

УДК 621.002.3:621.89

А.П. Гавриш, Т.А. Роїк, Ю.Ю. Віцюк, О.О. Мельник, В.В. Холявко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Тел. : (044)423-01-89; E-mail: yuliav@lanet.kiev.ua**ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТНИХ ПІДШИПНИКІВ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ ДЛЯ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН**

В статті наведені дані щодо розробки нових композиційних матеріалів на основі відходів сталі з домішками твердої змазки для підшипників ковзання поліграфічного обладнання з низьким коефіцієнтом тертя та інтенсивністю зношування. Наведені результати фізико-механічних та триботехнічних властивостей нових підшипників ковзання.

Ключові слова: композиційні матеріали, тверда змазка, поліграфічне обладнання, триботехнічні властивості.

1. Вступ

Вимоги до деталей тертя, які працюють в умовах інтенсивного зношування, постійно зростають, що призводить до необхідності створення нових та удосконалення існуючих технологій виготовлення такого типу деталей.

Як показує досвід спеціалістів з експлуатації техніки, що працює у важких умовах, основна причина її незадовільної роботи - це інтенсивне зношування робочих поверхонь деталей тертя, зокрема, підшипників ковзання.

Так, за даними Державного видавництва «Преса України» термін роботи підшипників з литої бронзи БрАЖ9-4 у вузлах тертя друкарських машинах КВА Rapida-105, «PLAMAG Rondoset RO 170», «STAR BINDER 1509» та ін., які працюють при високих швидкостях обертання та підвищених навантаженнях, коли на контактних поверхнях виникають температури до 400 °С, складає лише 0,5-1,0 рік, що пов'язано передусім з недосконалістю існуючих технологій їх виготовлення та наступної фінішної механічної обробки.

На сьогодні науково-дослідні роботи з регенерації та подальшого використання окремих типів шламових металевих відходів, як цінної вихідної сировини для виготовлення деталей конструкційного призначення, надали змогу започаткувати розробку технологічних заходів для виготовлення нових типів підшипників підвищеної зносостійкості.

Проте ще й досі відсутні відомостей щодо особливостей формування властивостей та плівок тертя у процесі роботи, які є носіями функціональних властивостей нових підшипників зі шламових відходів легованих сталей, що не дозволяє одержувати такі деталі зі стабільно високими експлуатаційними характеристиками.

Тому виявлення особливостей формування властивостей та аналіз утворених при роботі плівок тертя нових типів підшипників зі шліфувальних відходів легованої сталі 86Х6НФТ для жорстких умов роботи є **актуальною** науково-практичною задачею, розв'язання якої дозволить не тільки одержувати нові деталі з якісно іншим, високим рівнем властивостей, але і відкрити подальші шляхи створення і реалізації нових ресурсо- та енергозберігаючих технологій та вирішення завдань пошуку дешевих видів сировини

Отже, метою даної роботи, представленої в статті, було дослідження закономірностей формування структури на функціональні властивості нових високотемпературних підшипникових матеріалів зі шліфувальних відходів легованої сталі 86Х6НФТ, які містять тверду змащувальну речовину в залежності від умов експлуатації.

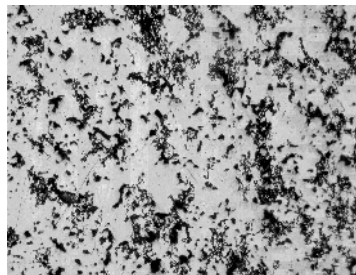
2. Загальний зміст та результати роботи

Вибір у якості твердої змащувальної речовини фториду кальцію (CaF_2) обґрунтовано його можливістю працювати у екстремальних умовах [1].

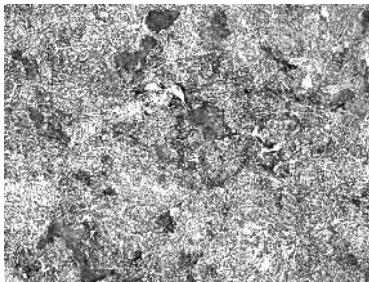
Предметом дослідження було обрано нові [1] підшипники на основі відходів легованої сталі 86Х6НФТ з твердим мастилом хімічного складу, мас. %: $\text{C}=0,8 - 0,9$; $\text{Mn}=0,15 - 0,4$; $\text{Cr}=5,0 - 6,0$; $\text{Ni}=0,9 - 1,3$; $\text{V}=0,30 - 0,50$; $\text{Si}=0,15 - 0,35$; $\text{Ti}=0,05 - 0,15$; Fe – решта та $\text{CaF}_2=4,0 - 8,0$.

Шліфувальні відходи інструментальної легованої сталі 85Х6НФТ (ГОСТ 5950-73) піддавали операціям очищення від абразивної крихти та відновлювальному відпалу. Очищенні порошки-відходи сталі 85Х6НФТ змішували з порошками фториду кальцію протягом 4 годин, пресували при тисках 800-900 МПа та спікали при температурах 1150-1200°C протягом 2 годин у середовищі водню.

Отриману металографічну структуру досліджували за допомогою фотомікроскопа відбитого світла «Neophot-32» (Німеччина) з максимальною роздільною здатністю. Металографічна структура матеріалу з 6% вмістом фториду кальцію зображена на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Мікроструктура матеріалу 85Х6НФТ + 6% CaF_2 : а) шліф не травлений, $\times 100$, б) шліф травлений, $\times 500$

відсутній залишковий аустеніт.

Окрім цього нікель разом з титаном та хромом утворює додаткові інтерметалідні фази типу $(\text{Ni}, \text{Fe})_3\text{Ti}$ та $(\text{Ni}, \text{Fe}, \text{Cr})_3\text{Ti}$, які сприяють підвищенню міцності та твердості, а відтак і зносостійкості матеріалу.

В результаті утворення дрібнозернистої структури металевої матриці підшипникового матеріалу виявляється відсутність границь між вихідними частинками сталі, що сприяє зростанню міцності і ударної в'язкості та підвищенню термічної стійкості твердого розчину, що є визначальним фактором для матеріалу, який працює при високих швидкостях і підвищених навантаженнях.

Нікель значно підвищує фізико-механічні властивості матеріалу, зокрема, його пластичність, внаслідок утворення при температурі спікання аустеніту зі зниженою кількістю вуглецю, а відтак і зі зниженою кількістю вуглецю у перліті сталі при повільному охолодженні матеріалу після спікання. Разом з цим нікель сприяє повній перекристалізації сталевій матриці при охолодженні після спікання таким чином, що у структурі матеріалу

Титан чинить модифікуючу дію, значно подрібнюючи зерно металевої матриці матеріалу завдяки утворенню карбідів типу TiC . Окрім цього частина титану входить до складу карбідів типів Me_7C_3 та Me_6C , а саме, до карбідів хрому $(Cr, Fe, V, Ti)_7C_3$ та $(Cr, Fe, V, Ti)_6C$, що забезпечує підвищення міцності матеріалу, а інша частина титану переходить до твердого розчину при температурі спікання, що посилює дисперсійне твердіння при охолодженні і тим самим підвищує вторинну твердість та теплостійкість матеріалу, який працює при високих швидкостях ковзання, температурах та підвищених навантаженнях.

Таким чином присутність нікелю разом з титаном сприяє значному зниженню коефіцієнту тертя та інтенсивності зношування за умов роботи при високих швидкостях ковзання, температурах та підвищених навантаженнях, що забезпечує збереження високих триботехнічних властивостей при швидкостях обертання 400-500 об./хв. та навантаженнях до 2,0 МПа на пару тертя.

Фізико-механічні властивості визначали за стандартними методиками: твердість за ГОСТ 25698-83, ударну в'язкість – за СТ СЭВ 472-77, межу міцності при згині – за ГОСТ 18228-72.

Триботехнічні властивості визначали на повітрі при швидкостях обертання 400-500 об./хв., навантаженні 2,0 МПа у парі з контртілом із сталі Р18 з твердістю 57-59 HRC.

У табл. 1 наведено склади нового підшипникового композиційного матеріалу (склади 1-3), а також фізико-механічні та триботехнічні властивості зазначених складів у порівнянні з властивостями відомого [1] – підшипникового композиційного матеріалу на основі сталі (склад 4).

Таблиця 1. Фізико-механічні та триботехнічні властивості досліджуваних матеріалів на основі відходів сталі

	Вміст компонентів, мас. %	Твердість, HB, МПа	Ударна в'язкість, Дж/м ²	Межа міцності при згині, МПа	Інтенсивність зношування, мкм/км, при швидкості обертання, об./хв.		Коефіцієнт тертя при швидкості обертання, об./хв.	
					400	500	400	500
1	86X6HФТ+4% CaF_2	900	790	610	36	47	0,21	0,22
2	86X6HФТ+6% CaF_2	910	760	600	34	44	0,19	0,20
3	86X6HФТ+8% CaF_2	920	755	590	38	48	0,20	0,21
4 [2]	5X3B3MФC+6% CaF_2	780-870	680-725	540-560	584-613	895-970	0,64-0,68	0,68-0,70

Наведені у табл. 1 дані свідчать, що використання шліфувальних відходів інструментальної легованої сталі 85X6HФТ як металевої основи нових підшипників ковзання у порівнянні з відомим [2] забезпечує надання матеріалу більш високих фізико-механічних та триботехнічних властивостей. Це відбувається завдяки позитивній дії додатково присутніх нікелю та титану, які відсутні у відомому матеріалі [2].

В результаті випробувань на поверхні утворилися плівки тертя, що показані на рис. 2.

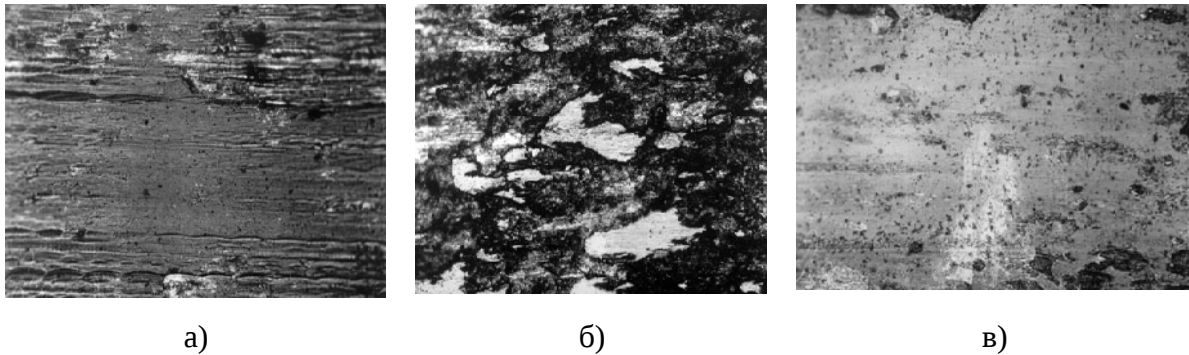


Рис. 2. Поверхня тертя, $\times 200$: а) - зразка з матеріалу 86X6HFT + 8% CaF_2 ; б) та в) - контртіла зі сталі P18 на початку та у кінці утворення плівки тертя (випробування при 2 МПа)

Під час проведення експериментів визначали як кількісні характеристики в умовах тертя (коефіцієнт тертя, інтенсивність зношування), так і характеристики процесу, пов'язані зі змінами складу поверхневих шарів, що відбуваються внаслідок впливу навантажень, швидкостей та навколишнього середовища. Для цього використовували підхід із залученням методів оже-спектроскопії.

Розподіл основних елементів утворених вторинних структур оцінювали за допомогою оже-спектрометра системи «Варіан», точність якого за абсолютними значеннями становить 0,5 еВ, по глибині шару – до 100 нм, в якому для детектування (аналізу) електронів за енергіями з метою зниження рівня фону використовується аналізатор типу циліндричного дзеркала. Дані про розподіл елементів одержано від відповідальних енергетичних спектрів оже-електронів, що збуджуються первинними електронами з енергією 5 кеВ за тиску залишкових газів у камері 10^{-7} Па.

Пощаровий аналіз проводили безпосередньо в камері приладу за допомогою іонної гармати методом іонного травлення (ерозії) контрольованим розпилюванням поверхні зразка іонами аргону (Ar^+) з енергією $E_i(\text{Ar}^+)=600$ еВ та густиною струму $i=5$ мкА/см², що забезпечило швидкість травлення плівок тертя близько 5 А/хв.

Оже-спектри по глибині плівок вторинних структур від матеріалу 86X6HFT + 6% CaF_2 після трибовипробувань при 2 МПа (рис. 3, 4).

Підтримання в камері приладу високого вакууму забезпечує мінімізацією такого шкідливого явища, як хімічна емісія залишкових газів, які дають власні енергетичні лінії. Тому, щоб унеможливити появу таких артефактів, адсорбований шар товщиною до 10 нм, що забруднював поверхню тертя, було видалено. Після видалення цього шару в плівці тертя на глибині до 20 нм виявлено ряд легувальних елементів, які зв'язані з киснем. Про утворення оксидів свідчить роздвоювання піків елементів: низькоенергетичного піка заліза з енергією 47 еВ – на два піки з енергіями 38 та 51 еВ; енергетичного піка вольфраму з енергією 37 еВ – на два піки з енергіями 36 та 37,5 еВ; енергетичного піка молібдену з енергією 235 еВ – на два піки з енергіями 234 та 236 еВ; енергетичного піка ванадію з енергією 516 еВ – на два піки з енергіями 515 та 517; енергетичного піка хрому з енергією 578 еВ – на два піки з енергіями 576 та 580 еВ та енергетичного піка марганцю з енергією 583 еВ – на два піки з енергіями 582 і 585 відповідно (рис. 3). За подальшого стравлювання по глибині плівки тертя до 100 нм подібного розщеплення енергетичних піків не спостерігається, що вказує на

збереження міжатомних зв'язків, які характерні для вихідного металевого стану. Товщина оксидної плівки – не більш ніж на 20 нм.

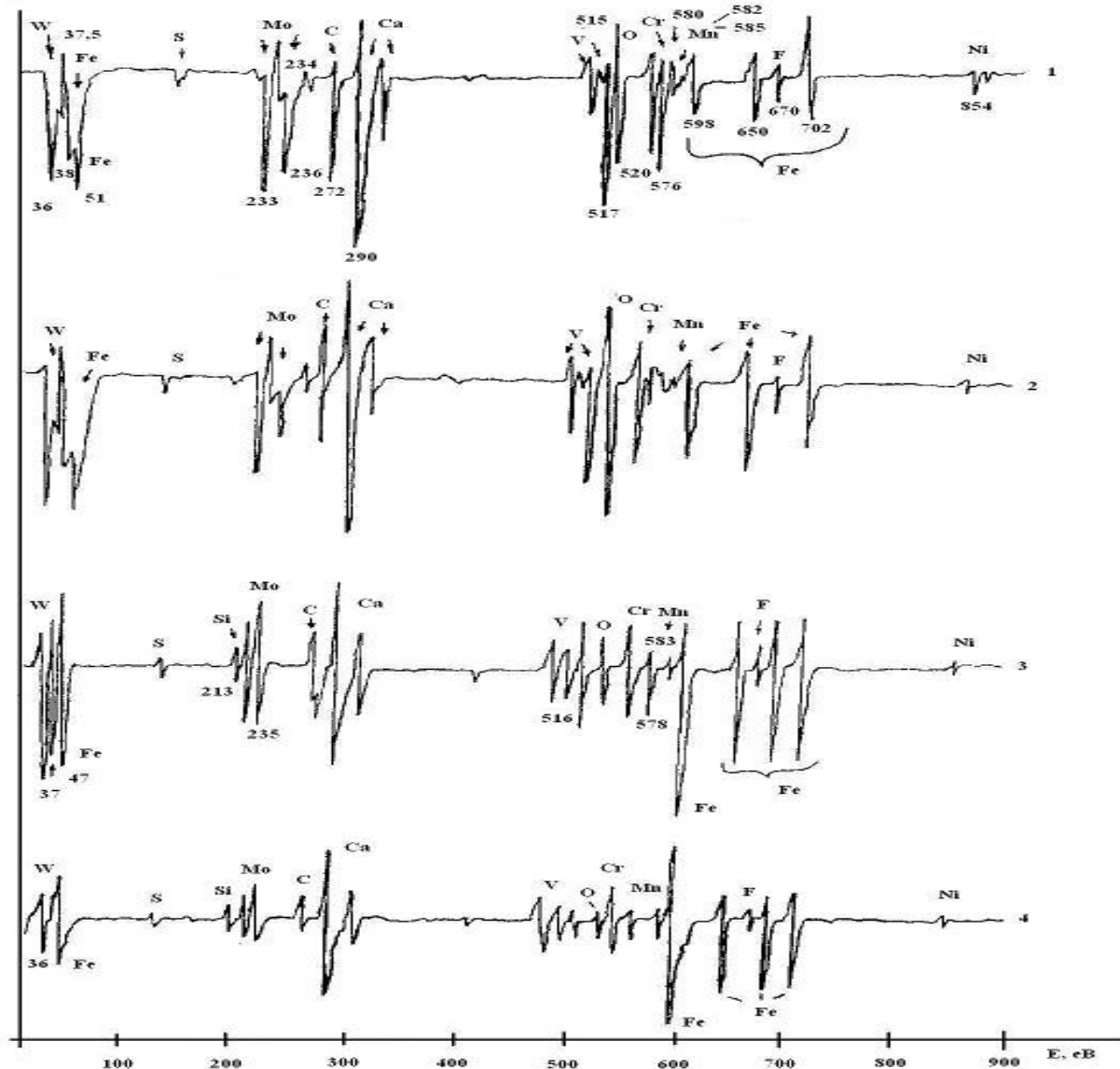


Рис. 3. Оже-спектри поверхні тертя по глибині (1-15 нм; 2-30 нм; 3-35 нм; 4-65 нм) матеріалу 86Х6НФТ + 6% CaF_2

Збереження форми піків оже-електронів заліза і легувальних елементів та наявність при цьому досить інтенсивного піка кисню при переході у деформований тертям шар на глибині понад 30 нм свідчать про можливість утворення в плівці тертя переважно кисневих фаз проникнення.

Аналіз форми оже-піка вуглецю свідчить про те, що він у плівці перебуває у вільному стані внаслідок окиснення за високих швидкостей обертання, які спричинили розігрів поверхонь, карбідів легувальних елементів, які наявні в металевій матриці матеріалу 86Х6НФТ + 6% CaF_2 . Цей процес відбувається, як відомо [2], послідовно: розчинення кисню, дисоціація карбідів з виділенням вільного вуглецю та утворення

оксидів легувальних елементів різного складу (окиснення вуглецю з утворенням CO_2 відбувається за більш навантажених умов роботи).

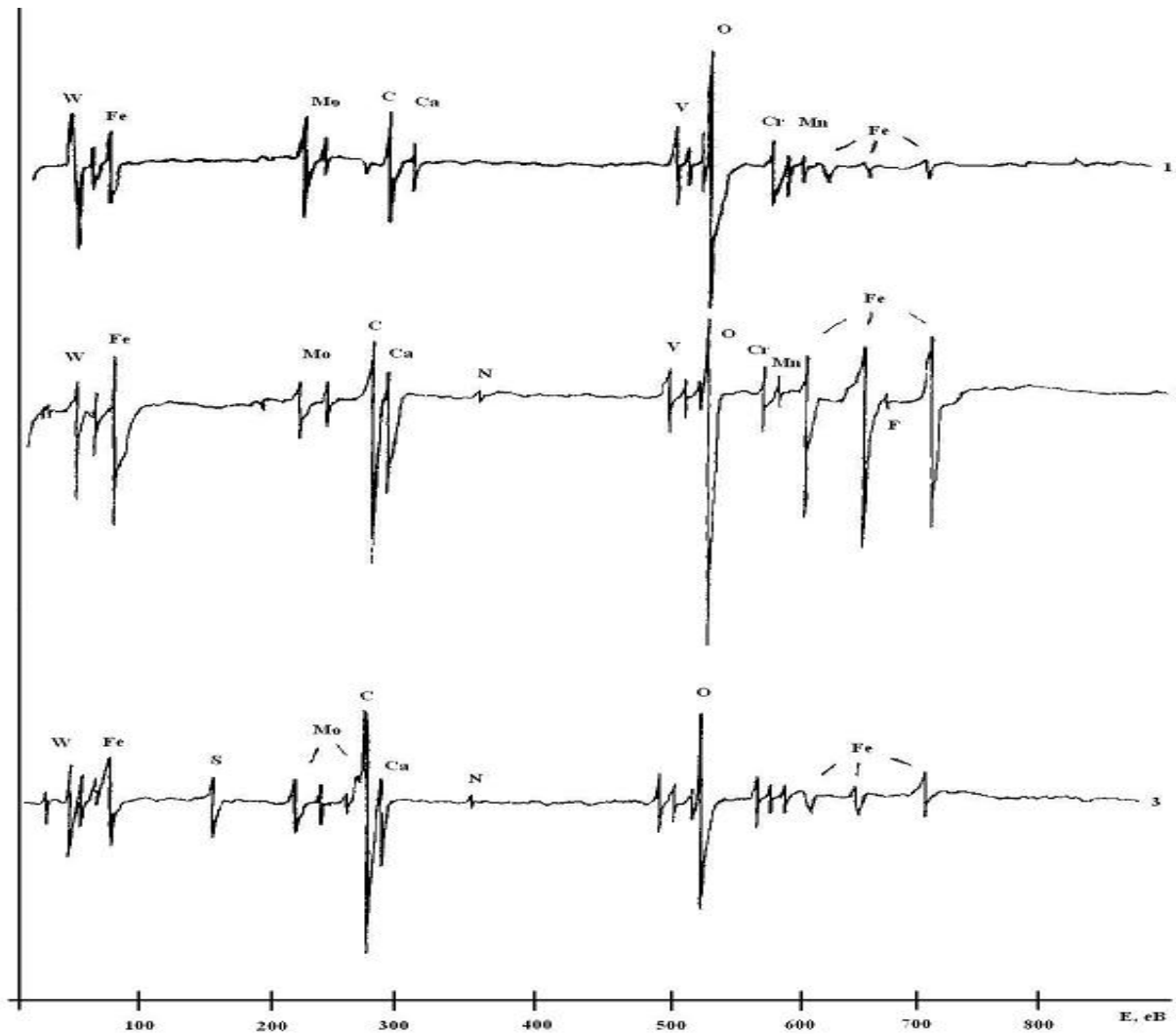


Рис. 4. Оже-спектри контртіла зі сталі Р18 після трибовипробувань: 1 – гладка світла зона; 2 – гладка темна зона; 3 – продукти зношування

По всій глибині іонного травлення плівки вторинних структур зафіксовано піки оже-електронів фтору та кальцію великої інтенсивності, які зумовлені наявністю в матеріалі фториду кальцію та виходом його в процесі тертя на поверхню, що, в свою чергу зумовлює участь CaF_2 у складних фізико-хімічних процесах структуроутворення плівок тертя.

Окрім дослідження розподілу елементів по глибині поверхневого шару матеріалу $86\text{X6HFT} + 6\%\text{CaF}_2$, оже-спектральний аналіз також виконували від обраних ділянок на поверхні контртіла зі сталі Р18 (рис. 4).

Видно, що ділянки світлої зони містять більш інтенсивні піки оже-електронів кисню, кальцію та елементів W, Mo, V, Cr, ніж інших легуючих елементів. На темних ділянках в оже-спектрах, окрім кисню, заліза та кальцію, міститься значна кількість

вуглецю. Ці елементи чинять екрануючу дію, що, вірогідно, і визначає дещо знижений вміст в оже-спектрах інших елементів.

У оже-спектрах продуктів зношування зафіксовано ідентичний набір елементів в – О, С, Са, Fe, W, Мо, V, Cr, Mn. Спостерігається лише їх різне співвідношення. Вуглець у зазначених випадках перебуває у вільному стані.

В усіх оже-спектрах форма піка вуглецю типова для перебування його у вільному стані.

Поява високоінтенсивного піку кисню свідчить про утворення пересичених високоокислених фаз у значній кількості.

Це визначається зміною кольору плівки тертя: частка фрагментів з безбарвним світлим кольором зменшується, а ділянки із забарвленням від темно-сірого до бурого збільшується.

3. Висновки

Підсумовуючи дані проведених комплексних досліджень, можна дійти висновку, що в процесі тертя матеріалів з відходів сталі 86Х6НФТ на повітрі при високих швидкостях обертання та підвищених навантаженнях на тертьових поверхнях відбувається формування складного комплексу – вторинних структур, які являють собою змащувальний шар, що відрізняється багатофазністю і складається з оксидних фаз та фториду кальцію, кількісна комбінація яких забезпечує високі значення антифрикційних властивостей матеріалу і його тривалу роботу у вузлах тертя друкарських машин.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення кількісного складу плівок вторинних структур для одержання можливості їх спрямованого „нарощування” шляхом обирання хімічного складу вихідної сировини матеріалів для конкретних умов експлуатації.

Список літератури:

1. Гавриш О.А., Роик Т.А., Гавриш А.П. Системные технологии финишной обработки деталей: Монография.- К.: ВПК «Политехника», 2011.- 375 с.
2. Патент України № 25627, С22С33/02, 10.08.2007, Бюл.№12.

Надійшла до редколегії 27.04.12 р.

А.П. Гавриш, Т.А. Роик, Ю.Ю. Вицюк,
О.О. Мельник, В.В. Холявко

ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ МАШИН

В статье приведены данные создания новых композиционных материалов на основе отходов стали с добавками твердой смазки для подшипников скольжения полиграфического оборудования с низким коэффициентом трения и интенсивностью износа. Приведены результаты физико-механических и триботехнических свойств новых подшипников скольжения.

Ключевые слова: композиционные материалы, твердая смазка, полиграфическое оборудование, триботехнические свойства.

A. Gavrish, T. Roik, Y. Vitsuk,
O. Melnik, V. Kholavko

FORMING PROPERTIES OF COMPOSITE BEARINGS BASED ALLOY STEEL WASTE FOR PRINTING MACHINES

In this work, a new composite materials based on waste alloy steel with additives efficient solid lubricant for manufacturing effective bearings of polygraphic equipment with low friction coefficient and wear have been presented. These materials were produced and researched their surface status and antifriction material's tribotechnical properties.

Key words: composite materials, solid lubricant, polygraphic equipment, tribotechnical properties.