

КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ

ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ СПЛАВУ ВТ22 ЕЛЕКТРОДНИМИ МАТЕРІАЛАМИ З ХРОМОМ І ВОЛЬФРАМОМ

О. В. ПАУСТОВСЬКИЙ¹, В. І. НОВИКОВА¹, І. І. ТИМОФЄЄВА¹, О. Г. МОЛЯР²,
Ю. В. ГУБІН¹, Н. М. МОРДОВЕЦЬ¹, Л. П. ІСАЄВА¹, А. Д. КОСТЕНКО¹

¹ Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ;

² Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ

Досліджена залежність ерозійних характеристик електродного матеріалу з Cr та W під час нанесення електроіскрового покриття (ЕІП) на титановий сплав ВТ22. Встановлено взаємозв'язок між фазовим складом, структурою та триботехнічними властивостями ЕІП покриття. Показано, що оптимальні триботехнічні властивості має покриття, одержаний з вольфраму: мікротвердість 16 GPa, зносотривкість 4,9 $\mu\text{m}^3/\text{km}$ за швидкості ковзання 5 m/s та навантаження 0,5 MPa.

Ключові слова: електроіскрове легування, високоміцний титановий сплав, структура, триботехнічні властивості.

У сучасному машино- та авіабудуванні широко використовують титанові сплави, особливо високоміцний сплав ВТ22. Вони володіють підвищеною хімічною активністю та схильністю до скоплювання з металами, через що мають низьку зносотривкість. Тому сплав ВТ22 застосовують тільки з модифікованими поверхнями [1]. Один із методів нанесення на його поверхню захисних покриттів – електроіскрове легування (ЕІЛ), основна особливість якого полягає в одержанні легованого шару, міцно зчепленого з підкладкою. Обладнання для ЕІЛ просте і зручне конструкційно. Цей метод перспективний і використовує електричні імпульси малої тривалості та високу силу струму [2–5].

Нижче досліджено структуру та властивості ЕІЛ покриттів із Cr і W на сплаві ВТ22. Легували на установці ЕФІ-46А в такому режимі: $I = 1,5 \text{ A}$; $C = 300 \mu\text{F}$.

Триботехнічні характеристики композицій оцінювали на установці М-22М [6], яка фіксувала коефіцієнт тертя (f) і інтенсивність зношування зразка (I , $\mu\text{m}^3/\text{km}$) за схемою вкладиш–вал. Триботехнічні показники визначали на повітрі без подачі мастила в зону контакту в парі зі сталлю 65Г при $V = 5$ і 10 m/s і навантаженні $P = 0,5$ і $1,0 \text{ MPa}$. Металографічний аналіз виконували на мікроскопі МИМ-9, дюрOMETричний – на ПМТ-3, рентгенофазовий – на ДРОН-3М у CuK_α -променях.

Досліджено вплив фазового складу анода на основні параметри ЕІЛ сплаву: питому ерозію анода Δ_a , питомий приріст ваги катода Δ_c , вимірювані за кожну хвилину обробки на 1 cm^2 поверхні; сумарну ерозію анода $\Sigma\Delta_a$, сумарний приріст ваги катода $\Sigma\Delta_c$, вимірювані за час легування $\tau = 8 \text{ min/cm}^2$ (притомний час легування); середній

коефіцієнт масопереносу матеріалу $\Delta K = \frac{\Sigma\Delta_c}{\Sigma\Delta_a}$ при $\tau = 7 \text{ min/cm}^2$. Побудовано (рис. 1)

кінетичні криві сумарної ерозії анода і сумарного приросту ваги катода за 7 min. Найбільша ерозія анода на восьмій хвилині легування. Очевидно, це обумовлено крихкими оксидами TiO_2 , які сприяють його руйнуванню (табл. 1), збільшуючи кількість

твердої фази в продуктах ерозії. Приріст ваги катода поступово зростає з тривалістю легування (рис. 1). Коефіцієнт масопереносу матеріалу з Cr і W після легування 7 min у середньому становить 0,35 (схема на рис. 1).

Таблиця 1. Фазовий склад поверхонь сплаву BT22 після ЕІЛ

Матеріал електрода	Поверхня
Cr	Cr(Ti), Cr ₂ Ti, CrTiO ₃ , CrO _{1-x} , CrN, CrNHO, β-Ti
W	W, Ti _x W _{1-x} , WO, Ti ₄ O ₇

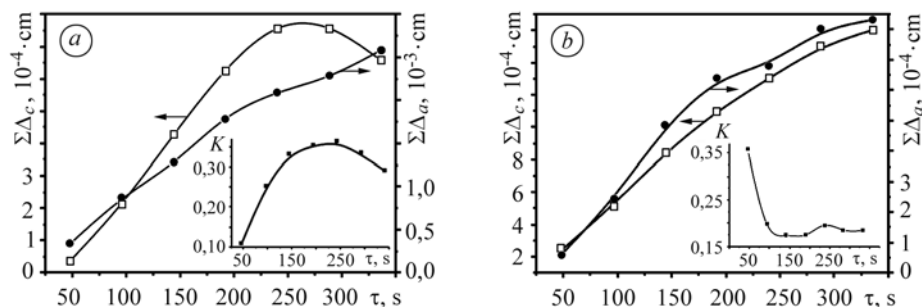


Рис. 1. Кінетичні залежності сумарних приросту катода $\Sigma\Delta_c$ і ерозії анода $\Sigma\Delta_a$ від часу ЕІЛ, коли катод – сплав BT22, а анод – Cr (a) та коли катод – сплав BT22, а анод – W (b). Графік на рисунку – залежність коефіцієнта переносу від часу легування τ після ЕІЛ електродом із хрому та підкладки із сплаву BT22.

Fig. 1. Kinetic dependences of summary growth of cathode $\Sigma\Delta_c$ and summary erosion of anode $\Sigma\Delta_a$ on treatment time by spark treatment, cathode – BT22 alloy, anode – Cr (a) and cathode – BT22 alloy, anode – W (b). Plot in the figure – dependence of deposition coefficient on treatment time, τ , after spark treatment with a chromium electrode and BT22 alloy base.

Під час ЕІЛ у мікрованні розплаву на робочій поверхні сплаву продукти електроерозії взаємодіють у рідкій, газовій і твердій фазах з матеріалами підкладки та компонентами повітря [4]. У результаті формується поверхневий покрив з іншим, ніж в електродах, фазовим складом. За надшвидкого охолодження рідини й конденсації газової фази можливе утворення метастабільних складників. На поверхні виникає шар з інтерметалідів TiCr₂, Ti_xW_{1-x}, оксидів TiO, Ti₄O₇, CrO, вольфраму (табл. 1). Основна фаза тут – інтерметалід TiCr₂ і W.

Одержані ЕІЛ покриття мають товщину 45 μm . Мікротвердість легованих шарів для хрому 11 GPa, а для вольфраму 16 GPa (табл. 2). Мікроструктура вихідного сплаву – $\alpha+\beta$ -Ti з мікротвердістю $H_\mu = 4,4$ GPa. Під ЕІЛ покриттями на глибині до 1 μm розміщена зона термічного впливу. Під час ЕІЛ у сплаві BT22 на глибині 20...50 μm змінюється внутрішньозеренна мікроструктура, а також морфологія виділення α -фази всередині колишнього β -зерна, що свідчить про нагрівання до температури, яка не перевищує $\alpha+\beta \rightarrow \beta$ -перетворення ($\sim 900^\circ\text{C}$). В $\alpha+\beta$ -суміші підвищується вміст β -фази (рис. 2).

Таблиця 2. Результати металографічного і дюрOMETричного аналізів покриттів, термічної зони та підкладки зі сплаву BT22

Матеріал електрода	Товщина шару, μm	Мікротвердість, GPa		
		шару	термічної зони	сплаву
Cr	45	11	9	4,4
W	45	16	9	4,2

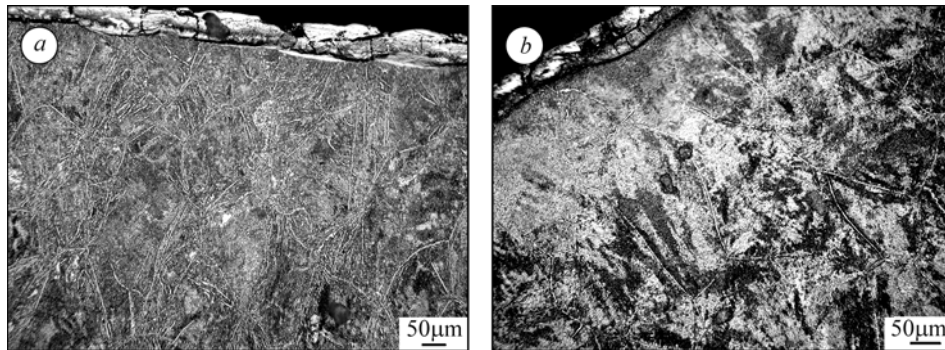


Рис. 2. Структура ЕІЛ покриву із хрому і підкладки зі сплаву ВТ22 (а) та із вольфраму і підкладки ВТ22 (б).

Fig. 2. Structure of spark alloyed chromium coating and substrate of BT22 alloy (a) and tungsten and also of BT22 substrate (b).

За швидкості ковзання $V = 5$ m/s триботехнічні характеристики зміцнених покриттів із вольфраму збільшуються проти покриттів із хрому в 1,1 рази (рис. 3а), а за швидкості $V = 10$ m/s коефіцієнт тертя f цього покриття в 1,1 рази менший, ніж із хрому. Таким чином, оптимальними для ЕІЛ покриву із вольфраму є значення коефіцієнта тертя $f = 0,38$ і інтенсивності зношування $I = 28$ $\mu\text{m}/\text{km}$ за швидкості ковзання $V = 10$ m/s, а за швидкості 1 m/s інтенсивність зношування покриття з вольфраму мінімальна.

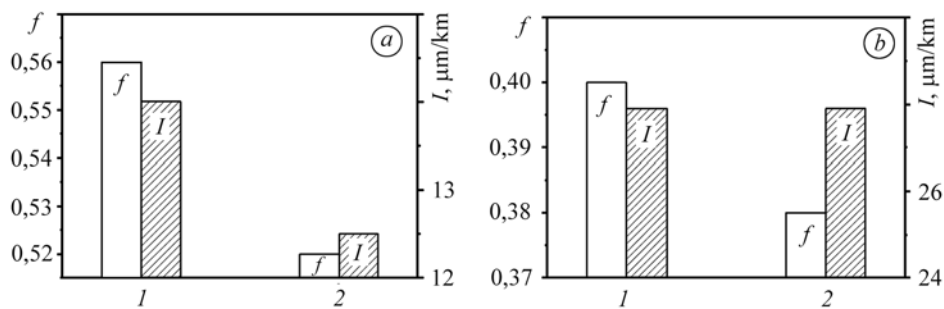


Рис. 3. Коефіцієнт тертя (f) та інтенсивність зношування (I) ЕІЛ покриттів із хрому (1) та вольфраму (2) на підкладці зі сплаву ВТ22 за швидкості ковзання $V = 5$ (а) і 10 m/s (б).

Fig. 3. Friction coefficient (f) and wear intensity (I) of spark-alloyed chromium (1) and tungsten coatings (2) on BT22 base with sliding speed $V = 5$ (a) and 10 m/s (b).

ВИСНОВКИ

За електроіскрового легування сплаву ВТ22 електродом з Cr і W оптимально збільшуються вага катода ($\Sigma\Delta_c = 8 \cdot 10^{-4}$ sm), ерозія анода ($\Sigma\Delta_a = 2 \cdot 10^{-3}$ sm) і коефіцієнт переносу $K = 0,35$. В електроіскровому покритті з Cr утворюються оксиди TiO, CrO та інтерметалід TiCr₂. Останній і оксид TiO збільшують зносотривкість зміцненого шару. Найбільш зносотривкість $I = 28$ $\mu\text{m}/\text{km}$ і коефіцієнт тертя $f = 0,38$ має ЕІЛ покрив з вольфраму за швидкості ковзання 10 m/s і навантаження 0,5 МПа, мінімальну ($I = 12,5$ $\mu\text{m}/\text{km}$) – за швидкості ковзання 5 m/s. Мікротвердість шарів із Cr та W становить 11 і 16 GPa відповідно, а їх товщина 45 μm .

РЕЗЮМЕ. Исследована зависимость эрозионных характеристик электродных материалов из Cr и W при нанесении электроискрового покрытия на сплав ВТ22. Установлена взаимосвязь между фазовым составом, структурой и триботехническими свойствами ЭИЛ покрытий. Показано, что оптимальными свойствами обладает покрытие, полученное из

вольфрама: микротвердость 16 GPa, износостойкость 12,5 $\mu\text{m}/\text{km}$ при скорости скольжения 5 m/s и нагрузке 0,5 МПа.

SUMMARY. The dependence of erosion characteristics of electrode materials of chromium and tungsten under application of electrospark coatings on VT22 alloy has been investigated. The relation between the phase composition, structure and tribotechnical properties of spark-alloyed coatings have been established. It was shown that the coating obtained from the tungsten possesses the optimal properties: micro-hardness of 16 GPa, wear resistance 12.5 $\mu\text{m}/\text{km}$ at a sliding speed of 5 m/s and load of 0.5 MPa.

1. *Втомні* характеристики титанового сплаву VT22 із зносостійкими покриттями / В. О. Краля, О. Г. Моляр, А. М. Хімко та ін. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2006. – № 6. – С. 119–122.
(*Kralya V. O., Molyar O. H., Khimko A. M., and Puhachevs'kyi D. O. Fatigue Characteristics of VT22 Titanium Alloy with Wear-Resistant Coatings // Materials Science. – 2006. – № 6. – P. 119–122.*)
2. *Верхотуров А. Д., Подчерняева И. А., Егоров. Ф. Ф.* Электродные материалы для электроискрового легирования. – М.: Наука, 1988. – 200 с.
3. *Лазерное и электроэрозионное упрочнение / В. С. Коваленко, А. Д. Верхотуров, Н. Ф. Головкин, И. А. Подчерняева.* – М.: Наука, 1986. – 375 с.
4. *Ким В. А., Коротаев Д. Н., Голик А. В.* Влияние условий электроискровой обработки на эрозионный процесс // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – № 1. – С. 78–81.
5. *Верхотуров А. Д., Муха И. М.* Технология электроискрового покрытия металлических поверхностей. – К.: Техника, 1982. – 179 с.
6. *Колесниченко Л. Ф., Полотай В. В., Заболотный В. В.* Методика изучения трения и износа металлокерамических материалов // Порошковая металлургия. – 1970. – № 3. – С. 61–66.

Одержано 26.11.2010