

УДК 621.9.048.4

С. І. СИДОРЕНКО, Є. В. ІВАЩЕНКО, Г. Г. ЛОБАЧОВА, Н. В. ФРАНЧІК

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПОВЕРХНЕВИХ ЗОН СПЛАВІВ ЗАЛІЗА ПІСЛЯ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ ТА ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ У НАСИЧУВАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ КОМПЛЕКСНОГО СКЛАДУ

Встановлено, що електроіскрове легування (ЕІЛ) цирконієм, титаном, хромом у середовищах, що змінюються у послідовності азот – пропан-бутан (або пропан-бутан – азот), та лазерна обробка (ЛО) у середовищі (азот + пропан-бутан) сприяє підвищенню зносостійкості сплавів заліза у 3,8–4 рази. Це зумовлено наявністю карбідів, нітридів у поверхневих шарах, які утворилися в результаті взаємодії металів анодів та заліза з елементами насичувального середовища (азотом та вуглецем) за екстремальних умов процесів ЕІЛ та ЛО.

Ключові слова: електроіскрове легування, лазерна обробка, сплави заліза, зносостійкість, карбіди, нітриди.

Вступ. Сучасний етап розвитку техніки характеризується інтенсифікацією виробничих процесів, що тягне за собою потребу у створенні нових багатофункціональних матеріалів, які відповідають високим вимогам щодо надійності та ресурсу роботи. Враховуючи такий факт, зміцнення деталей машин, штампового та різального інструменту залишається одним з актуальних завдань.

Перспективними та ефективними напрямами поверхневого зміцнення матеріалів є високоенергетичні методи обробки, зокрема електроіскрове легування (ЕІЛ) та лазерна обробка (ЛО) [1-6].

Під час ЕІЛ внаслідок інтенсивного нагрівання локальних областей матеріалів електродів до високих температур, прискореного масоперенесення легувальних елементів та охолодження з критичними швидкостями відбувається формування покриттів з комплексом покращених фізико-механічних характеристик [1-4].

Екстремальні умови ЛО дозволяють отримувати локальні поверхневі шари з підвищеними характеристиками міцності, твердості, зносостійкості та ін. за рахунок зміни структури та фазового складу, які неможливо сформувати при застосуванні традиційної хіміко-термічної обробки [1, 5-6].

Але складність структурно-фазових перетворень, що відбуваються у поверхневих шарах металів в процесі ЕІЛ та ЛО не дозволяє повною мірою використати усі потенційні можливості методів, що викликає потребу у розробці нових та вдосконаленні існуючих режимів обробки.

Постановка завдання. Як відомо з літературних джерел [1-4] наявність карбідів та нітридів у поверхневих шарах металевих деталей суттєво підвищує їх мікротвердість та зносостійкість. Для цього під час ЕІЛ широко застосовуються компактовані електроди, виготовлені з тугоплавких сполук, карбідів або нітридів перехідних матеріалів. Але суттєвим недоліком таких анодів є незначна ефективність формування покриття через низьку ерозію під впливом низьковольтних розрядів, а також потреба у додаткових технологічних операціях щодо виготовлення та розробки їх оптимального складу.

З метою зміцнення поверхневих шарів під час ЛО використовуються середовища аргону, азоту, повітря або обмазки, які містять V, Mo, Al, N, C, Cr,

Nb, В, Ti [5, 6]. При цьому не ставиться завдання сформувати велику кількість карбідних, нітридних та карбонітридних фаз, в той час як наявність їх великої кількості у поверхневому шарі є бажаним для підвищення мікротвердості та зносостійкості. Але закономірності формування таких поверхневих шарів є несистематизованими і вивчені недостатньо.

Усунути зазначені недоліки можна використанням в процесі ЕІЛ анодів з перехідних металів, ерозія яких значно перевищує показники твердосплавів, та застосуванням міжелектродних середовищ з елементами проникнення, або використанням в процесі ЛО сумішей насичувальних середовищ з азотом та вуглецем.

Враховуючи здатність перехідних металів до утворення карбідів та нітридів під час взаємодії з елементами середовищ, передбачається створення поверхневих зон сплавів заліза, в яких реалізується механізм композиційного зміцнення фазами втілення, що дозволить їм скласти конкуренцію композиційним покриттям за рахунок комплексу унікальних фізико-механічних властивостей.

Метою даної роботи є дослідження зносостійкості поверхневих шарів сталі Ст.3 після двостадійного ЕІЛ перехідними металами (Zr, Ti, Cr), а також модельного сплаву Fe + 1,02 мас. % Ti та технічного заліза після ЛО.

Методика і техніка експерименту. Для досягнення поставленої мети були проведені:

1) двостадійні процеси ЕІЛ сталі Ст.3 цирконієм, титаном та хромом, які передбачали послідовну зміну насичувальних середовищ з азотовмісного на вуглецевмісне (азот – пропан-бутан) та з вуглецевмісного на азотовмісне (пропан-бутан - азот);

2) ЛО сплаву Fe + 1,02 мас. % Ti у середовищі 20 % азоту + 80 % пропан-бутану та технічного заліза у середовищі 50 % азоту + 50 % пропан-бутану.

ЕІЛ здійснювали на установці «Елітрон-26 А» (струм розряду $I = 2 \pm 0,5$ А; напруга $U \approx 60-70$ В; частота $f = 50 \pm 3$ Гц; тривалість окремої стадії 3 хв/см²).

ЛО зразків проводилась на імпульсній лазерній установці «Квант-16» (довжина хвилі випромінювання $\lambda = 1,06$ мкм, енергія $E = 15-30$ Дж, тривалість імпульсу $\tau = 4-6$ мс, густина потужності випромінювання $W_p = 5-8,3$ ГВт/м²).

Під час обробки зразків для створення концентрованих насичувальних середовищ використовувалися герметичні камери.

Випробування зразків на зносостійкість здійснювалися на оригінальній установці тертя, розробленій та виготовленій на кафедрі фізики металів Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут».

Дослідження інтенсивності зношування проводилися за умов тертя-ковзання без мащення за схемою «площина по площині» під навантаженням 4 кг протягом 5 та 10 годин. Матеріалом контртіла виступала загартована та відпущена інструментальна сталь Р6М5.

Величина зношування оцінювалася ваговим 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 за кожні 20 хвилин випробувань Δm , кг до площі поверхні тертя зразка s , м².

Зносостійкість покриттів на сталі Ст.3 після двостадійного електроіскрового легування. Аналіз кінетичних кривих інтенсивності зношування зразків сталі Ст.3 після двостадійних процесів ЕІЛ з послідовною зміною насичувальних середовищ азот – пропан-бутан та пропан-бутан – азот (рис. 1) показав загальну тенденцію до зменшення значень I в ряду Zr-покриття – Ti-покриття – Cr-покриття. Наведена залежність зумовлена ступенем карбідоутворюючої (нітридоутворюючої) здатності металу легувального електроду. В результаті взаємодії металів легувального електроду цирконію або титану, що є сильними карбідо- та нітридоутворюючими елементами, з елементами насичувального середовища (азот, вуглець) під час ЕІЛ на поверхні сталі Ст.3 формується покриття з великою кількістю фаз проникнення. В результаті цього поверхнева мікротвердість зростає до 6–7 ГПа (після ЕІЛ Ti-анодом) та до 8–9 ГПа (після ЕІЛ Zr-анодом), що може призводити до окрихчення під час випробувань на зносостійкість. На відміну від зазначеного, після процесів ЕІЛ хромовим анодом утворюється покриття, що складається з твердого розчину необмеженої розчинності (Fe-Cr), у якому міститься незначна кількість карбідів та нітридів. Мікротвердість хромових покриттів зростає до 4,5–5 ГПа, а показники інтенсивності зношування є найнижчими.

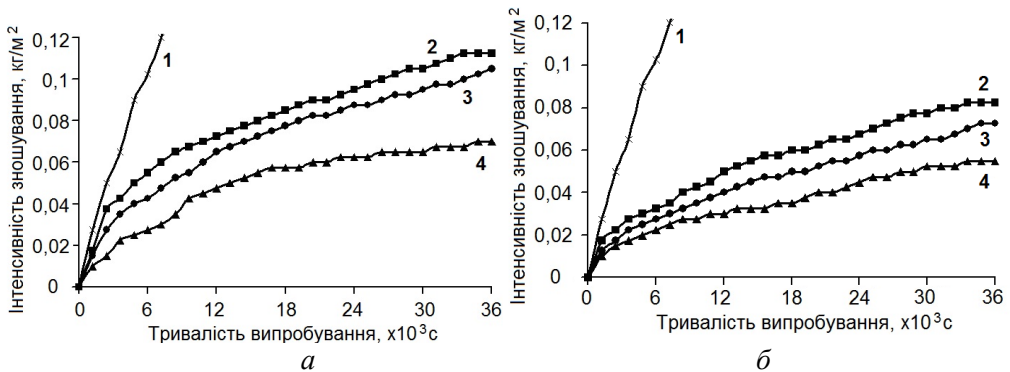


Рис. 1. Кінетичні криві інтенсивності зношування покриттів на сталі Ст.3, одержаних двостадійним ЕІЛ при зміні насичувального середовища у послідовності: a – азот – пропан-бутан, b – пропан-бутан – азот;

1 – поверхня без обробки, 2 – Zr-покриття, 3 – Ti-покриття, 4 – Cr-покриття

Встановлено, що зносостійкість покриттів залежить також від послідовності стадій ЕІЛ. Після легування зі зміною насичувальної атмосфери у послідовності пропан-бутан – азот зносостійкість покриттів на сталі Ст.3 зростає у порівнянні з вихідною необроблюваною поверхнею у 8,05 разів (ЕІЛ хромом); у 6,1 разів (ЕІЛ титаном); у 5,36 разів (ЕІЛ цирконієм). При зміні послідовності насичувального середовища (азот – пропан-бутан) зносостійкість хромового покриття зростає у 6,32 разів; титанового – у 4,21 разів; цирконієвого – у 3,93 разів.

Зносостійкість поверхневої зони сплавів заліза після лазерної обробки.

Аналіз кривих інтенсивності зношування після ЛО дозволив встановити вплив комплексних насичувальних середовищ на зносостійкість поверхневої зони сплавів заліза (рис. 2).

Зносостійкість технічного заліза при обробці у середовищі складу 50 % азоту + 50 % пропан-бутану зростає у 3,8 разів, а для сплаву Fe + 1,02 мас. % Ti при обробці в атмосфері 80 % пропан-бутану + 20 % азоту – у 6,4 рази, у порівнянні

з вихідною поверхнею. Це зумовлено формуванням структури, яка в певній мірі задовольняє принципам Шарпі: м'яка основа – тверді включення, які виділенні на скупченнях дислокацій в межах неоднорідних твердих розчинів, мікротвердість, і відповідно пластичність, яких суттєво розрізняється.

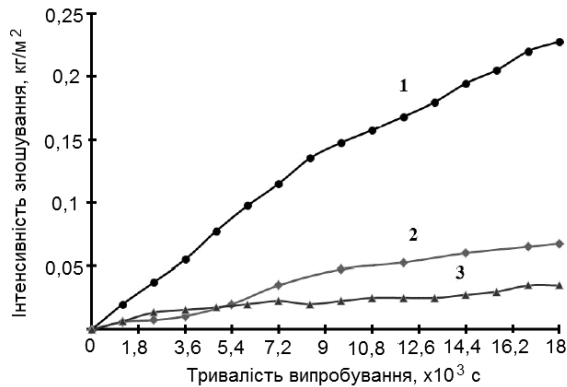


Рис. 2. Кінетичні криві інтенсивності зношування поверхневих шарів після ЛО: 1 – технічне залізо без обробки, 2 – технічне залізо, обробка в середовищі 50 % азоту + 50 % пропан-бутану, 3 – Fe+1,02 мас. % Ti, обробка в середовищі 20 % азоту + 80 % пропан-бутану

Наявність в матеріалі основи – залізі, легуючого елементу Ti (~ 1,02 мас. %), приводить до більш інтенсивнішого процесу формування нітридних, карбідних та карбонітридних фаз, і як наслідок, до підвищення зносостійкості. Це приводить до висновку про доцільність використання комплексних насичувальних середовищ з елементами проникнення при ЛО для зміцнення поверхні сплавів заліза.

Висновки. Встановлена можливість підвищення зносостійкості сплавів заліза (сталі Ст.3, Fe + 1,02 мас. % Ti, заліза) у 3,8–8 разів шляхом електроіскрового легування та лазерної обробки у комплексних насичувальних середовищах.

Встановлено, що після двостадійного ЕІЛ сталь Ст.3 цирконієм, титаном, хромом у середовищах, що змінюються у послідовності азот – пропан-бутан (або пропан-бутан – азот), зростання зносостійкості покриттів залежить від природи металу легувального електроду та послідовності стадій обробки у насичувальних середовищах з елементами проникнення.

Виявлено, що зростання зносостійкості сплаву Fe + 1,02 мас. % Ti, після лазерної обробки у середовищі 20 % азоту + 80 % пропан-бутану та заліза у середовищі 50 % азоту + 50 % пропан-бутану зумовлено формуванням структури твердих розчинів Fe-Ti, зміцнених дисперсними виділеннями карбідів та нітридів легуючих елементів, що виникають в умовах швидкісного нагрівання та охолодження, високих концентраційних та температурних градієнтів.

Виробничі випробування різальних кромки пробивних штампів після ЕІЛ та ЛО у комплексних середовищах показали підвищення ресурсу роботи деталей у 2 – 3 рази, що дозволяє рекомендувати запропоновані схеми обробки для зміцнення робочих поверхонь штампового та різального інструменту, а також пар тертя.

Список літератури

1. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов / [В. С. Коваленко, А. Д. Верхотуров, Л. Ф. Головкин, И. А. Подчерняева]. – М. : Наука, 1986. – 276 с.
2. Верхотуров А. Д. Исследование поверхностного слоя после электроискрового легирования новыми электродными материалами, полученными из минерального сырья / А. Д. Верхотуров, Ю. И. Мулин // Перспективные материалы. – 2002. – № 4. – С. 84 – 89.
3. Структура и износостойкость покрытий на титановом сплаве и сталях, полученных при электроискровом легировании материалом $\text{AlN} - \text{ZrB}_2$ / М. А. Тепленко, И. А. Подчерняева, А. Д. Панасюк [и др.] // Порошковая металлургия. – 2002. – № 3/4. – С. 48 – 57.
4. Износ- 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.
5. Дурягіна З. А. Вплив лазерного легування ніобієм на корозійну тривалість сталі 12Х18Н10Т у модельних середовищах / З. А. Дурягіна, Б. П. Бахматюк, Н. В. Щербовських // Міжнародна наукова конференція «Іван Федченко-Чопівський: вчений і патріот», 28 - 29 жовтня 2009 р. – Львів, 2009. – С. 13–15.
6. Вплив лазерного мікролегування ніобієм на зносотривкість нержавіючих сталей / [В. В. Широков, Х. Б. Василів, З. А. Дурягіна, Г. В. Лазько, Н. Б. Рацька] // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2009. – №4. – С. 12–18.
7. Верещака А. С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака, И. П. Третьяков. – М. : Машиностроение, 1993. – 195 с.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2014

S. I. SYDORENKO, Ye. V. IVASHCHENKO, G. G. LOBACHOVA, N. V. FRANCHIK

**WEARPROOF OF Fe-ALLOYS SURFACE ZONES AFTER
ELECTRIC-SPARK ALLOYING AND LASER TREATMENT
IN COMPLEX COMPOSITION SATURATING ENVIRONMENTS**

It is set that electric-spark alloying by zirconium, titanium, chrome in environments which change in a sequence nitrogen – propane-butane (or propane-butane – nitrogen), and laser treatment in an environment (nitrogen + propane-butane) are results in the increase of Fe-alloys wearproof in 3,8–4 times. It is predefined by the presence of carbides, nitrides in surface layers which appeared as a result of interaction of anodes metals and iron with the elements of saturating environment (nitrogen and carbon) at the extreme terms of electric-spark alloying and laser treatment. It is defined that increasing of wearproof of coverages after electric-spark alloying depends on anode metal nature and sequence of the treatment stages in saturating environments with the elements of penetration. Productions tests of cuttings edges of aggressive stamps after electric-spark alloying and laser treatment in complex environments shown the increase to the resource of work of details in 2–3 times.

Keywords: electric-spark alloying, laser treatment, Fe-alloys, wearproof, carbides, nitrides.

Сидоренко Сергій Іванович – чл.-кор. НАН України, заслужений діяч науки і техніки України, д-р фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри фізики металів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, sidorenko@kpi.ua, тел.: +38 044 454 91 99.

Іващенко Євген Вадимович – канд. техн. наук, доцент кафедри фізики металів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, ivashchenko@kpm.kpi.ua, тел.: +38 044 454 97 74.

Лобачова Галина Геннадіївна – канд. техн. наук, асистент кафедри фізики металів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, galyna@kpm.kpi.ua, тел.: +38 044 454 97 74.

Франчік Наталія Володимирівна – канд. техн. наук, молодший науковий співробітник кафедри фізики металів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, тел.: +38 044 454 97 74.