

Матвійшин Є.М.Запорізький національний технічний
університет
(E-mail: kulikovski@meta.ua)**ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
ЕЛЕКТРОДУГОВИХ МЕТАЛІЗАЦІЙНИХ
ПОКРИТТІВ ІЗ ПСЕВДОСПЛАВІВ
ТИПУ Fe-Cu-Al**

УДК 621.793

Вивчені триботехнічні властивості трикомпонентних Fe-Cu-Al покриттів, напилених електродуговим способом із застосуванням композитного залізо-мідного і суцільного алюмінієвого дротів. Показано, що при роботі в умовах високих контактних тисків і обмеженої подачі мастила, такі псевдосплави відзначаються кращими триботехнічними характеристиками та більш високими адгезійними властивостями у порівнянні з двокомпонентними залізо-алюмінієвими.

Ключові слова: металізаційні покриття, псевдосплави, зносостійкість, міцність зчеплення, напруження в покриттях.

Покриття із псевдосплавів, що складаються із часток різних матеріалів, переважно застосовують для підвищення працездатності деталей в умовах тертя ковзання [1 - 3]. Такі покриття доцільно наносити методом електродугової металізації із застосуванням різнотипних дротів. Напилені шари відзначаються високою працездатністю навіть в умовах, коли відсутній мастильний клин у зоні тертя, що має місце при низьких швидкостях ковзання і високих контактних тисках, характерних для умов роботи важко навантажених вузлів тертя. Найбільш поширеними покриттями, що використовуються для цієї мети, є псевдосплави типу Fe-Al і Cu-Al [1,2,4].

У роботі [4] було показано, що залізо-алюмінієві псевдосплави з 25 - 30 % Al відзначаються більш високою працездатністю у порівнянні з мідно-алюмінієвими при великих навантаженнях у вузлах, де має місце переважно лінійний контакт між поверхнями тертя і високі значення контактних тисків. У циліндричних сполуках з обмеженою подачею мастила кращі триботехнічні властивості мають мідно-алюмінієві псевдосплави. Внутрішні напруження у мідно-алюмінієвих покриттях значно менші у порівнянні з напруженнями у залізо-алюмінієвих псевдосплавах, що дозволяє наносити Cu-Al шари більшої товщини на плоскі та увігнуті поверхні виробів, а також забезпечувати більш надійну роботу напилених деталей. Однак, слід зазначити, що мідно-алюмінієві псевдосплави, які містять 25 - 30 % Al і 70 - 75 % Cu, значно переважають за вартістю залізо-алюмінієві.

Тому метою даної роботи було дослідження триботехнічних властивостей трикомпонентних Fe-Cu-Al псевдосплавів для визначення придатності та доцільності їх застосування при нанесенні антифрикційних шарів на поверхню деталей, що працюють в умовах високих контактних тисків і обмеженої подачі мастила.

Напилення псевдосплавів системи Fe-Cu-Al електродуговими металізаційними апаратами можна здійснювати з використанням трикомпонентних композитних дротів типу Fe-Cu-Al, або із застосуванням одного двокомпонентного композитного і одного суцільного дротів у таких поєднаннях:

- 1) композитний Fe-Al і суцільний мідний;
- 2) композитний Cu-Al і суцільний залізний;
- 3) композитний Fe-Cu і суцільний алюмінієвий.

Процес виготовлення композитних дротів з тонкою оболонкою і великим коефіцієнтом заповнення потребує багатьох перетягувань через велику кількість фільтр з малим перепадом діаметрів, у зв'язку з чим є трудомістким і малопродуктивним. Враховуючи це, для електродугового напилення псевдосплавів Fe-Cu-Al було вирішено не використовувати трикомпонентні композитні дроти, а також двокомпонентні з мідною або алюмінієвою оболонкою.

З технологічної точки зору, з урахуванням трудомісткості виготовлення композитних дротів і стабільності їх розпилення стандартними електрометалізаторами, при застосуванні в якості другого електрода суцільного дроту, найбільш придатним для нанесення Fe-Cu-Al покриттів виявилось використання композитного залізо-мідного і суцільного алюмінієвого дротів.

Напилення покриттів з використанням зазначених дротів здійснювали електрометалізаційним апаратом ЭМ-12 на режимах, що забезпечували стабільний процес їх розпилення при тиску повітря 0,5 МПа і дистанції 150 мм.

У процесі досліджень триботехнічні властивості нанесених шарів оцінювали за результатами визначення їх зносостійкості, величини моменту тертя і схильності до розвитку процесів схоплювання при роботі у парі з роликком із сталі 45 в умовах високих контактних тисків і обмеженої подачі мастила крапельним способом.

Зносостійкість покриттів визначали при випробуванні зразків з циліндричною робочою поверхнею за схемою вал-обойма і зразків з плоскою робочою поверхнею за схемою лінійного контакту. Випробування проводили на машині 2070 СМТ-1 роликком діаметром 50 мм при відносній швидкості ков-

зання 0,392 м/с і навантаженнях 2480 Н/см і 4800 Н/см. Випробування за схемою вал-обойма проводили при навантаженнях на поверхню зразка 12 МПа та 16 МПа. Інтенсивність зношування визначали за величиною об'ємних втрат зразка на 1 м шляху тертя [4]. У процесі випробувань визначали також коефіцієнт тертя і схильність до розвитку процесів схоплювання зі сталевим роликком після припинення подачі мастила [4]. Міцнісні властивості напиленних псевдосплавів оцінювали за результатами вимірювання їх твердості, міцності зчеплення з поверхнею виробу і величини внутрішніх напружень у напиленому шарі [5].

З метою визначення найбільш прийнятної складу двокомпонентного залізо-мідного дроту, який доцільно використовувати при напиленні псевдосплавів типу Fe-Cu-Al, були вивчені триботехнічні і міцнісні властивості залізо-мідних покриттів, напиленних композитними дротами з різним вмістом міді.

Результати досліджень засвідчили, що залізо-мідні псевдосплави, напиленні композитними дротами зі сталеву оболонкою, найбільш високу зносостійкість при випробуваннях за схемою лінійного контакту показують при вмісті міді 20 - 30 % (рис. 1), а в умовах циліндричного контакту – при вмісті міді у складі дроту в межах 30 - 50 %.

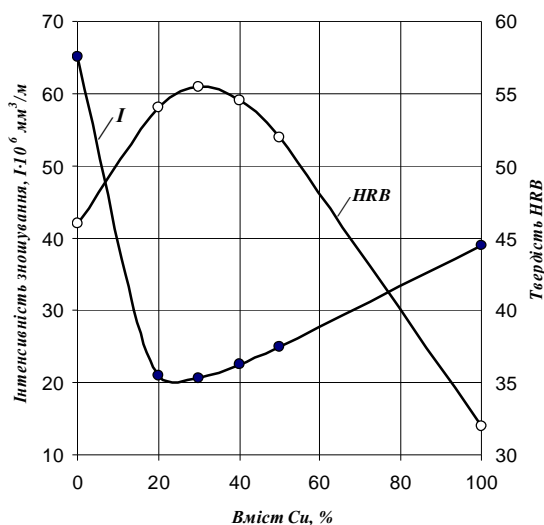


Рис. 1 – Вплив вмісту міді у складі композитного дроту на твердість і зносостійкість металізаційних покриттів в умовах лінійного контакту при навантаженні 2480 Н/см

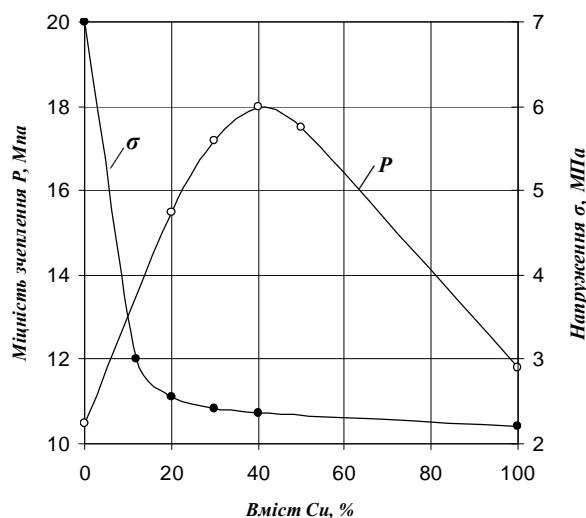


Рис. 2 – Міцність зчеплення з основою і внутрішні напруження у залізо-мідних покриттях, напиленних композитними дротами

При такому ж складі дроту Fe-Cu псевдосплави відзначаються мінімальною величиною коефіцієнта тертя і максимальною стійкістю до розвитку процесів схоплювання після припинення подачі мастила. Внутрішні напруження у залізо-мідних покриттях, що містять всього 20 % Cu, майже у три рази менші у порівнянні із сталевими покриттями і є близькими за величиною до напружень у чисто мідних напиленних шарах (рис. 2). Максимальна міцність зчеплення спостерігається у покриттях з 40 % Cu. При цьому, вони всього на 5 - 10 % перевищували міцність покриттів з 25 - 30 % міді.

На підставі отриманих результатів для подальшого напилення трикомпонентних Fe-Cu-Al псевдосплавів використовували композитний дріт з оболонкою зі сталі 08 кп і сердечником із міді М1 при співвідношенні Fe:Cu = 3:1, що відповідає складу дроту Fe75Cu25, де цифри відображають відповідно вміст заліза та міді.

Нанесення трикомпонентних покриттів з різним вмістом алюмінію здійснювали шляхом одночасного розпилення композитного Fe75Cu25 і суцільного алюмінієвого дротів при різних масових швидкостях їх подачі в зону плавлення, що досягали за рахунок використання різного співвідношення діаметрів дротів. У процесі напилення псевдосплавів тиск повітря і відстань до поверхні зразків підтримували на постійних, раніше вказаних рівнях, при значеннях напруги дуги, які забезпечували стабільний процес розпилення дротів.

Результати випробувань показали, що збільшення вмісту алюмінію у складі псевдосплава зменшує твердість напиленних шарів (рис. 3). Відсутність екстремуму на графіку твердості свідчить про малу імовірність утворення в напиленому шарі відчутної кількості інтерметалідних фаз у результаті взаємодії алюмінію з залізом та міддю.

Підвищення вмісту Al до 30 - 40 % позитивно впливає на зносостійкість покриттів в умовах високих контактних тисків при зношуванні плоских зразків (рис. 3). Подібна залежність має місце і при зношуванні зразків з циліндричною поверхнею. При цьому, за абсолютною величиною втрати при зношуванні циліндричних зразків були близькими до втрат зразків з плоскою поверхнею, що свідчить про високу працездатність таких псевдосплавів у різних умовах випробувань.

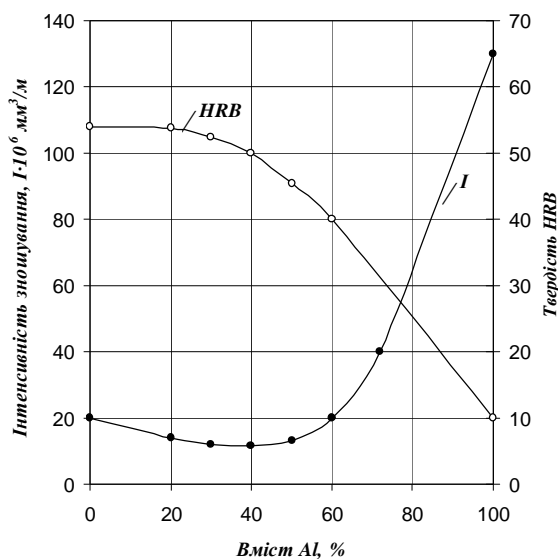


Рис. 3 – Вплив вмісту Al у трикомпонентних Fe-Cu-Al покриттях на їх твердість і зносостійкість в умовах лінійного контакту при навантаженні $2,4 \times 10^5 \text{ Н/м}$

Наявність алюмінію в трикомпонентному Fe-Cu-Al псевдосплаві в кількості 30 - 40 % сприяє зменшенню коефіцієнта тертя на 15 - 20 % у порівнянні з двокомпонентними Fe-Cu покриттями і на стільки ж збільшує час до розвитку процесів схоплювання після припинення подачі мастила.

Максимальна міцність зчеплення має місце при 20 - 40 % алюмінію (рис. 4) і відчутно перевищує аналогічний показник у двокомпонентних Fe-Al псевдосплавах. Внутрішні напруження в покриттях при введенні 30 - 40 % алюмінію дещо збільшуються, але вони є у 2,5 рази меншими порівняно з напруженнями у двокомпонентних Fe-Al псевдосплавах, напилених композитними залізо-алюмінієвими дротами.

Це забезпечує можливість нанесення трикомпонентних Fe-Cu-Al шарів значної товщини на плоскі та увігнуті поверхні виробів, що істотно розширить терени застосування антифрикційних металізаційних покриттів для роботи у важко навантажених вузлах тертя.

Для відносної оцінки працездатності псевдосплавів типу Fe-Al і Fe-Cu-Al у порівнянні з відлитими і напиленими матеріалами із бронзи Бр ОЦС 4-4-3 було проведено випробування на зношування сталі ролик плоских і циліндричних зразків при різних навантаженнях.

Відносну зносостійкість ε визначали через співвідношення інтенсивності зношування J_0 зразка із бронзи до інтенсивності зношування J_n напиленого зразка. Результати даних експериментів наведені у табл. 1.

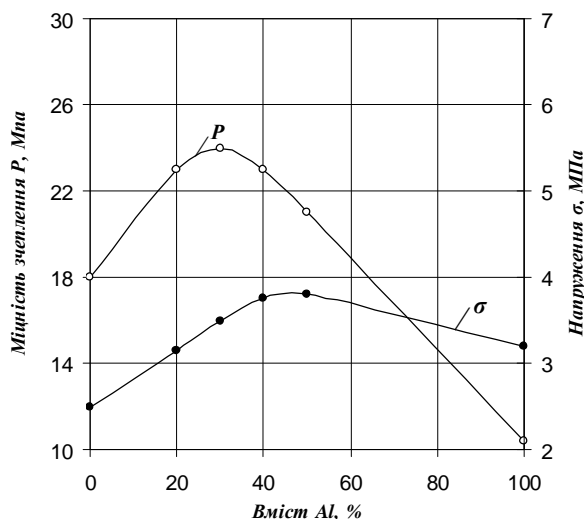


Рис. 4 – Міцність зчеплення і внутрішні напруження у трикомпонентних Fe-Cu-Al покриттях, напилених композитним Fe75Cu25 і суцільним алюмінієвим дротами

Результати випробувань свідчать, що псевдосплави типу Fe-Cu-Al значно переважають за зносостійкістю ливарну бронзу і напилене бронзове покриття. Особливо істотно ця перевага проявляється при високих контактних тисках, а також в умовах обмеженого доступу мастила в зону тертя, як це має місце у тихохідних циліндричних сполученнях зношуваних поверхонь.

Таблиця 1

Відносна зносостійкість ϵ електродугових металізаційних покриттів

Покриття, отримане розпиленням дротів	Відносна зносостійкість ϵ в умовах		
	лінійного контакту при навантаженнях		циліндричного контакту при навантаженні 12 МПа
	2480 Н/см	4800 Н/см	
60 % композитного дроту Fe75Cu25 і 40 % алюмінієвого дроту (Fe45Cu15Al40)	6,2	10,8	12,6
Двокомпонентних дротів Fe60Al40	5,0	7,6	10,2
Двох бронзових дротів Бр ОЦС 4-4-3	1,5	1,7	2,4

У реальних умовах експлуатації вузлів тертя, в залежності від конкретних геометричних розмірів деталей, форми їх робочих поверхонь, величини навантаження і способу подачі мастила, чисельні значення цих співвідношень можуть змінюватися, але загальна закономірність зберігатиметься. Висока зносостійкість, хороші адгезійні і міцнісні властивості псевдосплаву Fe-Cu-Al, напиленого композитним Fe75Cu25 і суцільним алюмінієвим дротами, а також можливість отримання таких шарів значної товщини на плоских і увігнутих поверхнях виробів дозволяють рекомендувати його широке застосування для нанесення антифрикційних шарів на поверхню деталей важко навантажених вузлів тертя.

Висновки

1. Трикомпонентні Fe-Cu-Al псевдосплави, напилені з використанням композитного Fe75Cu25 і суцільного алюмінієвого дротів, які містять 15-18% Cu і 30-40% Al, відзначаються більш високими триботехнічними характеристиками у порівнянні з двокомпонентними Fe-Al покриттями при роботі в умовах високих контактних тисків і обмеженої подачі мастила.

2. Внутрішні напруження у таких покриттях є значно меншими в порівнянні з напруженнями у залізо-алюмінієвих псевдосплавах, що підвищує надійність роботи напилених деталей і дає можливість наносити шари більшої товщини на плоскі та увігнуті поверхні виробів.

Література

1. Красниченко А.В. Современная технология металлизации распылением. – М.: Трудрезерв, 1967. – 232 с.
2. Смольников А.П. Антифрикционные покрытия из псевдосплавов // Труды РИСХМ, – Ростов-на-Дону, 1959. – С. 53-57.
3. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин // Под ред. Попова В.С. – Запорожье, изд-во Мотор – Сич, 2000. – 394 с.
4. Матвейшин Е.Н. Прочностные и триботехнические свойства железо-алюминиевых и медно-алюминиевых металлизационных покрытий // Проблемы трибологии. – 2009. – №4. – С. 54-57.
5. Хасуй А. Техника напыления. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.

Поступила в редакцію 27.03.02.2013

Matviishin E.M. Tribotechnical properties of electroarc metallic coverages from pseudoalloys as Fe-Cu-Al.

In this work investigation tribo technical and properties of durability of pseudoalloys, nebulized by electro-arc method with the use of composite Fe-Cu and continuous aluminium wire.

In the process of leadthrough of researches determined their firmness against a wear in the conditions of friction of sliding at the limited serve of greasing and high contact pressures, and also propensity to development of grasping processes after stopping of serve of greasing. Properties of durability of the nebulized layers were estimated on results measuring of their hardness, durability of tripping with the surface of good and size of internal tensions in coverages.

It was set that three component Fe-Cu-Al coverages differ the best tribo by technical properties as compared to two by the component Fe-Al pseudoalloys, nebulized composite wires, and also greater durability of tripping and less in size internal tensions. It allows to inflict the layers of considerable thickness on the flat and concave surfaces of wares and provide their reliable work at high pressures in the area of contact of the attended surfaces.

Comparative tests of capacity of the cast bronzes, and also standards with metallization bronze layers and coverages from the pseudoalloy of type of Fe45Cu15Al40 rotined that napylenne bronze coverages had in 1,5 - 2,4 time more high wearproofness as compared to the cast bronzes, and three-component pseudoalloys have in 6 - 12 times less losses at a wear by comparison to the cast bronze of Br OCS 4-3.

Keywords: metallization coverages, pseudoalloys, wearproofness, tripping durability, tensions in coverages.

References

1. Krasnichenko A.V. *Sovremennaja tehnologija metallizacii raspyleniem*. M, Trudrezerv, 1967. 232 p.
2. Smolnikov A.P. *Antifrikcionnye pokrytija iz psevdospлавov*. Trudy RISHM. Rostov-na-Donu. 1959. pp. 53-57.
3. Popov V.S. *Vosstanovlenie i povyshenie iznosostojkosti i sroka sluzhby detalej mashin*. Zaporozh'e. Motor – Sich. 2000. 394 p.
4. Matvejshin E.N. *Prochnostnye i tribotekhnicheskie svojstva zhelezo-aljuminievych i medno-aljuminievych metallizacionnyh pokrytij*. *Problemy tribologii*. 2009. No 4. pp. 54-57.
5. Hasuj A. *Tehnika napylenija*. M. Mashinostroenie. 1975. 288 p.