

*М. В. Кіндрачук, В. В. Харченко,
І. А. Гуменюк, Д. В. Леусенко
(Національний авіаційний університет, Україна)*

Вплив легування металевої матриці на антифрикційні властивості евтектичних покриттів

Досліджено антифрикційні властивості легованих сплавів на основі заліза з включеннями тугоплавких боридів і карбідів. Підібрано оптимальний компонентний склад сплаву для забезпечення високої зносостійкості та зниження коефіцієнту тертя.

Як відомо, евтектичні сплави на основі заліза мають високу зносостійкість при терті без мащення, але у ту ж чергу вони мають і досить високий коефіцієнт тертя [1]. Одним із шляхів поліпшення антифрикційних властивостей сплавів може бути легування їх металевої матриці. У евтектичних сплавах, що базуються на основі перехідних металів з тугоплавкими фазами включення, унаслідок малої взаємної розчинності, практично, поєднуються вихідні властивості фаз, що утворюють її [2]. Фази включення міцні, тверді, пружні, хімічно та термодинамічно стійкі, зносостійкі та високотемпературні. Якщо скомбінувати фазу втілення і пластичну металеву матрицю, що менша за твердість, але більш пластична, то це додасть евтектичному сплаву унікальні властивості. Відомо, що сплави на основі заліза з тугоплавкими боридами і карбідами в литому стані (таблиця 1, 2) зносостійкі, мають високу корозійну стійкість та міцність, а також вони досить технологічні, до складу не входять дорогі або дефіцитні компоненти. Завдяки цим властивостям дані евтектичні сплави можуть бути широко використані у вузлах тертя.

Таблиця 1

Компонентний набір сплавів на основі заліза

Сплав	Вміст компонентів, мас. %									
	Cr	Ni	Ti	Cu	Al	V	C	B	Mn	Fe
ХТН	20	8,0	2,5	—	5,6	—	—	2,6	—	61,3
ХВС	13,0	—	—	1,0	—	12,0	2,9	—	—	71,1
ВТН	15,0	7,7	3,2	—	5,6	7,9	1,9	1,4	—	56,8

Таблиця 2

Фазовий склад сплавів на основі заліза

Фазовий склад		Кількість фаз в евтектиці, мас. %
Матриця	Зміцнююча фаза	
30Х13	VC	VC-17,0
12Х18Н9Т	TiB ₂ +VC	TiB ₂ -4,6; VC-9,8
12Х18Н9Т	TiB ₂ + CrB ₂	TiB ₂ -4,4; CrB ₂ -7,5

У наведених евтектиках у литому стані фази включення формують зміцнюючий каркас, який сприймає більшу частину навантаження при навантаженні. В той час твердий розчин на основі заліза у вигляді металевої матриці передає і перерозподіляє напруження поміж окремими гілками несучого каркасу, утвореного фазами включень. Існує можливість легувати залізну матрицю металами окремо, які додаватимуть їй необхідні властивості, через взаємну розчинність. Матриця, легована нікелем призводить до стабілізації γ -заліза, що у свою чергу зберігає високу пластичність і міцність, а в матриці легованій хромом підвищується корозійна стійкість твердого розчину на основі заліза. Саме 18 відсотків хрому і 8 відсотків нікелю є основою для легування аустенітних нержавіючих сталей типу 18–8. За тим же принципом легована наведена евтектика у таблиці.

Ці особливості дають евтектичним сплавам на основі заліза поєднувати у собі триботехнічні властивості фаз включення та властивості легованого твердого розчину на основі заліза.

В наш час існує не досить велика кількість евтектичних металевих систем (на основі свинцю), триботехнічними властивостями яких можна керувати за рахунок легування металевої основи [3]. Але у даних систем є недолік у вигляді низької міцності, яка унеможлиблює їх використання у парах тертя машин і механізмів за високих контактних навантажень. Контактні навантаження у досліджуваних покриттях можуть бути істотно вищими, що дає можливість більш широкого використання у триботехніці.

Досліджено вплив комплексного легування на триботехнічні властивості евтектичного сплаву ВТН. Постачальником легуючих елементів при сплавленні з евтектичним сплавом було обрано бронза Бр.ОЦ5-5-5, що знайшла досить широке використання в підшипниках тертя ковзання через досить незначний коефіцієнт тертя, що дорівнює 0,25.

Щоб отримати сплави змішували порошок бронзи з порошком евтектичного сплаву, у суміш додавали прожарену буру та засипали у циліндр, що закривали графітовими заглушками. Циліндр обертався і під дією відцентрової сили наносилось покриття при температурі 1473 – 1573К, коли температура падала до 873-973К, закінчувався процес кристалізації і втулку знімали і охолоджували на повітрі або в сухому піску(Рис.1).

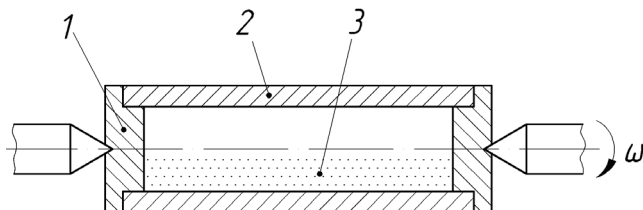


Рис. 1. Метод нанесення евтектичного покриття на внутрішню поверхню циліндричних деталей: 1 – графітові кришки, 2 – циліндр, 3 – суміш порошків

Структура одержаних сплавів показує наявність монокарбиду ванадію і дибориду титану, а також незначна кількість первинних кристалів металевої

фази (рис. 2, а). Якщо збільшити кількість бронзи, то співвідношення між цими фазами зміниться і сплав стає доєвтектичним (рис. 2,б).

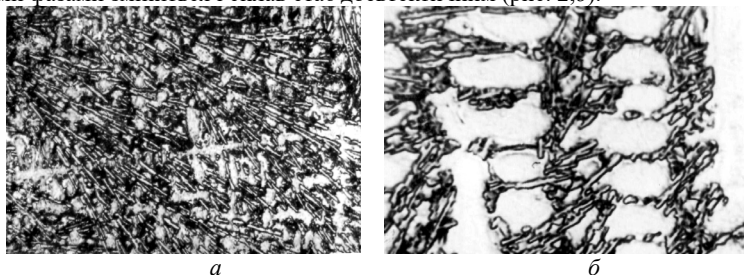


Рис. 2. Мікроструктура легованого евтектичного сплаву: евтектичного складу (а), доєвтектичного складу (б), $\times 500$

У таблиці 3 наведено результати випробувань різних комбінацій складу сплавів.

Доведено, що завдяки легуванню евтектичних сплавів коефіцієнт тертя знижується, а триботехнічні процеси у вторинних структурах локалізуються. Локальний рентгеноспектральний аналіз встановив, що у вторинних структурах міститься до 24% O_2 поряд із включеннями та залізом, а на поверхні тертя не виявлено утворення мартенситу деформації [4].

Таблиця 3

Зносостійкість евтектичних сплавів при терті без мащення
($P = 1$ МПа, $V = 0,1$ м/с)

Сплави	273 К		373 К	
	Коефіцієнт тертя	Знос, мг/см ² за 103 м	Коефіцієнт тертя	Знос, мг/см ² за 103 м
Б83	0,15	5,1	0,14	9,2
ВТН + 30 % Cu	0,45	19,2	0,42	17,5
ВТН	0,76	39,0	0,6	36,1
ВТН + 25% Cu + 6%Sn + 4%Pb	0,28	8,3	0,25	8,0

Завдяки введенню елементів бронзи у сплав евтектичного складу в ньому зменшується об'ємний вміст зміцнюючої фази, проте зносостійкість підвищується. Також, підвищення зносостійкості пояснюється і підвищенням напружень початку пластичної деформації матриці із зниженням коефіцієнта тертя [5-6].

Слід зазначити, що знос сплавів з великим вмістом бронзи значно перевищує величину зносу сталі 12Х18Н9Т. За проаналізованими літературними даними та отриманими результатами, можна стверджувати, що завдяки міді знижується схильність аустеніту до утворення мартенситу. Саме тому, це може бути одним з чинників зниження зносостійкості легованого сплаву, який

пов'язаний зі зниженням енергоємності структури [7] та зміною здатності до внутрішнього тертя.

Висновки. За результатами проведених досліджень було розроблено евтектичний сплав на основі заліза для наплавки, додатково легований оловом і свинцем, з високими показниками зносостійкості та антифрикційними властивостями. Було підібрано оптимальний склад сплаву, щоб залізо, нікель та хром утворювали металеву матрицю, у якій розподіляються рівномірно включення у вигляді монокарбіду ванадію та дибориду титану. Також, було визначено, що включення свинцю та олова, які розчиняються у металевій матриці, посилює здатність міді знижувати коефіцієнт тертя. В умовах тертя без мащення - це дає змогу отримати суттєве підвищення зносостійкості.

Список літератури

1. Кіндрачук М.В. Формування зносостійких евтектичних покриттів концентрованими джерелами енергії / М.В. Кіндрачук, О.І. Дудка, В.С. Черненко. – К.: ІСДОУ, 1997. – 121с.
2. Shurn A.K. Deiaki zahalni zakonomirnosti potriinykh diahram stanu metaliv z borom / A.K. Shurn, V.E. Panarin //Metalofizyka. – K.: Nauk. dumka, 1976. – № 66. – S.85-92.
3. Kostornov A.H. Vplyv skladu poroshkovoho pidshpnykovoho сплаву na osnovi midi na yoho sluzhbovi kharakterystyky / A.H. Kostornov, O.I. Fushych // Poroshkova metalurhiia. – №3,4. 2005. – S.120-126.
4. Havryliuk V.P. Trybolohiia lytykh splaviv / V.P. Havryliuk, Ye.A. Markovskiy, V.I. Tykhonovych. – K.: 2007. – 428 s.
5. Кіндрачук М. В. Підвищення зносостійкості плазмових евтектичних покриттів термоциклованням лазером/ В.В. Харченко, О. В. Тісов, І.А. Гуменюк, Н. М. Стебелецька, А. О. Юрчук, Л. А. Гловин // Проблеми тертя та зношування.- 2020.- №4. С. 78 – 85.
6. Kindrachuk M.V. Analitychni zalezhnosti efektyvnoi mezhi tekuchosti kompozytsiinykh pokryttiv, navantazhenykh sylamy tertia / M.V. Kindrachuk, M.S. Yakhia, O.V. Tisov // Problemy tertia ta znoshuvannia: nauk. – tekhn. zb. – K.: NAU, 2007. – Vyp. 47 – S.19-26.
7. Кіндрачук М. В. Зовнішньосиловий вплив на закономірності припрацювання антифрикційних систем /В.В.Харченко І. А. Гуменюк// Проблеми тертя та зношування.- 2021.- №4 (93). С. 70 – 76.