

УДК 621.9.048.4

DOI: 10.18372/0370-2197.4(85).13879

Г. Г. ЛОБАЧОВА, Є. В. ІВАЩЕНКО

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГРАФІТУ У МІЖЕЛЕКТРОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ НА ОСНОВІ ГЛІЦЕРИНУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЗАЛІЗА В ПРОЦЕСІ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ Fe-АНОДОМ

Встановлена можливість створення зміцнених зносостійких покриттів на поверхні заліза в процесі електроіскрового легування залізним анодом у вуглецьмістких насичувальних міжелектродних середовищах з порошком графіту у концентрації 25; 50; 75 та 99 об. %. Зі збільшенням вмісту порошку графіту від 25 до 99 об. % у сумішах на основі гліцерину в процесі електроіскрового легування залізним анодом зростає мікротвердість поверхні заліза від 9,2 до 18 ГПа, що пов'язано з наявністю великої кількості карбідів Fe_3C . Випробування досліджуваних зразків на стійкість до зношування під навантаженням 4 кг протягом 5 годин показало, що усі нанесені покриття на залізі мають підвищену зносостійкість у 10 – 24 рази у порівнянні з поверхнею без обробки.

Ключові слова: електроіскрове легування (ЕІЛ), залізо, гліцерин, порошок графіту, покриття, мікротвердість, зносостійкість

Вступ. У літературі [1 – 3] переконливо стверджується, що в процесі електроіскрового легування (ЕІЛ) відбувається не лише взаємодія матеріалів аноду та катоду, але й компонентів міжелектродного середовища. За умов дії іскрового розряду здійснюється вплив на хімічний склад й структурно-фазові перетворення металевих поверхонь, що цілком зумовлює їх фізико-механічні властивості.

Постановка завдання. Створення зміцнених покриттів з підвищеним вмістом карбідних фаз, що мають високі механічні характеристики [1, 2], досягалося використанням анодів, до складу яких входять карбіди перехідних металів. Але такі аноди мають ряд недоліків, зокрема високу крихкість та тугоплавкість, що уповільнює ефективне масоперенесення на зразок, а отже й формування покриттів. Інтенсивному окрихченню анодів сприяє активна взаємодія з киснем та азотом повітря, що знаходяться у міжелектродному проміжку [3].

Усунути подібні недоліки можна шляхом ЕІЛ у рідинних міжелектродних середовищах без доступу повітря. Згідно літературних даних [4] при електричному розряді відбувається іонізація молекул рідини, утворюється плазмовий канал, генеруються інтенсивні локальні електричні поля внаслідок структурних флуктуацій всередині діелектрика, що посилює масоперенесення матеріалу аноду на катод.

Дані літератури [5] та результати наших особистих експериментів [6 – 8], доводять ефективність ЕІЛ у сумішах на гліцериновій основі з порошками графіту, карбідів перехідних металів, бору, феросиліцію, міді, кремнію.

Зважаючи на викладене вище, метою даної роботи є вивчення впливу рідинного середовища з різним вмістом порошку графіту (від 25 до 99 об. %) на структуру та властивості поверхні заліза після ЕІЛ Fe-анодом.

Методика та техніка експерименту. Процеси ЕІЛ здійснювалися на стандартній лабораторній установці «Елітрон-26 А» за струму розряду 2 – 2,5 А, на-

пруги 60–70 В, амплітуди коливань аноду 50 ± 3 Гц, енергії розряду 1 Дж; загальна тривалість обробки кожного зразка складала 3 хв./см².

Матеріалами катоду та аноду обрано залізо (до 99,99 мас. % Fe).

ЕІЛ проводилося у гліцерині та сумішах гліцерину з порошком графіту марки МПГ-6 (у концентрації 25; 50; 75 та 99 об. %). Як основа рідинних середовищ виступав гліцерин, який сам по собі є вуглецьмістким, оскільки має вуглецю біля четвертої частини атомного складу [$\text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{-CH}_2\text{OH}$] [9]. За екстремальних умов процесу ЕІЛ гліцерин здатен розігріватися майже до температури кипіння (563 К), внаслідок чого він частково іонізується та інтенсивно взаємодіє з сумішшю розплавлених матеріалів аноду та катоду.

Обговорення результатів. Як відомо з літературних джерел [10], під час ЕІЛ анодом з того ж матеріалу, що й катод, має місце взаємна розчинність, яка виключає руйнування поверхневого шару. За цієї умови є можливим відслідкувати переважний вплив хімічного складу міжелектродного середовища на структурно-фазові перетворення у поверхневій зоні зразка під час обробки.

За даними мікроструктурного аналізу поверхневій зоні досліджуваних зразків після обробки складаються з покриття (легованого шару), зони термічного впливу та матеріалу основи. Товщина легованого шару після ЕІЛ у гліцерині та суміші гліцерину з порошком графіту 25 об. % та 50 об. % складає 25–30 мкм, а після ЕІЛ у суміші гліцерину з порошком графіту 75 об. % та 99 об. % – 35–40 мкм. Покриття є переважно рівномірними за товщиною. В зоні термічного впливу спостерігається подрібнення зерен, що пов'язано з періодичною дією короткочасного нагріву і наступного швидкісного охолодження.

Встановлено, що після зазначених процесів обробки зростає поверхнева мікротвердість заліза (табл. 1).

Таблиця 1

Мікротвердість та коефіцієнт зміцнення поверхні заліза після ЕІЛ у рідинних вуглецьмістких сумішах з порошком графіту

| Склад міжелектродного середовища | Мікротвердість легованого шару, ГПа | Коефіцієнт зміцнення*, разів |
|--|-------------------------------------|------------------------------|
| 100 об. % гліцерину | 8,8 | 7,3 |
| 75 об. % гліцерину + 25 об. % порошку графіту | 9,2 | 7,6 |
| 50 об. % гліцерину + 50 об. % порошку графіту | 13 | 10,8 |
| 25 об. % гліцерину + 75 об. % порошку графіту | 16,7 | 13,9 |
| 99 об. % порошку графіту на гліцериновій зв'язці (1 об. %) | 18 | 15 |

*Відношення мікротвердості покриття до мікротвердості основи

Як видно з таблиці, маємо тенденцію до зростання поверхневої мікротвердості із збільшенням у міжелектродному середовищі вмісту порошку графіту. Очевидно, це пов'язано з наявністю великої кількості карбідів Fe_3C , що утворилися під час взаємодії заліза з вуглецем, який міститься у міжелектродному середовищі, як у рідині (гліцерині), так і у твердій фазі (порошок графіту). Для зразків, які піддавалися ЕІЛ у середовищі з 75 об. % та 99 об. % порошку графіту за даними рентгеноструктурного аналізу з'являються лінії фази графіту, що є

свідченням його перебування у покритті у вільному стані. Окрім того, у поверхневих шарах зафіксовано фази α -Fe та γ -Fe, що вказує на поліморфні перетворення на контактуючих поверхнях електродів в процесі локальної дії високих температурних та концентраційних градієнтів.

Випробування досліджуваних зразків на зносостійкість відбувалися на оригінальній машині тертя в умовах сухого тертя-ковзання за схемою «площина по площині» при швидкості $8 \cdot 10^{-2}$ м/с під навантаженням 4 кг протягом 300 с (5 годин). Як контртіло використовували загартовану інструментальну сталь Р6М5. Інтенсивність зношування покриттів оцінювали за втратою маси по відношенню до площі контакту (1 см^2) під час тертя через кожні 20 хвилин випробування. Маса зразків визначалася за допомогою лабораторних електронних ваг AXIS AD50 (точність визначення маси складає 0,0005 г).

Аналіз кривих інтенсивності зношування (рис. 1) встановив, що найменший показник, має покриття, отримане після ЕІЛ у середовищі з найбільшим вмістом графіту, який виконує роль твердого мастила. Кількісні показники зносостійкості покриттів після завершення випробування оцінювали у порівнянні із зразком без обробки, а розраховані значення представлено у вигляді гістограми (рис. 2).

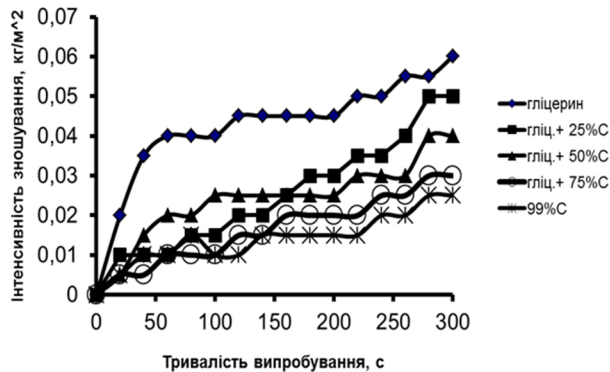


Рис. 1. Кінетичні криві інтенсивності зношування після ЕІЛ заліза Fe-анодом у рідинних насичувальних середовищах

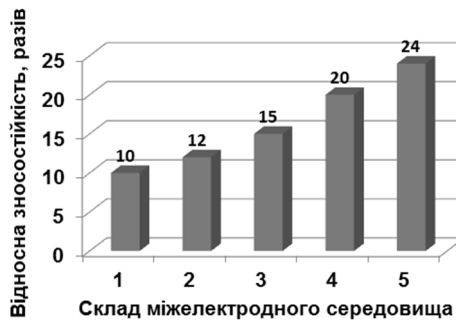


Рис. 2. Гістограма відносної зносостійкості після ЕІЛ заліза Fe-анодом у рідинних насичувальних середовищах: 1 – 100 об. % гліцерину; 2 – 75 об. % гліцерину + 25 об. % порошку графіту; 3 – 50 об. % гліцерину + 50 об. % порошку графіту; 4 – 25 об. % гліцерину + 75 об. % порошку графіту; 5 – 99 об. % порошку графіту на гліцериновій зв'язці (1 об. %)

Висновки. Встановлена можливість поверхневого зміцнення заліза в процесі електроіскрового легування залізним анодом у вуглецьмістких насичувальних середовищах з порошком графіту (у концентрації від 25 до 99 об. %).

Запропоновані схеми електроіскрової обробки дозволяють підвищити поверхневу мікротвердість заліза у 7,3 – 15 разів.

Виявлено, що за 5 годин випробувань сухого тертя-ковзання усі нанесені покриття на залізі показали збільшену у 10 – 24 рази зносостійкість у порівнянні з поверхнею без обробки.

Список літератури

1. Электродные материалы для электроискрового легирования / [А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Ф. Прядко, Ф.Ф. Егоров]. – М. : Наука, 1988. – 224 с.
2. Гитлевич А.Е. Процессы на электродах при электроискровом легировании – превращение на катоде / А.Е. Гитлевич, А.И. Михайлюк, В.В. Михайлов // Электронная обработка материалов. – 1995. – № 3. – С. 12 – 24.
3. Особенности электрической эрозии электродов при импульсных разрядах, протекающих в режиме недонапряжения / А.Е. Гитлевич, П.А. Топала, В.А. Снегирев [и др.] // Электронная обработка материалов. – 2006. – № 4. – С. 60 – 66.
4. Ушаков В. Я. Физика пробоя жидких диэлектриков / В. Я. Ушаков // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – № 2. – с. 80 – 87.
5. Костин Б.А. Электроискровое легирование с предварительным нанесением пасты на поверхность катода / Б.А. Костин, Е.С. Богородский, А.Д. Звонков // Электронная обработка материалов. – 1988. – № 6. – С. 13 – 15.
6. Лобачова Г.Г. Зміцнення поверхні сталі електроіскровим легуванням у рідинних середовищах з додаванням порошкоподібних компонентів / Г.Г. Лобачова, О.С. Рачок // Abstracts of the Fifth International Young scientists and Post-graduates Conference «To High Technologies on the Base of Advanced Physical Materials Science Research and Computer Modeling», 2011, Kyiv, Ukraine. – P.123.
7. Іващенко Є.В. Електроіскрове легування сталі Ст.3 перехідними металами у насичувальному середовищі з порошковими компонентами / Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова // Тези міжнародної науково-технічної конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 3», 28 – 29 грудня 2010 р., м. Київ, Україна. – С. 22 – 23.
8. Сидоренко С.І. Особливості формування структури та властивості покриттів на сталі після електроіскрового легування у рідинних насичувальних середовищах з вуглецьмісними порошками / С. І. Сидоренко, Є. В. Іващенко, Г. Г. Лобачова // Металознавство та обробка металів. – 2014. – № 3. – С. 27 – 34.
9. Искровой разряд и диффузионные процессы в металлах / В.Ф. Мазанко, Д.С. Герцрикен, В.М. Миронов, Д.В. Миронов, С.А. Бобырь. – К.: Наукова думка, 2014. – 192 с.
10. Массоперенос железа при воздействии электрического разряда / Л.Н. Лариков, Н.В. Дубовицкая, С.М. Захаров [и др.] // Украинский физический журнал. – 1982. – № 1. – С. 21 – 28.

Стаття надійшла до редакції 04.09.2019.

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

Іващенко 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

G. G. LOBACHOVA, Ie. V. IVASHCHENKO

INFLUENCE OF GRAPHITE CONCENTRATION IN GLYCEROL BASED INTER-ELECTRODE ENVIRONMENT ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF IRON SURFACE LAYER DURING ELECTRIC-SPARK ALLOYING BY Fe-ANODE

The possibility of hardened wear-resistant coatings creation on the iron surface at the process of Electric-spark alloying by Fe-anode in carbon-containing saturated inter-electrode environment with graphite powder at a concentration of 25 vol. %; 50 vol. %; 75 vol. % and 99 vol. %. According to the microstructural analysis, the surface areas of the samples after treatment consist of a coating (alloyed layer), a thermal impact zone and a base material. The thickness of the alloyed layer after Electric-spark alloying in glycerol and a mixture of glycerol with graphite powder (25 and 50 vol.%) is 25 - 30 μm , and after Electric-spark alloying in a mixture of glycerol with graphite powder (75 and 99 vol.%) - 35 - 40 μm .

With increasing content of graphite powder from 25 to 99 vol. % in glycerol-based mixtures in the process of Electric-spark alloying by iron anode increases the microhardness of the iron surface from 9.2 to 18 Gpa (in 7.3 - 15 times). Obviously, this is due to the large amount of Fe_3C carbides formed during the interaction of iron with carbon contained in the inter-electrode medium, both in the liquid (glycerol) and in the solid phase (graphite powder). For samples, after treatment in the environment with the highest content of graphite powder (glycerol + 75 vol.% and glycerol + 99 vol.%), according to the X-ray analysis, the graphite phase lines appear, which indicates that it is in the free state. In addition, α - Fe and γ - Fe phases are recorded in the surface layers, indicating polymorphic transformations on the contacting surfaces of the electrodes during the local action of high temperature and concentration gradients.

Testing of the test specimens for wear resistance under a load of 4 kg for 5 hours showed that all the applied coatings on iron have an increased durability of 10 - 24 times compared to the surface without treatment. The highest indicator is the coating obtained after Electric-spark alloying in the environment with the highest content of graphite, which acts as a solid oil.

Key words: Electric-spark alloying (ESA), Iron, Glycerol, Graphite powder, Coating, Microhardness, Wear resistance

References

1. Elektrodneye materialy dlya elektroiskrovogo legirovaniya / [A.D. Verhoturov, I.A. Podchernyaeva, L.F. Pryadko, F.F. Egorov]. – M. : Nauka, 1988. – 224 s.
2. Gitlevich A.E. Protsessyi na elektrodah pri elektroiskrovom legirovanii – prevraschenie na katode / A.E. Gitlevich, A.I. Mihaylyuk, V.V. Mihaylov // Elektronnyaya obrabotka materialov. – 1995. – № 3. – S. 12 – 24.
3. Osobennosti elektricheskoy erozii elektrodov pri impulsnykh razryadah, protekayushchih v rezhime nedonapryazheniya / A.E. Gitlevich, P.A. Topala, V.A. Snegirev [i dr.] // Elektronnyaya obrabotka materialov. – 2006. – № 4. – S. 60 – 66.
4. Ushakov V. Ya. Fizika proboya zhidkih dielektrikov / V. Ya. Ushakov // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2004. – № 2. – s. 80 – 87.
5. Kostin B.A. Elektroiskrovoe legirovanie s predvaritelnyim naneseniem pastyi na poverhnost katoda / B.A. Kostin, E.S. Bogorodskiy, A.D. Zvonkov // Elektronnyaya obrabotka materialov. – 1988. – № 6. – S. 13 – 15.
6. Lobachova H.H. Zmitsnennia poverkhni stali elektroiskrovym lehuванняm u ridynnykh seredovyshchakh z dodavanniam poroshkopodibnykh komponentiv / H.H. Lobachova, O.S. Rachok // Abstracts of the Fifth International Young scientists and Post-graduates Conference «To High Technologies on the Base of Advanced Physical Materials Science Research and Computer Modeling», 2011, Kyiv, Ukraine. – R.123.
7. Ivashchenko Ye.V. Elektroiskrove lehuвання stali St.3 perekhidnymy metalamy u nasychuvalnomu seredovyshchi z poroshkovymy komponentamy / Ye.V. Ivashchenko,

H.H. Lobachova // Tezy mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Materialy dlia roboty v ekstremalnykh umovakh – 3», 28 – 29 hrudnia 2010 r., m. Kyiv, Ukraina. – S. 22 – 23.

8. Sydorenko S.I. Osoblyvosti formuvannia struktury ta vlastyvoli pokryttiv na stali pislia elektroiskrovoho lehuвання u ridynnykh nasychuvalnykh seredovyshchakh z vuhletsvmisnymy poroshkamy / S. I. Sydorenko, Ye. V. Ivashchenko, H. H. Lobachova // Metaloznavstvo ta obrobka metaliv. – 2014. – № 3. – S. 27 – 34.

9. Iskrovoy razryad i diffuzionnyie protsessy v metallah / V.F. Mazanko, D.S. Gertsriken, V.M. Mironov, D.V. Mironov, S.A. Bobyir. – K.: Naukova dumka, 2014. – 192 s.

10. Massoperenos zheleza pri vozdeystvii elektricheskogo razryada / L.N. Larikov, N.V. Dubovitskaya, S.M. Zaharov [i dr.] // Ukrainskiy fizicheskii zhurnal. – 1982. – № 1. – S. 21 – 28.