

УДК 621.336.22

ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ ПСЕВДОСПЛАВІВ СИСТЕМИ АЛЮМІНІЙ–ОЛОВО

В. В. ШИРОКОВ, О. П. ХЛОПІК

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів

Досліджено вплив легування алюмінію оловом (2...15 mass.%) на його зносотривкість у парі з мідним контртілом в умовах тертя без мащення. Встановлено, що зі збільшенням вмісту олова в сплавах їх знос зменшується в 4–6 разів. Під час легування оловом більше 10% виникають ліквації.

Ключові слова: *трибологічні властивості, псевдосплави, алюміній, олово, пластифікація, мікроструктурний аналіз.*

Добра електропровідність, задовільна атмосферна корозійна тривкість, мала густина зумовлюють доцільність застосування алюмінію в електротехнічній промисловості, зокрема, для заміни вуглеграфіту в ковзних контактах струмоз'ємних механізмів, оскільки вони часто виходять з ладу під час ударів через низький опір крихкому руйнуванню. Проте навіть за незначних навантажень чистий алюміній за тертя без мащення схильний до схоплювання з міддю [1–3], яка на сьогодні незамінна як матеріал колекторів електродвигунів залізничної та міської контактних мереж. Це спричиняє їх катастрофічне зношування та суттєво лімітує швидкість переміщення [4, 5]. Основною причиною схоплювання поверхонь тертя є адгезія [6, 7]. Її можна зменшити введенням невеликої кількості (до 15 mass.%) м'якших складників (наприклад, олова), які б мінімізували несумісність поверхонь тертя та мінімально впливали на струмопровідність [9–12]. Однак трибологічні характеристики цих сплавів вивчені недостатньо.

Нижче встановлено вплив олова на структуру і зносотривкість сплавів системи алюміній–олово за тертя з міддю.

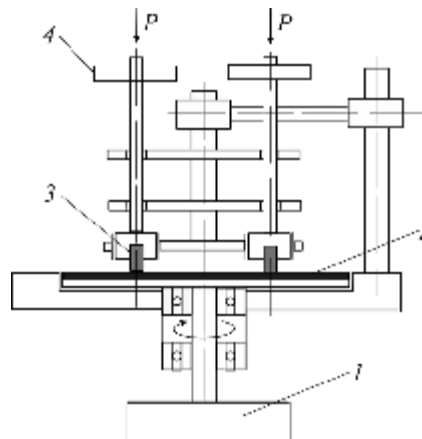
Матеріали та методики досліджень. Використовували циліндричні зразки з площею робочої частини 256 mm², виготовлені зі сплавів системи Al+(2; 10; 15 mass.%) Sn. Для їх виплавлення застосовували гранульований алюміній (ЧДА) і олово (О1). Шихту для трьох плавок готували у співвідношеннях 98:2; 90:10; 85:15 за масою. Наважки вміщали у керамічний стакан і завантажували у муфельну піч типу СНОЛ, нагріту до 1000°C, що перевищує температуру ліквідуса системи Al–Sn [8]. Час витримки 10 min.

Зносотривкість сплавів досліджували на спеціально розробленій нами установці (рис. 1). Контртіло – мідний лист марки М06, товщина 1 mm та діаметр 270 mm. Режими досліджень: швидкості обертання контртіла 0,89; 2,04; 5,4 m/s за навантаження 0,04 МПа. Знос вимірювали гравіметрично на аналітичній вазі KERN-ABJ з точністю до 0,0001 g. Профілометруванням оцінювали зміни топографії поверхні. Профілограми поверхні зразків у вихідному стані та після тертя знімали за допомогою профілометра “Калибр С-265”

Контактна особа: В. В. ШИРОКОВ, e-mail: vvshyrovkov@gmail.com

Рис. 1. Схема багатопозиційної приставки для випроб тертям пальчикових зразків:
1 – привід; 2 – контртіло; 3 – зразок;
4 – навантаження.

Fig. 1. Scheme of multiposition friction machine for testing of finger specimens:
1 – belt-drive; 2 – counter-body;
3 – specimen; 4 – load.



(модель 201) з фіксацією даних у цифровому режимі. Кількісні характеристики мікрогеометрії поверхні згідно зі стандартами ISO 4287 (висотні параметри R_a , R_z , R_{max}) визначали, використовуючи відповідне програмне забезпечення [13]. Виконували пошарові діаметричні випробування матриці і структурних складників сплавів на твердомірі ПМТ-3. Кількісний розподіл елементів вивчали на сканівному електронному мікроскопі EVO-40XVP зі системою мікроаналізу INCA Energy 350 [14].

Результати досліджень. Згідно з мікроструктурним аналізом псевдосплавів системи Al–Sn, олово рівномірно розподілене в алюмінієвій матриці. Через відносно невелику різницю у густині Q складників сплаву ($Q_{Sn} / Q_{Al} = 7,29/2,7 = 2,7$), а також близькість температур розшарування та кристалізації виділень з однорідного розплаву кристалів алюмінію падіння краплин олова сповільнюється, що запобігає виникненню лікваций у відливках сплавів. Для сплавів характерні приповерхневі шари, де чергуються ділянки матриці і виділень олова (рис. 2).

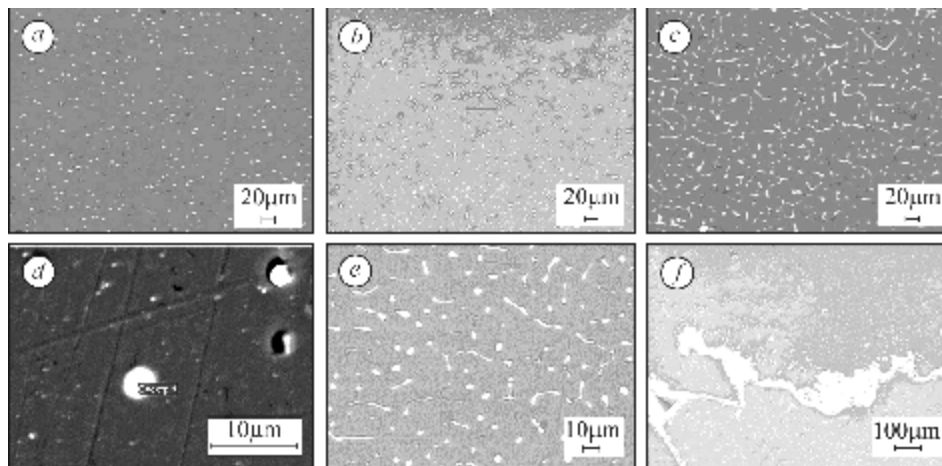


Рис. 2. Мікроструктура локальних об'ємів псевдосплавів системи Al–Sn:
a, b – 2,0 mass.% Sn; *c, d* – 8,62; *e, f* – 8,17.

Fig. 2. Microstructure of local volumes of Al–Sn pseudoalloys:
a, b – 2.0 mass.% Sn; *c, d* – 8.62; *e, f* – 8.17.

Електронною мікроскопією встановили, що за співвідношення концентрацій Al:Sn 98:2 виділення олова мають кулясту форму діаметром до 1,5 μm (рис. 2*a, d*). Зі збільшення його концентрації до 10...15 mass.% включення

видовжуються до 30...40 μm (рис. 2b, c, e), а при 10 та 15 mass.% у відливках сплавів виникають відносно великі ліквацийні виділення (рис. 2f). Внаслідок цього, згідно з результатами кількісного розподілу елементів, у локальних об'ємах фіксується різний вміст олова (менший або більший, ніж у вихідних наважках).

Виявлено, що вміст олова суттєво впливає на інтенсивність зношування псевдосплавів. Наприклад, за швидкості тертя 2,04 m/s найбільше зношується сплав з малим вмістом олова (2 mass.%). При цьому алюміній налипає на мідне контртіло і його нарости руйнуються з відривом частинок міді. Зі збільшенням вмісту легкоплавкої фази у сплавах знос у 2–6 разів зменшується (рис. 3).

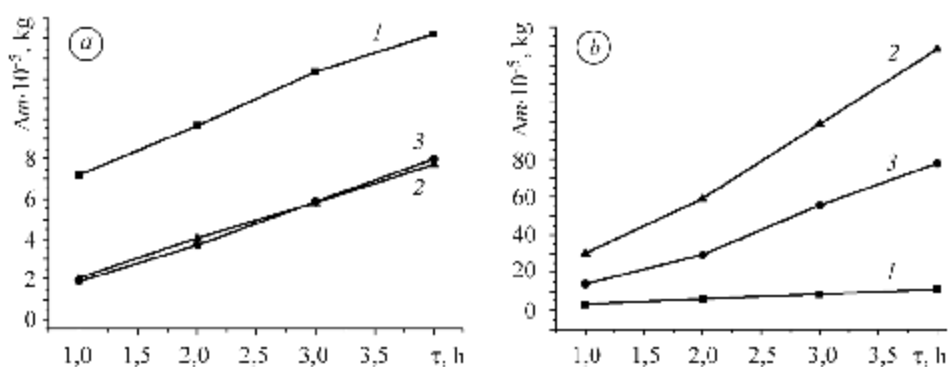


Рис. 3. Вплив концентрації олова у псевдосплавах системи Al–Sn на інтенсивність їх зношування за тиску 0,04 МПа та швидкостей тертя 2,04 m/s (a) і 5,40 m/s (b): 1 – 2 mass.% Sn; 2 – 8,17; 3 – 8,62.

Fig. 3. Influence of tin concentration in Al–Sn pseudoalloys on wear at a pressure of 0.04 MPa and friction rate 2.04 m/s (a) and 5.40 m/s (b): 1 – 2 mass.% Sn; 2 – 8.17; 3 – 8.62.

За максимальної швидкості 5,4 m/s можлива інверсія впливу олова, яку пояснюють тим, що поверхневі антифрикційні прошарки не встигають сформуватися.

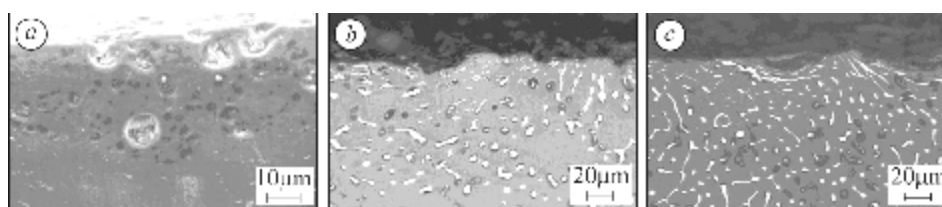


Рис. 4. Мікроструктура приповерхневих ділянок сплавів системи Al–Sn після тертя: a – 2 mass.% Sn; b – 8,62; c – 8,17 за тиску 0,04 МПа та швидкості тертя 5,4 m/s.

Fig. 4. Microstructure of surface areas of alloys after friction: a – 2 mass.% Sn; b – 8.62 % Sn; c – 8.17 at a pressure of 0.04 MPa and speed of 5.4 m/s.

У поверхневих шарах, які зазнали фрикційного впливу, змінюється орієнтація включень олова, їх форма та розміри. Спостерігається тенденція виходу цього складника на поверхню, його сегрегація у поверхневих шарах (рис. 4). Це можна пояснити впливом температурного чинника. Внаслідок цього нестационарного тепловиділення на фактичній площі контакту виникає градієнт температури. Одночасна дія температури і механічних напружень у зоні тертя призводить до пластифікації і деформації легкоплавких включень. Внаслідок виходу пластичнішої легкоплавкої фази на поверхню на початкових етапах тертя виникає змащувальний ефект, що знижує знос. Крім того,

розплавлене олово заповнює мікронерівності поверхні, що спричиняє її вигладжування і зменшення висотних параметрів (рис. 5).

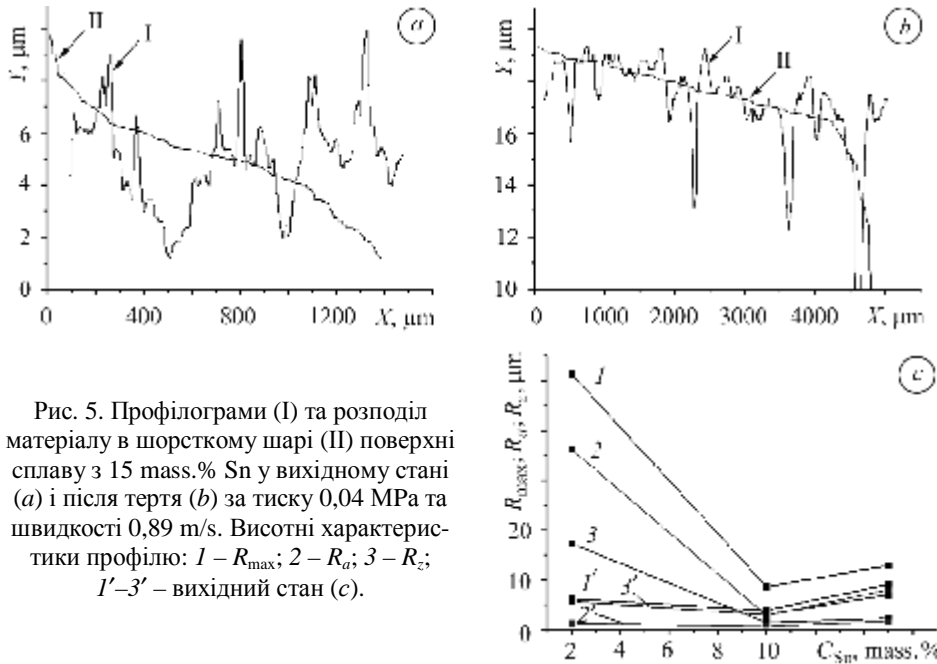


Рис. 5. Профілограми (I) та розподіл матеріалу в шорсткому шарі (II) поверхні сплаву з 15 mass.% Sn у вихідному стані (a) і після тертя (b) за тиску 0,04 МПа та швидкості 0,89 м/с. Висотні характеристики профілю: 1 – R_{max} ; 2 – R_a ; 3 – R_z ; 1'–3' – вихідний стан (c).

Fig. 5. Roughness profile (I) and ratio curve of alloy (II) surface with 15 mass.% Sn in the initial state (a) and after friction (b) at a pressure of 0.04 MPa and speed – 0.89 m/s. Profile parameters: 1 – R_{max} ; 2 – R_a ; 3 – R_z ; 1'–3' – initial state (c).

Як показує мікроструктурний та спектральний аналізи, за швидкості тертя 5,4 м/с та малої концентрації олова матеріал контртіла (мідь) переноситься на поверхню тертя алюмінієвого сплаву, механізм якого треба вивчити додатково (рис. 6).

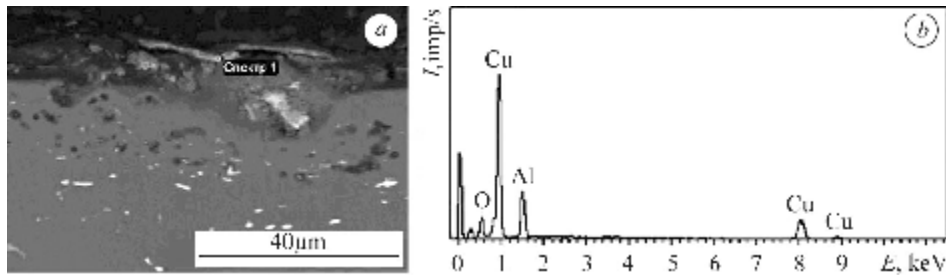


Рис. 6. Мікроструктура (a) поверхневих шарів сплаву з 2 mass.% Sn після тертя зі швидкістю $v = 5,4$ м/с та електронний спектр (b). Хімічний склад виділеної ділянки ("Спектр 1") за даними локального аналізу (mass.%): 74,62 Cu; 15,88 Al; 9,50 O.

Fig. 6. Microstructure (a) of surface layers of the alloy with 2 mass.% Sn after friction $v = 5.4$ m/s and electronic spectrum (b). Chemical composition of the selected area "Спектр-1" according to the data of local analysis (mass.%): 74.62 Cu; 15.88 Al; 9.50 O.

ВИСНОВКИ

Отримано псевдосплави системи Al–Sn з рівномірним дискретним розташуванням виділень олова в об'ємі та вздовж меж зерен алюмінієвої матриці. За концентрації олова 2 mass.% формуються рівноважні виділення кулястої

форми діаметром до 1,5 μm , а за 10 і 15 mass.% – видовжені завдовжки 30...40 μm і у відливках сплавів виникають ліквації.

Зі збільшенням вмісту легкоплавкої фази (виділень олова) у сплавах від 2 до 8,6 mass.% їх знос знижується у 4–6 разів за швидкостей тертя 0,89 та 2,04 m/s. Зафіксовано збільшення вмісту олова (пластичнішої легкоплавкої фази) на поверхні, що сприяє зниженню зносу. При цьому профіль поверхні вигладжується (його висотні параметри зменшуються на порядок). Із підвищенням швидкості тертя до 5,4 m/s та за малої концентрації олова (2 mass.%) його вплив неоднозначний, оскільки відбувається перенесення міді.

РЕЗЮМЕ. Исследовано влияние легирования алюминия оловом (2...15 mass.%) на его износостойкость в паре с медным контртелом в условиях трения без смазочного материала. Установлено, что с увеличением содержания олова в сплавах их износ уменьшается в 4–6 раз. При легировании оловом более 10% возникают ликвации.

SUMMARY. The influence of aluminum alloying with tin (2...15 mass.%) on its wear resistance during friction in a pair with copper without lubricant has been investigated. With the increase of tin in alloys its wear decreases by 4–6 times. Phase separation has been observed in the case of doping with tin over 10%.

1. Берент В. Я. Медные легированные контактные провода / Железные дороги мира. – 2000. – № 11. р. 39 // – 40./ЖДМ 04-2002/ <http://www.css-rzd.ru/ZDM/04-2002/02085-1.htm>
2. Медные провода / <http://www.lampa-da.ru/kabel/mednie.html>
3. Трофимов А. Н. Контактные вставки токоъемников троллейбусов. – М.: Стройиздат, 1966. – 138 с.
4. Смирнов В. И., Матта Ф. Ю. Теория конструкций контактов в электронной аппаратуре. – М.: Сов. радио, 1974. – 176 с.
5. Василенко І. І., Широков В. В., Василенко Ю. І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: Навч. пос. – Львів: Магнолія, 2006, 2007. – 242 с.
6. Авраамов Ю. С., Шляпи А. Д. Сплавы специального назначения на основе систем с ограниченной растворимостью в жидком состоянии // Машиностроение и инженерное образование. Конструкционные материалы. – 2004. – № 1. – С. 38–50.
7. Буше Н. А. Подшипники из алюминиевых сплавов. – М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
8. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Справ. в 3-х т. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
9. Розробка антифрикційних сплавів та композицій на основі алюмінію для ковзних струмознімачів / В. В. Широков, Ю. І. Василенко, О. П. Хлопик та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2006. – 42, № 6. – С. 111–115.
(Shyrokov V. V., Vasylenko Yu. I., Khlopyk O. P., and Frenchko M. S. Development of Antifriction Aluminum-Base Alloys and Compositions for Sliding Current Collectors // Materials Science. – 2006. – 42, № 6. – P. 843–848.)
10. Широков В. В., Хлопик О. П., Василенко Ю. І. Вплив легування свинцем на зношування алюмінію в контакт з міддю // Эффективность реализации научного, ресурсного и промысл. потенциала в современных условиях. Материалы 8-ой ежегодной Межд. научн.-практ. конф. и блиц-выставки. – П. Славское: Карпаты, 2008. – С. 393–396.
11. Баб'як М. О. Підвищення надійності силових контактних з'єднань електропневматичних контакторів електровозів постійного струму: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. // Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. В. Лазаряна, 2003. – 21 с.
12. Чашечкина Ж. Ю., Орлов Д. Б. Антифрикционные алюминиево-свинцовые сплавы для подшипников скольжения // Трение и износ. – 1996. – 17, № 6. – С. 802–809.
13. Широков В. В., Арендар Л. А., Ковальчик Ю. І. Комп'ютерний обробіток профілограм фрикційних поверхонь // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2005. – № 1. – С. 93–96.
14. <http://www.ipm.lviv.ua/cem/>.

Одержано 12.11.2009