

УДК 621.9.048.4

Г. Г. ЛОБАЧОВА, Є. В. ІВАЩЕНКО, Д. В. ДОРОНІН

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОІСКРОВИХ ПОКРИТТІВ НА ПОВЕРХНІ СТАЛІ В ПРОЦЕСІ ПОШАРОВОГО НАНЕСЕННЯ ТИТАНУ, АЛЮМІНІЮ ТА ЗАЛІЗА

Встановлено, що багатостадійне електроіскрове легування (ЕІЛ) на повітрі з варіюванням послідовності нанесення металів легувальних анодів: Ti-Al-Fe; Ti-Fe-Al; Fe-Al-Ti; Fe-Ti-Al; Al-Ti-Fe; Al-Fe-Ti приводить до підвищення поверхневої мікротвердості Сталі 50 від 6,6 до 12,8 ГПа та зносостійкості у 2,5 – 7,2 разів. Це зумовлено формуванням інтерметалідних сполук $Ti(Fe_{0,62}Al_{0,38})_2$, $\eta-Fe_2Al_5$, Fe_2Ti , а також оксидів TiO_2 та Al_2O_3 , які утворилися в результаті взаємодії матеріалів електродів між собою та з киснем повітря за екстремальних умов процесу ЕІЛ.

Ключові слова: електроіскрове легування (ЕІЛ), сталь, титан, алюміній, залізо, мікротвердість, зносостійкість

Вступ. Актуальним завданням сучасного виробництва є підвищення надійності та строку служби деталей машин, механізмів, інструменту. Рішення цієї проблеми полягає у поліпшенні експлуатаційних характеристик їх робочих поверхонь.

Одним з ефективних методів поверхневого зміцнення є електроіскрове легування (ЕІЛ). З літератури відомо [1; 2], що даний метод обробки дозволяє створювати зміцнені леговані шари з високою адгезією до основи при використанні будь-яких струмопровідних матеріалів.

Останнім часом широкого вжитку набули багатоконпонентні покриття, створені під час послідовного нанесення різноманітних матеріалів, що дозволяє забезпечувати широкий спектр функціональних властивостей поверхні [3 – 5].

Постановка завдання. Зазвичай обробку проводять компактованими твердо-сплавними анодами. Нажаль, їх суттєвим недоліком є незначна ерозія під час дії низьковольтних електричних розрядів, що зменшує кількість еродованого матеріалу аноду та уповільнює його перенесення на оброблювану поверхню [6; 7].

Як альтернативний спосіб застосовують пошарове нанесення чистих металів. Екстремальні умови процесу ЕІЛ сприяють інтенсивній взаємодії матеріалів аноду та катоду, що приводить до утворення багатоконпонентних покриттів з комплексом поліпшених фізико-механічних властивостей [3].

Метою роботи є дослідження впливу послідовності нанесення алюмінію, заліза, титану в процесі ЕІЛ на структуру, фазовий склад, мікротвердість та стійкість до зношування поверхні Сталі 50.

Методика та техніка експерименту. В роботі проведено процеси пошарового ЕІЛ Сталі 50 з варіюванням послідовності нанесення металів легувальних анодів: Ti-Al-Fe; Ti-Fe-Al; Fe-Al-Ti; Fe-Ti-Al; Al-Ti-Fe; Al-Fe-Ti.

Титановий та алюмінієвий аноди обрані з огляду на те, що вони, при взаємодії між собою, можуть утворювати інтерметаліди, відомі своїми жаростійкими та деякими механічними властивостями, а при взаємодії з киснем повітря – дисперсні оксиди. Залізний анод використано для створення міцного зв'язку нанесеного покриття з матеріалом основи.

ЕІЛ здійснювали на лабораторній установці «ЭЛИТРОН-26А» за таких параметрів: $U = 60 - 70$ В; $I = 2$ А; тривалість обробки на кожній стадії нанесення 3 хв.

Мікроструктуру досліджували з використанням мікроскопу «МИМ-10». Для мікродюрометричного аналізу застосовували прилад «ПМТ-3М». Фазовий аналіз проведено на дифрактометрі «Ultima-IV» фірми «Rigaku» у мідному випромінюванні.

Для випробувань зразків на стійкість до зношування використовували оригінальну машину тертя, виготовлену на кафедрі фізики металів «КПІ імені Ігоря Сікорського». Тестування зразків площею 1 см^2 проводили шляхом тертя ковзання без мастила за схемою «площина по площині» під навантаженням 4 кг протягом 2 годин. Як контртіло використана інструментальна сталь Р6М5 після гартування та відпуску.

Показник інтенсивності зношування (I , $\text{кг}/\text{м}^2$ [3]) покриттів оцінювали гравіметричним методом через кожні 20 хвилин випробування за співвідношенням втрати маси зразка Δm , кг до площі поверхні тертя зразка s , м^2 . Маса зразків визначалася за допомогою лабораторних електронних вагів AXIS AD50 (точність визначення маси складає 0,0005 г).

Результати досліджень. Спроби створювати багатокомпонентні покриття шляхом пошарового нанесення металів під час ЕІЛ зроблені в роботах [3; 6], але вони стосуються лише невеликої кількості систем і не містять систематизованої інформації.

У даній роботі нанесення покриттів здійснювалося при різній комбінації та чергуванні металів анодів (Ti, Al, Fe) з урахуванням їх розчинності між собою. Не менш важливим фактором є взаємодія металів анодів з елементами середовища (повітря), в результаті чого у покритті крім інтерметалідів з'являються оксиди (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики покриттів на Сталі 50

Процес ЕІЛ	Фазовий склад	Товщина покриття, мкм
Ti-Al-Fe	γ -Fe, Fe_3Al , TiAl_3 , FeAl	20 – 35
Ti-Fe-Al	θ - Al_2O_3 , δ - Al_2O_3 , Al_2O_3	20 – 35
Fe-Al-Ti	$\text{Ti}(\text{Fe}_{0.62}\text{Al}_{0.38})_2$, TiO_2	30 – 40
Fe-Ti-Al	Al_2O_3 , α -Fe, η - Fe_2Al_5 , Fe_2Ti	30 – 40
Al-Ti-Fe	α -Fe, TiO_2	20 – 30
Al-Fe-Ti	Al_2O_3 , α -Fe, η - Fe_2Al_5 , Fe_2Ti	20 – 30

Порівняння товщин легованих шарів після усіх зазначених процесів виявило, що найбільше значення становить 40 мкм (табл. 1). Таку товщину мають покриття після обробки з початковою стадією легування залізом (Fe-Ti-Al, Fe-Al-Ti). Вочевидь, це відбувається через утворення твердих розчинів необмеженої розчинності під час легування однойменним з основою анодом. При цьому покриття характеризуються суцільністю та рівномірністю за товщиною.

За результатами мікродюрOMETричного аналізу виявлено, що мікротвердість покриттів складає: 8,2 ГПа після ЕІЛ Ti-Al-Fe; 10,4 ГПа після ЕІЛ Ti-Fe-Al; 12,8 ГПа після ЕІЛ Fe-Al-Ti; 7,6 ГПа після ЕІЛ Fe-Ti-Al; 6,6 ГПа після ЕІЛ Al-Ti-Fe; 11,9 ГПа після ЕІЛ Al-Fe-Ti. Можна помітити, що найбільше значення поверхневої мікротвердості спостерігається для легованих шарів, одержаних після процесів легування з останньою стадією нанесення титану. Це відбувається через наявність інтерметалідних сполук $Ti(Fe_{0.62}Al_{0.38})_2$, $\eta-Fe_2Al_5$, Fe_2Ti , а також оксидів TiO_2 та Al_2O_3 .

Для оцінки стійкості до зношування покриттів на Сталі 50 після ЕІЛ з варіюванням послідовності нанесення металів анодів проведено випробування в умовах тертя-ковзання без мастила за схемою «площина по площині» та побудовані кінетичні криві інтенсивності зношування (рис. 1).

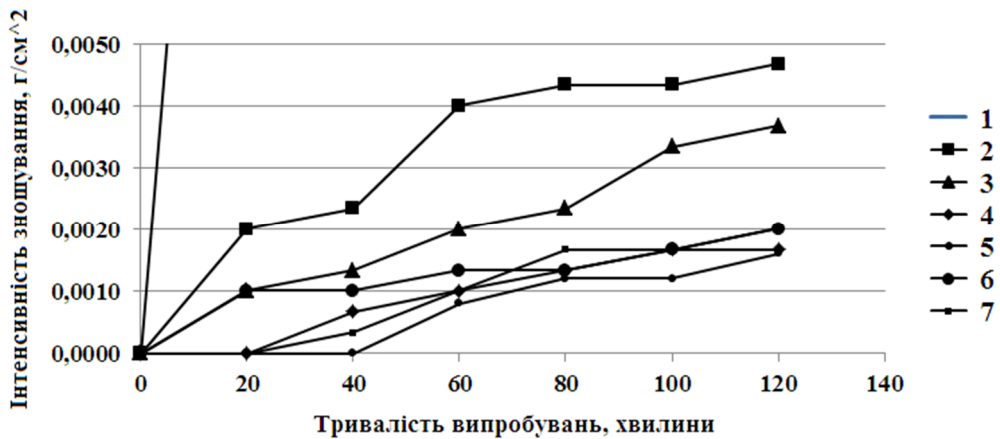


Рис. 1. Кінетичні криві інтенсивності зношування покриттів на Сталі 50:
1 – поверхня без обробки, 2 – Ti-Al-Fe, 3 – Al-Ti-Fe, 4 – Ti-Fe-Al, 5 – Fe-Ti-Al,
6 – Fe-Al-Ti, 7 – Al-Fe-Ti

Також був розрахований оціночний показник інтенсивності зношування окремо взятого покриття до аналогічного значення необробленої Сталі 50 після двох годин випробувань. Він показав, що за даних умов випробувань зносостійкість покриттів перевищує показник зразка без обробки у 2,5 разів (для покриття Ti-Al-Fe); у 6,9 разів (для покриття Ti-Fe-Al); у 5,8 разів (для покриття Fe-Al-Ti); у 7,2 рази (для покриття Fe-Ti-Al); у 3,1 раз (для покриття Al-Ti-Fe) та у 5,7 разів (для покриття Al-Fe-Ti).

Отже, найбільшу стійкість до зношування мають покриття після ЕІЛ з останню стадією нанесення алюмінію. Можна припустити, що алюміній, який знаходиться на поверхні, здатен виконувати роль твердого мастила.

Висновки

Виявлений вплив послідовності нанесення титану, алюмінію та заліза на товщину, мікротвердість та стійкість до зношування покриттів, одержаних в процесі ЕІЛ Сталі 50.

Найбільшу товщину легованого шару (40 мкм) мають покриття після ЕІЛ з початковою стадією легування залізом (Fe-Ti-Al, Fe-Al-Ti), що пояснюється утворенням твердих розчинів необмеженої розчинності під час легування од-нойменним з основою анодом.

Встановлено, що максимальну мікротвердість мають покриття після обробки з останньою стадією легуванням титаном (Al-Fe-Ti – 11,9 ГПа, Fe-Al-Ti – 12,8 ГПа), що пов'язано з наявністю оксидів та інтерметалідних сполук на основі матеріалів електродів.

Показано, що найкращі показники стійкості до зношування мають покриття після ЕЛЛ з останньою стадією нанесення алюмінію (Ti-Fe-Al та Fe-Ti-Al), який виконує роль твердого мастила.

Список літератури

1. Самсонов Г.В. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. – К.: Наукова думка, 1976. – 220 с.
2. Верхотуров А.Д. Электродные материалы для электроискрового легирования / А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Ф. Прядко, Ф.Ф. Егоров. – М.: Наука, 1988. – 224 с.
3. Лобачова Г.Г. Поверхневе зміцнення сплавів заліза електроіскровим легуванням цирконієм, титаном, хромом та хіміко-термічною обробкою: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.16.01 «Металознавство та термічна обробка металів» / Г.Г. Лобачова. – Київ, НТУУ «КПІ», 2012. – 200 с.
4. Мулин Ю.И. Особенности формирования структуры и свойства покрытий, нанесенных методом электроискрового легирования на сталь / Ю.И. Мулин // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – № 4. – С. 60 – 66.
5. Михайлюк А.И. Превращение в поверхностных слоях сплавов железа при электроискровом легировании / А.И. Михайлюк, А.Е. Гитлевич, А.И. Иванов // Электронная обработка материалов. – 1986. – № 2. – С. 23 – 27.
6. Верхотуров А.Д. К вопросу выбора материала электродов и массоперенос при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Ю.А. Горбунов // Порошковая металлургия. – 1985. – № 2. – С. 36 – 40
7. Подчерняева И.А. Влияние послойного электроискрового легирования на свойства композиционного электролитического покрытия системы Ni-B / И.А. Подчерняева, М.А. Тепленко, А.Д. Костенко // Порошковая металлургия. – 2004. – № 1/2. – С. 42 – 46.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2017

Лобачова Галина Геннадіївна – канд. техн. наук, старший викладач кафедри фізики металів Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна, lgg22@ukr.net

Івашенко Євген Вадимович – канд. техн. наук, доцент кафедри фізики металів Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна, тел. (044)204-97-74, ivashchenko@kpm.kpi.ua

Доронін Дмитро Валерійович – студент кафедри фізики металів Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна, wertioz@i.ua

G. G. LOBACHOVA, Ie. V. IVASHCHENKO, D. V. DORONIN

FEATURES OF ELECTRIC-SPARK COATINGS FORMATION ON STEEL SURFACE AT THE PROCESS OF LAYER-BY-LAYER DEPOSITION OF TITANIUM, ALUMINUM AND IRON

It was established that multi-stage Electric-spark alloying (ESA) in air with variation of the sequence of doping anodes metals deposition: Ti-Al-Fe; Ti-Fe-Al; Fe-Al-Ti; Fe-Ti-Al; Al-Ti-Fe; Al-Fe-Ti leads to an increase in the surface microhardness of Steel 50 from 6.6 GPa to 12.8 GPa and 2.5 to 7.2 times wear resistance. This is due to the formation of intermetallic compounds $Ti(Fe_{0.62}Al_{0.38})_2$, $\eta-Fe_2Al_5$, Fe_2Ti and oxides TiO_2 , Al_2O_3 which formed as a result of the interaction of electrodes materials with each other and with air oxygen under the extreme conditions of the ESA process.

Key words: Electric-spark alloying (ESA), steel, titanium, aluminum, iron, microhardness, wear resistance

References

1. Samsonov G.V. Jelegtroiskrovoe legirovanie metallicheskih poverhnostej / G.V. Samsonov, A.D. Verhoturov, G.A. Bovkun, V.S. Sychev. – K.: Naukova dumka, 1976. – 220 s.
2. Verhoturov A.D. Jelegtroodnye materialy dlja jelegtroiskrovogo legirovanija / A.D. Verhoturov, I.A. Podchernjaeva, L.F. Prjadko, F.F. Egorov. – M.: Nauka, 1988. – 224 s.
3. Lobachova H.H. Poverkhneve zmitsnennia splaviv zaliza jelegtroiskrovym lehuванням tsyrkoniiem, tytanom, khromom ta khimiko-termichnoiu obrobkoiu: dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.16.01 «Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv» / H.H. Lobachova. – Kyiv, NTUU «KPI», 2012. – 200 s.
4. Mulin Ju.I. Osobennosti formirovanija struktury i svojstva pokrytij, nanesennyh metodom jelegtroiskrovogo legirovanija na stal' / Ju.I. Mulin // Fizika i himija obrabotki materialov. – 2006. – no 4, pp. 60 – 66.
5. Mihajljuk A.I. Prevrashhenie v poverhnostnyh slojah splavov zheleza pri jelegtroiskrovom legirovanii / A.I. Mihajljuk, A.E. Gitlevich, A.I. Ivanov // Jelegtronnaja obrabotka materialov. – 1986. – no 2, pp. 23 – 27.
6. Verhoturov A.D. K voprosu vybora materiala jelegtroodov i massoperenos pri jelegtroiskrovom legirovanii / A.D. Verhoturov, I.A. Podchernjaeva, Ju.A. Gorbunov // Poroshkovaja metalurgija. – 1985. – no 2, pp. 36 – 40
7. Podchernjaeva I.A. Vlijanie poslojnogo jelegtroiskrovogo legirovanija na svojstva kompozicionnogo jelegtroliticheskogo pokrytija sistemy Ni-B / I.A. Podchernjaeva, M.A. Teplenko, A.D. Kostenko // Poroshkovaja metallurgija. – 2004. – no 1/2, pp. 42 – 46.