АК12ММгН – $2,75 \text{ г/см}^3$. Додатково обробляють заготовки у разі потреби, зокрема, для доведення деталі до потрібних розмірів за кресленнями. Такою обробкою, наприклад, є калібрування.



Рис. 1. Технологічна схема виготовлення антифрикційних матеріалів з відходів сплаву АК12ММгН [1]

При проведенні гарячого пресування при 400°C одночасно відбувалося здійснення операції гомогенізуючого відпалу матеріалу. Внаслідок чого, як відомо, усуваються нерівноважні структурні складники, що виникли у сплаві та присутні в порошках-відходах, через неповноту протікання процесів ще на етапі кристалізації виливку. В результаті цього структура стає більш однорідною, вирівнюється хімічний склад вздовж перетину зерна.

В результаті таких технологічних заходів утворилася складна гетерофазна металографічна

структура матеріалу АК12ММгН, яка забезпечила формування триботехнічних властивостей наведених у табл. 1.

Триботехнічні характеристики при дослідженнях визначали за методикою трибометрії на установці ВМТ-1. Випробування на тертя та знос проводили на повітрі при швидкості ковзання 100-200 об/хв, навантаженнях 5 - 7 МПа в парі з контртілом із сталі 45 (45-48 HRC_e) та змащуванні мастилом "І-20".

Аналіз даних табл. 1 показує, що новий матеріал на основі відходів сплаву АК12ММгН за антифрикційними – перевищує литий матеріал. Така поведінка нового матеріалу криється в суттєвих відмінностях структуроутворення композиційного та литого сплаву АК12ММгН, що виникають внаслідок різних принципів синтезу матеріалів. Суттєвий недолік литого сплаву полягає у тому, що наявність значної кількості Si (до 13 %), який має обмежену розчинність в Al не створює з ним хімічних сполук [1], призводить до утворення твердих структурних складників – кристалів Si високої твердості і крихких, а головне – роблять структуру сплаву нерівномірною, спричиняючи підвищене зношування сполучених з підшипником деталей.

Таблиця 1. Триботехнічні характеристики композиційного антифрикційного матеріалу на основі відходів алюмінієвого сплаву АК12ММгН

Склад матеріалу	Коефіцієнт тертя		Інтенсивність зношування зразка, мкм/км		Інтенсивність зношування контртіла, мкм/км		Граничнодопустиме навантаження, МПа
	При 5 МПа	При 7 МПа	При 5 МПа	При 7 МПа	При 5 МПа	При 7 МПа	
Композиційний сплав АК12ММгН	0,0075-0,0080	0,03-0,032	3,9	14,8	сліди	6,4	7
Литий сплав АК12ММгН	0,0250	0,08-0,087	6,0	28,6	2,5	18,6	3,5

Для підтвердження ефективності розробленої технології виготовлення матеріалів на основі порошків-відходів алюмінієвих сплавів було виконано Фур'є аналіз періодичності структури з фотозображень шліфів досліджуваних зразків за допомогою програмних пакетів аналізу зображень (рис. 2, 3).

Напруження впорядкованості структури, як відомо [5], завжди можна охарактеризувати функціями зсуву, повороту і зрушення періодичності, тобто відповідно функціями $f(x, y, z)$, $f(\alpha, \beta, \gamma)$ і $p(x, y, z)$.

Ці характеристики, які ілюструють ступінь організації структури матеріалу після виготовлення, проявляються у відбитому від елементів структури (від окремих частинок сплаву АК12ММгН) спектрі і реєструються та якісно оцінюються при скануванні вузького електронного променя вздовж аналізованої поверхні зразка. Оскільки різні ділянки структури відрізняються за їх просторовою орієнтацією, вони по-різному відбивають скануючий промінь, а відтак це спричинює зміну відбитого сигналу.

При дослідженнях, виконаних за методикою Фур'є-аналізу періодичності структури, застосовувались два режими (як у фазовому контрасті – ВЕ – у відбитих електронах, так і у вторинних електронах – SE), кількісно було оцінено рівень анізотропії (геометричної) та орієнтацію елементів структури матеріалу щодо головних діючих напружень шляхом аналізу фрактограм поверхні зразка, тобто у відбитих електронах (з глибини ~ 50 нм) та у вторинних електронах – з рельєфу поверхні.

У другому режимі (як у фазовому контрасті – ВЕ, так і у вторинних електронах – SE) якісно по складності фрактограми оцінювали складність структурного стану (кількість коефіцієнтів у рівнянні Фур'є), ступінь анізотропії (структурної) головних діючих напружень, що є наслідком технології гарячого пресування матеріалу, та одержували кількісну оцінку ступеня впорядкованості структури матеріалу.

При прямому скануванні електронного променя вздовж поверхні зразка (режими SE та ВЕ) визначався кут між віссю інерції і віссю абсцис кожного зі структурних елементів зображення (рис. 2.а; 3. а.).

При зворотному скануванні (рис. 2. б; 3. б) для вказаних геометричних параметрів одержували розраховану гістограму набору довжин хорд структурних елементів зображення (сплаву АК12ММгН та частинок абразиву) для кожного з виділених на зображенні кутових діапазонів (від 0 до 180° з інтервалом 10°).

Результати статистичного аналізу орієнтації елементів зображення, що одержані за допомогою розрахунку програмою SIA 1.00 двомірного Фур'є-спектру шляхом підрахунку числа потраплянь випадкової величини (довжин осей інерції

елементів структури матеріалу) у задані кутові діапазони, узагальнюються програмою одержанням головного вектору орієнтації структурних елементів щодо обраного напрямку сканування, сполученого з віссю абсцис.

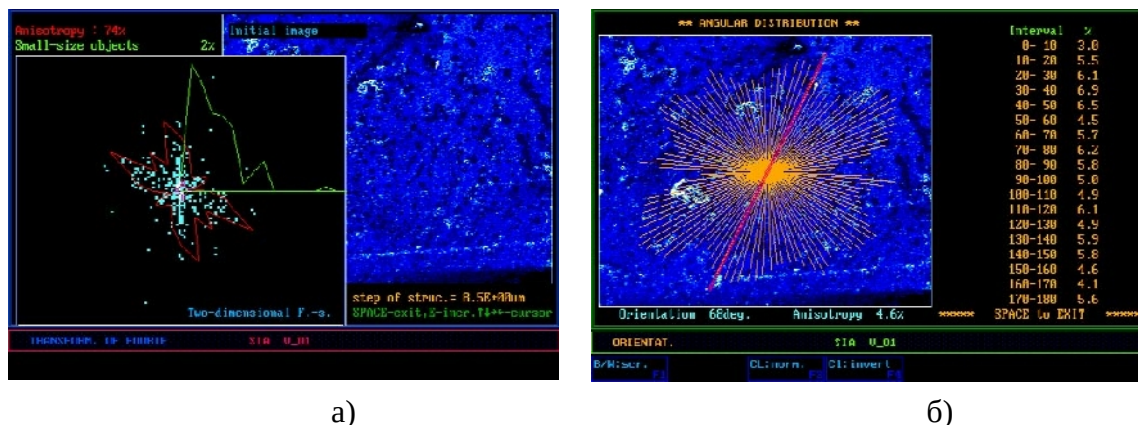


Рис. 2. Фур'є аналіз структури матеріалу на основі відходів сплаву АК12ММгН: а) структурна анізотропія; б) орієнтація частинок сплаву

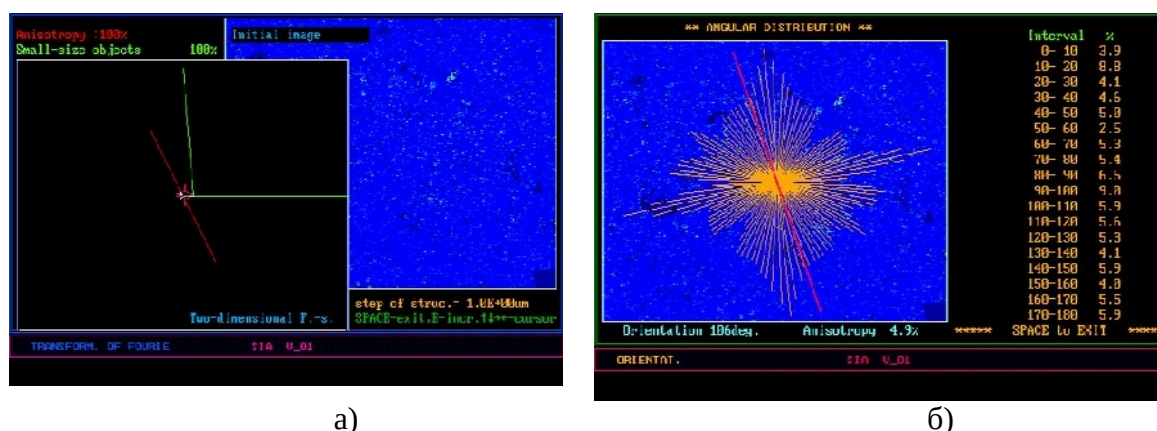


Рис. 3. Фур'є аналіз структури матеріалу на основі відходів сплаву АК12ММгН (у фазовому контрасті (глибина від поверхні 50 нм): а) структурна анізотропія; б) орієнтація частинок сплаву

В результаті аналізу структурного стану і реологічних особливостей вихідної поверхні матеріалу на основі відходів сплаву АК12ММгН, що проводили за двомірним спектром, було визначено кількість (у %) найдрібніших елементів структури та кількість (у %) блоків структурних складових для кожного кутового діапазону (рис. 2. б; 3. б). Це дозволило оцінити анізотропію структури матеріалу у цілому.

Результати розподілу структурних елементів матеріалу на основі сплаву АК12ММгН наведено у табл. 2.

Як показують результати досліджень, що зображені на рис. 2, 3 і табл.2, технологія виготовлення матеріалу на основі відходів сплаву АК12ММгН забезпечила одержання щільного ($\Pi \approx 1-2\%$) сильно деформованого матеріалу, про що свідчить 100 %-ва структурна (реальна фізична $A_{\text{стр.}}$) анізотропія, вже з глибини ~ 50 нм. Структурна анізотропія безпосередньо з поверхні зразка складає 74 %, що, вірогідно, пов'язано з її зменшенням при виготовленні шліфа. Про це також свідчить зміна кута нахилу головного вектору орієнтації структурних елементів матеріалу.

Таблиця 2. Розподіл структурних елементів в матеріалі на основі сплаву АК12ММгН

Режим аналізу	Фур'є-аналіз		Орієнтація	
	А _{стр.} , %	Дрібні об'єкти, %	Кут нахилу, град.	А _{сер.} , %
SE - рельєф поверхні (у вторинних електронах)	74	2	68	4,6
BE - у фазовому контрасті (глибина 50 нм)	100	100	106	4,9

При цьому незалежно від режиму аналізу (SE або BE) середня геометрична (орієнтаційна, А_{сер.}) анізотропія виявилась досить низькою – 4,6-4,9 %. Це свідчить про досить високу однорідність одержаної структури матеріалу. Наявність малої неоднорідності (анізотропії) підтверджується проведеними дослідженнями триботехнічних властивостей (табл. 1). Зношування матеріалу відбувається рівномірно по всій поверхні тертя.

Розподіл залишкових частинок абразиву (3-5 мас. %) у структурі металевої матриці матеріалу на основі відходів сплаву АК12ММгН відрізняється рівномірністю (рис. 2, 3), що сприяє реалізації принципу Шарпі (рівномірний розподіл твердих включень у м'якій матриці). Це, у свою чергу, мінімізує знос і стабілізує роботу пари тертя.

Одночасно з аналізом анізотропії структури матеріалу в роботі проводився якісний аналіз її текстури за фоновими ознаками: яскравість, розмір складових, форма, просторова орієнтація.

Як відомо [6, 7, 8], текстуру можна описати декількома ознаками: дрібнозерниста, грубозерниста, гладка, гранульована, безладна, лінійчата тощо.

Текстура матеріалу з відходів силуміну АК12ММгН зформувалась під впливом зовнішніх технологічних факторів – температурних і навантажуючих параметрів при виготовленні матеріалу (окрім ознак біографічного походження при металургійному переплаві). Тобто після виготовлення композиційного матеріалу за розробленими технологічними режимами одержується дрібнозерниста структура, про що свідчать рис. 2, 3 і табл. 1, зі 100 % кількістю дрібних об'єктів. Така структура забезпечує високий рівень триботехнічних властивостей матеріалу (табл. 1).

Висновки.

1. Визначено та обґрунтовано вплив нової розробленої технології виготовлення на формування триботехнічних властивостей матеріалу.

2. Для визначення багатогранності властивостей нових матеріалів здійснено комплексний методичний підхід до вивчення експлуатаційних властивостей. Визначено доцільність застосування Фур'є-аналізу для встановлення характеру періодичності структури з метою перевірки ефективності застосування технології виготовлення матеріалів.

3. Комплексний Фур'є-аналіз періодичності структури надав можливість підтвердити ефективність розробленої технології виготовлення композиційних антифрикційних матеріалів на основі шліфувальних відходів сплаву АК12ММгН, яка здатна забезпечити високий і стабільний рівень властивостей.

Список літератури:

1. Роїк Т.А., Киричок П.О., Гавриш А.П. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації. — К.: НТУУ “КПІ”, 2007. — 404 с.

2. Роїк Т. А. Влияние легующих элементов на структурообразование и свойства антифрикционных материалов из силуминовых отходов // Междунар. сб. науч. тр. «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». - Донецк: ДонГТУ. - 2003. - Вып. 26. - С. 44-51.

3. Новые композиционные материалы на основе алюминия / Ю. Ф. Шевчук, Т. А. Роик, В. П. Асанин, И. И. Белобородов // Вестн. НТУУ «КПИ». Машиностроение. - 1998. - Вып. 33. - С. 209-213.

4. Микрюков В. Е., Поздняк Н. З. Теплопроводность, электропроводность и механические свойства пористых железографитовых сплавов // Порошковая металлургия. - М.: Металлургиздат, 1984. - С. 37-72.

5. Компьютеризация растровых электронных микроскопов - новый уровень изучения и контроля поверхностей / А.Г. Гонтарь, В.Н. Ткач, Е.С. Кузьменко, С.В. Ткач, А.А. Шепелев//Инструментальний світ. -2001. -№ 12. -С. 16-18.

6. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности, пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 568 с.

7. Васильков Д.В., Печеню Д.Ю. Эффективность использования международных стандартов при контроле микрогеометрии поверхностей деталей // Инструмент. -1998.-№12.-С.6-7.

8. Диагностика качества режущей поверхности кругов из СТМ методом растровой электронной микроскопии / А.А. Шепелев, В.И. Лавриненко, В.Н. Ткач, А.Г. Гонтарь // Труды IV Межд. науч.-техн. семинара. «Високі технології в машинобудуванні: діагностика процесів і забезпечення якості». – Харьков ХГПУ. – 1996. – С. 234-236.

Надійшла до редколегії 22.06.2012 р.

Т. А. Роик, И. Е. Дорфман
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ПОДШИПНИКОВЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ
ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ
ТЕХНИКИ

В статье приведены результаты разработки и исследований новых антифрикционных подшипниковых материалов для полиграфической техники. Проиллюстрировано возможность повышения эффективности работы узлов трения полиграфических машин благодаря использованию вторичного сырья - силуминовых шламовых отходов. Выполнен комплексный Фурье-анализ периодичности структуры, который предоставил возможность подтвердить эффективность данной разработки. Стоит отметить, что результаты Фурье-анализа коррелируют с исследованными триботехническими характеристиками подшипниковых антифрикционных деталей.

Ключевые слова: подшипниковые материалы, полиграфическая техника, узлы трения, Фурье-анализ, шламовые алюминиевые отходы.

T. Roik, I. Dorfman
DEVELOPMENT TECHNOLOGY
MANUFACTURING MODE BEARING
MATERIALS FOR POLYGRAPHIC
MACHINES

In the article the results of development and researches of new bearing materials for polygraphic machines have been presented. Were illustrated the possibility of increase operation friction units of polygraphic machines efficiency due to using the secondary recourses – grinding aluminum wastes. Was carried out the complex Fourier analysis of structure periodicity. The analyses have given the possibility to confirm the efficiency of new technology. It should be noted that results of Fourier analysis correlate with antifriction bearing materials values tribotechnical characteristic.

Key words: bearing materials, polygraphic machines, friction units, Fourier analysis, grinding aluminum wastes.