

сильною прямою ліквіацією [4]. У зв'язку з цим спостерігається суттєве збагачення фосфором твердної рідини. Згідно з [1], аналіз розподілу фосфідної евтектики у чавунах свідчить про наступне. За концентрацій 0,3...0,4 мас. % Р кількість ФЕ становить не більше 4 % площі поверхні шліфа. При концентрації 0,5...0,6 мас. % відносна кількість евтектичних включень досягає 6 % площі поверхні шліфа. При 0,92 мас. % – вона збільшується до 15 %. Ці дані підтверджуються даними металографічного аналізу (рис. 1)

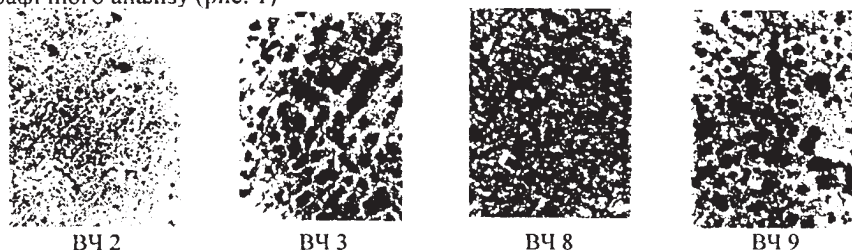


Рис. 2. Мікроструктура досліджуваних чавунів ($\times 325$)

У зв'язку з тим, що вплив фосфору на міцнісні характеристики чавуну оцінюється неоднозначно [1], було проведено вимірювання твердості та мікротвердості високоміцних чавунів, легованих фосфором (рис. 3,4). Оскільки фосфід заліза Fe_3P , який входить у потрібну евтектику, має твердість вищу [2], ніж матриця спостерігається тенденція до підвищення твердості чавунів у цілому.

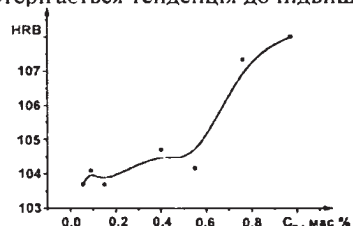


Рис. 3. Залежність твердості високоміцних чавунів від вмісту фосфору

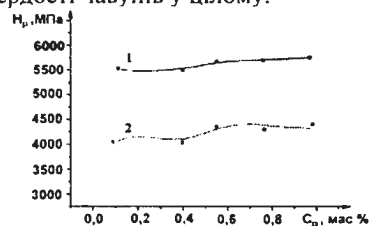


Рис. 4. Вплив фосфору на мікротвердість структурних складових високоміцних чавунів: 1 – перлітна; 2 – феритна

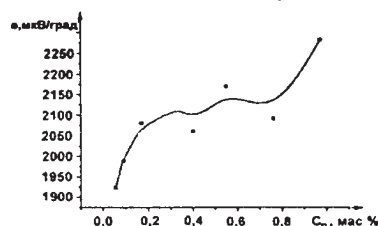


Рис. 5. Значення мікротермо-ЕРС на поверхні високоміцних чавунів, легованих фосфором

З огляду на те, що кількість фосфідної евтектики збільшується зі збільшенням концентрації фосфору, було оцінено зміни поверхневої мікро-термоелектрорушійної сили (ТЕРС) чавунів. На рис. 3 наведено криві залежності термо-ЕРС для високоміцних чавунів від концентрації фосфору у металі. У цілому можна

зробити висновок, що із збільшенням відсотка фосфідної евтектики, значення термо-ЕРС у високоміцних чавунах має тенденцію до підвищення.

Таким чином, за допомогою легування ВЧ фосфором у межах 0,02...0,97 % мас. можна досягти підвищення зносостійкості. Враховуючи результати досліджень інших властивостей цих чавунів [5], можна зробити висновок, що при концентрації фосфору 0,15...0,26 % мас. у ВЧ досягається висока зносостійкість при несуттєвому негативному впливі ФЕ на інші службові властивості.

Література

1. Волчок І.П., Єгоров А.О., Слинко Г.І. Мікроефективний руйнування і властивості фосфористих чавунів// Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій (випуск 2): В 3-х т.// Під заг. ред. Панасюка В.В. – Львів: Каменяр, 1999, т.1. – С. 208-220.
2. Волчок І.П. Сопротивление разрушению стали и чугуна. – М.: Металлургия, 1993. – С. 191.
3. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1977. – С. 646.
4. Бунин К.П., Таран Ю.П. Стрессные чугуны. – М.: Металлургия, 1972. – С. 159.
5. Андрейко І. М., Слинко Г. І., Остап О. П., Волчок І.П. Циклічна тріщиностійкість сірих і високоміцних чавунів з підвищеним вмістом фосфору// ФХММ. – 2000, № 6. – С. 45-51.

УДК 621.336.22

В.В. Широков, д.т.н.; ст.н.с. Ю.І. Василенко;
інж. В.А. Зазуляк, к.т.н. – ФМІ ім Г.В. Карпенка НАН України

ВПЛИВ ЛЕГУЮЧИХ КОМПОНЕНТІВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ АЛЮМІНІУ ПРИ ТЕРТІ З МІДЮ

Досліджено вплив легування алюмінію міддю, кремнієм, оловом, свинцем на його зносостійкість при терті у парі з мідним контактним електропроводом і встановлено, що воно підвищує зносостійкість сплавів і зменшує знос контактного проводу, особливо у випадку використання додаткової вуглеграфітової вкладки.

V.V. Shyrovkov, Yu.I. Vasylenko, V.A. Zazulak

Influence of alloyed components to wear-resistance of aluminum at the friction in pair with copper

The influence of copper, silicon, tin, lead on wear-resistance its alloys with aluminum attached to friction in pair with copper contact electroconductor are investigated. Established, that aluminum add with stated metals raises alloys wear-resistance and diminishes a wear of electroconductor contact.

В Україні, країнах СНД на тролейбусах використовують дешеві вуглеграфітові вставки струмознімачів, які експлуатуються без змащування мідного контактного дроту, забезпечують мінімальне його зношення і за експлуатаційними показниками мають перевагу над існуючими металічними аналогами. Однак, внаслідок низьких опор крихкому руйнуванню та міцності часто виходять з ладу при ударах, що мають місце, наприклад, при проходженні кріплень спецчастин струмової мережі. Вуглеграфітові вставки малопридатні для експлуатації у дощову погоду, при налипанні мокрого снігу і утворенні на контактних дротах кірки льоду, оскільки у цих випадках їх зносостійкість зменшується на один, два порядки.

За несприятливих погодних умов застосовують вставки виготовлені з "м'якого" чавуну із вільними зернами графіту, іноді сталеві [1]. Після руйнування

льодової кірки такі вставки знімають, оскільки вони спричиняють подряпини на поверхні прилягання контактного дроту та його подальше інтенсивне зношення. Металокерамічні, мідно-свинцево-графітові вставки з 87 % порошку міді, 9 % свинцю, 4 % графіту марки "Урал", не пошкоджують дріт і за зносостійкістю (0,005–0,013 мм/км), та за спрацюванням контактного дроту (0,00005–0,00025 мм/10000 проходів) прийнятні для експлуатації. У дощову погоду зношення таких вставок зростає в 2,2 рази [1-2], що набагато менше порівняно з вуглеграфітовими. Їх широке застосування обмежено також внаслідок високої вартості.

У Росії, за даними підприємства "Нові технології" (м. Новосибірськ), успішні випробування пройшли металеві вставки зі сплавів Al – 10-20 % Sn (в мас. %) з розміщеними по середині робочої доріжки вкладками з вуглеграфіту. На сьогодні ці вставки використовуються на тролейбусних маршрутах сибірських міст незалежно від погодних умов. Проте, через високий вміст олова вони дорогі.

Враховуючи вище наведене, було проведено дослідження спрямовані на створення більш дешевих і зносостійких матеріалів для струмознімачів електротранспорту з врахуванням того, що вони запобігають пошкодженням контактного дроту, зокрема мінімально його зношують.

Матеріали і методика випробувань

Основні вимоги до вставок:

- твердість, нижча за твердість контактного дроту (з метою запобігання його механічного дряпання);
- висока зносостійкість і мінімальне зношення контактного дроту (близьке до зношення його вуглеграфітом);
- низька вартість і висока технологічність отримання вставок ливарним способом;
- висока стійкість до схоплювання з контактним дротом і утворення на ньому наростів з наступним вириванням частинок міді.

До таких матеріалів належать сплави, до складу яких входять тверді і відносно тугоплавкі кристали з рівномірними дрібнодисперсними включеннями м'яких і легкоплавких свинцю, олова чи сплавів цих металів, які практично нерозчинні в основному металі. Промисловістю випускаються сплави такого типу на базі системи Al-Sn, які знайшли широке використання для виготовлення підшипників ковзання автотракторних двигунів.

Перспективними можуть виявитись сплави системи Al-Pb, значно дешевші ніж сплави Al-Sn, а за трибологічними властивостями повинні бути близькі до сплавів Al-Sn. Сплави Al-Pb поки що не випускаються промисловістю і не знайшли практичного застосування внаслідок сильної ліквіації свинцю при отриманні виробів, хоча розроблено [4-5] метод їх отримання, за яким кристалізація розплаву проходить у взаємоперпендикулярних електричному і магнітних полях. Виникнення у розплаві електромагнітних об'ємних сил, що вибірково впливають на компоненти розплаву залежно від їх електропровідності, дозволили отримати сплави Al-Pb з рівномірним розміщенням по об'єму відливка дрібнодисперсних включень свинцю. Проте, на сьогодні ще не розроблена технологія литва цим методом промислових виробів.

Чистий алюміній при сухому терті, порівняно з іншими м'якими металами, найбільш схильний до схоплювання навіть за незначної пластичної деформації. Тому сплави системи Al-Pb, Al-Sn на основі чистого алюмінію мало придатні для виготовлення тролейбусних вставок. Покращити протизадирні властивості алю-

мінію можна підвищенням його твердості шляхом легування міддю та кремнієм у межах 2-4 % кожного. Такий матеріал можна отримати сплавлюванням відносно дешевих відходів дюралів та силумінів з наступною добавкою свинцю чи олова. Однак трибологічні властивості подібних сплавів не досліджено.

Основна мета дослідження – вивчити властивості сплавів систем Al-Cu-Si-Pb і Al-Cu-Si-Sn та можливість отримання ливарним способом з них тролейбусних вставок без значної ліквіації свинцю. Хімічний склад досліджуваних сплавів наведено на гістограмах зношування (рис. 3).

Відомо [1], що при терті вуглеграфіту по мідному дроті на останньому утворюється тонка графітова плівка, яка запобігає схоплюванню у металічних парах при терті. З метою отримання на контактному дроті такої плівки у дослідних зразках розміщували вуглеграфітові вкладки (рис. 1, в). Вставки з вуглеграфітовими вкладками для натурних досліджень відливали у тонкостінний кокіл із сталі 08X13. Після заповнення металом (на протязі 2-3 секунд) кокіл охолоджували у холодній воді.

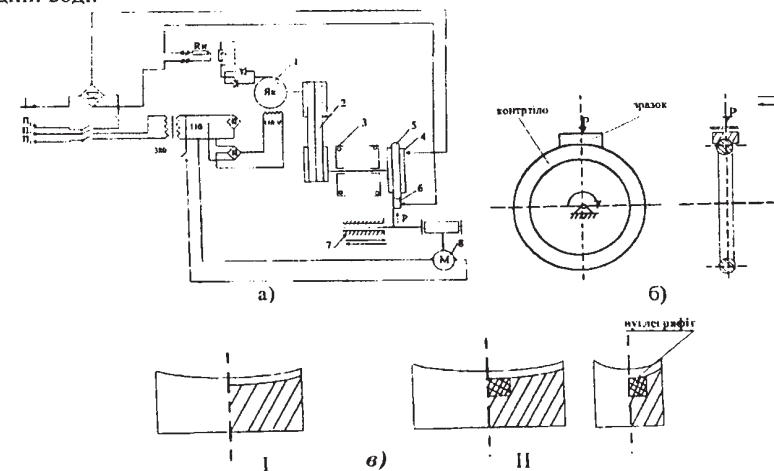


Рис. 1. Принципова схема установки для випробування електроконтактних матеріалів на терті і знос (а); схема навантаження (б); зразки: I-металевий; II-металографітовий (в)

Для оцінки зносостійкості пари тертя "контактний дріт-контртіло (вставка)" було сконструйовано та виготовлено установку (рис. 1), яка дозволяє проводити дослідження різних матеріалів у умовах сухого тертя на повітрі, воді і слабких електролітах (імітація кислотних дощів) без і з проходженням електроструму. Гравіметричним методом вимірювали втрати маси та підраховували об'ємне зношення матеріалів. Мінімальний шлях тертя 27000 м, за навантаження 1 МПа, швидкості ковзання 17 м/с і густини струму 35 А/см².

Установка складається з привідного електродвигуна постійного струму 1, клинораминної передачі 2, підшипникової опори 3, кріплення контртіла 4, контртіла 5, тримача зразка (3 зразком) 6, опори тримача зразка 7, електродвигуна приводу опори 8 системи механічного навантаження зразка. Більш детально конструкція установки і її особливості описані в [7].

Результати експериментальних досліджень та їх обговорення

Усі досліджені сплави отримували нагріванням розплаву на 50-100 °С вище температури розшарування ($T_{розш}$), витримували за цих температур 10-15 хв і швидко, з метою максимального запобігання процесу розшарування, охолоджували у воді. $T_{розш}$ визначали на основі аналізу діаграм стану сплавів (рис. 2) [3]. Сплави Al-Sn розливали після нагріву до 750 °С, Al-Pb – 1100 °С.

Металографічним аналізом ліквідацію по густині у сплавах не виявлено. Олово у сплавах системи Al-Sn концентрується у вигляді сітки по границях зерен алюмінію. Відсутність ліквідації у відливках цих сплавів обумовлено відносно невеликою різницею у густині Q складових сплавів ($Q_{Sn}/Q_{Al} = 7,29/2,7 \approx 2,7$), а також близькістю $T_{розш}$ до температури кристалізації $T_{кр}$ початку виділення з однорідного розплаву кристалів Al, ці кристали сповільнюють швидкість опускання краплин олова.

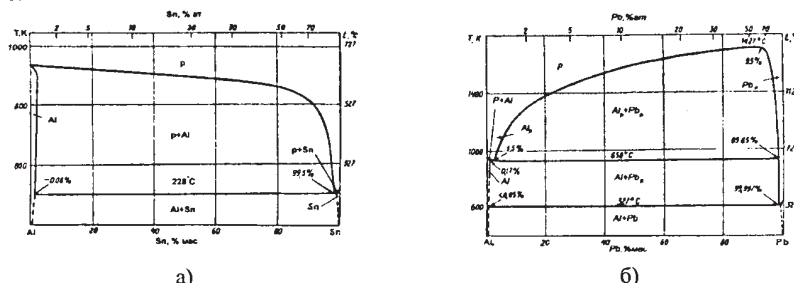


Рис. 2. Діаграми фазових станів систем Al-Sn (а), Al-Pb (б)

У сплавах системи Al-Pb, $Q_{Pb}/Q_{Al} = 11,3/2,7 = 4,2$, тобто цей параметр значно більший ніж для сплавів Al-Sn. Різниця ж $T_{розш} - T_{кр}$ складає ~ 400 °С. При повільному охолодженні в інтервалі температур " $T_{розш} - T_{кр}$ " однорідний розплав встигає розширюватись з утворенням крупних краплин, які згідно з законом Стокса опускаються з швидкістю

$$V = \frac{2}{9} r^2 g (Q_{Pb} - Q_{Al}) / \mu,$$

де: g – прискорення вільного падіння; μ – коефіцієнт в'язкості розплаву Al.

Зменшення умовного радіусу виділень " r " досягали швидким охолодженням розплаву у діапазоні температур $T_{розш} - T_{кр}$. В отриманих зливках сплавів Al-Pb вкраплення свинцю, розміром 20-100 мкм, відповідним чином розміщені по об'єму алюмінієвої основи. Частина свинцю виділяється у вигляді сітки по границях зерен алюмінієвої матриці.

Гістограму зношування сплавів наведено на рис. 3. Штрихуванням показано рівень зносостійкості сплавів з вуглеграфітовими вкладками, не заштриховані – без них рівень зношування мідного дроту наведено тільки для зразків з вуглеграфітовими вкладками, зразки без них призводять до інтенсифікації його зношення у 2-3 рази.

Незважаючи на мінімальну зносостійкість чистого алюмінію, він викликає найбільш інтенсивне зношення мідного дроту (рис. 3). Встановлено, що відбува-

ється налипання алюмінію на дріт, а руйнування наростів супроводжується відри-вом частинок міді.

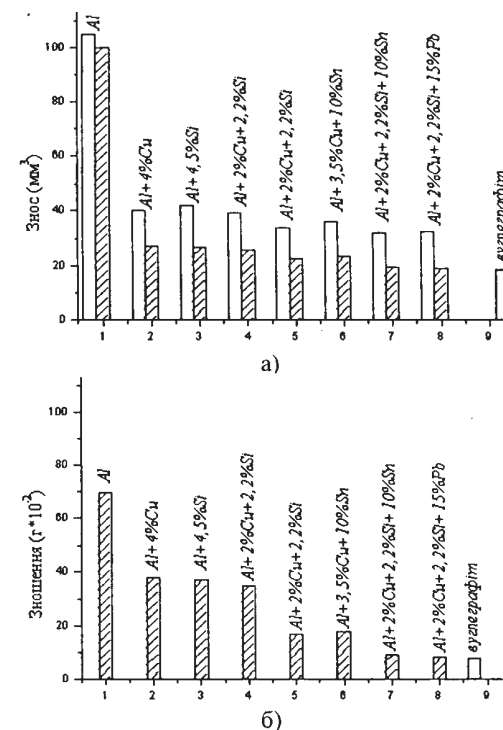


Рис. 3. Зношування матеріалів (а) та контактної дроту (б) при шляхах тертя $0,4 \cdot 10^5$ м та $1 \cdot 10^5$ м відповідно (штрихуванням наведено рівень зношування вставок і дроту із застосуванням вуглеграфітових вкладок)

Нарости алюмінію не розплющуються по поверхні дроту. Вуглеграфітові вкладки незначно зменшують зношення як зразків, так і контактної дроту, але не запобігають схопленню. Зміцнення алюмінієвої основи міддю, кремнієм і підвищення внаслідок цього твердості сприяє зменшенню здатності до схоплювання та значного підвищення зносостійкості трибосприяження у цілому. Різницю у зносостійкості зразків легованих окремо міддю, кремнієм чи обома одночасно (за однакової твердості) не виявлено. Крім того, інтенсивність зношення контактної дроту в останніх випадках близька. Тому, з метою економії відносно дорогої міді доцільно збільшувати у сплавах вміст кремнію.

Добавки у сплави системи Al-Cu-Si олова, свинцю у межах 10-15 % мас. лише незначно підвищують їх зносостійкість, проте суттєво знижують знос контактної дроту (рис. 3, б). Суттєвої різниці у трибологічних характеристиках сплавів, легованих окремо свинцем чи оловом, не виявлено. Це свідчить про доцільність застосування свинцю як заміника олова, оскільки при суттєвому зменшенні вартості матеріалу експлуатаційні характеристики залишаються задовільними.

Незважаючи на те, що добавки олова, свинцю зменшують знос мідного дроту він, все ж, в 2-3 рази вищий, ніж при терті з вуглеграфітом. Оскільки зношуваність дроту повинна бути мінімальною (внаслідок складності й дороговизни заміни електромережі, порівняно з заміною струмознімних вставок), перспективні матеріали для вставок доцільно додатково змащувати вуглеграфітом. Зразки з цих сплавів із розміщеними у них вуглеграфітовими вкладками незначно, як і вуглеграфітові, зношують контактний дріт і прийнятні для формування тролейбусних вставок.

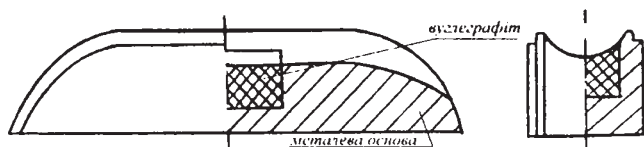


Рис. 4. Металовуглеграфітова вставка струмознімача для натурних випробувань

Вставки для натурних випробувань (рис. 4) виготовляли із сплавів Al-2 %, Cu-2 %, 2,2 % Si з добавками 10 % Sn, 10 % Pb і 5 % Sn + 10 % Pb. Випробування проводили літом на двох тролейбусних маршрутах в умовах м. Львова. Тролейбуси з дослідними вставками експлуатувались одночасно з оснащеними вуглеграфітовими. Встановлено, що довговічність перших у суху погоду в 5-8 разів, а у дощову в 2-3 рази вища, ніж вуглеграфітових.

Якщо тролейбусні вставки можуть експлуатуватися без змащування, то у пантографах трамваїв передбачені канавки, наповнені консистентним мастилом з графітовим порошком. Лабораторні дослідження відповідних трибопар в умовах граничного змащування (рис. 5) показали суттєве зменшення зношення мідного дроту.

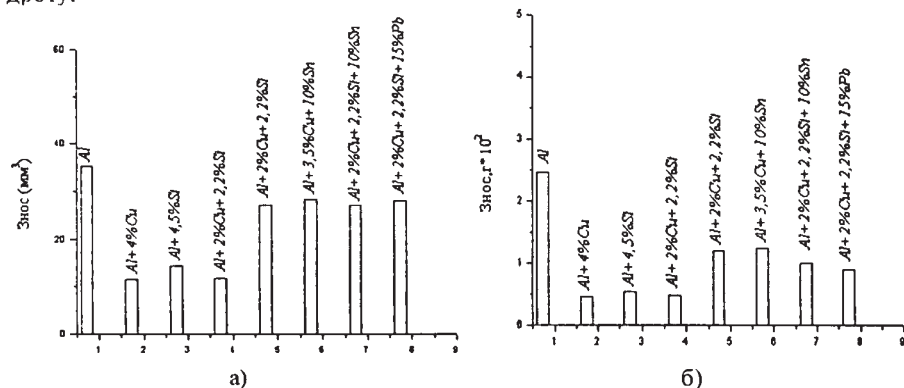


Рис. 5. Зношування матеріалів (а) та контактного дроту (б) при шляхах тертя $1 \cdot 10^5$ м та $2,5 \cdot 10^5$ м відповідно. а) Зношуваність досліджуваних матеріалів при терті по контактному мідному дроті за умов граничного змащування (шлях тертя $1 \cdot 10^5$ м). б) Гістограма зношування мідного дроту при терті у парі з вставками з досліджуваних матеріалів (шлях тертя $2,5 \cdot 10^5$ м)

У цьому випадку відсутні нарости алюмінію. Найвища зносостійкість при танання сплавам систем Al-Cu-, Al-Si і Al-Cu-Si. Дещо нижча зносостійкість цих

сплавів з добавками олова чи свинцю. Змащувальний ефект добавок свинцю та олова не проявляється, але суттєве значення мають оптимальні міцнісні властивості сплавів.

Література

1. Трофилов А.Н. Контактные вставки тонкоосеменников троллейбусов. – М.: Стройиздат, 1966. – 138 с.
2. Ивин К.В., Трофилов А.Н., Энгельс Г.Г. Тонкоосемен городского наземного транспорта. М.: Издательство литературы по строительству. 1965 – 262 с.
3. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. М.: Металлургия. 1979. – 640 с.
4. Чашечкина Ж.Ю., Орлов Д.Б. Антифрикционные алюминиево-свинцовые сплавы для подшипников скольжения// Трение и износ. – 1996, 17, №6. – С. 802-809.
5. Некоторые структурные особенности материалов на основе системы Zn-Pb и Al-Pb, полученных в условиях квазивесомости/ О.В. Абрамов, Ю.М. Гелфгат, С.И. Семинов, М.З. Сорокин, Ж.Ю. Чашечкина// Физика и химия обработки материалов. – 1981, 3. – С. 47-52.
6. Буше П.А., Двоекина В.А., Торочников А.Н. Роль мягких структурных составляющих в антифрикционных сплавах// инженерно-физический журнал. – 1959, 11, №4. – С. 38-46.
7. Широков В.В., Василенко Ю.И. Зносотривкість перспективних матеріалів вставок струмознімачів міського електротранспорту. "Ефективність реалізації научного ресурсного і промислового потенціалу у сучасних умовах" (Тематическая подборка и Материалы Первой Промышленной международной научно-технической конференции, 19-23 февраля 2001 г., п.Славское, Львовской обл. – С. 130-132.

УДК 621.793.8, 669.268

В.В. Широков, д.т.н.; ст.н.с. Х.Б. Василів – ФМІ ім Г.В. Карпенка НАН України

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ДИФУЗИЙНИХ ПОКРИТЬ ЗІ СПОЛУК У МЕТАЛЕВИХ РОЗПЛАВАХ

Аналітично обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність застосування оксидів металів, як джерел дифузанта для отримання відповідних покриттів у розплавах на основі літію. Апробовано оксиди Cr_2O_3 , MoO_3 , W_2O_5 і підтверджено правомірність їх використання. Досліджено структуру, хімічний, фазовий склад та фізико-механічні властивості армко-заліза і сталей, хромованих у розплаві літію з оксиду хрому. На основі вивчення кінетики хромування у літії з різних джерел дифузанта встановлено, що застосування Cr_2O_3 дозволяє інтенсифікувати процес нанесення покриттів в 1,5-2,0 рази.

V.V. Shyrokov, Ch.B. Vasylyiv

Peculiarities of formation of diffusion coatings from compounds in metal melts

It is analytically shown and experimentally approved application metal oxides as the sources of a diffusant for metallisation in lithium. Structure, chemical and phase composition, mechanical and physical properties of chromized in Li- Cr_2O_3 steels are investigated. It is established that isothermal exposition of steel in lithium with Cr_2O_3 gives 1.5-2.0 fold increase in the coating thickness in comparison with process in Li with Cr.

Дифузійні покриття широко застосовуються для підвищення зносо- та корозійної стійкості металевих конструкційних матеріалів. Серед багатьох способів нанесення покриттів лише окремі забезпечують ефективний захист поверхонь виробів складної конфігурації та з внутрішніми порожнинами [1]. До останніх належить металізація у розплавах легкоплавких металів, зокрема, лужних [2]. Метод ґрунтується на явищі масопереносу розчинених у транспортному розплаві компонентів покриття до поверхні виробів і дозволяє отримувати різноманітні за хіміч-