

УДК 621.9.048.4

Є. В. ІВАЩЕНКО, Г. Г. ЛОБАЧОВА, Н. А. ШАПОВАЛОВА, К. Є. ІГНАСЮК

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

СТВОРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ НА ПОВЕРХНІ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ БАГАТОСТАДІЙНИМ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ЛЕГУВАННЯМ ХРОМОМ ТА ГРАФІТОМ У НАСИЧУВАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Встановлено, що багатостадійне електроіскрове легування (ЕІЛ) хромом і графітом, яке відбувається у різних середовищах (повітря, аргон, пропан-бутан), сприяє підвищенню поверхневої мікротвердості сталі Ст.3 до 15 ГПа та зносостійкості у 8 – 32,5 рази. Це зумовлено наявністю карбідів, нітридів у поверхневих шарах, які утворилися в результаті взаємодії матеріалів анодів з елементами насичувального середовища (азотом, вуглецем) за екстремальних умов процесу ЕІЛ.

Ключові слова: електроіскрове легування, маловуглецева сталь, карбіди, аргон, пропан-бутан, насичувальне середовище, мікротвердість, зносостійкість

Вступ. Електроіскрове легування (ЕІЛ) є ефективним методом модифікування хімічного складу, структурно-фазового стану і властивостей поверхневих шарів металів. Цей метод базується на використанні концентрованих потоків електричної енергії при протіканні імпульсних розрядів в міжелектродному середовищі в результаті чого реалізується полярне перенесення матеріалу аноду на поверхню катоду (деталі).

Дія імпульсних розрядів на поверхню струмопровідних матеріалів призводить до складних структурних і фазових перетворень, які визначають широкий комплекс властивостей отриманих поверхневих шарів. В результаті взаємодії рідких фаз матеріалів аноду і катоду в поверхневих шарах утворюються сплави зі складом, який неможливо отримати традиційними металургійними методами. При цьому інтенсивні процеси нагріву матеріалу до високих температур з великими градієнтами температур, підвищеним масоперенесенням легуючих елементів і охолодженням з критичними швидкостями призводять до утворення твердих розчинів, інтерметалідних сполук та метастабільних проміжних фаз.

При електроіскровому легуванні вплив міжелектродного середовища дуже суттєвий [1]. Це відбивається на зміні товщини легованого шару та якості зміцнюючого покриття, що, в свою чергу, визначає його фізико-механічні властивості, зокрема зносостійкість.

Аналіз літератури свідчить про недостатню кількість джерел присвячених вивченню впливу насичувального середовища на структуру, фазовий склад і властивості поверхневих шарів сплавів заліза після ЕІЛ хромом та графітом [1–5]. Тому це питання є актуальним завданням як у теоретичному так і в практичному аспекті і потребує подальшого дослідження.

Постановка завдання. Як відомо з літературних джерел [1–4] наявність карбідів та нітридів у поверхневих шарах металевих деталей суттєво підвищує їх мікротвердість та зносостійкість. Зазвичай під час ЕІЛ застосовують компактовані електроди, що складаються переважно з карбідних або нітридних сполук [4]. Наявність у легованому шарі одного типу фаз проникнення (або карбідів або нітридів) не завжди задовольняє вимогам, що висуваються до покриттів у плані

функціональності [4; 5]. Це викликає потребу у створенні багатокомпонентних покриттів з перемінним хімічним складом по їх товщині, що, в свою чергу, суттєво впливає на фізико-механічні властивості поверхні.

Не менш важливими факторами під час створення електроіскрових покриттів є склад легувальних електродів та електричні параметри обробки. Відомо, що компактовані аноди є тугоплавкими композиціями, стійкими до ерозії, внаслідок чого під час низьковольтних іскрових розрядів зменшується кількість перенесеного матеріалу на оброблювану поверхню та знижується продуктивність створення покриттів [2; 3; 6].

Зважаючи на це, як альтернативу, можна запропонувати почергове нанесення чистого металу (хрому) та графіту, ерозія яких значно перевищує ерозію компактованих анодів, тим самим забезпечуючи ефективне формування покриття навіть за низьких енергетичних параметрів ЕІЛ.

З метою зміцнення поверхневих шарів під час ЕІЛ використовуються різні середовища, а саме аргон, пропан-бутан та повітря.

Метою даної роботи є дослідження мікротвердості та зносостійкості поверхневих шарів сталі Ст.3 після послідовного багатостадійного ЕІЛ перехідним металом (Cr) і графітом у різних середовищах (повітря, аргон, пропан-бутан).

Методика та техніка експерименту. Для досягнення поставленої мети були проведені процеси ЕІЛ сталі Ст.3 хромом і графітом у середовищах повітря, пропан-бутану та аргону за такими технологічними схемами нанесення елементів:

- Cr-C;
- Cr-C-Cr-C;
- Cr-C-Cr-C-Cr-C.

Під час обробки зразків для створення концентрованих насичувальних середовищ пропан-бутану та аргону у міжелектродному просторі використовувалися герметичні камери.

Випробування зразків на стійкість до зношування проводилися за умов сухого тертя-ковзання за схемою «площина по площині» під навантаженням 4 кг протягом 3 год. Матеріалом контртіла виступала загартована та відпущена інструментальна сталь Р6М5 з твердістю 64 HRC. Ці випробування здійснювалися на оригінальній машині тертя, розробленій та виготовленій на кафедрі фізики металів Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут» [7].

Величина зношування оцінювалася гравіметричним методом – зважуванням зразка через кожні 20 хвилин випробування з використанням лабораторних електронних вагів AXIS AD50 (точність визначення маси складає 0,0005 г). За втратою маси обчислювався показник інтенсивності зношування I , кг/м² [7], що розраховувався як співвідношення втрати маси зразка Δm , кг до площі поверхні тертя зразка s , м².

Фазовий склад легованої зони визначався рентгенівським аналізом з використанням методу Дебая-Шеррера на установці УРС-2.0 у випромінненні залізного аноду.

Результати досліджень. За результатами мікроструктурного аналізу зразків сталі Ст.3 після дво-, чотири- та шестистадійного ЕІЛ Cr- та C-анодами у різних середовищах виявлено, що покриття характеризуються суцільністю, рівномірністю та мають товщину від 15 до 30 мкм (рис. 1). Збільшення товщини легованого шару спостерігається при збільшенні кількості стадій обробки.

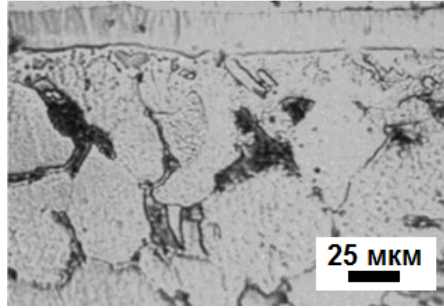


Рис. 1. Мікроструктура поверхні сталі Ст.3 після багатостадійного ЕІЛ на повітрі у послідовності Cr-C-Cr-C-Cr-C

Методом рентгенофазового аналізу встановлена наявність в легованій зоні карбіду хрому Cr_7C_3 та нітриду хрому CrN . В результаті взаємодії металу легувального електроду хрому, що є карбідо- та нітридоутворюючим елементом, і графіту з елементами насичувального середовища (азот, вуглець) під час ЕІЛ на поверхні сталі Ст.3 формується покриття з фазами проникнення – карбідами та нітридами хрому. В результаті цього поверхнева мікротвердість зростає до 10 – 11 ГПа (табл.1).

Таблиця 1

Максимальна мікротвердість отриманих покриттів

Схеми ЕІЛ	Насичувальні середовища		
	повітря	пропан-бутан	аргон
Cr-C	7,4 ГПа	12,9 ГПа	13,5 ГПа
Cr-C-Cr-C	10,5 ГПа	12,9 ГПа	13,5 ГПа
Cr-C-Cr-C-Cr-C	11,2 ГПа	13,9 ГПа	14,9 ГПа

Аналіз кінетичних кривих інтенсивності зношування зразків сталі Ст.3 після багатостадійного ЕІЛ з використанням різних насичувальних середовищ (повітря, пропан-бутан, аргон) показав зменшення значень I у порівнянні з вихідним зразком (рис. 2).

Встановлений вплив насичувального середовища, застосованого під час проведення ЕІЛ, на зносостійкість поверхневої зони сплавів заліза. За результатами випробувань на зношувальність впродовж 180 хвилин встановлено, що зносостійкість сталі Ст.3 після обробки на повітрі у 8 разів, а після обробки у середовищі аргону, пропан-бутану у 32,5 рази більша у порівнянні з вихідною поверхнею. Зростання зносостійкості після ЕІЛ у різних середовищах зумовлено формуванням структур, зміцнених дисперсними виділеннями карбідів та нітридів легуючого елементу, що виникають в екстремальних умовах процесу ЕІЛ (швидкісного нагрівання та охолодження, високих концентраційних та температурних градієнтів). Утворена за таких умов структура легової зони узгоджується з принципом Шарпі: м'яка основа – тверді включення (карбіди), які виділені на скупченнях дислокацій в межах неоднорідних твердих розчинів.

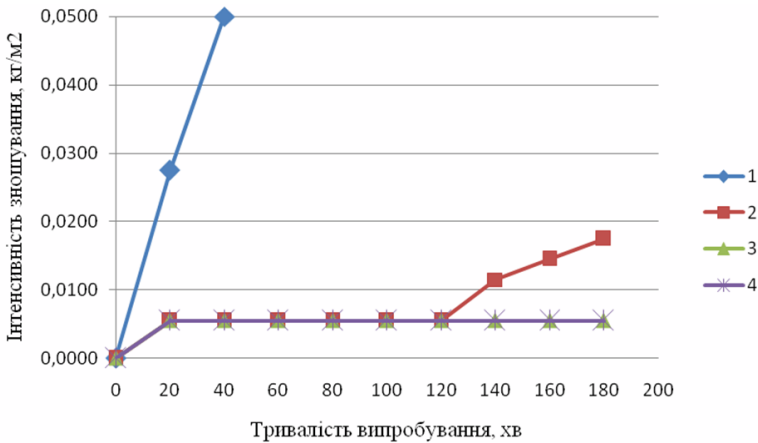


Рис. 2. Кінетичні криві інтенсивності зношування покриттів на сталі Ст.3, одержаних шестистадійним ЕІЛ хромом і графітом із використанням різних середовищ: 1 – поверхня без обробки, 2 – покриття після ЕІЛ на повітрі, 3 – покриття після ЕІЛ в пропан-бутані, 4 – покриття після ЕІЛ в аргоні

Використання в якості аноду графіту (до 99,99 мас.% С), приводить до інтенсивнішого процесу формування карбідних фаз та додаткового збагачення поверхні карбідами, і, як наслідок, до підвищення зносостійкості.

Висновки. Встановлена можливість підвищення мікротвердості і зносостійкості поверхні маловуглецевої сталі Ст.3 шляхом багатостадійного електроіскрового легування хромом і графітом у насичувальних середовищах (повітря, аргон, пропан-бутан).

Встановлено, що зі збільшенням стадій процесу ЕІЛ зростає мікротвердість поверхні сталі Ст.3. Найбільше значення мікротвердості зафіксовано після ЕІЛ в аргоні (до 14,9 ГПа) в порівнянні з обробкою на повітрі (11,2 ГПа) та в пропан-бутані (13,9 ГПа).

Виявлено, що після шестистадійного ЕІЛ в послідовності Ст-С-Ст-С-Ст-С відбувається зростання стійкості до зношування поверхні сталі Ст.3 з нанесеними покриттями у 8 разів (обробка в середовищі повітря) та 32,5 рази (обробка в середовищах аргону та пропан-бутану) у порівнянні з поверхнею вихідного зразка.

Список літератури

1. Электроискровое легирование металлических поверхностей / [Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев]. – К.: Наукова думка, 1976. – 220 с.
2. Электродные материалы для электроискрового легирования / [А.Д. Верхотуров, И.А. Подчерняева, Л.Ф. Прядко, Ф.Ф. Егоров]. – М.: Наука, 1988. – 224 с.
3. Верхотуров А.Д. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей / А.Д. Верхотуров, И.М. Муха. – К.: Техніка, 1982. – 181 с.
4. Береснев В.М. Некоторые аспекты повышения стойкости рабочих поверхностей трения / В.М. Береснев, В.Т. Толоч, В.И. Гриценко // ФИП. – 2004. – Т. 2, № 1 – 2. – С. 42 – 48.
5. Износо- и коррозионно-стойкие электроискровые покрытия из эвтектических сплавов на стали 30ХГСА / В. Н. Гадалов, Ю. В. Болдырев, Е. В. Иванова [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 1. – С. 22 – 25.
6. Триботехнические характеристики композиционных карбидных покрытий / Ю.С. Борисов, В.Ф. Лабунец, В.С. Сычев [и др.] // Автоматическая сварка. – 2002. – № 2. – С. 56 – 58.

7. Лобачова Г.Г. Поверхнєве 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, 2012. – 200 с.

Стаття надійшла до редакції 31.05.2016

IE. V. IVASHCHENKO, G. G. LOBACHOVA, N. A. SHAPOVALOVA, K. IE. IHNASIUK

CREATION OF FUNCTIONAL COATINGS ON MILD STEEL SURFACE AT MULTI-STAGE ELECTRIC-SPARK ALLOYING BY CHROME AND GRAPHITE IN SATURATED ENVIRONMENTS

Established that the multi-stage Electric-spark alloying (ESA) by chrome and graphite, which occurs in different environments (air, argon, propane-butane), improves of steel mark 3 surface microhardness to 15 GPa and durability 8 - 32.5 times. This is due to the presence of carbides, nitrides in the surface layers, which were formed by the interaction of anodes materials with elements of saturated environments (nitrogen, carbon) for extreme process conditions ESA.

Keywords: Electric-spark alloying, mild steel, carbides, argon, propane-butane, saturated environment, microhardness, wear resistance

Івашенко Євген Вадимович – канд. техн. наук, доцент кафедри фізики металів Національного технічного університету України «КПІ», м. Київ, Україна, тел. (044)454-97-74, ivashchenko@kpi.kpi.ua.

Лобачова Галина Геннадіївна – канд. техн. наук, асистент кафедри фізики металів Національного технічного університету України «КПІ», м. Київ, Україна, lgg22@ukr.net.

Шаповалова Наталія Анатоліївна – провідний інженер кафедри фізики металів Національного технічного університету України «КПІ», м. Київ, Україна, shapovalova@kpi.kpi.ua.

Ігнасюк Катерина Євгеніївна – студентка кафедри фізики металів Національного технічного університету України «КПІ», м. Київ, Україна, sypergirl2010@ukr.net.