

УДК 621.891, 620.194

М. В. КИНДРАЧУК¹, О. О. МІЦУК², Е. А. КУЛЬГАВИЙ¹, О. Л. ДІДЕНКО¹

¹Національний авіаційний університет, Україна

²Український науково-дослідний ін-т нафтопереробної промисловості «МАСМА»

НОВІ ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ БАБІТУ

Досліджено мікроструктуру та властивості поверхневих шарів третьової поверхні бабітового покриття після граничного режиму тертя. Виявлено особливості будови поверхневих субмікрозерен.

Ключові слова: бабітове покриття, тертя, мікроструктура поверхні, поверхневий шар

Вступ. Сплави на основі олова і свинцю (бабіти) є найбільш давніми підшипниковими матеріалами. Подібне довголіття обумовлюється їх неперевершеними серед інших металевих матеріалів антифрикційними властивостями та відмінною припрацьовуваністю [1]. Нині для заливання вкладишів підшипників ковзання газоперекачувальних агрегатів використовують олов'янисті бабіти марок Б83 та Б88 (ГОСТ 1320-74). Це високоякісні, з жорсткими вимогами до їх хімічного складу, але також й доволі високовартісні та дефіцитні сплави. Окрім того, бабіти не забезпечують необхідної несучої здатності підшипників за підвищених температур експлуатації. Тому, виникає необхідність пошуку альтернативних високотемпературних матеріалів. Зокрема, розроблено дешевший за бабіти антифрикційний евтектичний сплав на основі заліза, додатково легований оловом та свинцем [2; 3]. Залізо, хром, нікель та мідь у сплаві створюють металеву матрицю, в якій рівномірно розподілена зміцнювальна фаза – кристали дибориду титану і монокарбїду ванадію. Легівні домішки олова та свинцю підсилюють позитивний вплив міді [4], що покращує антифрикційні характеристики та зносостійкість матеріалу за умов тертя без змащування. В мастильному ж середовищі розроблений сплав переважає бабіти за високотемпературними трибологічними властивостями, йому також властива підвищена опірність втомі. Але характеристики бабітів залишаються кращими за звичайних, близьких до кімнатної температур. Тому дослідження процесів механохімічної перебудови поверхневих шарів бабіту в контактній зоні тертя перспективні з погляду на механізми забезпечення антифрикційності матеріалу.

Стан проблеми. Всі бабіти найпоширеніших марок Б83, Б83С, Б88, Б93 мають гетерогенну структуру і являють собою субмікро- та нанодисперсну суміш твердих розчинів на основі олова (м'яка основа) і інтерметалїдної сполуки SnSb (тверді включення). Зважаючи на низький втомний опір бабітів, їх застосовують переважно як матеріал робочого покриття (товщиною до 1 мм) поверхонь в опорах ковзання. Вторинні третьові структури, які обумовлюють антифрикційність та зносостійкість підшипників у цілому, виникають у межах контактної зони тертя внаслідок механохімічної перебудови поверхневих шарів, значно тонших (до 1 мкм) порівняно з товщиною бабітового покриття [5]. Враховуючи нові результати дослідження причин зносостійкості поверхонь тертя пари бронза-сталь [6; 7], які проілюстрували їх особливий відновлено-окиснений стан та комплексну тонкоплівкову будову поверхневих шарів з елементно ущільненими та розрідженими прошарками, слід вивчити також кореляції компонентного складу та елементної щільності антифрикційних поверхонь бабіту.

Мета та завдання досліджень. Метою роботи було дослідження механізмів антифрикційності бабітового покриття та особливостей тонкоплівкової будови його поверхневих шарів, утворених на різних ділянках тертьової поверхні за умов граничного тертя, наближених до експлуатаційних для підшипників ковзання газоперекачувального агрегату. Для цього проаналізовано компонентний склад та закономірності зміни елементної щільності [7] тих поверхневих прошарків, що суттєво відрізнялись тонкою структурою спектральних ліній.

Об'єкти та методи досліджень. Трибологічні властивості бабітового покриття товщиною близько 1 мм вивчали на розробленому лабораторному пристрої тертя за кінематичною схемою блок-кільце. Номінальна площа тертьової поверхні бабітового покриття на робочій поверхні блоку складала 300 мм². Для досліджень вибрали бабіт марки Б83. Контрзразок (кільце, діаметр доріжки тертя 50 мм) виготовлювали зі сталі 45 в загартованому стані. Для змащування пари використовували турбінну оливу ТП22.

Мікроструктуру поверхонь тертя бабітового покриття після трибологічних випробувань вивчали методами металографії, оптичної та електронної растрової мікроскопії. Тонкоплівкову будову поверхневих шарів досліджували методами мікрозондової Оже-електронної спектроскопії та ступінчастого розпорощення характерних мікроділянок поверхонь тертя бабіту йонами аргону (прилад JEOL JAMP-10S). Елементну щільність тертьових поверхневих прошарків бабіту аналізували за наступною характеристикою, вимірюваною за умови сталого діаметру пучка первинних електронів:

$$\text{Характеристика } (h) = (S(h) - S_0) / S_0, \quad (1)$$

де $S(h)$ – сумарна інтенсивність Оже-ліній, нормованих на відповідні коефіцієнти відносної чутливості, для всіх елементів досліджуваного поверхневого прошарку, розташованого на глибині h , що пропорційна тривалості розпорощення поверхні сплаву йонами аргону; $S_0 \cong \text{const}$ є усереднене значення $S(h)$ у «об'ємі» металевого покриття. Відносні концентрації елементів у поверхневих шарах бабіту розраховували за інтенсивностями характеристичних ліній на Оже-спектрах типу EdN/dE , використовуючи коефіцієнти відносної чутливості [8].

Результати досліджень та їх обговорення. Вивчаючи трибологічні характеристики модельної пари «блок (з бабітовим покриттям) – кільце (сталь)» за навантажувально-швидкісних умов, наближених до експлуатаційних для підшипників ковзання газоперекачувального агрегату, виявляли випадки оптимальної антифрикційної поведінки бабітового покриття, коли коефіцієнт тертя після короткочасного періоду припрацювання пари зменшувався до величини 0,02. Зразки поверхонь тертя для цих випадків відбирали для подальших досліджень. Приклад такої поверхні ілюструє рис. 1. Інтенсивність об'ємного зношування бабітового покриття за питомого навантаження 5 МПа та швидкості обертання сталевго кільця 500 хв.⁻¹ складала 0,07 мм³/мм² на 1 км шляху тертя.

Аналіз топографічного та фазового контрасту поверхні тертя бабіту виявляє характерні поверхневі зони двох типів (рис. 1, а): переважно темного контрасту (зону 1), на яку приходиться найбільша доля поверхні тертя, та світлого контрасту (зону 2), що притаманний окремим відносно тонким смугам ковзання. На багатьох ділянках тертьової поверхні бабітового покриття мікрозони 1 та 2 спостерігали одночасно (рис. 1, б). Мікроструктура поверхневих зон темного контрасту

є дрібнодисперсною (середній діаметр зерен 0,31 мкм з розкидом у діапазоні 0,23–0,37 мкм) порівняно з мікроструктурою зон світлого контрасту (0,56 мкм з розкидом у діапазоні 0,42–0,65 мкм).

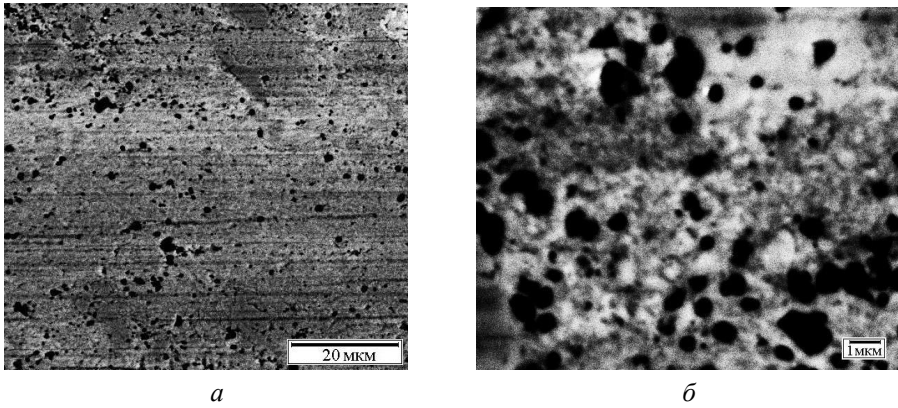


Рис. 1. Мікроструктура та фазовий контраст третьової поверхні бабітового покриття. Зображення: SEI. Питоме навантаження 5 МПа; швидкість обертання 500 хв.⁻¹, кімнатна температура. Турбінна олива ТП22

З метою усереднення наступний Оже-аналіз третьової поверхні бабітового покриття був експериментально реалізований таким чином, що охоплював водночас до 15 субмікрозерен зони 1 або до 5 мікрозерен зони 2. Отже, границі зерен та міжзеренна гранична фаза дали свій внесок в отримані результати.

Оже-спектральний аналіз різних мікроділянок третьової поверхні бабітового покриття виявив принципову відмінність базового елементного та домішкового складу, ступеня окиснення поверхневих шарів мікрозон 1 та 2, що відобразилось не тільки на амплітудах, але й на тонкій структурі спектральних ліній (рис. 2).

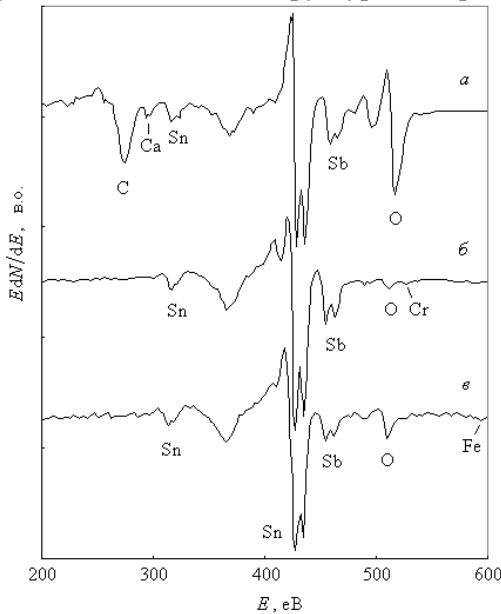


Рис. 2. Тонка структура Оже-ліній олова на поверхні (а) та в підповерхневих прошарках (б, в) на глибині 70 нм від поверхні бабітового покриття для мікроділянок: зони 1 (а, б) та зони 2 (в)

Розрахунок концентрацій елементів для різних поверхневих прошарків на різних ділянках тертьової поверхні бабітового покриття свідчить, що під час тертя в межах мікрозон 1 загалом відбувається збіднення поверхневих шарів сплаву на мідь, а в межах мікрозон 2 – на сурму (табл. 1).

Таблиця 1

Елементний склад досліджуваних ділянок тертьової поверхні (рис. 1 та 2)

Ділянка поверхні	Глибина, нм	Концентрація елементів, ат. %					
		Sn	Sb	Cu	O	C	Решта
Мікрозона 1	0	39,2	10,6	0,4	26,1	18,0	Ca, Al
	70	81,3	10,7	3,3	2,1	0,5	Cr, Mn
Мікрозона 2	70	76,7	5,6	8,0	5,7	0	Fe, Al
Б83 (ГОСТ 1320)		79,1	10,2	10,7			

Слід зауважити, що поверхневий шар зони 1 більше насичений вуглецем. Різняться також мікродомішковий стан зон 1 та 2, що може бути наслідком різної контактної взаємодії відповідних ділянок поверхні бабітового покриття з поверхнею сталевого контртіла. Наявність мікродомішки заліза в поверхневих шарах зони 2 обумовлена, ймовірно, перенесенням на бабіт мікрофрагментів поверхні контртіла. На сильнішу контактну взаємодію мікроділянок зони 2 з поверхнею контртіла вказує ступінь окиснення підповерхневих шарів зони 2, який значно перевищує ступінь окиснення підповерхневих шарів зони 1 (табл. 1). Очевидно, що мікрозерна зони 2 є окисненими конгломератами субмікрозерен зони 1 (рис. 1, б).

Зроблені оцінювання стверджують висновок про те, що відзначена вище антифрикційність бабітового покриття пов'язана з процесами механохімічної перебудови та властивостями його поверхневих шарів у межах ділянок зони 1, які охоплюють переважну частину поверхні тертя (рис. 1). Подібний висновок обумовлює необхідність ретельного вивчення тонкоплівкової будови поверхневого шару цієї зони. Профілі розподілу елементного складу та щільності (за критерієм (1)) поверхневого шару зони 1, проаналізовані на глибину до 230 нм від поверхні (розмір мінімального зерна цієї зони), наведено на рис. 3.

Аналіз профілів (рис. 3) виявляє наявність у структурі поверхневого шару бабітового покриття декількох характерних прошарків: *0-I* – елементно ущільненого поверхневого з максимальною концентрацією вуглецю; *0-II* – елементно ущільненого з максимальною концентрацією кисню; *II-III* – перехідного від ущільненого до наступного розрідженого; *III-IV* – елементно розрідженого з максимальними концентраціями сурми та міді; *IV-V* – умовно «нанофрагментованого»; *V-230* – підповерхневого з концентраціями олова та сурми, що відповідають сплаву Б83, але в 2-3 рази зменшеною концентрацією міді.

Отже, наведені результати свідчать про перерозподіл базового елементного складу бабітового покриття в межах його поверхневих субмікрозерен (рис. 1). Найближчим до сплаву Б83 за концентраціями сурми та міді є склад прошарків *III-V* (рис. 3). Елементна щільність «нанофрагментованого» поверхневого прошарку *IV-V*, усереднена в межах поперечного перерізу декількох поверхневих зерен фази 1 (рис. 1), змінюється квазіперіодично з коливаннями типу “розріджений-ущільнений”. Ущільнення цього прошарку супроводжуються сплесками концен-

трації вуглецю та зменшеннями відносної концентрації міді. Це сприяло виявленню границь фрагментів, позначених у межах прошарку *IV-V* як субграниці *IVA* (рис. 3, б), та визначенню місць їх локалізації.

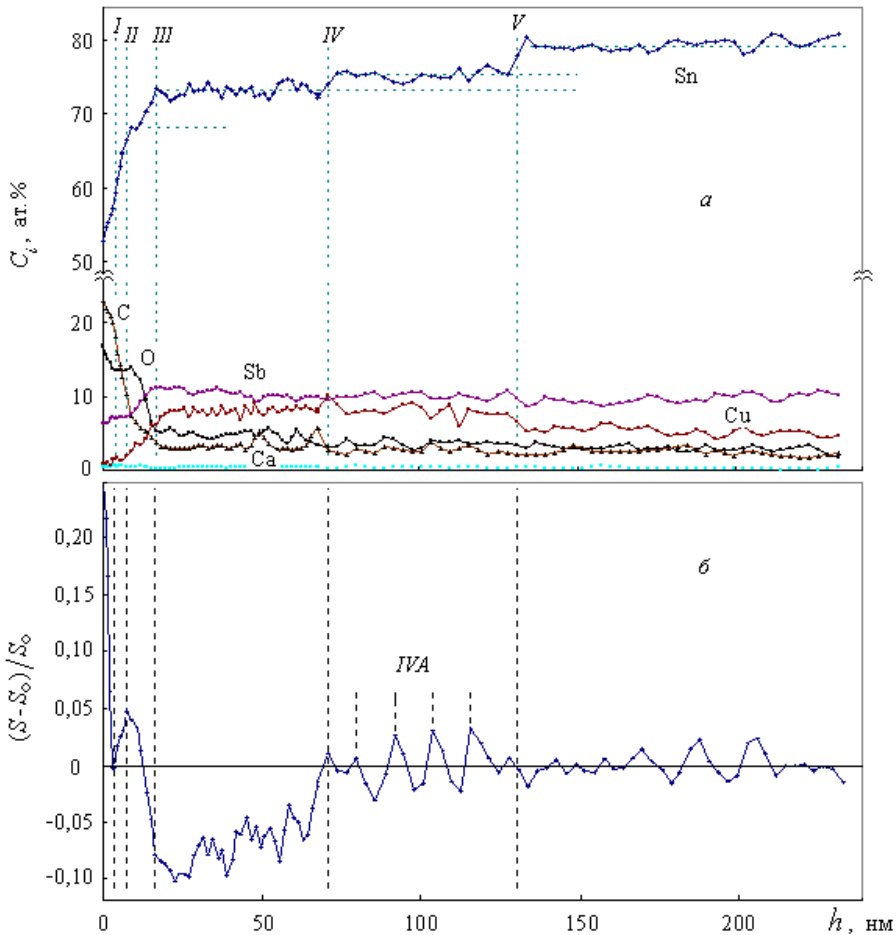


Рис. 3. Профілі концентрацій елементів (а) та елементної щільності (б) поверхнього шару для характерної мікроділянки зони 1 третьовій поверхні бабітового покриття (рис. 1). Римськими цифрами позначено границі між різними поверхневими прошарками

Зважаючи на переріз границею *V* середини поверхневих субмікрозерен зони 1 (рис. 1) та чіткість субграниць *IVA*, констатуємо доволі упорядковане фрагментування міжзеренного простору поверхнього шару з розміром фрагментів близько 12 нм (рис. 3, б). Зауважимо, що цей розмір фрагментів відповідає також товщині ущільненого оксидного поверхнього прошарку *0-II, III*.

Подібні до досліджуваних (рис. 1) поверхні субмікрозерна спостерігали також на третьовій поверхні бронзи [6, 7] за умов ефекту “вибірною перенесення” в парі бронза-сталь. Поверхневий елементно ущільнений шар на поверхні бронзи з характерним для бабіту (рис. 3, б) ущільненням утворювався, однак, переважно під впливом вуглецю. Вуглець проникав значно глибше, навіть за межі поверхневих субмікрозерен у підповерхневий шар бронзи товщиною до 2 мкм, створював ізоморфну суміш з атомами міді [9], яка була провідною фазою в на-

нодисперсній композиційній структурі “сервоитної плівки” та обумовлювала її елементно ущільнений стан [7]. Як наслідок, властивий бабіту елементно розріджений прошарок III-IV (рис. 3, б) у поверхневому шарі бронзи в цьому випадку не утворювався.

Зауважимо, що поверхневий ущільнений шар (рис. 3, б) може бути окремою тонкоплівковою фазою, яка утримується на поверхні елементно розрідженого прошарку III-IV силами адгезії. Товщина цього шару тоді залежатиме від властивостей компонентів мастильного середовища. Наприклад, виявлено, що під впливом оливорозчинного дрібнодисперсного гідроксисилікату магнія та заліза на третьових поверхнях сталеві пари утворюється поверхнева абразивно-зносостійка структура, яка включає елементно ущільнений адгезійний поверхневий шар субмікронної товщини 130-160 нм [10].

З метою вивчення фазового складу виявлених поверхневих прошарків бабітового покриття (рис. 3) розглянемо кореляції між концентраціями його базових елементів (Sn, Sb, Cu) та домішок (рис. 4). Подібні кореляційні залежності є своєрідними фазовими діаграмами тонкого поверхневого шару металу.

Аналіз виявляє, що певні ділянки кореляційних залежностей рис. 4 можна екстраполювати відрізками прямих:

$$y(x) = a(x - x_0) + y_0, \quad (2)$$

де $y(x)$ та y_0 – концентрації елементів згідно осі ординат рис. 4; x та x_0 – концентрації елементів згідно осі абсцис відповідної кореляційної залежності; a – сталі коефіцієнти.

Відрізки горизонтальних прямих y_2 та y_8 ($a = 0$) вказують на характерні концентрації елементів у відповідних прошарках (рис. 4, а, в). Значення величин a , x_0 та y_0 для всіх екстраполяційних прямих y_1 - y_9 на рис. 4 наведено в табл. 2.

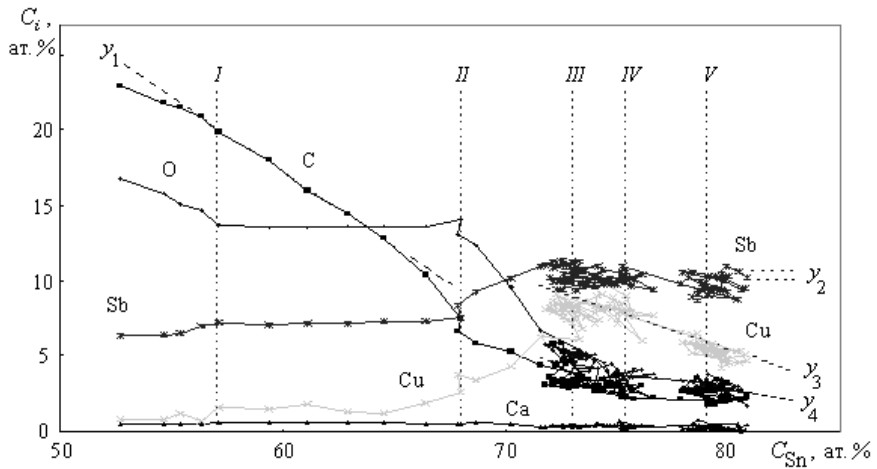
Лінійні екстраполяції y_1 , y_6 , y_7 та y_9 (рис. 4) з характерним коефіцієнтом $a = -1$ свідчать про ізоморфне заміщення елементів x та y в наноструктурних фазах [9], що у відповідних поверхневих прошарках мають концентрації x_0 :

$$y + x = x_0. \quad (3)$$

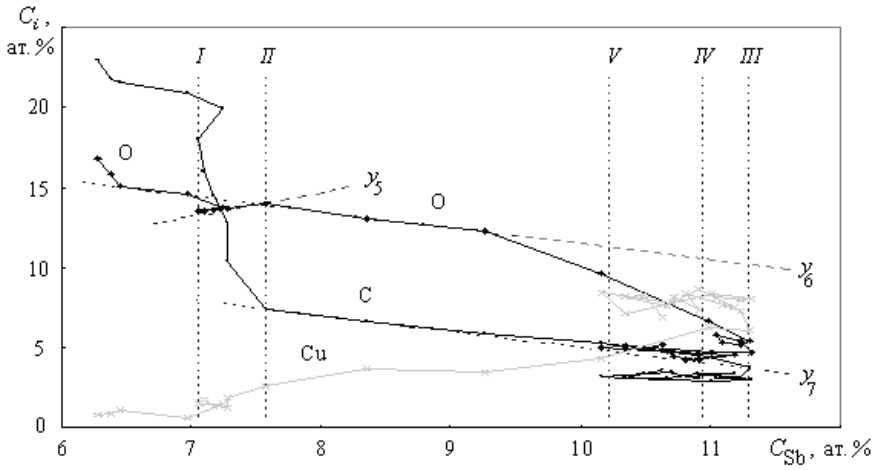
Наявність двох фаз, для яких виявлено ізоморфні зміни концентрацій вуглецю та олова (рис. 4, пряма y_1) і сурми та кисню (пряма y_6), свідчить про наноконпозиційну структуру поверхневого ущільненого шару 0-II зі співвідношенням вказаних фаз 77,2:21,5 (або 3,6:1).

Відзначимо, що тонка структура спектральної лінії вуглецю (рис. 2, а) на поверхні зони 1 є типовою не для адсорбованого вуглеводню, а для карбідів [11]. Розрахунок концентрацій елементів (табл. 1) ілюструє для випадку поверхні наявність гіпотетичного карбіду олова зі стехіометрією близькою до Sn_2C . Оскільки олово не утворює карбідних сполук за нормальних умов, виявлений карбід має бути термодинамічно нестійким, здатним до структурної перебудови та пристосування.

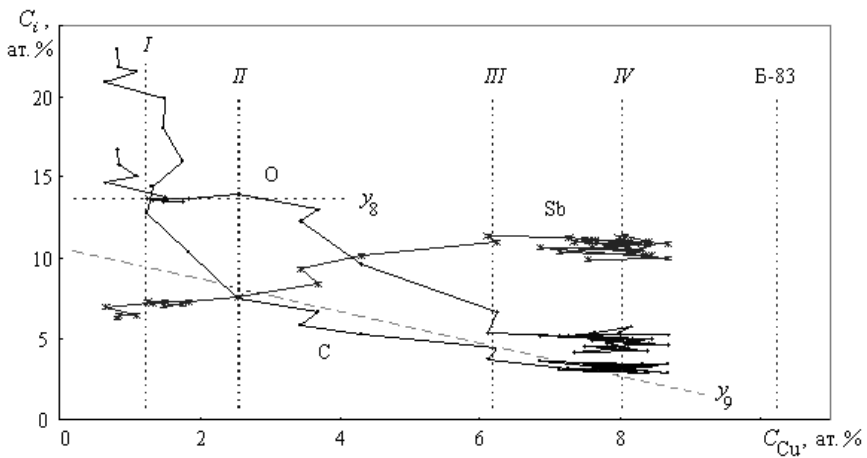
Подібну елементно ущільнену комплексну структуру, але в межах доволі товстого поверхневого шару (товщиною до 2 мкм), вже спостерігали для поверхонь тертя бронзи [6, 7]. В досліджених поверхневих шарах виявили ізоморфізм вуглецю та міді, а також, водночас, заліза та кисню.



a



b



b

Рис. 4. Кореляційні залежності між концентраціями базових елементів (Sn, Sb, Cu) та домішок бабітового покриття в поверхневому шарі зони 1 (рис. 1), побудовані за даними рис. 3, а для поверхневого шару: 0-240 нм (а); 0-IV (б, в)

В межах прошарку *I-II* ізоморфне заміщення сурми на кисень (пряма y_6) переривається утворенням фази оксиду, що за співвідношенням концентрацій сурми та кисню відповідає високотемпературному діоксиду SbO_2 (рис. 4, *a*). Однак, екстраполяція y_5 свідчить, що в діапазоні концентрацій сурми 7,1-7,6 ат. % концентрація кисню змінюється пропорційно у відповідності до випадку звичайного сесквиоксиду Sb_2O_3 (рис. 4, *б*; табл. 2).

В підповерхневих прошарках *II-III-IV* також виявлено ізоморфізм вуглецю та сурми (рис. 4, пряма y_7) та, водночас, вуглецю та міді (пряма y_9). Зроблені лінійні екстраполяції свідчать про зв'язок атомів сурми та міді в цих прошарках.

Максимальна концентрація міді 10,2 ат. %, що наближена до її концентрації в сплаві Б83 (табл. 1), досягається тільки на границі *IV* (рис. 3, *a*). Ця границя є межею, на якій припиняється ізоморфне заміщення між атомами вуглецю та міді (рис. 4, *в*, пряма y_9). У напрямку від границі *IV* до границі *V* концентрація міді зменшується, що корелює із зменшенням концентрації кисню (екстраполяції y_3 та y_4) за порівняно незначних коливань концентрацій сурми та вуглецю відносно їх незмінних середніх рівнів (рис. 4, *a*). В цьому випадку співвідношення між атомами міді та кисню відповідає стехіометрії оксиду Cu_2O (табл. 2). Зауважимо, що за умови зменшення вмісту цього оксиду міді до нуля (табл. 2; y_3 та y_4 ; рівняння (2)) елементний склад поверхневого прошарку стане подібним до сплаву Б93, однак, з домішкою вуглецю близько 2 ат. %.

Таблиця 2

Параметри рівняння (2) для екстраполяційних прямих y_1 - y_9 (рис. 4)

Параметр	y_1	y_2 (Б83)	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9
a	-1	0	-0,5	-0,25	1,5	-1	-1	0	-1
x_0 , ат. %	77,2	0	91,0	91,0	7,2	21,5	15,0	0	10,7
y_0 , ат. %	0	10,7 (Cu) 10,2 (Sb)	0	0	13,7	0	0	13,7	0

За вищенаведеними результатами досліджень механізми утворення антифрикційної структури (ділянки зони 1) поверхневого шару бабітового покриття $SnSbCu$ (сплаву Б83) є наступними.

Під час механохімічної активації в контактній зоні тертя внутрішня частина (ядро) поверхневих зерен сплаву збіднюється на мідь. Водночас, внаслідок окиснення утворюється підповерхневий прошарок *III-V*, що вміщує оксиди міді та обмежує рухливість її атомів. В цьому прошарку концентрації міді та сурми наближені до характерних для сплаву Б83. Від границі *IV* в напрямку поверхні спостерігаємо ізоморфне заміщення атомів міді вуглецем. На поверхні зерен утворюється ущільнений нанорозмірний (товщиною від 4 до 12 нм) поверхневий шар, який, ймовірно [10], зв'язаний з підповерхневими прошарками силами адгезії. Ізоморфні заміщення на вуглець атомів міді у прошарку *II-III* та атомів олова в адгезійному поверхневому шарі *0-II* корелюють із зростанням ущільнення поверхневого шару, а також, загалом, із зменшенням концентрацій олова та міді в структурі поверхневих зерен. Останнє, ймовірно, й сприяє виникнен-

ню елементно розрідженого стану підповерхневого прошарку III-IV, який має товщину 55-60 нм. Атоми сурми в ущільненому поверхневому адгезійному шарі ізоморфно заміщуються киснем та створюють у прошарку I-II оксидну фазу, яка може суттєво впливати на властивості всієї антифрикційної структури поверхні бабітового покриття.

Механохімічна активація окиснення мікроділянок поверхні тертя бабіту внаслідок мікроприхоплень, локальних перенавантажень та розігрівань у межах контактної зони зумовлює утворення оксидів міді та стабільність її концентрації у складі поверхневих зерен, але, натомість, спричинює суттєве збіднення на сурму, що завершується утворенням поверхневих ділянок зони 2 (рис. 1; табл. 1).

Інформативним є дослідження початкових стадій руйнування бабітового покриття (рис. 5), які завершуються пристосовуваністю структури до встановленого режиму тертя.

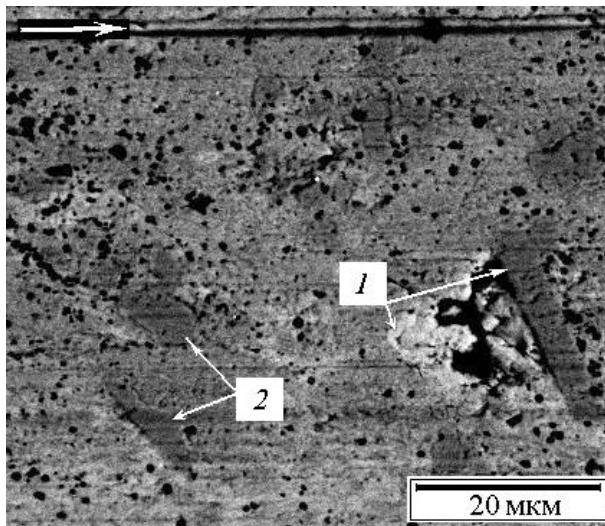


Рис. 5. Характер руйнування мікроділянок поверхні бабітового покриття.

Стрілка зверху вказує напрямок дії сили тертя

Результати дослідження мікроструктури суттєво зруйнованих ділянок тертвової поверхні свідчать про типовість трикутної форми пошкоджень (рис. 5, мікроділянка 1). Кожне пошкодження відбувається з утворенням вище охарактеризованих мікрозон: мікрозони 2 біля “вершини” трикутника, з якої розпочинається та на якій розвивається процес руйнування, та характерної темної смуги мікрозони 1 в основі трикутника, на якій руйнування припиняється. Пристосованість структури покриття у вигляді утворення поперечної смуги мікрозони 1 за нормальних режимів граничного тертя найчастіше проявляється вже на початкових стадіях без виникнення явних трикутних форм пошкодження (рис. 5, мікроділянки 2). Це свідчить про високо динамічний характер досліджених механохімічних перетворень поверхневого шару покриття, які завершуються утворенням поверхневих зон 1 та 2.

Висновки. Відштовхуючись від результатів дослідження, підсумуємо, що механохімічні процеси в контактній зоні тертя пари бабіт-сталь завершуються утворенням субмікродисперсного антифрикційного поверхневого шару з серед-

нім діаметром зерен 310 нм (для сплаву Б83). В околі поверхні спостережено доволі упорядковане фрагментування міжзеренного простору з розміром фрагментів близько 12 нм. На поверхні покриття зафіксовано існування елементно ущільненого поверхневого шару подібної товщини. Виявлено високо динамічні процеси ізоморфного заміщення базових елементів покриття SnSbCu на вуглець та кисень, що спричинюють виникнення наноконпозиційної поверхневої структури. Вуглець обумовлює збіднення поверхневих субмікрозерен на мідь та, частково, олово, що, однак, сприяє антифрикційній структурі та елементному розрідженню підповерхневого прошарку товщиною 55–60 нм. Кисень стабілізує концентрацію міді у складі поверхневих зерен, але, натомість, спричинює їх збіднення на сурму. Інтенсифікація механохімічного окиснення, яке суттєво зменшує концентрацію сурми (елементу зміцнювальної фази) в тертьових поверхневих шарах бабіту, й стає, очевидно, головною причиною того, що бабітові покриття не забезпечують необхідної несучої здатності підшипників за підвищених температур експлуатації (вищих за 100–120 °С).

Список літератури

1. Матеріалознавство: підруч. / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, Т.С. Климова, І.Г. Черниш. – Київ: НАУ, 2012. – 492 с.
2. Кіндрачук М.В. Антифрикційний евтектичний сплав для вкладишів підшипників ковзання газоперекачувальних агрегатів / М.В.Кіндрачук, В.С. Панарін, О.Л. Діденко // Проблеми тертя та зношування. – Київ: НАУ, 2013. – Вип. 59. – С.74–79.
3. Пат.73713 Україна, МПК (2012.01) C22C38/00. Зносостійкий антифрикційний сплав на основі заліза / Кіндрачук М.В., Кульгавий Е.А., Діденко О.Л. та ін.; заявник і патентовл. НАУ. – №U201201620; заявл. 14.02.2012; опубл. 10.10.2012, Бюл. №19. – 4 с.
4. Косторнов А.Г. Вплив складу порошкового підшипникового сплаву на основі міді на його службові характеристики / А.Г. Косторнов, О.І. Фушич // Порошковая металлургия. – 2005. – № 3-4. – С. 120–126.
5. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов, Л.И. Бершадский, Н.Б. Костецкая, В.А. Ляшко, М.Ф. Сагач / Под общ. ред. Б.И. Костецкого – Киев: Техніка, 1976. – 292 с.
6. Кіндрачук М.В. Властивості поверхонь тертя пари бронза-сталь / М.В. Кіндрачук, О.О. Міщук, А.П. Данілов, Ю.Л. Хлевна // Успехи физики металлов. – 2013. – Т. 14, № 1. – С. 85–106.
7. Кіндрачук М.В. Особливий стан поверхневих шарів контактної зони тертя пари бронза-сталь / М.В. Кіндрачук, О.О. Міщук, Ю.Л. Хлевна, А.П. Данілов // Проблеми трибології. – 2013. – № 4. – С. 72-81.
8. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / Под ред. Д. Бриггса, М. П. Сиха. – Москва: Мир, 1987. – 600 с.
9. Макаров Е.С. Изоморфизм атомов в кристаллах. – Москва: Атомиздат, 1973. – 288с.
10. Міщук О.О. Проблеми механохімічної активності мікродисперсного гідросилікату в контактній зоні сталеві пари тертя / О.О. Міщук, В.В. Юдіна, М.П. Цаплій // Проблеми тертя та зношування. – 2013. – № 1 (60). – С. 4–20.
11. Иванов В.Ж. Атлас Оже-спектров химических элементов и их соединений / В.Ж. Иванов, И.А. Брытов, В.В. Кораблев и др. / Деп. № 6359-В86. – Москва: МХТИ, 1986. – 201 с.

Стаття надійшла до редакції 13.01.2014.

M. V. KINDRACHUK, O. A. MISHCHUK, E. A. KULGAVIY, O. L. DIDENKO

**NEW PECULIARITIES OF FRICTION SURFACE STRUCTURE
OF BABBITT**

Microstructure and properties of friction surface layers of the babbitt cover after boundary friction regime are studied by the optical, SEM and AES methods. New peculiarities of a structure of surface sub-micro-grains are found.

Keywords: babbitt cover, friction, surface microstructure, surface layer

Кіндрачук Мирослав Васильович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, kindrachuk@ukr.net.

Міщук Олег Олександрович – канд. фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник УкрНДІНП «МАСМА».

Кульгавий Едуард Арсентійович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник Національного авіаційного університету.

Діденко Олександр Леонідович – аспірант Національного авіаційного університету.