

ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛОКЕРАМІЧНОГО ТВЕРДОГО СПЛАВУ ДЛЯ ІМПУЛЬСНО-ПЛАЗМОВОГО НАНЕСЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ

Описано структуру і властивості покриття, отриманого імпульсно-плазмовою обробкою із застосуванням складеного катода, до складу якого входить твердий сплав T15K6. Покриття має високу мікротвердість (800-1100 HV) і містить до 15 % карбідів вольфраму розміром до 25 мкм.

Ключові слова: імпульсно-плазмова обробка, покриття, мікроструктура, карбіди вольфраму, твердість.

Вступ

Нанесення захисних покриттів є одним із основних напрямів підвищення довговічності деталей машин та інструменту. Для цього широко застосовують плазмові технології, до яких належить імпульсно-плазмова обробка (ІПО). В роботах [1–3] пропонується використовувати для ІПО електротермічний аксіальний плазмовий прискорювач (ЕАПП), який працює в гідродинамічному режимі та забезпечує генерацію плазми в атмосфері повітря [4]. Формування покриття при ІПО здійснюється за рахунок плазмового переносу матеріалу катода, поверхневі шари якого випаровуються та розплавляються під дією імпульсного електричного розряду в камері плазмотрона. Автором раніше було показано [1–3], що для утворення достатньо товстих захисних (трибологічних) покриттів доцільно використовувати електроди, виготовлені зі сплаву, що вміщує карбідну (карбоборидну) евтектику та має температуру плавлення не вище 1400 °С. Такими сплавами є білі леговані чавуни або інструментальні сталі ледебуритного класу. Завдяки зниженій температурі плавлення евтектики поверхня електрода оплавляється достатньою мірою, щоб утворити значний об'єм мікрокрапельної фази, яка переноситься плазмовим потоком на поверхню деталі. В результаті при невеликій кількості імпульсів на поверхні утворюється щільне покриття товщиною 100–150 мкм, яке може виконувати захисні функції.

Втім, така технологія потребує застосування постплазмової термічної обробки. Це обумовлено тим, що при електричному розряді в камері плазмотрона температура підвищується до 10 тис. °С, внаслідок чого поверхня катода оплавляється з повним розчиненням хімічних елементів у рідині. Формування покриття відбувається за рахунок надшвидкої кристалізації мікрокапель на підложці, в результаті чого в покритті утворюється пересичений твердий розчин (аустеніт) за відсутності карбідних (боридних) фаз, які не встигають утворитися шляхом виділення з рідини. У такому стані покриття має низьку твердість та не забезпечує достатньої зносостійкості.

Дослідженнями [5–6] встановлено, що для підвищення опору зношуванню необхідно забезпечити виділення карбідних фаз із твердого розчину шляхом проведення термічної обробки гiрhbnz із досить довгою витримкою при високих температурах (вище 900 °С). В процесі нагріву та витримки термодинамічно нестабільний твердий розчин розпадається із виділенням карбідів (боридів), що стимулює подальше перетворення аустеніту у мартенсит при охолодженні. В результаті різко підвищується твердість покриття та зростає його зносостійкість. Втім, проведення термічної обробки не завжди є прийнятним. Оскільки така термообробка є об'ємною, вона змінює структуру та властивості в об'ємі деталі (інструменту), що є неприпустимим, коли ІПО проводиться на готових виробах.

Мета роботи – розробка методу отримання імпульсно-плазмових покриттів з високими властивостями без проведення постплазмової термічної обробки.

Напрямок досліджень

Як альтернативний підхід пропонується проводити ІПО із використанням ЕАПП, аксіальний електрод якого виготовлений із композиційного електропровідного матеріалу, що вміщує карбіди одного або кількох металів групи (вольфрам, ванадій, молібден, титан, тантал, цирконій, гафній) та металеву матрицю із температурою плавлення не вище 1600 °С. В процесі електричного розряду в камері плазмотрону поверхня катода не повинна оплавлятися повністю, оплавлятися має тільки металева матриця (зв'язка), при цьому карбіди повинні залишатися більшою мірою нерозплавленими. В такому випадку карбіди будуть переноситися плазмою на поверхню в нерозплавленому стані, це запобігатиме формуванню пересиченого твердого розчину в покритті при ІПО. Отримання карбідів в покритті безпосередньо в ході ІПО виключить необхідність подальшої постплазмової термічної обробки.

Для реалізації цього підходу аксіальний електрод

повинен бути виготовлений методом порошкової металургії із композиційного електропровідного матеріалу. Електропровідність матеріалу необхідна для утворення електричного розряду в камері ЕАПП. Технологія виготовлення матеріалу забезпечить відсутність у його структурі карбідних евтектик, які досить легко розчиняються при нагріві (при цьому розчиняються і карбіди, що входять до складу евтектики). Карбіди у складі матеріалу повинні мати підвищену температуру плавлення, що буде запобігати їх інтенсивному розплавленню під дією електричного розряду. До таких відносяться карбіди перехідних елементів IV, V і VI груп, а саме: вольфраму, ванадію, молібдену, титану, танталу, цирконію, гафнію. Карбіди цих елементів мають високу температуру плавлення, що перевищує 2,5 тис. °С, а саме: WC – 2870 °С, VC – 2810 °С, MoC – 2800 °С, TiC – 3260 °С, TaC – 3880 °С, ZrC – 3532 °С, HfC – 3900 °С [7]. Використання цих тугоплавких карбідів забезпечить реалізацію пропонованого способу ППО. Застосування карбідів інших карбідоутворювальних елементів (заліза, хрому, марганцю) не є ефективним з огляду на понижену температуру їх плавлення: Cr₇C₃ – 1780 °С, Cr₃C₂ – 1810 °С, Cr₂₃C₆ – 1500 °С, Fe₃C – 1600 °С, Mn₃C – 1520 °С. Розчинення карбідів заліза, марганцю, хрому при ППО призведе до утворення пересиченого твердого розчину в покритті, що викликає необхідність проведення додаткової термічної обробки.

На відміну від карбідів, металева матриця (зв'язка) повинна мати знижену температуру плавлення. Це дає змогу досить легко оплавити поверхню катода і інтенсифікувати плазмовий перенос у вигляді мікрокрапельної фракції, що необхідно для утворення захисного покриття достатньої товщини. З цією метою слід вибирати металеву зв'язку зі зниженою температурою плавлення. Цій умові відповідає використання як зв'язки таких металів, як, мідь (температура плавлення 1085 °С), залізо (1539 °С), кобальт (1495 °С), нікель (1455 °С), сплавів Ni-Mo та Ni-Cr (не менше 50 мас. % нікелю) (1360–1455 °С) тощо.

Методика експерименту

Експериментальну перевірку викладеного підходу здійснювали шляхом імпульсно-плазмового нанесення покриття із використанням електротермічного плазмового прискорювача, електричну схему якого наведено на рис. 1 [8]. ЕАПП складається із трубчастого розрядника (РА), катода (А), анода (В), – ємнісного накопичувача енергії (С1, 10 мкФ), ємнісного накопичувача «спускового» пристрою (С2), накопичувача блокування (С3), – котушка нелінійної індуктивності (L), трансформатора (PT), іскрового зазору (CSG). Аксіальним електродом слугував стрижень розмірами 4×5×40 мм, виготовлений зі спеченого твердого сплаву Т15К6 номінального складу: WC – 79 об. %; TiC – 15 об. %; кобальтова зв'язка – 6 об. %. Твердосплавний стрижень було завальковано у сталевий стрижень із низьковуглецевої сталі, який кріпився у вихідному отворі розрядни-

ка. ППО проводили за таких параметрів: напруга розряду – 4,0 кВ, сила струму – 10 кА, кількість імпульсів – до 10. Покриття наносили на зразки сталі 75Г (0,75 % С, 0,91 % Mn, 0,28 % Si) розмірами 10×10×25 мм.

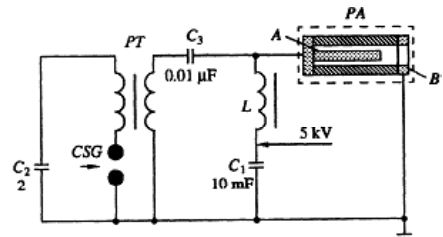


Рис. 1. Електрична схема підключення ЕАПП [8]

Мікроструктуру покриття досліджували в поперечному перетині за допомогою оптичного мікроскопа Axiovert 40 MAT (Carl Zeiss). Твердість покриття вимірювали при навантаженні 20 г на мікротвердомірі FM-300 (Future-Tech Corp.).

Експериментальна частина та аналіз отриманих результатів

Мікроструктуру сталеві поверхні після ППО представлено на рис. 2, 3. Після од кратної обробки на поверхні сформувався модифікований шар товщиною 25–31 мкм, який відрізнявся більш світлою будовою від перлітної структури основи (рис. 2). Мікротвердість модифікованого шару становить 785–880 HV, що вказує на мартенситну природу його будови. Утворення модифікованого шару відбулося внаслідок загартування поверхні за рахунок нагріву плазмовим імпульсом [4]. Товщина шару відповідає глибині прогріву поверхні до температури аустенітної області. Утворення покриття на поверхні модифікованого шару при однократній обробці не спостерігалось.

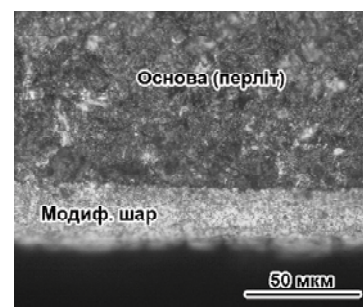


Рис. 2. Мікроструктура поверхні після однократної обробки

Аналіз рис. 3 вказує на те, що після 10 імпульсів із зовнішньої сторони модифікованого шару сформувалось покриття змінної товщини (33–72 мкм). Модифікований шар змінив колір; тепер він виглядає як темна смуга, що вирізняється на фоні більш світлого покриття. Покриття не є однорідним, у його межах зафіксовано наявність окремих зернистих часток карбіду WC

із середнім розміром в межах 1–10 мкм. Більшість карбідних часток мають округлу форму (рис. 3а), але й наявні більш великі включення (до 25 мкм) з частково кутастою формою, більш характерною для спеченого твердого сплаву (рис. 3б). Можна вважати, що округлення кутастих часток відбулося внаслідок їх часткового оплавлення під час перенесення плазмовим потоком на поверхню зразка.

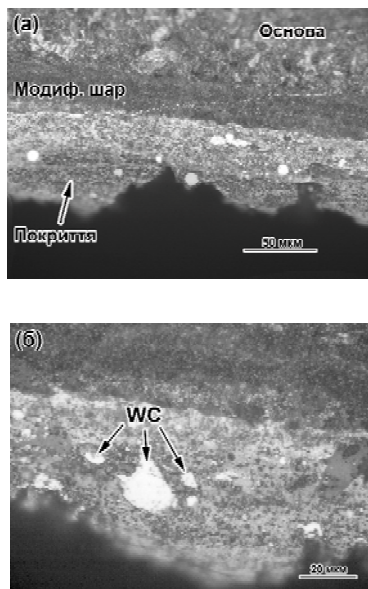


Рис. 3. Мікроструктура поверхні після 10 імпульсів: а – загальний вигляд; б – карбіди вольфраму в покритті

Заміри мікротвердості показали, що внаслідок 10 імпульсів відбулося пом'якшення модифікованого шару до 520–600 HV, що пов'язано з процесами відпуску при повторному нагріванні поверхні плазмовими імпульсами. Натомість на поверхні виникло покриття із твердістю в межах 800–950 HV. У місцях залягання карбідів вольфраму мікротвердість була підвищена до 1050–1100 HV (виміряти мікротвердість самих карбідів не вдалося внаслідок їх малого розміру). Висока твердість покриття свідчить про те, що воно має структуру високовуглецевого мартенситу. Таку структуру було досягнуто незважаючи на те, що у формуванні покриття брав участь катод, який частково складався із двох частин – твердого сплаву Т15К6 та низьковуглецевої сталі. Можна припустити, що при ІПО відбулося насичення плазми атомами вуглецю, який було вивільнено внаслідок ерозії паперово-бакелітових стінок розрядника під дією високострумовевого електричного розряду в камері прискорювача [1]. Вуглець розчинився в залізі, що після надшвидкої кристалізації покриття призвело до утворення твердого мартенситу.

Отримані результати показали можливість формування імпульсно-плазмового покриття із карбідами вольфраму без проведення додаткової пост-плазмової термічної обробки. Тобто показано перспективність

використання твердих композиційних сплавів як катода для нанесення імпульсно-плазмових покриттів. Втім, аналіз мікроструктури покриття показав, що об'ємна частка карбідів вольфраму не перевищує 15 об. %, що є недостатнім з огляду на необхідність забезпечення високої зносостійкості покриття. Причиною зниженої кількості карбідних включень можуть бути: а) випаровування (розчинення) більшості часток внаслідок високої температури в розрядній камері; б) недостатня ерозія катода внаслідок зміщення електричного розряду на сталеву частину катода (пов'язаного із різницею в електричному опорі різномірних складових катода). І якщо перша причина може бути викликана занадто високою тепловою потужністю плазмового струменя, то друга може полягати в конструктивних недоліках складового катода «сталь/Т15К6». Таким чином, конструкція катода та режим ІПО потребують оптимізації в ході подальших досліджень.

Висновки

Застосуванням електротермічного аксіального плазмового прискорювача з комбінованим катодом, до складу якого входить металокерамічний твердий сплав Т15К6, отримано імпульсно-плазмове покриття на сталі 75Г товщиною 33–72 мкм із твердістю 800–1100 HV. Покриття має структуру високовуглецевого мартенситу, в якому розподілено округлі включення карбіду вольфраму розміром до 25 мкм. Формування мартенситокарбідної структури покриття відбувалося безпосередньо при імпульсно-плазмовій обробці та не потребувало проведення пост-плазмової термічної обробки.

Стаття підготовлена за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України в рамках держбюджетного проекту 0117U002270.

Список літератури

1. Pulsed Plasma Deposition of Fe-C-Cr-W Coating on High-Cr-cast iron: Effect of Layered Morphology and Heat Treatment on the Microstructure and Hardness / V.G. Efremenko, Yu.G. Chabak, A. Lekatou end etc. // Surface Coating Technology. – 2016. – Vol. 304. – P. 93–305.
2. Phase-Structural Composition of Coating Obtained by Pulsed Plasma Treatment Using Eroded Cathode of T1 High Speed Steel / Yu.G. Chabak, V.I. Fedun, K. Shimizu end etc. // Problems of Atomic Science and Technology, Ser.: Plasma Phys. – 2016. – Vol. 4 (102). – P. 102–106.
3. Features of Formation of Microstructure, Elemental and Phase Compositions, and Properties of the 1.7%C – 14%Cr – 3%Mn – 3%Si – 1%Ni – 0.6%V – 1.2%B Steel under Casting and Pulsed Plasma Deposition / Yu.G. Chabak, T.V. Pastukhova, V.G. Efremenko end etc. // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. – 2017. – Vol. 39. – P. 491–505.
4. Modification of steel surface by pulsed plasma heating / Yu. G. Chabak, V. I. Fedun, T. V. Pastukhova end etc. // Problems of Atomic Science and Technology, Ser.: Plasma Phys. – 2017. – №4 (110). – P. 7–102.
5. The Post-Deposition Heat Treatment of Codeposited Cr₃C₂ and AISI 410 Stainless Steel Using the Coaxial Laser

- Deposition Technique / M. Fenech, B. Mallia, M. Grech end etc. // Journal of Materials Science. – 2013. – Vol. 48. – P. 2224–2235.
6. Микроструктура хромо-ванадистого чугуна, формуються при плазменній обробці поверхні і послідуєть термічеської обробці // Ефременко В.Г., Чабак Ю.Г., Пастухова Т.В. и др. // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2016. – Вип. 33. – С. 50–58.
7. Конструкционные материалы: Справочник / Б. Н. Арзамасов, В. А. Брострем, Н. А. Буше и др. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с.
8. The Use of a Magnetic Switch for Commutation of High-Current Pulse Circuits / Yu. E. Kolyada, I. Fedun, I. N. Onishchenko, E. A. Kornilov // Instruments and Experimental Techniques. – 2001. – Vol. 44 (2). – P. 213–214.

Одержано 15.12.2017

Чабак Ю.Г. Использование металлокерамического твердого сплава для импульсно-плазменного нанесения износостойких покрытий

Описаны структура и свойства покрытия, полученного импульсно-плазменной обработкой с применением катода, в состав которого входит твердый сплав T15K6. Покрытие имеет высокую микротвердость (800-1100 HV) и содержит до 15 % карбидов вольфрама размером до 25 мкм.

Ключевые слова: импульсно-плазменная обработка, покрытие, микроструктура, карбиды вольфрама, твердость

Chabak Yu. Use of metal-ceramic cemented carbide alloy for pulse-plasma deposition of wear-resistant coatings

The structure and properties of the coating obtained by pulsed-plasma treatment using a composite cathode, which includes the cemented carbide alloy T15K6, are described. The coating has a higher microhardness (800-1100 HV) and contains up to 15% tungsten carbides of size up to 25 mm.

Key words: pulse-plasma treatment, coating, microstructure, tungsten carbide, hardness.