

УДК 621.785.5

Середа Б. П.
Белоконь Ю. О.
Кругляк І. В.
Середа Д. Б.

КОМБІНОВАНЕ ДЕФОРМУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ З ІНТЕРМЕТАЛІДНИМ ХРОМОАЛІТОВАНИМ ПОКРИТТЯМ, ОТРИМАНИМ В УМОВАХ САМОРОЗПОВСЮДЖУВАЛЬНОГО ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗУ

Працездатність деталей і вузлів сучасної техніки залежить від здатності протистояти чинним навантажень, витримувати термічне і корозійний вплив високотемпературного газового потоку. Отже, необхідно приділяти особливе значення здатності конструкційного матеріалу чинити опір зносу або корозії, тобто володіти необхідною зносостійкістю, жаростійкістю і корозійну стійкістю.

Підвищення надійності сучасної техніки, зниження собівартості її обслуговування, забезпечення конкурентоздатності, продовження ресурсу експлуатації, а також її реновація шляхом застосування сучасних технологій для відновлення працездатності вузлів до рівня нових виробів – найбільш пріоритетні напрямки розвитку техніки.

Відомо, що інтерметаліди зберігають свою структуру і міцність при високих температурах [1]. Зносостійкі інтерметалідні сполуки, такі як CrAl, широко використовуються в якості захисних покриттів для деталей, що перебувають у безпосередньому контакті з газоподібними й рідкими агресивними середовищами різного складу, при різних температурах і швидкості відносного руху, і корозійною активністю зношуються досить інтенсивно [2, 3].

Метою роботи є отримання інтерметалідних хромоалітованих захисних покриттів в умовах високотемпературного синтезу, що самопоширюється (СВС) на мідних сплавах і визначити оптимальні режими обтиснення цих матеріалів при обробці металів тиском.

Розробка теорії зносостійких покриттів, а також удосконалення технологій і встаткування для їхнього нанесення дозволили значно підвищити тривалість роботи, ефективність і надійність черв'ячних вінців, дисків муфт зчеплення, втулок вихлопних клапанів авіаmotorів, поршнів і ін. Усі ці деталі виготовляються з мідних сплавів марок: БрОФ 10-1, БрОНС 11-4-3, БрАЖМц 10-3-1,5, БрАЖ 9-4-1, ЛАМцЖ66-6-3-2, ЛМцЖ 55-3-1.

Технологія отримання покриттів в умовах СВС забезпечує необхідні експлуатаційні характеристики при мінімальному часі їх формування, тому є актуальною на сьогодні. Разом з цим актуальною також є проблема обробки тиском отриманих виробів з багатокомпонентними захисними покриттями, що дозволить отримати пористі шари, які забезпечать ще більш високі механічні властивості деталей.

Була розроблена технологія отримання і подальша обробка тиском інтерметалідних хромоалітованих покриттів, оскільки вказані покриття, відрізняються високою стійкістю проти дії кисню, морської води і розчинів кислот, утворюючи при окисленні скловидні, поверхневі оксидні плівки, що міцно утримуються.

Насичення зразків проводили в режимі теплового самозаймання, який полягає в поєднанні хімічних транспортних реакцій [4] з процесом теплового самозаймання порошкових сумішей [3]. Мікроструктуру зміцнених шарів досліджували на мікроскопі «Neophot-2».

В результаті хіміко-термічної обробки були отримані хромоалітовані покриття на мідних сплавах леговані титаном та кремнієм. Товщина покриття складає від 20 до 100 мкм. Мікроструктури отриманих покриттів приведені на рис 1.

Хіміко-термічну обробку мідних сплавів в режимі теплового самозаймання проводили в реакторі відкритого типу з продуванням інертним газом – аргоном. Як насичуюче середовище використовували суміш порошків наступних матеріалів: Cr_2O_3 , Al_2O_3 , Ti, Al, Si, J_2 . Дисперсність порошків складала 200–300 мкм.

Наступним етапом досліджень було визначення оптимальних режимів обжимання зразків з отриманими багатокомпонентними захисними покриттями. Виконання цього етапу дозволить отримати пористе хромоване покриття, що має сітку мікроскопічних тріщин.

Основна особливість процесу холодної прокатки заготівель мідних сплавів з дифузійними багатокомпонентними захисними покриттями полягає в істотній пошаровій анізотропії механічних властивостей, а також високої міцності з'єднання шарів, що підвищує рівень взаємного впливу компонентів, що деформуються, і що впритул наближає величину коефіцієнта міжшарового тертя до теоретичного максимуму (по суті, в даному випадку міжшарового тертя є міжзернове тертя).

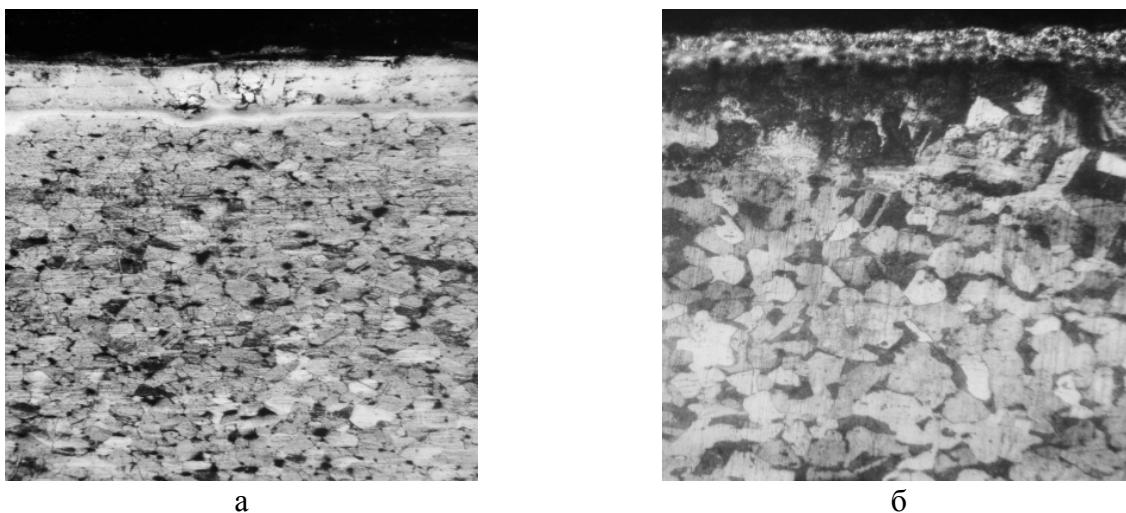


Рис. 1. Мікроструктури багатокомпонентних хромоалітованих покриттів, легованих: а – титаном, $\times 150$; б – кремнієм, $\times 200$ в режимі теплового самозаймання СВС – систем, отриманих при температурі насичення: $t_{\text{н}} = 800^{\circ}\text{C}$, і часу витримки – 60 хв., матеріал – ЛЖМц55-3-1.

Спочатку міцність з'єднання покриття і основи виключає розшарування заготівки в процесі деформації і незалежну (виборчу) деформацію шарів при будь-яких ступенях обжимання. Проте значна відмінність в механічних властивостях шарів обумовлює нерівномірну деформацію двошарової заготівлі. Нерівномірна деформація призводить до фрагментації малопластичного покриття при певному обжиманні [5].

Так було встановлено, що при товщині багатокомпонентного хромованого шару вище 50 мкм не виникає зростання пор, але у цьому випадку хромове покриття неупорядковано розтріскується у всіх напрямках, переважно перпендикулярно основі.

Було встановлено, що пористе хромоалітоване покриття у порівнянні з звичайним має наступні переваги:

- добра прироботка до іншої не хромованої поверхні;
- велика здатність до змочування маслом та утриманню його у каналах та порах в період роботи пари тертя;
- гарне зчеплення з основним металом у товстих шарах у наслідок значного зменшення в них внутрішніх напружень, завдяки чому виключається можливість зкалування та крихкості хрому при роботі деталей.
- велика зносостійкість при високому тиску та температурі до 800°C в корозійних середовищах;
- велика теплопровідність, що сприяє підтриманню невеликої температури поверхні робочої деталі та сприяє на якість змащення;
- зменшення площі фактичного контакту пар тертя на 15–40 %.

Сутність процесу хромоалітовання з отриманням «проститості» механічним методом полягає в наступному: якщо після хромування на поверхню деталі накатати невеликі, але відносно глибокі лунки, завдяки прокатки при невеликих обтисненнях. Це досягається завдяки м'якій

структурі оброблюємої деталі, що дозволяє покриттю мати велике зчеплення з основою. Таким чином отримана хромована поверхня буде поцяткована поглибленнями (порами), що поліпшують властивості змащування деталі.

Обробці тиском підвергалась тільки опорна (несуча) частина хромованої поверхні деталі. Розподіл поглиблень на поверхні (їх число, величина та форма) при механічному методі отримання пористості визначаються в основному ступеню обтиску.

З метою оцінки антифрикційних властивостей звичайного хромового покриття та пористого, отриманого механічним методом, було проведено дослідження на зносостійкість мідних сплавів при терті по пористо-хромованій поверхні та звичайному покритті. В наслідок проведення досліджень було встановлено, що знос мідного сплаву в другому випадку був в 2,5 рази більшим, ніж в першому випадку. Частіше пористе хромування механічним методом застосовується для покриття поверхні вкладишів дисків.

Встановлено, що фрагментація відбувається по різних механізмах: з тріщиноутворенням і без такого. В першому випадку при деякому обжиманні в покритті з'являються поперечні тріщини, при продовженні деформації тріщини розвиваються і проходять крізь все покриття, що після чого утворилися в покритті розриви починають заповнюватися більш пластичним металом основи. В другому випадку поверхня прокатаного зразка на всьому протязі деформації залишається гладкою (тріщини не утворюються), але в ньому нерівномірно утворюються локальні зменшення товщини захисного шару, по якому при продовженні деформації утворюються розриви. Зрештою, зразки з по різних механізмах покриттями, що дробляться, набувають аналогічний вигляд: смуга з вкатаними фрагментами багатокомпонентних захисних шарів. Слід зазначити, що, навіть роздроблюючись, покриття не втрачають прикладної цінності, оскільки за рахунок багатокомпонентних захисних шарів фрагментів зносостійкість композиту залишається більш високою, ніж у незахищеної основи [6]. Проте задачею даної роботи було отримання зміцненого (наклепаного) композиту з суцільним покриттям. Тріщини в покритті починають з'являтися вже після перших проходів (обжимання 12–18 %), тому подальші дослідження проводили на більш пластичних матеріалах підкладки ЛМЦЖ–55–3–1.

В ході експериментів варіювали ступінь сумарного обжимання (до 80 %), дробову деформації і відношення товщини шарів. Пошарову нерівномірність деформації прокатних зразків досліджували на подовжніх мікрошліфах. На базі в 6–10 мм з кроком 0,1 мм заміряли товщину захисного шару, таким чином для зразків, що прокотили з різними обжиманнями, одержували профілі міжшарової межі, та формозмінення захисного покриття, взагалі, відбувається не під дією стискаючих сил з боку валів, а під дією розтягуючих сил з боку основи, що подовжується.

Низька пластичність захисного шару, що розтягується, приводить до появи вже згаданих локальних стоншувань, аналогічних по своїй природі «шийкам», що з'являються на останній стадії розтягування циліндрових зразків при класичних випробуваннях на розривній машині.

Середню висотну деформацію інтерметалідного шару, згідно авторам роботи [7], оцінювали з урахуванням часток окремого тертя товщини шару:

$$\varepsilon_h = h_0 - h_{cp}^* \quad (1)$$

$$h_{н\delta}^* = \frac{\sum_{i=1}^n h_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{h_i^2}{h_{н\delta}}}{n} \quad (2)$$

де h_0 – товщина захисного шару до деформації;

h_i – товщина захисного шару після деформації в i -том вимірюванні;

h_{cp} – середнє арифметичне вимірювань товщини захисного шару;

h_{cp}^* – середня скоректована товщина захисного шару;

n – кількість вимірювань.

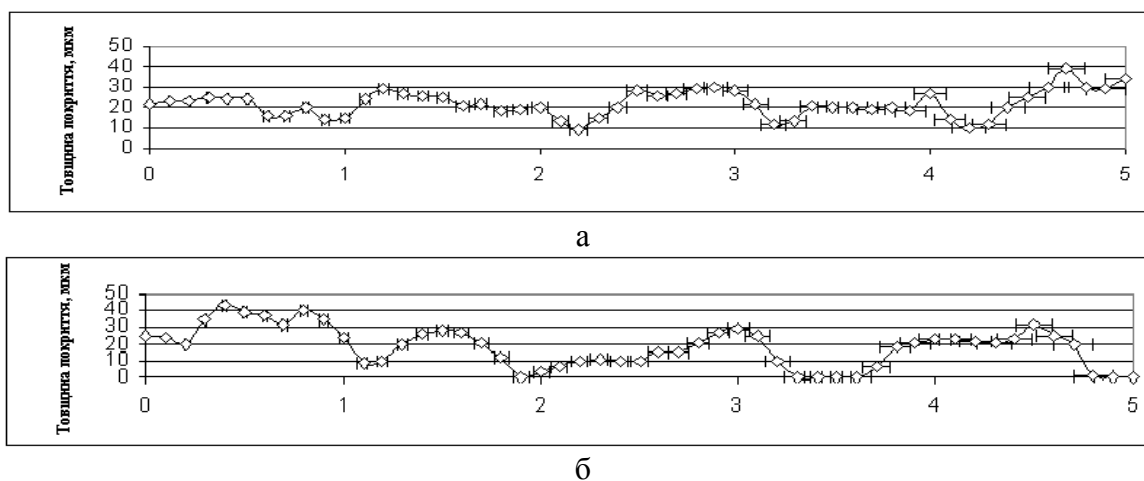


Рис. 2. Профіль міжшарової границі зразка з багатокомпонентним покриттям товщиною 50 мкм після прокатки з обтисненням:
а – $\varepsilon = 0,6$; б – $\varepsilon = 0,8$

$$S = \frac{\varepsilon_h^T}{\varepsilon_h^M}, \quad (3)$$

де ε_h^T – обтиснення твердого (захисного) шару;

ε_h^M – обтиснення м'якого шару підкладки.

Чим ближче значення S до одиниці, тим більш рівномірно розподіляються висотні деформації між шарами. В нашому випадку S завжди менше одиниці (порядку 0,7–0,8), тобто обжимання захисного шару менше обжимання основи; при цьому зв'язок на межі «покриття – основа виключає істотну різницю в подовженнях шарів [8]. Невідповідність висотних і подовжніх деформацій частково компенсується тим, що розширення зразка відбувається майже повністю за рахунок компоненти основи. До фрагментації покриття при виході з валів зразки згинаються (покриттям всередину), із зростанням сумарного обжимання радіус вигину зразків зменшується і після фрагментації, з черговим проходом, зразки вирівнюються.

Відомо, що одним з найважливіших показників прокатки є максимальний ступінь обжимання, що не супроводжується фрагментацією покриття. З'ясовано, що ця величина сильно залежить від початкового співвідношення товщини шарів в заготівлі і від дробової деформації. Фрагментація покриття з'являється від кромки смуги і починається тим раніше (при меншому обжиманні), чим тонше покриття (при постійній товщині заготівки) і чим більше обжимання за один прохід (чим менше дробова деформації). Для заготовок з покриттями товщиною від 30 мкм і вище (при постійній товщині заготівки 5 мм) були підібрані режими холодної деформації, що дозволяє уникнути фрагментації покриття при сумарних обжиманнях аж до 80 % (подальша холодна деформація заготовок не призводить до значного зміцнення основи і тому недоцільна).

ВИСНОВКИ

1. ХТО на основі міді алюмінію, титану, кремнію та хрому в режимі СВС сприяє зміцненню їх поверхневого шару. Запропонований метод зміцнення сприяє значному підвищенню зносостійкості мідних сплавів в умовах тертя. В зміцненому шарі утворюються залишкові напруження стиснення.

2. СВС метод зміцнення поверхневого шару зразків з латуні, має невелику тривалість та є найбільш економічним серед аналогів, рекомендується використовувати замість традиційних способів хіміко-термічної обробки мідних сплавів.

3. Проводити деформацію заготовель з покриттями без ризику розшарування можливо завдяки пластичності матеріалу основи та високій міцності зчеплення дифузійних покриттів з основою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Обработка металов тиском при нестационарных температурных условиях: монография* / Б. П. Середя, И. В. Кругляк, О. А. Жеребцов, Ю. О. Белокопья. – Запоріжжя : ЗДІА, 2009 – 252 с.
2. Гринберг Б. А. *Интерметаллиды: фундаментальные аспекты, приложения* / Б. А. Гринберг // *Сборник трудов Урало-Сибирской научно-практической конференции*, – М., 2004, С. 22–24.
3. Середя Б. П. *Поверхневое змцнення матеріалів: монография* / Б. П. Середя, Н. С. Калініна, И. В. Кругляк – Запоріжжя : *Видавництво ЗДІА*, 2004. – 230 с.
4. Шефер Г. *Химические транспортные реакции* / Г. Шефер – М. : Мир, 1964. – 248 с.
5. Sereda B. *Aluminized Coating on Steel in SHS Condition* / B. Sereda, D. Sereda. // *Material science and technology 2014. – Conference and Exhibition. Pittsburgh. Pennsylvania USA. – 2224 p. – P. 482–486.*
6. *Research of Physicomechanical Properties of Multicomponent Covering on Copper Alloys.* / B. Sereda, D. Sereda, I. Kruglyak, D. Kruglyak // *Material science and technology 2012. – Conference and Exhibition. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2012. – 1550 p. – P. 296–300.*
7. Sereda B. *Kinetiks formation of aluminized multifunctional coating on steel in SHS condition* / B. Sereda, D. Sereda // *Material science and technology 2011. – Conference and Exhibition. Columbus, Ohio USA. – 2011. – 1741 p. – P. 1667–1671.*
8. Середя Б. П. *Прокатка заготовок медных сплавов с покрытиями, полученными в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС)* / Б. П. Середя, И. В. Кругляк, А. Н. Святодух // *Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні: тематичний сб. научн. праць.* – Краматорськ : ДДМА, 2007. – С. 480–484.

REFERENCES

1. *Obrobka metaliv tiskom pri nestacionarnih temperaturnih umovah: monografija* / B. P. Sereda, I. V. Krugljak, O. A. Zherebcov, Ju. O. Belokon'. – Zaporizhzhja : ZDIA, 2009 – 252 s.
2. Grinberg B. A. *Intermetallidy: fundamental'nye aspekty, prilozhenija* / B. A. Grinberg // *Sbornik trudov Uralo- Sibirskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, – M., 2004, S. 22–24.
3. Sereda B. P. *Poverhneve zmcnennja materialiv: monografija* / B. P. Sereda, N. S. Kalinina, I. V. Krugljak – Zaporizhzhja : *Vidavnictvo ZDIA*, 2004. – 230 s.
4. Shefer G. *Himicheskie transportnye reakcii* / G. Shefer – M. : Mir, 1964. – 248 s.
5. Sereda B. *Aluminized Coating on Steel in SHS Condition* / B. Sereda, D. Sereda. // *Material science and technology 2014. – Conference and Exhibition. Pittsburgh. Pennsylvania USA. – 2224 p. – P. 482–486.*
6. *Research of Physicomechanical Properties of Multicomponent Covering on Copper Alloys.* / B. Sereda, D. Sereda, I. Kruglyak, D. Kruglyak // *Material science and technology 2012. – Conference and Exhibition. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2012. – 1550 p. – P. 296–300.*
7. Sereda B. *Kinetiks formation of aluminized multifunctional coating on steel in SHS condition* / B. Sereda, D. Sereda // *Material science and technology 2011. – Conference and Exhibition. Solumbus, Ohio USA. – 2011. – 1741 p. – P. 1667–1671.*
8. Sereda B. P. *Prokatka zagotovok mednyh splavov s pokrytijami, poluchennymi v uslovijah samorasprostranjajushhegosja vysokotemperaturnogo sinteza (SVS)* / B. P. Sereda, I. V. Krugljak, A. N. Svjatoduh // *Udoskonalennja procesiv i obladnannja obrobki metaliv tiskom v metalurgiji i mashinobuduvanni: tematichnij sb. nauchn. prac'.* – Kramators'k : DDMA, 2007. – S. 480–484.

Середя Б. П. – д-р техн. наук., проф. ЗДІА
Белокопья Ю. О. – канд. техн. наук., доц. докторант ЗДІА
Кругляк И. В. – канд. техн. наук., доц. ЗДІА
Середя Д. Б. – аспірант ЗДІА

ЗДІА – Запоріжська державна інженерна академія, м. Запоріжжя.

E-mail: seredabp@rambler.ru; belokonura@rambler.ru; irinakrygljak@rambler.ru